



RAPPORT D'ENQUÊTE MARITIME
M05W0111



**PERTE DE PROPULSION, HEURT D'EMBARCATIONS DE
PLAISANCE AMARRÉES À QUAI ET ÉCHOUEMENT**

DU TRAVERSIER ROULIER À PASSAGERS
QUEEN OF OAK BAY

DANS LA BAIE HORSESHOE (COLOMBIE-BRITANNIQUE)
LE 30 JUIN 2005



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

Rapport d'enquête maritime

Perte de propulsion, heurt d'embarcations de plaisance amarrées à quai et échouement

du traversier roulier à passagers

Queen of Oak Bay

dans la baie Horseshoe (Colombie-Britannique)

le 30 juin 2005

Rapport numéro M05W0111

Résumé

Vers 10 h 8, heure avancée du Pacifique, le 30 juin 2005, alors qu'il s'approche du quai n° 1 dans la baie Horseshoe, le *Queen of Oak Bay* subit une perte de propulsion et sa vitesse tombe au-dessous de la vitesse nécessaire pour gouverner. Il dévie de sa trajectoire et heurte 28 embarcations de plaisance amarrées à la marina voisine avant de s'échouer dans la marina. L'accident ne fait aucune victime, mais cause d'importantes avaries aux embarcations de plaisance et de lourds dommages à la marina.

This report is also available in English.

1.0	Renseignements de base.....	1
1.1	Fiche technique du navire	1
1.1.1	Renseignements sur le navire	2
1.1.2	Postes de manœuvre de la salle des machines et de la timonerie	3
1.1.3	Deux modes de propulsion.....	4
1.1.4	Commutateurs de mode sur les pupitres de commande.....	5
1.1.5	Description d'une manœuvre typique d'accostage et d'appareillage	5
1.2	Déroulement du voyage.....	6
1.3	Avaries et dommages.....	8
1.4	Régulation de la vitesse de rotation des moteurs principaux	8
1.4.1	Anomalies décelées sur les tringleries des régulateurs et du système de commande de combustible des moteurs principaux	9
1.4.2	Description des tringleries et des régulateurs des moteurs principaux d'autres navires	10
1.5	Dispositifs de protection sur les moteurs principaux	10
1.6	Carénage de mi-vie	11
1.6.1	Détermination, suivi et contrôle des travaux	11
1.6.2	Équipages et quarts de travail	11
1.6.3	Réparation des régulateurs	12
1.7	Description des essais en mer effectués après les réparations	13
1.8	Système de gestion de la sécurité et règlements de la flotte.....	13
1.8.1	Procédures relatives à l'inspection et à l'entretien planifié	14
1.8.2	Communications internes et tenue de dossiers.....	15
1.9	Certificats du navire et brevets de l'équipage.....	15
2.0	Analyse	17
2.1	Perte de propulsion.....	17
2.1.1	Goupille manquante sur l'écrou de fixation de l'axe de liaison du régulateur	18
2.2	Arrêt d'un moteur et effet sur des moteurs accouplés.....	19
2.2.1	Arrêt d'un moteur en survitesse.....	19
2.2.2	Arrêts causés par d'autres états défectueux et conception de l'interrupteur d'arrêt	19
2.3	Évaluation des situations d'urgence.....	21
2.4	Système de gestion de la sécurité.....	21
2.4.1	Communications internes et tenue des dossiers	21
2.4.2	Mesures prises par l'équipe à la passerelle et les mécaniciens	22
2.4.2.1	Mouillage de l'ancre.....	22

2.4.2.2	Intervention d'urgence	22
2.4.3	Procédures d'inspection et d'entretien planifié	23
2.4.4	Supervision des tâches.....	23
3.0	Conclusions.....	25
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs	25
3.2	Faits établis quant aux risques.....	25
4.0	Mesures de sécurité	27
4.1	Mesures prises.....	27
4.1.1	Mesures prises par le Bureau de la sécurité des transports du Canada	27
4.1.2	Mesures prises par la société British Columbia Ferry Services Inc.	27
4.2	Préoccupations liées à la sécurité	30
Annexes		
	Annexe A - Sigles et abréviations.....	33
Photos		
Photo 1	Le <i>Queen of Oak Bay</i> échoué à la marina Sewell.....	1
Photo 2	Pupitre de commande de la timonerie.....	5
Photo 3	Tableau synoptique de la salle des machines	5
Photo 4	Régulateur du moteur n° 1 et tringlerie débranchée des crémaillères d'injection.....	9
Figures		
Figure 1	Disposition générale des compartiments au milieu du navire.....	2
Figure 2	Mode 1 et mode 2.....	4
Figure 3	Croquis et vue aérienne de la baie Horseshoe.....	7

1.0 Renseignements de base

1.1 Fiche technique du navire

Nom du navire	<i>Queen of Oak Bay</i>
Numéro officiel	396065
Port d'immatriculation	Victoria (C.-B.) ¹
Pavillon	Canada
Type	Traversier roulier amphidrome
Jauge brute	6969
Longueur ²	139,35 m
Tirant d'eau	Avant : 5,5 m Arrière : 5,5 m
Construction	1981, Victoria (C.-B.)
Propulsion	Deux moteurs diesel MaK type 12 M551 AK développant 11 860 BHP, entraînant deux hélices à pas variable (une à chaque extrémité du navire)
Capacité	1442 passagers et membres d'équipage, 360 véhicules
À bord	544 passagers, 36 membres d'équipage, 76 véhicules
Propriétaires / gestionnaires	British Columbia Ferry Services Inc. (BC Ferries), Victoria (C.-B.)



Photo 1. Le *Queen of Oak Bay* échoué à la marina Sewell

¹ Voir l'annexe A pour la signification des sigles et abréviations.

² Les unités de mesure utilisées dans le présent rapport respectent les normes de l'Organisation maritime internationale (OMI) ou, à défaut, celles du Système international d'unités.

1.1.1 Renseignements sur le navire

Le *Queen of Oak Bay* est un navire amphidrome doté d'une timonerie, d'un propulseur à hélice à pas variable et d'un gouvernail à chaque extrémité du navire. La salle des machines est située au milieu du navire. Les deux extrémités du navire sont presque identiques; elles sont numérotées respectivement n° 1 et n° 2. C'est ce qui détermine les côtés bâbord et tribord du navire et la numérotation des moteurs dans la salle des machines. (Voir Figure 1.)

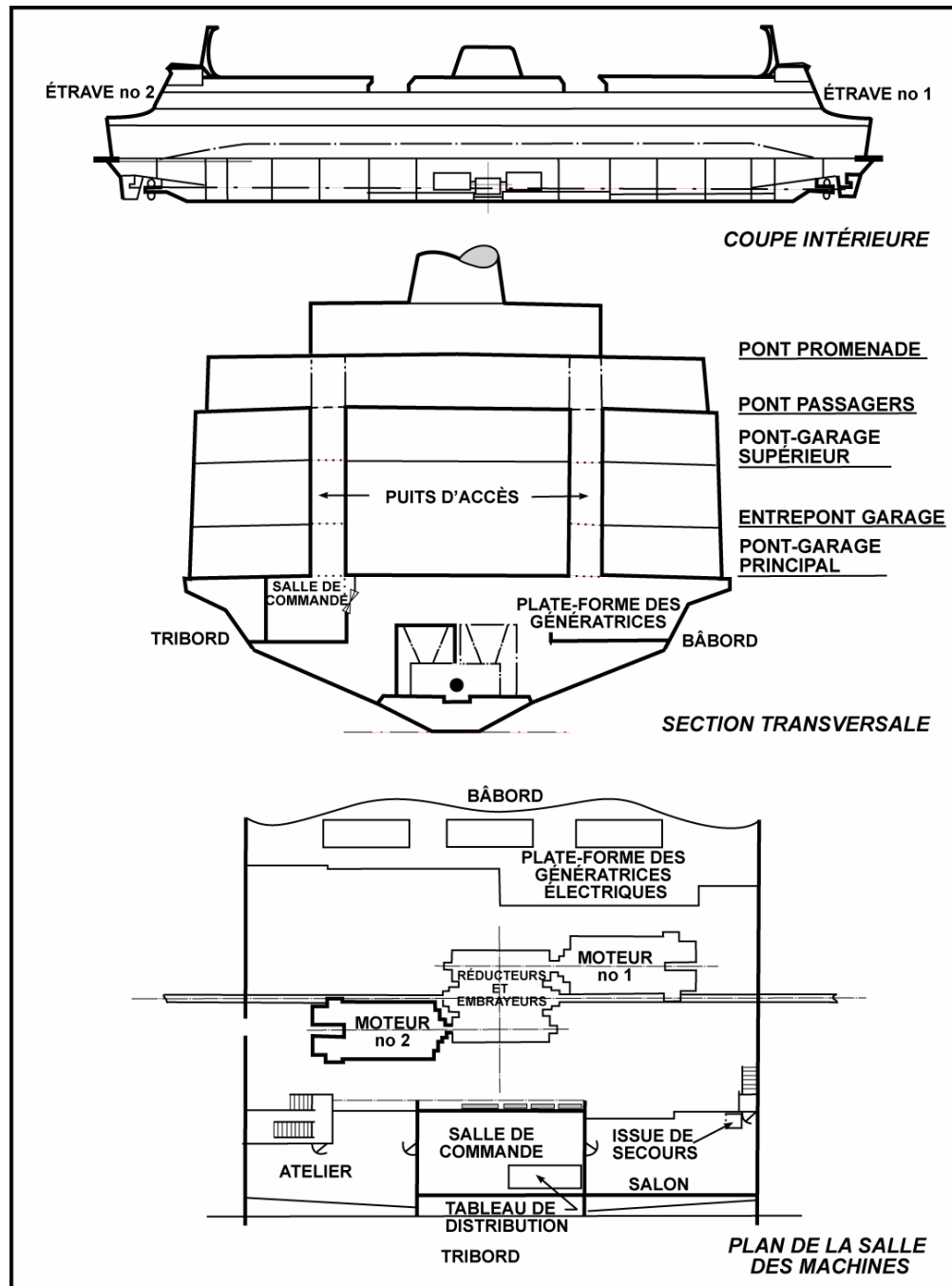


Figure 1. Disposition générale des compartiments au milieu du navire

Le navire est doté d'une ancre (avec guindeau, bloc d'alimentation et commandes) située dans un compartiment distinct dans la partie tribord avant du pont-garage principal à l'extrémité n° 1. (Lorsque le traversier navigue avec l'extrémité n° 2 vers l'avant, l'ancre est située et mouillée sur la hanche bâbord du navire.) L'accès au compartiment se fait uniquement par une porte qui est normalement fermée. Le mouillage de l'ancre se fait en retirant le dispositif de verrouillage puis en dégageant le frein de guindeau³.

