

Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE
A13H0002



COLLISION AVEC UN PLAN D'EAU

**GOUVERNEMENT DU CANADA, MINISTÈRE DES
TRANSPORTS**
MBB BO 105 S CDN-BS-4 (HÉLICOPTÈRE) C-GCFU
DÉTROIT DE M'CLURE (TERRITOIRES DU NORD-OUEST)
9 SEPTEMBRE 2013

Canada

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

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le
Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2015

No de cat. TU3-5/13-0002F-PDF
ISBN 978-0-660-03925-1

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.

Rapport d'enquête aéronautique A13H0002

Collision avec un plan d'eau

Gouvernement du Canada, ministère des Transports
MBB BO 105 S CDN-BS-4 (hélicoptère) C-GCFU
Déroit de M'Clure (Territoires du Nord-Ouest)
9 septembre 2013

Résumé

Le 9 septembre 2013, à 16 h 38, heure avancée des Rocheuses (HAR), l'hélicoptère Messerschmitt-Bölkow-Blohm BO 105 S CDN-BS-4 de la Garde côtière canadienne (immatriculé C-GCFU, numéro de série S 727) exploité par le ministère des Transports du Gouvernement du Canada et portant l'indicatif d'appel CCG364, a décollé du pont du navire de la Garde côtière canadienne (NGCC) *Amundsen* avec 1 pilote, le capitaine du navire et 1 scientifique à bord pour effectuer une mission mixte de mesure de l'épaisseur de la glace et de reconnaissance dans le déroit de M'Clure (Territoires du Nord-Ouest).

À 17 h 38, le CCG364 a informé le NGCC *Amundsen* qu'il prévoyait arriver dans 10 minutes. Comme l'hélicoptère n'était toujours pas de retour à 18 h 5, on a vérifié sa position au moyen du système de suivi des vols, qui indiquait que l'hélicoptère se trouvait à 3,2 milles marins du navire. Dès 18 h 18, l'équipage du NGCC *Amundsen* a tenté à plusieurs reprises de communiquer par radio avec le pilote, mais sans succès. À 18 h 24, le navire a fait route vers la dernière position de l'hélicoptère indiquée par le système de suivi des vols. À 18 h 47, on a trouvé des débris. L'embarcation rapide de sauvetage du navire a été mise à l'eau pour tirer les 3 occupants des eaux; aucun d'entre eux n'a survécu. L'hélicoptère a coulé par 458 m d'eau. L'accident est survenu en plein jour. Le système satellite n'a reçu aucun signal de l'émetteur de localisation d'urgence de 406 MHz.

This report is also available in English.

Table des matières

1.0	Renseignements de base.....	1
1.1	Déroulement du vol	1
1.1.1	Récupération des occupants	4
1.2	Victimes.....	5
1.3	Dommmages à l'aéronef	5
1.4	Autres dommages.....	5
1.5	Renseignements sur le personnel.....	6
1.6	Renseignements sur l'aéronef.....	6
1.6.1	Généralités.....	6
1.6.2	Système embarqué de suivi des vols	7
1.6.3	Dispositif de flottaison d'urgence	8
1.6.4	Émetteur de localisation d'urgence	8
1.6.5	Radiobalise sous-marine de détresse.....	9
1.6.6	Sièges et harnais de sécurité.....	10
1.6.7	Nacelle vidéo et système de cinécaméra	11
1.6.8	Système de relevé des glaces	12
1.7	Renseignements sur la météo	14
1.7.1	Introduction	14
1.7.2	Météo pour l'aviation.....	15
1.7.3	Conditions météorologiques observées en mer	16
1.7.4	État des glaces.....	16
1.8	Aides à la navigation.....	18
1.9	Communications.....	18
1.9.1	Procédures de communications en vol.....	18
1.9.2	Procédures en cas de perte de communication	19
1.10	Renseignements sur l'aérodrome.....	19
1.11	Enregistreurs	20
1.11.1	Enregistreurs de bord	20
1.11.2	Photos et vidéos.....	21
1.11.3	Enregistreur du navire.....	23
1.12	Renseignements sur l'épave et sur l'impact	24
1.12.1	Examen préliminaire de l'épave.....	24
1.12.2	Empreinte des dommages et caractéristiques de l'impact.....	25
1.12.3	Examen des commandes de vol	25
1.12.4	Examen des instruments et voyants d'alarme.....	26
1.13	Renseignements médicaux et pathologiques	26
1.14	Incendie.....	26