La salle des machines contient deux moteurs de propulsion principaux, trois moteurs auxiliaires servant à la production d'électricité, ainsi que leurs équipements connexes. Deux arbres porte-hélice et des arbres intermédiaires relient les moteurs principaux aux hélices au moyen d'engrenages réducteurs.

La salle de commande des machines est située dans la salle des machines, du côté bâbord⁴. Elle contient le tableau de distribution électrique principal et des dispositifs permettant de commander à distance le démarrage ou l'arrêt des moteurs principaux et leur équipement connexe et de les surveiller. Le côté intérieur de la salle de commande des machines est vitré, et les deux moteurs principaux sont en partie visibles.

1.1.2 Postes de manœuvre de la salle des machines et de la timonerie

Le poste de manœuvre de la salle des machines est situé dans la salle de commande des machines. On y trouve des transmetteurs d'ordres et des leviers de commande de propulsion ainsi que des commandes pneumatiques pour embrayer ou débrayer les embrayeurs, arrêter les moteurs principaux et faire le transfert des commandes de la salle des machines à la timonerie. On y trouve également des instruments de surveillance de l'appareil de propulsion et des tableaux d'alarme.

Chaque timonerie est dotée d'un poste de manœuvre situé à l'avant du pupitre de barre offrant une vue dégagée vers l'avant. On y trouve, comme dans le poste de manœuvre de la salle des machines, des transmetteurs d'ordres et des leviers de commande de propulsion ainsi que des commutateurs pneumatiques pour transférer les commandes d'une timonerie à l'autre et pour sélectionner le mode de propulsion du navire. Les leviers de commande de propulsion sont des manettes de formes différentes : ainsi la manette en T commande la propulsion arrière et est située du côté droit, et la manette en L commande la propulsion avant et se trouve à la gauche de l'opérateur. (Voir Photo 2.)

La barre de chaque timonerie commande le gouvernail arrière correspondant. Par exemple, la barre de la timonerie n° 2 (extrémité n° 2 du navire) commande le gouvernail de l'extrémité n° 1 du navire et vice versa. Règle générale, le timonier utilise la barre pour faire les changements de cap pendant la traversée. À partir de la timonerie, on peut aussi contrôler le gouvernail de l'étrave via un levier de direction (*jog steering lever*) situé sur le poste de manœuvre. Un autre levier de direction situé au-dessous contrôle le gouvernail à l'arrière du navire.

³ Les exercices d'entraînement indiquent qu'il faut environ 3 minutes pour mouiller l'ancre.

⁴ Les références de direction sont données par rapport à l'étrave du navire. L'étrave n° 2 était considérée comme étant l'avant du navire au moment de l'accident.

Les deux leviers de direction sont utilisés durant les manœuvres d'accostage lorsqu'il faut un surcroît de manœuvrabilité. Le capitaine utilise alors à la fois les deux leviers de commande de propulsion et les deux leviers de direction.

1.1.3 Deux modes de propulsion

Il y a deux moteurs principaux, chacun doté de deux embrayeurs pneumatiques; cet aménagement procure deux façons d'actionner les hélices. Le pas d'hélice peut être modifié et la plage de vitesse de rotation des moteurs principaux se situe entre 325 et 450 tours par minute (tr/min). La vitesse du navire est contrôlée par un combinateur pneumatique relié au levier de commande de propulsion qui permet de modifier automatiquement le pas d'hélice et la vitesse de rotation du moteur. (Voir les modes de propulsion à la Figure 2.)

Mode 1

En mode de propulsion 1, toute la puissance produite par les deux moteurs principaux est utilisée par une seule hélice. Ce mode est utilisé lorsque le navire a terminé ses manœuvres et est en route pour la traversée. Seule l'hélice arrière est utilisée, ce qui est obtenu en embrayant les embrayeurs 1A et 2B, ou 1B et 2A.

Mode 2

En mode de propulsion 2, les quatre embrayeurs sont embrayés, entraînant les deux hélices. Ce mode est utilisé principalement pour les manœuvres d'accostage et d'appareillage. La quantité de puissance absorbée par chaque hélice peut être modulée en réglant le pas d'hélice; toutefois, le rapport par défaut est de 70:30 ou 60:40, l'hélice avant recevant la plus petite quantité de puissance puisqu'elle sert à ralentir le navire.

Les deux moteurs principaux sont accouplés mécaniquement dans les deux modes et ensemble ils forment comme un seul moteur. Il n'y a pas de moyen automatique d'isoler les moteurs en toute sécurité en cas de défaut de fonctionnement d'un ou l'autre moteur. Tout changement de l'état de fonctionnement d'un moteur est automatiquement et instantanément répercuté dans l'autre⁵.

De multiples combinaisons de moteurs, d'embrayeurs et d'hélices sont également possibles et peuvent être commandées depuis le poste de commande de la salle de commande des machines, et un ou l'autre des moteurs peut entraîner une ou l'autre hélice.

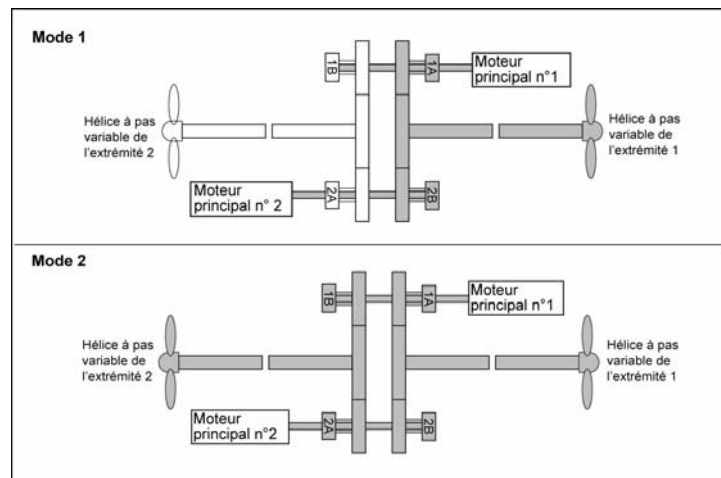


Figure 2. Mode 1 et mode 2

⁵ Par exemple, dans les deux modes de propulsion, une augmentation de la vitesse de rotation d'un moteur entraîne une augmentation immédiate de la vitesse de l'autre moteur.

1.1.4 Commutateurs de mode sur les pupitres de commande

Normalement, le navire est manœuvré, et la vitesse de rotation du moteur ainsi que le pas d'hélice sont contrôlés depuis la timonerie. Le pupitre de la timonerie possède un commutateur de mode. Il n'y a pas d'indicateur permettant de vérifier si la commande donnée par le commutateur a été exécutée correctement ou précisant le nombre d'embrayeurs embrayés et lesquels des quatre embrayeurs sont embrayés. Dans la timonerie, l'opérateur peut vérifier l'embrayage des embrayeurs uniquement en regardant les compte-tours des arbres porte-hélice sur le même pupitre. (Voir Photo 2.)

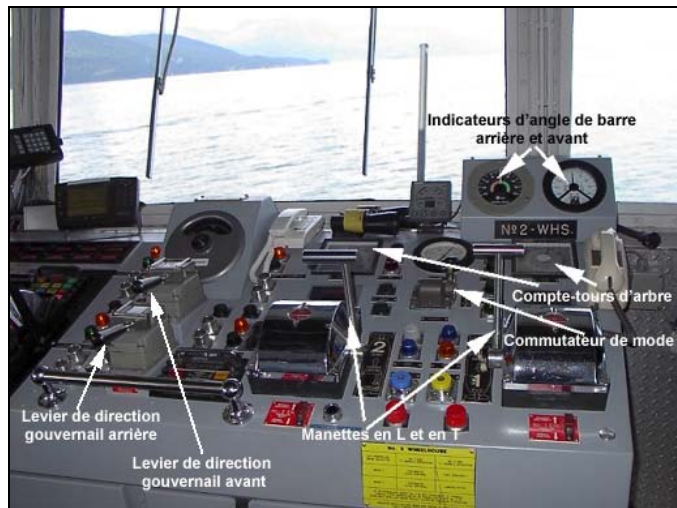


Photo 2. Pupitre de commande de la timonerie

Des lampes témoins sur le pupitre de la salle de commande des machines indiquent lesquels des quatre commutateurs de commande d'embrayage sont embrayés. Un tableau synoptique affiche constamment l'embrayage des embrayeurs, le fonctionnement des moteurs principaux, le pas d'hélice et la timonerie utilisée, etc. (voir Photo 3), ce qui permet aux mécaniciens de surveiller en tout temps l'état de fonctionnement des embrayeurs et de l'appareil de propulsion.

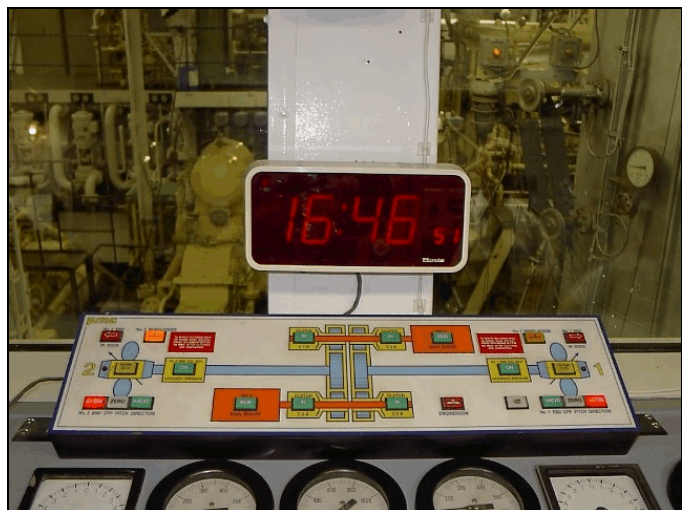


Photo 3. Tableau synoptique de la salle des machines

Ni la salle de commande des machines ni la timonerie n'est équipée d'une alarme sonore directe pour alerter les opérateurs en cas de débrayage accidentel ou involontaire d'un embrayeur.

1.1.5 Description d'une manœuvre typique d'accostage et d'appareillage

Typiquement, à la fin de la traversée qui a été effectuée à pleine vitesse, le capitaine met la salle des machines en position « stand by » (attention machines), puis commence à ralentir le navire. Comme le navire est toujours en mode de propulsion 1, le navire est ralenti avec la manette en T (levier de commande de propulsion). Au moment opportun, le capitaine ordonne de passer en mode de propulsion 2; l'hélice avant étant dès lors entraînée, la manette en L est utilisée pour

modifier la vitesse de rotation du moteur et le pas d'hélice, en vue de ralentir le navire. Cela s'obtient en actionnant l'hélice avant dans sa direction de poussée avant. (L'hélice avant et l'hélice arrière tournent ainsi chacune dans leur direction de marche « avant » respective.)

Pendant les manœuvres d'accostage, les gouvernails arrière et avant sont contrôlés par leurs leviers de direction respectifs. La force des remous de l'hélice agit sur les gouvernails, amenant l'avant ou l'arrière du navire à virer dans la direction voulue. Par exemple, le fait de mettre le levier de direction du gouvernail à gauche amène l'avant à virer sur bâbord⁶. Le gouvernail avant assure ainsi une fonction semblable à celle d'un propulseur d'étrave, ce qui est très important pour la sécurité des manœuvres, surtout par mauvais temps.

Une fois le navire à quai, le dispositif de propulsion reste en mode 2, l'hélice avant est réglée sur en arrière lente, et l'hélice arrière, sur en avant lente⁷. Les deux hélices créent ainsi une légère poussée vers l'avant, poussant le navire contre le quai.

Pour les manœuvres d'appareillage, on transfère le contrôle des commandes à l'autre timonerie. L'hélice avant devient alors l'hélice arrière, produisant une poussée permettant au navire d'avancer. Et une fois que le navire s'est éloigné du quai, on passe en mode de propulsion 1.

1.2 Déroutement du voyage

Au moment de l'accident, le *Queen of Oak Bay* était rattaché à la baie Horseshoe (C.-B.) et était utilisé pour la traversée baie Departure-Nanaimo (C.-B.). À 6 h 24, heure avancée du Pacifique⁸, le 30 juin 2005, le traversier débute sa traversée régulière. La durée du trajet de 30 milles marins est environ de 95 minutes. La première traversée se déroule sans incident. À 8 h 34, le navire quitte la baie Departure par temps brumeux par endroits, mais calme, pour son deuxième voyage de la journée. Il transporte 544 passagers, 76 véhicules et 36 membres d'équipage. À 10 h 2, il arrive à la pointe Lookout. Durant la traversée, les moteurs principaux fonctionnent en mode 1; l'hélice arrière est entraînée par les embrayeurs 1A et 2B. Le traversier accoste habituellement au poste à quai n° 2 de la gare maritime de la baie Horseshoe, mais comme ce poste est occupé par le *Queen of Coquitlam*, on lui assigne le poste à quai n° 1, adjacent à la marina Sewell.

⁶ Pour que les gouvernails soient efficaces en l'absence de remous créés par les hélices, la vitesse du navire doit être d'au moins 4 à 5 nœuds.

⁷ Le réglage exact dépend des conditions météorologiques et de l'état de la mer.

⁸ Les heures sont exprimées en heure avancée du Pacifique (temps universel coordonné moins sept heures).

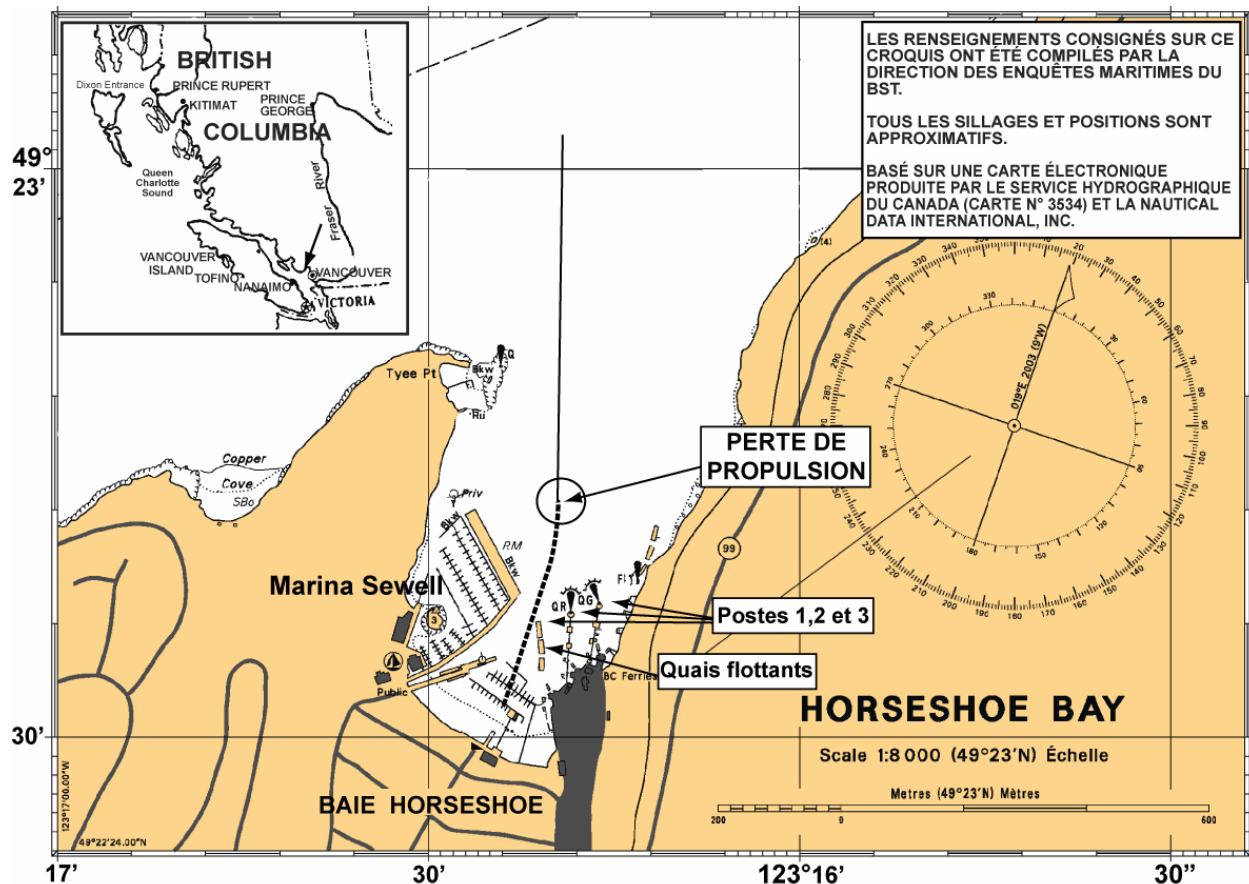


Figure 3. Croquis et vue aérienne de la baie Horseshoe (gracieuseté de BC Ferries)

À 10 h 2, le capitaine met la salle des machines en position « *stand by* » (attention machines) pour l'arrivée à la baie Horseshoe. À 10 h 5, il passe en mode de propulsion 2, enbrayant les quatre embrayeurs. Le navire est aligné sur le centre du poste à quai n° 1, mais à 10 h 8, à environ 200 m des quais flottants, le navire perd toute puissance de propulsion. Constatant que les hélices ont arrêté de tourner, le capitaine appelle la salle des machines pour signaler la perte de puissance et ordonne que les moteurs soient remis en marche et que la puissance soit rétablie.

Dans la salle des machines, les mécaniciens voient que les leviers de commande des embrayeurs sont toujours en position verrouillée mais que les embrayeurs ont en fait débrayé et que le moteur principal n° 1 s'est arrêté alors que le moteur n° 2 est toujours en marche, apparemment à son régime de ralenti. Diverses alarmes se sont déclenchées. Les mécaniciens tentent de remettre le moteur principal n° 1 en marche pour rétablir la puissance.

Pendant que le navire fait entendre des coups de sifflet, le capitaine ordonne de mouiller l'ancre, mais aucun membre d'équipage ne se trouve à l'ancre; conformément aux pratiques de bord, le matelot chargé de desserrer le frein en cas d'urgence effectue d'autres tâches ailleurs sur le navire. L'ancre n'est pas mouillée.

Un impact imminent est annoncé, et une annonce est faite pour informer les passagers qu'ils doivent prendre une position de protection.

Sous l'effet de la dernière sollicitation de la barre à droite visant à maintenir l'alignement sur le quai, le navire tourne lentement sur tribord vers la marina. Le capitaine donne d'autres ordres et la barre est mise à gauche pour corriger la situation. La vitesse d'approche étant de 3 à 4 nœuds, la barre à gauche ne produit pas d'effet, et le traversier continue son évolution sur tribord, heurtant des embarcations amarrées à la marina avant de s'échouer dans la marina.

Il n'y avait que quelques personnes sur les jetées et dans les embarcations à la marina au moment de l'accident; personne n'a été blessé.

1.3 *Avaries et dommages*

Le navire a subi de petites avaries à l'hélice n° 2 et des éraflures à la coque. La marina a été lourdement endommagée et 28 embarcations de plaisance amarrées ont subi d'importantes avaries.

1.4 *Régulation de la vitesse de rotation des moteurs principaux*

La plage de vitesse de rotation des moteurs principaux se situe entre 325 tr/min et 450 tr/min. La vitesse de rotation et la charge des moteurs peuvent être modulées par les leviers de commande de propulsion qui se trouvent dans les timoneries et dans la salle de commande des machines. Chaque moteur est doté d'un régulateur hydraulique servant à réguler la vitesse de rotation du moteur. Le régulateur permet également de stabiliser la vitesse de rotation du moteur suite aux variations extérieures (variations du vent, de la météo, de l'état de la mer, des mouvements du navire) qui modifient la charge imposée au moteur.

Le régulateur reçoit des signaux d'entrée pneumatiques, et son arbre de sortie est relié mécaniquement aux crémaillères d'injection. Selon les signaux d'entrée, le régulateur agit sur les crémaillères d'injection pour augmenter ou diminuer le débit de combustible injecté dans les cylindres de façon à maintenir la vitesse de rotation du moteur dans la plage voulue.

Chaque moteur comporte deux rangées de six cylindres disposés en V. Chaque cylindre est doté d'une pompe à combustible dont la crémaillère d'injection est reliée à un arbre commun faisant toute la longueur du moteur. Un autre arbre qui passe en travers du moteur relie les deux arbres communs au levier de l'arbre de sortie du régulateur au moyen de tringleries. Le lien entre l'arbre de sortie du régulateur et les arbres du moteur, les leviers et les tringleries est assuré par des chevilles d'acier et des écrous à créneaux, la tension étant assurée par des goupilles traversant les chevilles et les écrous. Le régulateur est entraîné par l'arbre à cames du moteur, à partir de sa prise de force. Le régulateur est fixé au moteur au moyen de quatre boulons d'ancrage.

Le mouvement rotatif de l'arbre de sortie du régulateur est transmis à l'arbre commun et aux crémaillères d'injection. Des dispositifs d'arrêt et des capteurs de surveillance sont reliés aux arbres communs, y compris un déclencheur de survitesse, un indicateur de position des crémaillères d'injection et un dispositif d'arrêt d'urgence manuel.

En cas de défaillance, aucun dispositif du mécanisme de régulation du combustible n'assure la remise à zéro des crémaillères d'injection; il n'y a aucune exigence réglementaire en ce sens.