1.15	Questions relatives à la survie des occupants	26
1.15.1	Généralités	26
1.15.2	Radeau de sauvetage	27
1.15.3	Exigences réglementaires concernant les combinaisons pour passagers d'hélicoptère.....	28
1.15.4	Politique de la Direction générale des services des aéronefs / Garde côtière canadienne concernant les combinaisons d'immersion	31
1.15.5	Combinaisons d'immersion des équipages de conduite de la Direction générale des services des aéronefs	32
1.15.6	Vêtement de flottaison individuel	35
1.15.7	Casques de vol	37
1.15.8	Radiobalise individuelle de repérage	37
1.15.9	Formation sur l'évacuation subaquatique d'un hélicoptère.....	39
1.15.10	Fréquence et rétention de la formation élémentaire de survie.....	39
1.15.11	Immersion dans l'eau.....	40
1.15.12	Noyade en eau froide.....	43
1.16	Essais et recherches	43
1.16.1	Mise à l'essai du vêtement de flottaison individuel dans une piscine.....	43
1.16.2	Rapports du laboratoire du BST.....	45
1.17	Renseignements sur les organismes et sur la gestion	46
1.17.1	Garde côtière canadienne	46
1.17.2	Direction générale des services des aéronefs de Transports Canada.....	51
1.17.3	Système de gestion de la sécurité de la Direction générale des services des aéronefs.....	52
1.17.4	Évaluation des risques	53
1.17.5	Surveillance réglementaire de la Direction générale des services des aéronefs	55
1.17.6	Processus de surveillance	55
1.17.7	Fréquence de la surveillance effectuée par Transports Canada.....	57
1.17.8	L'inspection de validation de programme menée en 2011	57
1.17.9	L'inspection des processus menée en 2013	59
1.18	Renseignements supplémentaires.....	60
1.18.1	Contrôle opérationnel	60
1.18.2	Suivi et surveillance des vols	61
1.18.3	Système de suivi des vols	61
1.18.4	Utilisation d'une sonde de glace	68
1.18.5	Urgences en vol	70
1.18.6	Péril aviaire	72
1.18.7	Indices visuels.....	73
1.18.8	Impact sans perte de contrôle	74
1.19	Techniques d'enquête utiles ou efficaces	74
1.19.1	Navire de récupération.....	74
1.19.2	Emplacement de l'épave	75
1.19.3	Récupération de l'épave	75

2.0	Analyse.....	77
2.1	Introduction.....	77
2.2	Utilisation de la sonde de glace.....	78
2.2.1	Installation de la sonde de glace.....	80
2.3	Repères visuels durant un vol à basse altitude.....	81
2.4	Système de suivi des vols.....	82
2.4.1	Réglage et surveillance du système de suivi des vols.....	82
2.4.2	Alarmes sonores.....	84
2.4.3	Formation sur le système de suivi des vols.....	84
2.4.4	Position indiquée par l'unité de présentation de données.....	85
2.5	Possibilités de survie.....	85
2.5.1	Généralités.....	85
2.5.2	Vêtement de flottaison individuel.....	86
2.5.3	Radiobalises individuelles de repérage.....	88
2.5.4	Immersion en eau froide.....	88
2.5.5	Émetteurs de localisation d'urgence.....	90
2.5.6	Radeau de sauvetage.....	90
2.5.7	Combinaisons d'immersion.....	91
2.5.8	Premiers soins et services médicaux.....	92
2.6	Renseignements sur les organismes et sur la gestion.....	93
2.6.1	Surveillance réglementaire.....	93
2.7	Recherche de l'épave.....	95
3.0	Faits établis.....	96
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs.....	96
3.2	Faits établis quant aux risques.....	96
3.3	Autres faits établis.....	98
4.0	Mesures de sécurité.....	99
4.1	Mesures de sécurité prises.....	99
4.1.1	Direction générale des services des aéronefs.....	99
4.1.2	Garde côtière canadienne.....	100
	Annexes.....	102
	Annexe A – Carte des nuages et du temps de la prévision de zone graphique.....	102
	Annexe B – Carte indiquant le givrage, la turbulence et le niveau de congélation.....	103
	Annexe C – Carte d'analyse quotidienne des glaces valide à 1800Z le 9 septembre 2013.....	104