1.4.1 Anomalies décelées sur les tringleries des régulateurs et du système de commande de combustible des moteurs principaux

L'inspection des tringleries des moteurs principaux effectuée après l'accident a révélé ce qui suit :

Un écrou à créneaux de l'axe de liaison qui sert à raccorder le levier de l'arbre de sortie du régulateur du moteur principal n° 1 à la tringlerie de commande a été trouvé sur les tôles de varangue sous le régulateur. La tringlerie n'était plus raccordée à l'axe de liaison du levier de l'arbre de sortie, de sorte que le régulateur s'était débranché de la tringlerie contrôlant les crémaillères d'injection du moteur. (Voir Photo 4.)

Aucun fragment de la goupille de verrouillage n'a été trouvé à proximité de l'écrou. Aucun fragment n'a non plus été trouvé dans le trou alésé de l'axe de liaison ou de l'écrou.

L'orientation de l'axe de liaison en place ne respectait pas les indications des dessins du fabricant selon lesquels l'axe de liaison devait être disposé tête du côté de la bielle, avec l'écrou du côté extérieur du levier de l'arbre de sortie. Rien n'indique que cette orientation de l'axe de liaison ait entraîné un effet ou une condition néfaste.

L'axe de liaison était conçu pour s'insérer dans son trou alésé dans le levier de sortie. L'usure avait créé un jeu excessif entre l'axe de liaison et le trou alésé.

L'ensemble axe de liaison-écrou du moteur principal n° 2 était différent de celui du moteur n° 1 et ne provenait pas du fabricant. L'axe de liaison avait été façonné à partir d'une barre hexagonale, et son verrouillage était assuré par une rondelle à ressort insérée sous un écrou hexagonal ordinaire, et non par une goupille. Il avait un filetage ½ - 20 UNF (filetage unifié à pas fin UNF). Les essais ont révélé un jeu excessif entre le boulon, les rondelles plates, la rondelle à ressort et l'écrou⁹. La méthode de verrouillage de l'écrou a été jugée inadéquate pour ce type d'application.

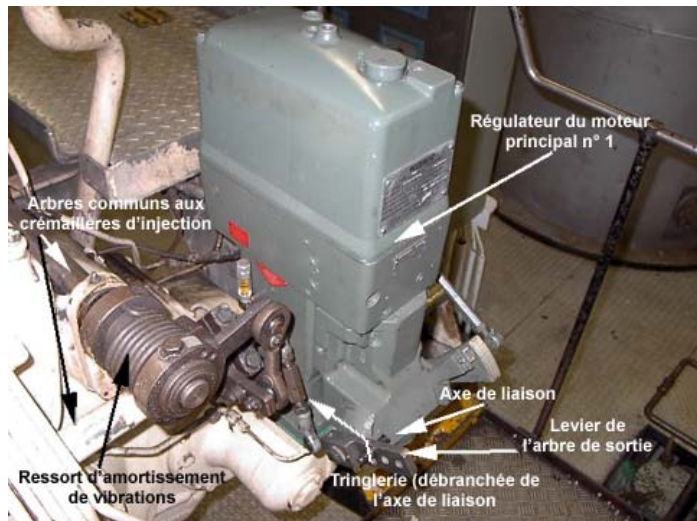


Photo 4. Régulateur du moteur n° 1 et tringlerie débranchée des crémaillères d'injection

Certaines tringleries avaient été assemblées de sorte qu'elles se trouvaient en angle par rapport à d'autres tringleries et bielles plutôt qu'à angle droit. Les tringleries comportent des joints sphériques qui tolèrent un certain défaut d'alignement. Les angles formés étaient suffisamment importants pour exercer un léger

⁹ On peut obtenir le rapport technique LP 072/2005 en s'adressant au Bureau de la sécurité des transports du Canada.

moment de flexion sur les bielles au lieu des simples contraintes de tension et de compression prévues dans leur conception; les angles n'étaient toutefois pas suffisamment importants pour causer des dommages.

Un autre axe de liaison de l'arbre de sortie du régulateur du moteur principal n° 2 a été trouvé plié et endommagé. Cette tringlerie de l'arbre de sortie du régulateur envoie un signal au régulateur de pas d'hélice et à l'indicateur de position des crémaillères d'injection, dans la salle de contrôle des machines. On a jugé qu'il s'agissait d'une condition préexistante puisqu'il ne s'exerçait sur la tringlerie aucun effet de couple important qui aurait causé des dommages par suite de la survitesse du moteur.

1.4.2 Description des tringleries et des régulateurs des moteurs principaux d'autres navires

Le *Queen of Oak Bay* a quatre navires jumeaux de catégorie C. Deux de ces navires, le *Queen of Surrey* et le *Queen of Coquitlam*, ont été inspectés. Les moteurs principaux et la disposition des régulateurs du *Queen of Surrey* étaient semblables à ceux du *Queen of Oak Bay*, et certaines tringleries avaient été assemblées de sorte qu'elles se trouvaient en angle (plutôt que perpendiculaires) à d'autres tringleries et bielles.

Le levier de l'arbre de sortie du régulateur comporte plusieurs trous pour la fixation de l'axe de connection. Sur les deux navires inspectés, l'axe était fixé sur les trous inférieurs. La fixation à un trou supérieur augmente le moment produit par l'arbre de sortie, permettant au régulateur de déplacer les crémaillères d'injection avec un couple moindre. Le déplacement radial total de l'arbre de sortie et le déplacement linéaire correspondant des crémaillères d'injection sont aussi plus importants, ce qui augmente la sensibilité du régulateur et le risque de fluctuation constante de la vitesse du moteur. Le choix de l'emplacement optimal de l'axe se fait lors du réglage initial du moteur ou après le remplacement des composants principaux ou la révision moteur.

1.5 Dispositifs de protection sur les moteurs principaux

Tous les moteurs sont dotés de dispositifs de protection pour les protéger contre les conditions anormales de fonctionnement. Il peut s'agir d'alarmes qui se déclenchent à des valeurs prédéterminées ou d'interrupteurs qui arrêtent automatiquement le moteur si une anomalie n'est pas rectifiée.

Les moteurs principaux du *Queen of Oak Bay* étaient dotés de deux types de dispositifs d'arrêt instantané : un dispositif de protection automatique contre la survitesse et un dispositif d'arrêt d'urgence manuel. En cas de pression insuffisante de l'huile de lubrification, de température élevée de l'eau de refroidissement ou d'une autre irrégularité semblable, une alarme est déclenchée et le mécanicien de garde peut choisir de commander un arrêt d'urgence. Cette commande s'opère par voie d'un cylindre pneumatique qui, une fois activé, déclenche un verrouillage et dégage un ressort qui déplace les crémaillères d'injection vers la position zéro combustible. Après que le moteur s'est arrêté, la remise à zéro du déclencheur de survitesse exige de le faire tourner d'un tour complet avec de l'air de démarrage afin de réarmer le cylindre pneumatique. Le réarmement du cylindre pneumatique après une mise à l'arrêt manuelle exige de régler le contrôleur sur la position normale.

Pour éviter qu'un moteur défectueux ne perturbe l'autre moteur et pour assurer la mise à l'arrêt du moteur en toute sécurité, dès que les crémaillères d'injection sont déplacées vers la position zéro combustible, un microrupteur est déclenché et envoie un signal pour débrayer l'embrayeur lors de la mise à l'arrêt du moteur.

Les moteurs n'ont pas de mécanismes d'arrêt automatique en cas de faible pression de l'huile de lubrification ou de température élevée de l'eau de refroidissement dans les enveloppes de cylindres. La réglementation ne l'exige pas.

1.6 Carénage de mi-vie

Le *Queen of Oak Bay* a été construit en 1981. En 2004-2005, il a subi un carénage de mi-vie à la Vancouver Drydock Company au cours duquel un grand nombre de ses équipements ont été remplacés ou réparés. Les travaux ont été effectués par ce chantier naval et par divers sous-traitants dont les noms avaient été suggérés. Prime Mover Controls est l'un de ses entrepreneurs. Le chantier naval a mis sur pied un bureau de projet indépendant dirigé par un gestionnaire pour organiser, exécuter, surveiller et vérifier les réparations.

Le carénage de mi-vie comprenait :

- des inspections, des opérations d'entretien planifié et des réparations à la machinerie et à l'équipement de la salle des machines et du pont;
- une révision et un entretien des régulateurs des moteurs principaux et du système de commande pneumatique;
- l'étalonnage et le remplacement de nombreuses jauges analogiques de la salle de commande des machines par des jauges numériques.

1.6.1 Détermination, suivi et contrôle des travaux

Le navire utilise un logiciel pour la gestion de l'entretien planifié du navire, la base de données des équipements du navire, le contrôle des stocks du navire, et le système de génération des bons de travail. Au moment de l'accident, le navire utilisait les communications entre les équipes de quart. Après que des listes de réparations étaient dressées, discutées avec la direction et finalisées, les mécaniciens les consignaient dans le logiciel et produisaient des numéros de bon de travail.

1.6.2 Équipages et quarts de travail

Un traversier est armé de membres d'équipage rattachés à la gare maritime où il est rattaché. Quatre équipes de mécaniciens sont affectées à un traversier comme le *Queen of Oak Bay* : trois des équipes sont de service pendant que la quatrième est en congé. Il y a trois périodes de service ou quarts : le quart du matin, le quart de l'après-midi et le quart de nuit. Les équipes du matin et de l'après-midi sont dirigées par le chef mécanicien principal ou par un chef mécanicien; l'équipe de nuit est dirigée par un premier mécanicien.

Durant le carénage de mi-vie, le système de quart a été suspendu, et les travaux ont été effectués par des équipes de jour. Le chef mécanicien principal travaillait de 6 h à 14 h 30, et le chef mécanicien, de 14 h 15 à 23 h. Tous deux étaient secondés par des mécaniciens subalternes. Aucuns travaux n'étaient exécutés la fin de semaine ou la nuit. Un temps de chevauchement de 15 minutes était prévu entre les deux quarts de travail pour assurer le changement d'équipe.

Le carénage de mi-vie a débuté le 15 novembre 2004 et s'est terminé le 30 mai 2005. Lors de la planification et durant les quelques premiers mois des travaux, jusqu'à la mi-janvier 2005, le *Queen of Oak Bay* était rattaché à la baie Departure, à Nanaimo, et son équipage était composé de personnes rattachées à cette gare maritime. C'est cet équipage qui a dressé les listes de réparations, et la plupart des rénovations ont été soit entamées directement par lui, soit confiées à des entrepreneurs pendant cette période.

En décembre 2004, la direction de BC Ferries a rattaché le *Queen of Oak Bay* à la baie Horseshoe. La responsabilité du navire et la surveillance du projet de carénage de mi-vie ont ainsi été transférées de l'équipage de Nanaimo à l'équipage de la baie Horseshoe. Comme c'était un nouvel équipage qui effectuerait le carénage de mi-vie, il a été décidé d'accorder au chef mécanicien principal (à la baie Horseshoe) du temps pour se familiariser avec le projet de façon à assurer la continuité. Ainsi, après qu'il a été affecté au navire le 4 janvier 2005, il a passé deux semaines à se familiariser avec les travaux en cours. Ensuite, les équipages ont changé, bien que le premier chef mécanicien principal soit resté assigné au carénage de mi-vie et ait entretenu un contact régulier.

1.6.3 Réparation des régulateurs

BC Ferries a comme pratique d'envoyer les régulateurs à un spécialiste autorisé (Prime Mover Controls) pour révision périodique ou pour réparation en cas de défaillance. Soit l'équipage du navire, soit l'entrepreneur et le sous-traitant, débranche le régulateur du moteur et prend des dispositions pour l'envoyer pour réparation. Après les travaux d'entretien, les régulateurs font l'objet d'essais et sont réglés sur un banc d'essai qui reproduit les paramètres réels du moteur; les régulateurs de tous les moteurs principaux de navire de catégorie C sont ensuite rebranchés et les moteurs sont mis en marche; Prime Mover Controls vérifie alors les réglages, l'étalonnage et le fonctionnement des régulateurs.

Le 20 janvier 2005, les deux régulateurs du navire ont été débranchés des moteurs principaux. Des techniciens de Prime Mover Controls qui se trouvaient justement dans la salle des machines du navire à ce moment les ont apportés à leur atelier.

Le contrat octroyé par BC Ferries à la Vancouver Drydock Company précisait que les régulateurs devaient être envoyés à Prime Mover Controls pour révision. La pratique normale veut que le personnel du navire remonte les régulateurs et que les entrepreneurs raccordent les tringleries; toutefois, le contrat précisait que le chantier naval devait déposer et remonter les régulateurs.

Les dossiers écrits ne sont pas détaillés et les autres renseignements recueillis durant l'enquête n'ont pas permis de confirmer qui a véritablement exécuté les travaux. À la demande du personnel du navire, Prime Mover Controls était revenu à bord du navire et avait effectué des réglages au régulateur du moteur principal n° 1 le 23 juin 2005.

1.7 Description des essais en mer effectués après les réparations

Le 6 juillet 2005, à la suite de l'accident, le *Queen of Oak Bay* a été soumis à des essais en mer. Diverses conditions de fonctionnement et scénarios d'arrêt des moteurs principaux ont été simulés. Les principales constatations observées sont présentées ci-après :

- On a observé que le déclencheur de survitesse du moteur principal n° 1 était réglé à 524 tr/min.
- On a observé que le déclencheur de survitesse du moteur principal n° 2 était réglé à 511 tr/min.
- Lors des essais avec le moteur principal n° 2 en marche et le moteur principal n° 1 à l'arrêt, on a débranché le régulateur du moteur principal n° 1 de ses tringleries de commande du combustible, et on n'a observé aucun mouvement dans les crémaillères d'injection.
- Lors des essais avec le moteur principal n° 1 en marche et le moteur principal n° 2 à l'arrêt, on a débranché le régulateur du moteur principal n° 2 de ses tringleries de commande du combustible, et on n'a observé aucun mouvement dans les crémaillères d'injection.
- On a observé que les deux crémaillères d'injection des rangées A et B du moteur principal n° 2 n'étaient pas réglées de façon équivalente. On a observé que lorsque le moteur a été coupé par son déclencheur de survitesse, les crémaillères d'injection de la rangée B ont été déplacées vers la position zéro combustible, mais celles de la rangée A sont restées à environ 10 mm.
- Lors des essais, en mode de propulsion n° 2, c'est-à-dire les deux moteurs principaux embrayés et donc accouplés, le moteur n° 1 a été accéléré manuellement. Le moteur n° 2 a aussitôt accéléré et l'arbre de sortie de son régulateur a déplacé les crémaillères d'injection vers la position zéro combustible.
- Lors des essais, on a observé que le délai moyen pour le débrayage lorsque les moteurs activaient le déclencheur de survitesse était de 5 secondes.

1.8 Système de gestion de la sécurité et règlements de la flotte

Bien qu'elle ne soit pas tenue d'observer le Code international de gestion de la sécurité (Code ISM), BC Ferries a choisi de le faire. En 1995, elle a obtenu une attestation de conformité pour sa flotte et un certificat de gestion de la sécurité pour le *Queen of Oak Bay*. BC Ferries a

élaboré des systèmes de gestion de la sécurité et obtenu des certificats de gestion de la sécurité pour tous les navires de sa flotte. Ces attestations et certificats ont été délivrés par le Registre de la Lloyd's (Register North America, Inc.)

Pour assurer l'observation continue des exigences du Code ISM et maintenir la validité de son attestation de conformité et de ses certificats de gestion de la sécurité, la direction de BC Ferries et tous les navires de BC Ferries ont fait l'objet de vérifications et de renouvellements périodiques par le Registre de la Lloyd's.

Le système de gestion de la sécurité du *Queen of Oak Bay* exigeait entre autres d'élaborer et d'appliquer des routines d'inspection et d'entretien planifié du navire, et d'assurer l'efficacité du contrôle de la documentation, des communications internes et externes, ainsi que des plans de mesures d'urgence et des procédures pour parer à diverses urgences possibles à bord.

Dans le cadre du système de gestion de la sécurité, BC Ferries a élaboré une politique en matière de réglementation de la flotte et un manuel de procédures. La réglementation de la flotte (*Fleet Regulations*) élaborée par B.C. Ferries est entrée en vigueur en mars 2005. Elle confirme officiellement toutes les politiques de BC Ferries, et le manuel de procédures doit servir de référence.

1.8.1 Procédures relatives à l'inspection et à l'entretien planifié

En plus de l'inspection et de l'entretien annuels des systèmes de régulation à sécurité critique effectués par des professionnels compétents, les mécaniciens de quart sont tenus d'inspecter périodiquement la salle des machines ainsi que les moteurs principaux et auxiliaires. Les éléments à vérifier par les mécaniciens de quart et la nature des vérifications étaient précisés dans des listes de vérifications préparées en fonction du système de gestion de la sécurité du navire et de la réglementation de la flotte. L'inspection des régulateurs des moteurs principaux et auxiliaires et des tringleries de commande du combustible était requise avant le démarrage du matin et à intervalles réguliers par la suite. Les nouvelles équipes de quart devaient le faire également, et vérifier le bon fonctionnement de toute la machinerie avant de débiter leur quart.

Comme les listes de vérifications de la salle des machines ne peuvent pas énumérer tous les détails, les mécaniciens de quart devaient aussi tirer parti de leur expérience, de leurs connaissances et de leur formation.

Selon le système de gestion de la sécurité du navire, les routines d'inspection et d'entretien planifié exigeaient que les moteurs principaux soient démontés et révisés en fonction du nombre d'heures de marche, et diverses routines étaient prévues pour divers composants. Les travaux étaient effectués par le personnel du navire ou par des entrepreneurs à terre. Ni le constructeur des moteurs, ni le personnel de gestion du service technique de l'entreprise, ni les mécaniciens principaux du navire n'avaient prescrit de routines d'inspection et d'entretien planifié précises pour l'inspection ou le renouvellement du levier de l'arbre de sortie ou de l'axe de liaison, au terme d'une tâche critique pour la sécurité.

1.8.2 *Communications internes et tenue de dossiers*

Pendant le carénage de mi-vie, la plupart des communications entre les deux équipes de mécaniciens, le gestionnaire de projet et son équipe et les entrepreneurs à terre se faisaient verbalement. Les mécaniciens du navire notaient chaque jour les progrès de tous les travaux effectués dans la salle des machines, consignait les observations voulues dans la page du journal de quart du logiciel. Une autre section du logiciel traite de l'entretien planifié; on y trouve l'historique des interventions des mécaniciens pour les divers éléments de la machinerie du navire.

Le système de gestion de la sécurité du navire exige que des documents soient conservés pour de nombreuses tâches à bord du navire, dont le fonctionnement et l'entretien de la machinerie. Ni le journal de quart du logiciel ni les dossiers de l'entretien planifié ne sont des documents contrôlés au sens du système de gestion de la sécurité ou de la réglementation de la flotte; ils sont toutefois conservés deux ans.

Les pages du journal de quart du logiciel indiquent que les deux régulateurs ont été débranchés des moteurs principaux et enlevés du navire puis ramenés à bord, mais ni la page du journal de quart ni la base de données des équipements du navire n'indique précisément quels travaux ont été effectués ou si des problèmes sont survenus lors de la réparation des moteurs et de sa mise en marche initiale.

1.9 *Certificats du navire et brevets de l'équipage*

Le *Queen of Oak Bay* possédait les certificats, l'armement en personnel et l'équipement exigés par la réglementation. En outre, BC Ferries et le navire étaient titulaires de certificats de conformité volontaire aux exigences du Code ISM.

2.0 *Analyse*

2.1 *Perte de propulsion*

Le rôle du régulateur du moteur est de réguler la vitesse de rotation du moteur en fonction d'une vitesse établie, empêchant le moteur de s'emballer. Lorsque l'écrou à créneaux s'est desserré sous l'effet des vibrations, la tringlerie est tombée. Le régulateur du moteur principal n° 1 s'est alors débranché de ses crémaillères d'injection et la vitesse du moteur ne pouvait plus être régulée. Ni les arbres de régulation du combustible ni les crémaillères d'injection individuelles n'étaient dotés de ressorts de rappel; rien n'exigeait qu'ils le soient. Il était donc impossible d'empêcher la survitesse du moteur puisque les crémaillères d'injection ne pouvaient être ramenées à la position zéro.

Le moteur a été coupé par son déclencheur de survitesse qui pourrait avoir été activé lorsque le moteur a accéléré à mesure que ses crémaillères d'injection progressaient vers l'alimentation maximale en combustible. Cependant, lors des simulations en mer, on a débranché le régulateur d'un moteur, et les crémaillères d'injection n'ont bougé ni dans un sens ni dans l'autre.

Les conditions des essais n'étaient toutefois pas identiques à celles du moment de l'accident : le moteur à l'essai n'était pas en marche et il n'avait pas été réchauffé dans la même mesure. Comme il s'agit d'un moteur en V à 60°, les crémaillères d'injection sont inclinées à 30°. Il faut prévoir que sous l'influence de la gravité et des vibrations induites par la machinerie en marche, les crémaillères d'injection vont se déplacer vers le bas, c'est-à-dire vers l'alimentation maximale en combustible. Bien que ceci ne se soit pas produit lors des essais, il reste possible que si les conditions de la simulation avaient été identiques à celles du moment de l'accident, les crémaillères se seraient déplacées vers le bas, soit vers l'alimentation maximale en combustible, et auraient entraîné une survitesse du moteur.

Un scénario plus vraisemblable est que comme le navire effectuait des manœuvres, la charge imposée aux moteurs était constamment réduite par les navigateurs. Il est possible que le régulateur se soit débranché précisément au moment de la réduction du pas des hélices. Comme les essais lors des simulations l'ont démontré, les crémaillères d'injection ne se seraient pas déplacées, de sorte que la quantité de combustible admise dans les cylindres serait demeurée inchangée alors que la charge imposée aux moteurs avait fortement baissé. Cette réduction de la charge sans réduction correspondante de la quantité de combustible injecté aurait fait en sorte que la vitesse de rotation des moteurs aurait augmenté au point d'activer le déclencheur de survitesse.