Annexe D – Catalogue d’exploitation de sous-unité.....	105
Annexe E – Matrice d’analyse des risques.....	106

1.0 Renseignements de base

1.1 Déroulement du vol

Le pilote d'hélicoptère du ministère des Transports du gouvernement du Canada¹ a été affecté à des fonctions du bord et il est monté à bord du navire de la Garde côtière canadienne (NGCC) *Amundsen* à Resolute Bay (Nunavut) le 5 septembre 2013 pour une affectation de 42 jours. Ce jour-là, le pilote avait accumulé 4,7 heures de vol, au cours desquelles il avait décollé et atterri 34 fois pour effectuer le changement d'équipage prévu du navire.

Le lendemain, le NGCC *Amundsen* a levé l'ancre et quitté son mouillage à Resolute Bay avec 73 personnes à bord pour réaliser la seconde partie de l'Évaluation environnementale régionale de Beaufort (EERB), un programme de recherche piloté par le réseau ArcticNet². L'itinéraire pour cette étape de la seconde partie prévoyait de continuer vers l'ouest en longeant la côte nord de l'île Banks (Territoires du Nord-Ouest), puis de descendre le long de la côte ouest de l'île pour mener les prochaines activités de recherche scientifique (figure 1).

Figure 1. Itinéraire prévu approximatif du NGCC *Amundsen* depuis Resolute Bay (Source : Google Earth, avec annotations du BST)



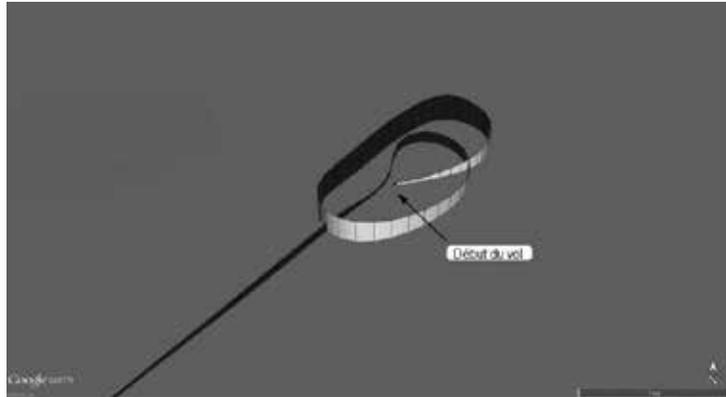
¹ Le ministère des Transports du gouvernement du Canada est le titulaire du certificat d'exploitation ainsi que du certificat d'immatriculation. Cependant, la Direction générale des services des aéronefs de Transports Canada (DGSA) est responsable de la prestation des services de soutien des activités de Transports Canada. Ainsi, ci-après dans le rapport, toute référence à la DGSA sera faite en sa qualité d'exploitant.

² Ce programme vise à étudier l'incidence du changement climatique et de la modernisation sur l'écosystème marin dans l'Arctique.

En prévision d'un vol le 8 septembre 2013, on a avitaillé l'hélicoptère de 66 gallons de carburant, ce qui a porté à 125 gallons américains la quantité totale de carburant³. Ce vol devait se dérouler avec le pilote, un scientifique et le capitaine du NGCC *Amundsen* à bord. On ne sait pas si le pilote savait avant l'avitaillement que le capitaine du navire allait être à bord pour ce vol. Toutefois, ce vol a été annulé en raison d'un boîtier d'allumage inopérant sur le moteur n° 1. Le boîtier d'allumage a été remplacé, et on a remis l'hélicoptère en service.