Le navire était en mode de propulsion 2, et comme les deux moteurs étaient accouplés, l'augmentation de vitesse de rotation du moteur n° 1 a aussitôt entraîné une augmentation correspondante de la vitesse de rotation du moteur n° 2. On a constaté que le déclencheur de survitesse du moteur n° 2 était réglé à 511 tr/min et celui du moteur n° 1, à 524 tr/min. Le déclencheur de survitesse du moteur n° 2 s'est activé en premier, et celui du moteur n° 1 s'est activé peu après, mettant les deux moteurs à l'arrêt probablement en quelques secondes.

Les essais menés après l'accident ont permis d'établir que le régulateur du moteur n° 2 aurait réagi à l'augmentation de vitesse de rotation en tentant de réduire l'alimentation en combustible du moteur. L'accouplement des deux moteurs aurait fait que le moteur n° 1 aurait entraîné le moteur n° 2, même si le régulateur avait réduit l'alimentation en combustible à zéro.

L'activation des deux déclencheurs de survitesse aurait envoyé un signal aux embrayeurs, entraînant leur débrayage. Cette indication ne serait pas apparue au pupitre de la timonerie, où le commutateur aurait toujours été en position hélice avant et hélice arrière (mode 2).

Le moteur principal n° 2 a continué de tourner malgré l'activation du déclencheur de survitesse, car même si ce dispositif de protection avait déplacé les arbres de commande de combustible vers la position zéro combustible, les crémaillères d'injection de la rangée A conservaient une course d'environ 10 mm parce qu'elles avaient été mal étalonnées. C'était suffisant pour permettre au moteur de continuer de tourner, mais pas pour lui permettre de supporter une charge appréciable. Le débrayage du moteur a éliminé son accouplement aux hélices, réduisant encore la charge imposée.

Du fait qu'il manquait une goupille sur l'écrou de fixation de la tringlerie de commande du régulateur du moteur principal n° 1, le régulateur du moteur s'est débranché des crémaillères d'injection. Les deux moteurs principaux étaient accouplés à ce moment, de sorte que l'emballement du moteur principal n° 1 a entraîné le moteur principal n° 2 jusqu'au régime de coupure de l'alimentation en combustible, privant le navire de propulsion.

La vitesse du *Queen of Oak Bay* était alors de 3 à 4 nœuds. Faute de remous apportés par les hélices aux gouvernails, la vitesse du navire est tombée au-dessous de la vitesse nécessaire pour gouverner; de ce fait, un changement de cap du navire ne pouvait pas être effectué.

2.1.1 Goupille manquante sur l'écrou de fixation de l'axe de liaison du régulateur

Pour rebrancher le régulateur au moteur principal, on doit placer le moteur sur son support, aligner l'engrenage moteur et serrer quatre écrous de fixation. Le bras de liaison de l'arbre de sortie du régulateur est ensuite branché aux tringleries des arbres de régulation du combustible. Pour fixer les tringleries à l'axe de liaison du levier de l'arbre de liaison, on doit insérer une goupille dans l'écrou à créneaux.

Le carénage de mi-vie du *Queen of Oak Bay* avait été terminé le 8 juin 2005. Moins d'un mois plus tard, l'écrou s'est desserré et est tombé. Pour que cela se produise, il faut soit que la goupille de verrouillage servant à retenir l'écrou n'ait pas été posée, soit qu'elle ait été posée incorrectement.

La supervision ou la vérification est essentielle pour assurer que les travaux prévus sont achevés convenablement, peu importe qu'ils soient exécutés par le personnel du navire ou par un entrepreneur. Cela est crucial lorsque des composants critiques de moteur ne sont pas aisément visibles lors des opérations de routine. Le fait que le problème de la goupille n'a pas été détecté semble indiquer que la vérification des travaux a été inefficace à tous les niveaux.

2.2 Arrêt d'un moteur et effet sur des moteurs accouplés

2.2.1 Arrêt d'un moteur en survitesse

Les deux moteurs principaux sont accouplés dans les modes 1 et 2 et ensemble ils forment comme un seul moteur. Ainsi, un changement de la vitesse de rotation d'un moteur entraîne immédiatement un changement correspondant dans l'autre moteur, et l'arrêt d'un moteur en survitesse entraîne l'arrêt de l'autre.

La raison étant que les moteurs ont des vitesses de rotation similaires et des seuils de survitesse similaires¹⁰. Les déclencheurs de survitesse coupent l'alimentation du moteur en combustible, mais comme ils sont mécaniques, il y a une différence de quelques tours par minute entre les réglages des deux moteurs. En supposant que le dispositif de coupure du moteur en survitesse est réglé à 520 tr/min sur un moteur et à 524 tr/min sur l'autre, deux situations peuvent survenir :

- si le moteur réglé à 524 tr/min s'emballé, il entraîne le moteur réglé à 520 tr/min, occasionnant l'arrêt des deux moteurs;
- si le moteur réglé à 520 tr/min s'emballé, l'inertie des pièces en mouvement l'amènera vraisemblablement à dépasser les 524 tr/min même après l'interruption de son alimentation en combustible. Le moteur à faible charge pourrait alors entraîner l'emballement du moteur réglé à 524 tr/min, occasionnant l'arrêt des deux moteurs.

Si les déclencheurs de survitesse des deux moteurs sont réglés au même seuil de survitesse, une survitesse d'un ou l'autre moteur entraînera l'arrêt de l'autre.

En fait, le moteur qui fonctionne normalement est également mis à l'arrêt parce que le même détecteur de survitesse sert à envoyer un signal à la fois au cylindre commandant l'arrêt du moteur en survitesse et au cylindre de débrayage.

2.2.2 Arrêts causés par d'autres états défectueux et conception de l'interrupteur d'arrêt

BC Ferries exploite quatre autres navires dotés de dispositifs de propulsion semblables à celui du *Queen of Oak Bay*. Ces navires bénéficient d'une redondance en matière de puissance de propulsion puisqu'ils sont dotés de multiples moteurs, arbres de transmission et hélices. Il n'est pas rare que deux moteurs ou plus soient accouplés à des arbres de propulsion communs, mais leur configuration devrait être telle que les défauts d'un moteur ne puissent pas nuire à l'un ou l'autre des moteurs du système de propulsion.

¹⁰ La réglementation exige que le déclencheur de survitesse soit réglé à 110 % du régime maximal nominal.

Les états défectueux suivants peuvent survenir :

- survitesse du moteur;
- basse pression de combustible;
- basse pression d'air de balayage;
- température de fonctionnement élevée;
- basse pression de l'huile de lubrification;
- défaillance des commandes.

Le système d'alarme de la salle des machines déclenche une alarme si certains de ces états défectueux surviennent. Sur les navires de catégorie C toutefois, seule la survitesse du moteur active le dispositif automatique de coupure. Dans tous les autres cas, il incombe au mécanicien d'utiliser l'interrupteur d'arrêt d'urgence manuel pour couper un moteur défectueux avant qu'il n'entraîne l'arrêt du moteur accouplé.

L'interrupteur d'arrêt d'urgence manuel envoie des signaux séquentiels de débrayage et d'arrêt du moteur. Néanmoins lorsqu'un mécanicien entend une alarme et utilise l'interrupteur d'arrêt d'urgence manuel, le débrayage des embrayeurs se fait en 5 secondes; pendant ce temps, le moteur défectueux ralentit puisque son alimentation en combustible a été coupée. Cependant, si un de ces états défectueux survient alors que l'embrayeur du moteur défectueux est encore embrayé, le moteur défectueux augmente la charge imposée au moteur valide. Le système de régulation du moteur valide tente de maintenir le régime prédéterminé et, pour pallier la charge imposée par le moteur défectueux, le régulateur active les crémaillères d'injection pour augmenter la quantité de combustible. Lorsque les embrayeurs du moteur défectueux finissent par être débrayés au moyen de l'arrêt d'urgence manuel, la charge imposée au moteur valide par le moteur défectueux est éliminée et il se peut que le régulateur du moteur valide ne puisse pas déplacer les crémaillères d'injection assez rapidement pour éviter que le moteur valide ne s'emballe et ne soit coupé à son tour par son déclencheur de survitesse.

Les 13 et 14 février 2007, BC Ferries a effectué des essais sur le *Queen of Surrey* pour vérifier ce scénario. Les deux moteurs principaux ont été placés en mode de propulsion 2, et les conditions de charge existant lors de manœuvres d'accostage ont été simulées. On a constaté qu'en cas d'activation de l'arrêt d'urgence manuel d'un moteur, celui-ci se débrayait en toute sécurité et n'entraînait pas l'arrêt de l'autre moteur accouplé.

Cependant, les essais en mer ont été menés à des vitesses de rotation moteur relativement faibles et n'ont pas simulé la réaction d'un moteur fonctionnant dans la plage de vitesse de rotation supérieure et dont la charge imposée est supérieure, comme c'est le cas pour un moteur défectueux qui débraye subitement.

Il reste possible que sur les traversiers de catégorie C, certains états défectueux puissent exiger l'arrêt rapide d'un moteur principal pour lequel l'isolement automatique de l'autre moteur accouplé n'a pas été prévu, ce qui fait courir un risque au navire, aux passagers, à l'équipage et à l'environnement.

2.3 Évaluation des situations d'urgence

Les pupitres de manœuvre des timoneries des traversiers de catégorie C ne comportent pas de tableau synoptique indiquant l'état de l'appareil de propulsion. Il peut ainsi être trompeur de se fier aux compte-tours des hélices, et sans instruments indiquant la vitesse de rotation des moteurs ou la position des embrayeurs, il est impossible de déterminer si un moteur est débrayé mais en marche, s'il est au ralenti ou à l'arrêt.

À 10 h 8, lorsque le *Queen of Oak Bay* a perdu toute puissance de propulsion, les membres de l'équipe à la passerelle ne savaient pas que les embrayeurs avaient débrayé et que le moteur n° 2 était encore en marche. Ils pouvaient seulement constater que les deux arbres porte-hélice avaient arrêté de tourner; ils ont alors téléphoné à la salle de commande des machines et sans connaître l'état de l'appareil de propulsion, ils ont ordonné que l'équipe machine relance les moteurs. L'ordre a distraité le personnel machine qui n'a pas pu évaluer efficacement la nature de la défaillance.

Dans une situation d'urgence, les décisions doivent être prises en tenant compte de toute l'information disponible. À défaut, les mesures prises par la suite pour régler le problème peuvent être inefficaces et faire courir un risque au navire.