Le lendemain, le 9 septembre 2013, à 16 h 38, heure avancée des Rocheuses⁴, le vol CCG364 a décollé du pont du NGCC *Amundsen* avec le pilote, le capitaine du navire et un scientifique à bord. Le scientifique, qui occupait le siège passager de gauche, transportait de l'équipement⁵ pour mesurer l'épaisseur de la glace. Le capitaine, qui était assis derrière le scientifique, était à bord pour effectuer une mission de reconnaissance afin de déterminer la meilleure route possible du NGCC *Amundsen* pour se rendre à la

Figure 2. Tracé de la route de l'hélicoptère au moment de quitter le navire (Source : Google Earth, avec modifications et annotations du BST)



prochaine station scientifique, à l'ouest de l'île Banks. Des vents du nord avaient poussé la glace dans le secteur sud du détroit de M'Clure, ce qui avait entraîné la formation d'une banquise serrée à très serrée de vieille glace⁶ le long de la partie ouest de la côte nord de l'île Banks. Un spécialiste du service des glaces⁷ se trouve normalement à bord des navires de la Garde côtière canadienne (GCC) affectés à la plupart des opérations dans l'Arctique, y compris les missions scientifiques. Cependant, il n'y avait pas de spécialiste du service des glaces pour la mission en cause.

³ D'après la feuille n° 003703 du carnet de route d'hélicoptère.

⁴ Les heures sont exprimées en heure avancée des Rocheuses (temps universel coordonné moins 6 heures).

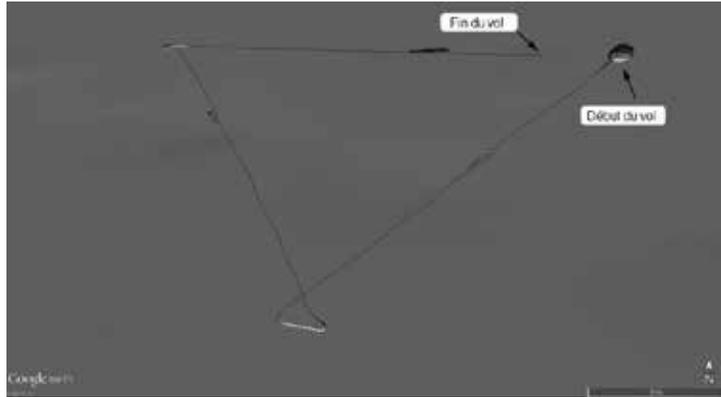
⁵ L'équipement comprend une console d'exploitation attachée au siège arrière de l'hélicoptère, une unité de contrôle manuelle et un ordinateur portable.

⁶ Concentration totale de la glace de 9+/10; 8/10 de glace épaisse de première année, 1/10 de vieille glace.

⁷ Le spécialiste du service des glaces effectue la reconnaissance des glaces à bord d'aéronefs, selon les instructions du capitaine, et interprète les rapports des glaces et météorologiques pour faire un exposé au capitaine et à l'officier de navigation sur l'état des glaces et les prévisions.

Le vol s'est fait en 3 étapes formant un triangle. Les données de suivi du vol en cause ont été extraites du système embarqué de télécommunications par satellite et de suivi des vols⁸ récupéré de l'épave. Ces données indiquent qu'à son départ du navire, l'hélicoptère a monté en suivant un parcours giratoire jusqu'à environ 1500 pieds au-dessus du niveau de la mer⁹ (asl), avant de descendre à l'altitude de relevé pour mesurer l'épaisseur de la glace – environ 20 pieds au-dessus de la surface de la glace – en faisant route vers le sud-ouest pendant environ 24 minutes (figure 2). Deux passages de relevé ont eu lieu durant cette première étape.

Figure 3. Tracé de la route complète de l'hélicoptère
(Source : Google Earth, avec modifications et annotations du BST)



À environ 20 milles marins (nm) du navire, l'hélicoptère a changé de cap vers le nord-ouest pour effectuer la 2^e étape, durant laquelle 2 autres passages de relevé ont eu lieu (figure 3).