2.4 Système de gestion de la sécurité

2.4.1 Communications internes et tenue des dossiers

Comme les changements de trajet, de gare maritime et d'équipage sont fréquents pour les traversiers et que le système de rotation du personnel de quart ne permet pas des communications directes entre les équipes de quart, il est crucial d'assurer un échange d'informations exactes et détaillées¹¹. L'échange d'informations exactes et détaillées améliore l'efficacité des opérations, optimise l'utilisation des ressources, améliore le rendement et permet de minimiser les erreurs. Il procure aussi un compte rendu historique du rendement du personnel et de l'équipement, et des réparations effectuées. En outre, il permet d'évaluer efficacement les capacités du personnel et d'assurer le suivi de l'évolution du rendement et de l'entretien préventif de l'équipement. Tous ces éléments sont exigés par le Code ISM, le système de gestion de la sécurité du navire et la réglementation de la flotte élaborée par l'entreprise.

La page du journal de quart du logiciel pour la gestion de l'entretien planifié est le principal moyen de consigner et de transmettre des informations pertinentes entre les équipes de quart de tous les navires de BC Ferries, également entre les quarts de travail, et entre les équipages, ainsi qu'entre le navire et le bureau du surintendant. Cette page contient de l'information sur les travaux effectués durant une période de quart et sur les travaux qui n'ont pas encore été effectués. Cependant, cette page n'est pas un document contrôlé. Outre l'identification de la personne qui consigne l'information, du quart de travail et de la date, il n'y a aucun format prédéterminé. Il n'y a pas non plus d'instructions de la direction de BC Ferries ou du chef mécanicien principal sur la façon de remplir la page.

¹¹ Ce facteur est analysé en détail dans le rapport d'enquête M03W0073 du BST sur l'incendie à bord du *Queen of Surrey*.

En raison de l'utilisation des communications verbales et du manque de détail des dossiers, des conclusions n'ont pas pu être tirées sur les raisons pour lesquelles la goupille était absente ou avait été posée incorrectement, ce qui a empêché de déterminer les mesures correctives qui auraient été indiquées par le système de gestion de la sécurité du navire.

2.4.2 Mesures prises par l'équipe à la passerelle et les mécaniciens

2.4.2.1 Mouillage de l'ancre

Les ancres d'un navire peuvent être utilisées pour ralentir ou arrêter le navire en cas de perte de propulsion ou de manœuvrabilité. Lors de la traversée qui a mené à l'accident, l'ancre se trouvait sur la hanche bâbord du navire.

Un matelot à bord du *Queen of Oak Bay* était chargé de mouiller l'ancre en cas d'urgence, mais les pratiques normales à bord n'exigeaient pas qu'un membre d'équipage soit en attente près de l'ancre lors des manœuvres d'accostage et d'appareillage. Au moment de l'événement, le matelot était occupé à d'autres tâches ailleurs et l'ancre n'a pas pu être mouillée, ce qui a privé le navire d'un outil potentiellement important face à une urgence.

2.4.2.2 Intervention d'urgence

Lorsque le *Queen of Oak Bay* a perdu sa propulsion, l'équipe à la passerelle ne pouvait déterminer la situation de l'appareil de propulsion en raison de l'information limitée immédiatement accessible à la passerelle. L'équipe à la passerelle pouvait seulement constater que les deux hélices avaient arrêté de tourner. Comprenant que le navire allait s'échouer dans la marina, l'équipe à la passerelle a demandé au personnel machine de relancer les moteurs pour rétablir la puissance.

L'équipe à la passerelle est arrivée à une conclusion inexacte parce que les instruments du pupitre de manœuvre ne donnaient pas des indications complètes sur l'état des moteurs et des embrayeurs. En conséquence, quand l'équipe à la passerelle a communiqué avec la salle de commande des machines, elle a donné des instructions qui ont entravé les efforts des mécaniciens visant à régler les problèmes techniques.

Il est normal que le personnel machine diagnostique et règle les problèmes opérationnels liés à la machinerie et aux systèmes de la salle des machines. Dans le cas présent, lorsque les deux moteurs principaux se sont arrêtés, des alarmes en indiquant la cause se sont déclenchées dans la salle de commande des machines et dans la salle des machines. L'information était immédiatement accessible aux mécaniciens. Cependant, vu l'urgence de la situation, les mécaniciens ont remis le moteur en marche sans évaluer complètement la situation pour être certains de la cause de l'arrêt.

Les tentatives de remise en marche du moteur principal n° 1 ont été infructueuses parce que l'état défectueux qui avait entraîné l'arrêt n'a été ni diagnostiqué ni rectifié. Remettre une machine en marche sans d'abord déterminer la cause de l'état défectueux augmente le risque de dommages supplémentaires. Par exemple, si l'état défectueux avait été attribuable à un manque d'huile de lubrification ou à une avarie mécanique, la remise en marche du moteur aurait vraisemblablement causé des dommages supplémentaires.

2.4.3 Procédures d'inspection et d'entretien planifié

Les mécaniciens du navire procédaient régulièrement à l'inspection des tringleries des régulateurs et du système de commande de combustible, surtout avant le démarrage. La goupille manquante ou posée incorrectement sur l'écrou à créneaux de l'axe de liaison du levier de l'arbre de sortie du régulateur était petite (pas plus de 30 mm x 3 mm), et le problème est passé inaperçu lors de l'inspection du moteur. Cependant, un axe de liaison raccordé à l'arbre de sortie gravement plié du régulateur du moteur principal n° 2 devait être assez évident. Cette anomalie n'a pas été décelée lors des inspections. D'autres défauts relatifs aux tringleries, sur les deux moteurs, existaient aussi depuis un certain temps, notamment la présence d'un axe de liaison et d'un contre-écrou façonnés et d'un angle inadéquat entre les bielles qui risquait de compromettre le fonctionnement du système de commande de combustible; ces défauts étaient également faciles à déceler et à rectifier.

L'axe de liaison est conçu pour être en ajustement glissant avec le levier de l'arbre de sortie. Avec le temps, l'usure a fait augmenter le jeu, entraînant la création et la propagation de vibrations. Un écrou convenablement serré ne perdrait pas normalement sa tension même s'il a été monté sans dispositif de fixation. Dans le cas présent, les vibrations du moteur amplifiées par l'usure entre les composants ont entraîné le desserrement du dispositif de fixation, ce qui a causé le débranchement des tringleries.

Les composants principaux font généralement l'objet de lignes directrices du fabricant en matière d'inspection et d'entretien. Ces lignes directrices sont fonction des heures d'utilisation et visent à assurer la réparation ou le remplacement en temps utile des pièces usées. L'entreprise a comme pratique de faire réviser les régulateurs chaque année. Par contre, aucune routine d'inspection ou d'entretien planifié n'était prévue pour vérifier l'usure des tringleries.

Des routines et des listes de vérifications pourraient être élaborées pour l'entretien et le montage de chaque élément ou composant d'une machine, mais il serait fastidieux de le faire. Plutôt, il revient au mécanicien ou au technicien de faire preuve d'initiative – en s'appuyant sur ses connaissances, sa formation et son expérience – et de repérer les composants qui subissent de l'usure avec le temps. Des mesures correctives doivent alors être prises et le fait doit être signalé à la fois aux autres mécaniciens et à la direction de l'entreprise.

Le système de gestion de la sécurité élaboré par BC Ferries exige que les mécaniciens principaux inculquent de bonnes pratiques aux mécaniciens subalternes et favorisent un environnement où on cherche activement à rehausser l'efficacité et la sécurité au travail. Dans le cas présent, les régulateurs avaient été de nombreuses fois débranchés du moteur et rebranchés par des mécaniciens et des techniciens différents, mais personne n'avait décelé le jeu accru entre les axes et les tringleries.

2.4.4 Supervision des tâches

Une supervision adéquate peut être un moyen efficace pour assurer que les travaux assignés sont accomplis de façon satisfaisante.

La personne responsable du quart de travail doit déléguer à des personnes choisies les tâches opérationnelles et d'entretien visant à assurer le bon fonctionnement de la machinerie. Le chef mécanicien devrait être sensibilisé à la complexité et aux risques associés à ces tâches. Il devrait donc donner au besoin des instructions opportunes et s'assurer que l'ensemble des travaux a été accompli et vérifié convenablement.

Dans l'industrie du transport aérien, des systèmes de contrôle obligatoires¹² exigent de rigoureuses contre-vérifications et une vérification indépendante pour s'assurer que les travaux ont été exécutés correctement. Aucun système semblable n'existe dans l'industrie maritime même si le Code ISM et les systèmes de gestion de la sécurité appuient les objectifs d'assurer des pratiques d'exploitation sûres et de prévoir des protections contre les risques connus.

Le système de gestion de la sécurité élaboré par BC Ferries identifie de nombreuses tâches à bord du navire qui présentent un risque et prévoit des procédures pour réduire ou éliminer les risques.

L'examen du système de gestion de la sécurité du navire indique que BC Ferries n'a pas procédé à une évaluation des systèmes exigeant un entretien afin d'identifier lesquels sont des systèmes critiques pour la sécurité; BC Ferries n'a pas non plus établi de procédures pour éviter les erreurs lors de l'entretien de ces systèmes.

Il y a eu au moins un autre événement où l'absence de supervision efficace des tâches d'entretien a entraîné une défaillance majeure. Le BST a fait enquête sur cet événement (incendie à bord du traversier *Queen of Surrey*) et a établi les facteurs causals de l'événement et a déterminé que les risques associés auraient pu être atténués par une supervision efficace.

Dans le cas du *Queen of Oak Bay*, l'absence de goupille ou la pose incorrecte de la goupille n'a pas été décelée avant la remise en service du traversier ou par la suite, ce qui révèle des lacunes dans la supervision et le contrôle par BC Ferries des travaux effectués par l'entrepreneur.

¹² Transports Canada et la Federal Aviation Administration précisent quels sont les aéronefs et les composants qui exigent une telle surveillance des tâches d'entretien.

3.0 *Conclusions*

3.1 *Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs*

1. Du fait qu'il manquait une goupille sur l'écrou de fixation de la tringlerie de commande du régulateur du moteur principal n° 1, le régulateur du moteur s'est débranché des crémaillères d'injection; le moteur s'est emballé et a été mis à l'arrêt par son déclencheur de survitesse.
2. En raison de la configuration des moteurs et des embrayeurs, une défaillance unique a compromis l'ensemble du système de propulsion du navire.
3. Après avoir perdu toute sa puissance de propulsion, le navire avait une capacité de gouverne limitée et il est entré dans la marina.

3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. Les procédures de British Columbia Ferry Services Inc. (BC Ferries) ne prévoient pas de directives adéquates sur l'identification et la supervision d'un grand nombre de tâches critiques pour la sécurité.
2. L'utilisation des communications verbales et le manque de détail des dossiers de travail peuvent entraver l'identification des mesures correctives nécessaires à la suite d'un événement.
3. Du fait qu'aucun membre de l'équipage n'était affecté à l'ancre lors des manœuvres d'accostage, l'ancre n'a pas pu être mouillée, ce qui a privé le navire d'un outil potentiellement important face à une urgence.
4. Dans une situation d'urgence, les décisions doivent être prises en tenant compte de toute l'information disponible. À défaut, les mesures prises par la suite pour régler le problème peuvent être inefficaces et faire courir un risque au navire.
5. Sur les traversiers de catégorie C, certains états défectueux peuvent exiger l'arrêt rapide d'un moteur principal pour lequel l'isolement automatique de l'autre moteur accouplé n'a pas été prévu.

4.0 Mesures de sécurité

4.1 Mesures prises

4.1.1 Mesures prises par le Bureau de la sécurité des transports du Canada

Le 19 juillet 2005, l'avis de sécurité maritime 03/05 a été envoyé à la société British Columbia Ferry Services Inc. (BC Ferries), avec copie à la Sécurité maritime de Transports Canada et au Registre de la Lloyd's, pour l'informer de l'absence de dispositif à sécurité intégrée sur le système de propulsion du *Queen of Oak Bay* et d'autres navires de catégorie C.

Transports Canada a répondu qu'il appuyait l'avis voulant que BC Ferries s'assure que la défaillance d'un moteur n'entraîne pas la perte totale de propulsion d'un traversier de catégorie C.

Le 7 septembre 2005, la lettre d'information sur la sécurité maritime 03/05 a été envoyée à BC Ferries, avec copie à la Sécurité maritime de Transports Canada et au Registre de la Lloyd's, pour souligner diverses anomalies constatées dans la géométrie et le montage des tringleries de commande des régulateurs.

4.1.2 Mesures prises par la société British Columbia Ferry Services Inc.

Le 11 juillet 2005, le surintendant de la gare maritime de la baie Horseshoe a émis une directive aux chefs mécaniciens des navires de sa flotte, avec copie aux autres surintendants de BC Ferries, les chargeant d'établir des routines régulières d'inspection et de vérification de l'intégrité des tringleries de commande des moteurs principaux au moins deux fois par jour.

De plus, tous les traversiers de catégorie C ont commencé à poster un matelot au guindeau de l'ancre lors des manœuvres d'accostage et d'appareillage.

Le 18 janvier 2007, BC Ferries a informé le BST de l'état d'avancement des mesures qu'il a entreprises par suite de l'accident.

Sujet	Mesures	Situation
Révision des plans d'entretien du <i>Queen of Oak Bay</i> et autres navires de catégorie C en vue d'intégrer les résultats d'une analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)	Étude AMDEC. Révision des plans d'entretien planifié.	Terminé en avril 2006 En cours

Sujet	Mesures	Situation
Intégration des résultats de l'étude AMDEC aux spécifications et au suivi des travaux effectués à contrat sur les systèmes de commande de propulsion et les systèmes mécaniques de propulsion des navires de catégorie C	Élaboration de normes pour les travaux à contrat et de listes de vérifications des travaux effectués à contrat.	En cours
Amélioration des Normes d'entretien de la flotte	<p>La section 5.0 du recueil de normes a été modifiée de façon :</p> <ul style="list-style-type: none"> • à préciser plus clairement quels sont les systèmes critiques et les procédures d'entretien à respecter à leur égard; • à exiger l'utilisation de listes de vérifications et autres documents normalisés; • à exiger l'utilisation de procédures normalisées de conservation des documents à bord. 	Ébauche terminée en mai 2006. Examen par les pairs en cours.
L'assurance de la qualité de l'entretien des systèmes de commande de propulsion effectué à contrat devrait être exécutée par un employé compétent.	Des techniciens du service de soutien de la flotte de BC Ferries ont été affectés à l'assurance de la qualité.	Terminé en avril 2006
L'assurance de la qualité de l'entretien des systèmes de propulsion devrait être assurée par un tiers quand cet entretien ne peut pas être effectué par un employé de BC Ferries.	BC Ferries a retenu des services supplémentaires de soutien technique en assurance de la qualité pour les grands travaux.	Terminé en avril 2006

Sujet	Mesures	Situation
<p>Les essais de la machinerie et de l'équipement devraient être précisés d'avance par les fabricants, les constructeurs, les entrepreneurs et les parties connexes. Ces essais devraient être approuvés par le chef mécanicien et exécutés en sa présence lorsqu'il s'agit d'un composant majeur du système de propulsion.</p>	<p>Révision des spécifications des travaux de radoub pour prévoir des essais de l'équipement après l'exécution de travaux sur les composants majeurs du système de propulsion.</p> <p>Normes spécifiées dans le recueil des normes d'entretien de la flotte à l'égard du niveau de détail prévu lors des essais.</p> <p>Intégré au cours de formation pour planificateur d'entretien.</p>	<p>Terminé en mai 2006</p>
<p>Les essais d'arrêt d'urgence du moteur à vitesse moyenne, à la suite de travaux sur le moteur, devraient comprendre les éléments suivants :</p> <p>(a) vérification visuelle de la position des crémaillères d'injection pour assurer la coupure de l'alimentation en combustible;</p> <p>(b) essai d'arrêt d'urgence avec les moteurs à des températures admissibles de fonctionnement.</p>	<p>Les essais et la vérification des dispositifs de sécurité des navires de catégorie C sont maintenant effectués avec les moteurs à leur température de fonctionnement. Une directive a été émise à la flotte.</p>	<p>Terminé en décembre 2006</p>
<p>Les pratiques d'établissement de contrat devraient être révisées pour éviter les ambiguïtés dans l'affectation des responsabilités à l'égard des travaux sur les systèmes critiques.</p>	<p>Les spécifications des travaux de radoub et le processus d'examen des contrats de travaux de radoub ont été révisés et du personnel a été assigné à ces tâches.</p>	<p>Terminé en septembre 2005</p>
<p>Format du journal de quart</p>	<p>Examen du format et des modalités d'utilisation du journal de quart pour déterminer si des améliorations peuvent y être apportées.</p>	<p>En cours</p>
<p>Relevé quotidien des anomalies</p>	<p>Examen du format et des modalités d'utilisation du relevé quotidien des anomalies pour déterminer si des améliorations peuvent y être apportées.</p>	<p>En cours</p>

Sujet	Mesures	Situation
Révision de la tenue des dossiers dans le système d'entretien planifié (Maximo)	<p>Simplifier les écrans de saisie pour encourager une utilisation plus vaste.</p> <p>Réviser le volet du détail de l'achèvement des travaux dans la fonction rapports pour en faciliter l'utilisation, et donner des directives au sujet du contenu.</p>	<p>En cours</p> <p>Fin prévue en avril 2007</p>

Par ailleurs, la section 5.0 des Normes d'entretien de la flotte est en voie de révision par suite de l'accident. La section énumère les systèmes critiques et fixe des normes sur les procédures d'entretien.

BC Ferries prépare également une gamme de procédures pour la gestion des tâches critiques pour la sécurité à bord, comprenant les éléments suivants :

- (a) des points d'arrêt pour inspection seront définis dans les documents de spécifications des travaux de radoub;
- (b) des plans des travaux d'entretien planifié identifieront les tâches critiques (c'est-à-dire les tâches qui exigent un point d'arrêt pour inspection par un expert compétent de BC Ferries);
- (c) le chef mécanicien devra préciser les tâches critiques lors des travaux de réparation non planifiés;
- (d) des listes de contrôle d'inspection (propres aux diverses pièces d'équipement) seront exigées pour le contrôle des tâches critiques complexes.

4.2 Préoccupations liées à la sécurité

Lors des manœuvres, les grands navires doivent disposer de la propulsion nécessaire pour gouverner en sécurité, surtout à faible vitesse, par exemple à l'approche d'un poste d'amarrage. Dans le présent événement, la perte de propulsion du *Queen of Oak Bay* lors des manœuvres d'accostage a fait chuter la vitesse du navire au-dessous de la vitesse nécessaire pour gouverner, et le traversier a heurté des embarcations de plaisance dans une marina.

Conformément aux procédures normalisées pour les manœuvres d'accostage, les deux moteurs principaux étaient accouplés via des embrayeurs entraînant les hélices avant et arrière. Lorsqu'un des moteurs principaux s'est emballé, l'autre moteur principal a immédiatement été entraîné à une vitesse équivalente, ce qui a activé les déclencheurs de survitesse des deux moteurs qui ont coupé l'alimentation en combustible des deux moteurs principaux. BC Ferries

exploite quatre autres navires de catégorie C dotés de dispositifs de propulsion semblables à celui du *Queen of Oak Bay*. Le système de propulsion de ces navires est redondant puisque les navires sont dotés de multiples moteurs, arbres de transmission et hélices.

Il n'est pas rare que deux moteurs ou plus soient accouplés à des arbres de propulsion communs, mais des dispositifs peuvent être prévus de sorte que la défaillance d'un moteur ne puisse pas nuire à l'autre moteur. Par exemple, il existe des dispositifs qui désaccouplent et isolent automatiquement le moteur qui a un défaut grave. Sur les navires de catégorie C, seule la survitesse du moteur active le dispositif automatique de coupure. D'autres défauts néfastes pour les moteurs principaux ne déclenchent qu'une alarme et non l'isolement et l'arrêt automatique du moteur.

Par ailleurs, Transports Canada estime que de tels systèmes de commande de propulsion devraient être conçus avec un dispositif à sécurité intégrée, de sorte que les anomalies ou défaillances d'une partie du système ne compromettent pas le fonctionnement de l'ensemble du système de propulsion. Transports Canada étudiera les moyens d'assurer l'intégrité des systèmes de commande de propulsion à la Phase 2 de ses travaux de réforme de la réglementation visant à moderniser la *Loi sur la marine marchande du Canada* et ses règlements.

Le BST n'est pas au courant d'autres événements semblables qui seraient survenus. Cependant, vu les risques associés à la perte de propulsion d'un navire à passagers à l'approche d'un poste d'amarrage, le Bureau se préoccupe de la faible utilisation de dispositifs automatiques de coupure et du fait que la configuration des moteurs de ces navires puisse faire en sorte qu'une défaillance unique d'un des moteurs principaux compromette l'ensemble du système de propulsion, faisant courir un risque au navire, aux passagers, à l'équipage et aux personnes à terre.

Le présent rapport met un terme à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 24 mai 2007.

Visitez le site Web du BST (www.bst.gc.ca) pour plus d'information sur le BST, ses services et ses produits. Vous y trouverez également des liens vers d'autres organismes de sécurité et des sites connexes.

Annexe A – Sigles et abréviations

AMDEC	analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité
BC Ferries	British Columbia Ferry Services Inc.
BHP	puissance au frein
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
C.-B.	Colombie-Britannique
Code ISM	Code international de gestion de la sécurité
m	mètre
mm	millimètre
tr/min	tours par minute
UNF	filetage unifié à pas fin UNF (Unified National Fine)