À 17 h 24, à environ 20 nm du navire, en volant vers l'est pour effectuer la 3^e étape, l'hélicoptère a amorcé une descente depuis une altitude d'environ 500 pieds asl avant d'effectuer une mise en palier à l'altitude de relevé pendant environ 9 minutes¹⁰. L'hélicoptère a ensuite effectué un virage à gauche en montée en direction sud-ouest, suivi d'un virage à droite descendant vers l'est jusqu'à une altitude d'environ 40 pieds avant de faire un autre virage à gauche en montée pour atteindre environ 550 pieds à 17 h 37 min 34 s.

À 17 h 38 min 14 s, le CCG364 a appelé le NGCC *Amundsen* pour annoncer qu'il serait de retour au navire dans 10 minutes. À ce moment, l'hélicoptère était en descente et se trouvait à environ 390 pieds. Ce fut le dernier message enregistré du pilote. L'hélicoptère a poursuivi sa descente vers l'altitude de relevé et a rétabli le vol horizontal à 36 pieds, à 17 h 39 min 19 s, en faisant route vers l'est. Durant une période de 3 minutes et 30 secondes, l'hélicoptère a maintenu une altitude qui a varié de 23 à 39 pieds^{11, 12}. Il a ensuite amorcé une lente descente pendant 13 secondes avant d'entrer en collision avec l'eau à 17 h 43 min 02 s. Les 3 occupants ont évacué

⁸ SkyTrac ISAT-200R

⁹ À moins d'indication contraire, toutes les altitudes indiquées dans le présent rapport sont au-dessus du niveau de la mer, qui est équivalent au niveau moyen de la mer dans cette région.

¹⁰ L'altitude enregistrée variait entre 10 et 33 pieds au-dessus du niveau de la mer.

¹¹ Les données extraites du système de suivi des vols indiquent que l'hélicoptère se trouvait à une altitude de 39 pieds à 17 h 42 min 49 s.

¹² La variation de l'altitude enregistrée par le GPS est attribuable soit à de faibles variations dans l'altitude de l'hélicoptère alors qu'il se maintenait à 20 pieds au-dessus de la glace, soit à la dilution de la position verticale par le GPS selon le nombre et l'angle des satellites visibles.

l'hélicoptère avant qu'il ne coule jusqu'au fond marin, à une profondeur de 458 m (position approximative : 74°45'49" N, 117°43'56" W).

1.1.1 Récupération des occupants

À 18 h 5, soit 27 minutes après la dernière transmission par le CCG364, on a vérifié la position de l'hélicoptère sur le panneau de commande et d'affichage (CDU) du système de suivi des vols (SSV), situé dans la timonerie. Le CDU indiquait que l'hélicoptère se trouvait à une distance de 3,2 nm, à un relèvement de 287° vrai (V) par rapport au navire. La dernière et seule position qu'avait l'équipage dans la timonerie était celle indiquée sur le CDU du SSV, soit N 74° 45.56, W 117° 49.52¹³ à 17 h 41. On a essayé à plusieurs reprises¹⁴ d'établir la communication avec le CCG364, mais sans succès.

À 18 h 24, on a décidé de faire route vers la dernière position affichée de l'hélicoptère. L'état des glaces a empêché le navire de faire route directement vers ces coordonnées. À 18 h 41, on a informé le centre conjoint de coordination de sauvetage (JRCC) à Trenton de la situation.

À 18 h 47, on a observé des débris qui flottaient. Six minutes plus tard, on a stoppé les machines du navire et on a mis à l'eau une embarcation rapide de sauvetage (ERS) avec 4 sauveteurs à bord pour se rendre aux débris observés.

À 18 h 54, on a trouvé 2 des 3 occupants; ils flottaient sur l'eau, mais ne réagissaient pas. Lorsqu'on les a embarqués dans l'ERS¹⁵, ils montraient des signes de noyade¹⁶. Aucun signe vital n'a été observé. Incapable de trouver le 3^e occupant, l'ERS est retourné au navire pour y déposer les 2 occupants à 19 h 5.

De 19 h 4 à 19 h 7, le NGCC *Amundsen* a transmis 3 appels de détresse¹⁷, sans réponse.

À 19 h 7, on a trouvé le 3^e occupant qui flottait dans l'eau – lui non plus ne réagissait pas – et on l'a embarqué dans l'ERS. Il présentait des signes de noyade sans signes vitaux.

À 19 h 9, le NGCC *Amundsen* a appelé le JRCC à Trenton pour demander du soutien en vue d'une évacuation sanitaire. La ressource aérienne militaire la plus proche, un C130, se trouvait à Winnipeg (Manitoba), à environ 1582 nm, tandis que la ressource maritime la plus proche était le NGCC *Henry Larsen* à Resolute Bay (Nunavut), à environ 345 nm. Pendant que l'on cherchait la ressource aérienne la plus appropriée et la plus rapide, on a dépêché le NGCC *Henry Larsen* vers le lieu de l'accident alors même que le NGCC *Amundsen* faisait route en sens inverse en vue

¹³ Le panneau de commande et d'affichage (CDU) affiche un point entre les minutes et les secondes. Toutefois, la position affichée sur le CDU est exprimée en degrés, minutes et secondes.

¹⁴ En tout, de 18 h 18 à 18 h 43, on a tenté à 18 reprises de joindre le pilote.

¹⁵ Le premier occupant embarqué dans l'embarcation rapide de sauvetage était le pilote, suivi du capitaine.

¹⁶ Aucun pouls, yeux ouverts et bouche écumante.

¹⁷ Deux appels sur la fréquence VHF de 121,5 MHz, et 1 appel sur la fréquence HF de 2182 kHz.

d'un rendez-vous. À ce moment, le plan était d'utiliser l'hélicoptère à bord du NGCC *Henry Larsen* pour faire l'évacuation sanitaire.

À 20 h 8, on a annulé le soutien demandé en vue d'une évacuation sanitaire, car les 3 occupants étaient décédés.

1.2 Victimes

Tableau 1. Victimes

	Équipage	Passagers	Autres	Total
Tués	1	2	-	3
Blessés graves	-	-	-	-
Blessés légers/indemnes	-	-	-	-
Total	1	2	-	3

1.3 Dommages à l'aéronef

L'hélicoptère a été lourdement endommagé par l'impact avec la surface de l'eau. On a noté des dommages considérables à la partie supérieure du pare-brise et du tableau de bord. La poutre de queue était arrachée près de l'avant de celle-ci, et 3 pales du rotor principal avaient été arrachées à leur racine (photo 1).

Photo 1. Épave de l'hélicoptère C-GCFU sur le pont



1.4 Autres dommages

Il restait environ 79 gallons américains de carburant dans le réservoir au moment de l'impact. Environ 105 gallons d'eau et de carburant ont été retirés du réservoir à carburant de l'hélicoptère; aucune quantité mesurable de carburant ne se serait échappée du réservoir. Environ 1 litre d'huile turbine synthétique (BP 2389, MIL-PRF-7808G) a fui des 2 boîtiers d'entraînement des accessoires¹⁸ et environ 4 litres ont fui du réservoir d'huile du moteur n° 2¹⁹.

¹⁸ Les carters des 2 boîtiers d'entraînement étaient perforés en raison de la détérioration causée par l'eau salée.

¹⁹ Le réservoir d'huile a été endommagé durant l'impact, et on a noté un déversement d'huile sur la structure de l'hélicoptère, sous le réservoir d'huile.

1.5 Renseignements sur le personnel

Le pilote possédait les licences et les qualifications nécessaires pour effectuer le vol, conformément à la réglementation en vigueur, ainsi qu'une licence de pilote de ligne canadienne valide (hélicoptère), avec les qualifications de type pour les modèles BH06, BH12, BH47, HU50, S313, S318, S342 et MBH5²⁰. La licence portait les annotations de qualification de vol aux instruments de groupe 4 et elle était valide jusqu'au 1^{er} décembre 2014.

Le pilote s'était joint à Transports Canada (TC) en 1985; il avait accumulé au total 10 218 heures de vol, y compris 3910 heures aux commandes d'hélicoptères multimoteurs, principalement en qualité de commandant de bord. Il avait obtenu l'homologation pour le MBH5 en 1987 et avait depuis accumulé environ 3100 heures aux commandes de ce type d'appareil. D'après les dossiers de formation du pilote, sa dernière vérification compétence pilote pour le MBH5 avait eu lieu le 28 novembre 2012 et elle était valide jusqu'au 1^{er} janvier 2014. Le pilote avait suivi une formation sur l'évacuation subaquatique le 28 septembre 2011, formation qui était valide jusqu'au 1^{er} octobre 2014. On ne connaît pas l'expérience exacte du pilote en ce qui a trait aux missions pour mesurer l'épaisseur de la glace avec une sonde installée sur un hélicoptère, mais il avait déjà effectué plusieurs patrouilles en survolant l'eau et la glace dans le cadre d'opérations aériennes pour la GCC. D'après le carnet de vol du pilote, sa dernière mission pour mesurer l'épaisseur de la glace avec une sonde remontait à 2010.

Les limites de temps de vol et de service du pilote n'ont pas été dépassées. Au cours des jours qui ont précédé l'événement, le pilote avait accumulé 4,7 heures de vol le 5 septembre 2013. Rien n'indique que le pilote ait été affecté à d'autres tâches que le pilotage qui auraient pu causer de la fatigue pendant qu'il était à bord du navire. Le jour de l'événement, aucun signe de comportement anormal ou de fatigue n'a été observé.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

1.6.1 Généralités

Le Messerschmitt-Bölkow-Blohm (MBB) BO 105 S CDN-BS-4 est un hélicoptère bimoteur multifonction léger mis au point par Bölkow à Munich, en Allemagne. La société MBB a été absorbée par Eurocopter en 1992, puis rebaptisée Airbus Helicopters Deutschland GmbH en 2014. La production du BO 105 s'est poursuivie jusqu'en 2001. En tout, 1407 hélicoptères BO 105 ont été fabriqués, dont 660 sont toujours en service, et cumulent au total 8 millions d'heures de vol.

L'hélicoptère en cause avait été fabriqué en 1985 et il était propulsé par 2 moteurs Rolls-Royce 250 C20B d'une puissance à l'arbre de 420 HP chacun. Le Système d'information sur la sécurité aérienne (SISA) du BST ne comprenait aucune information faisant état d'accidents de cet hélicoptère avant l'événement à l'étude. L'hélicoptère était entretenu par le personnel de la

²⁰ MBH5 est l'indicatif de type d'aéronef du type BO 105.

Direction générale des services des aéronefs de Transports Canada (DGSA) et piloté par des pilotes de la DGSA. Les dossiers indiquent que l'hélicoptère était homologué et équipé conformément à la réglementation en vigueur. La masse et le centre de gravité de l'hélicoptère étaient en deçà des limites prescrites par le fabricant au moment de l'événement.

L'hélicoptère comptait 8866 heures de vol au total, dont 2095 heures depuis la dernière inspection périodique importante de la cellule (OPS 4), le 16 mai 2007. Il avait fait l'objet d'une inspection après 100 heures le 10 avril 2013, environ 91 heures de vol avant le vol en question. Les dossiers techniques de l'hélicoptère n'indiquaient aucun point d'entretien récurrent ou différé.

La GCC, par l'intermédiaire de la DGSA de Transports Canada, utilise le BO 105 pour diverses tâches, y compris l'avitaillement de navires, de phares et d'autres endroits éloignés, l'aide à la navigation, la participation à des activités de recherche et sauvetage (SAR) ainsi que d'autres tâches liées aux programmes du ministère des Pêches et des Océans et de la GCC.

1.6.2 *Système embarqué de suivi des vols*

L'hélicoptère était muni d'un système de télécommunications par satellite et de suivi des vols fabriqué par SkyTrac²¹ (modèle ISAT-200R, numéro de série 30267). Ce système n'est pas exigé par la réglementation de Transports Canada et est considéré comme étant de l'équipement de sécurité accrue supplémentaire. Le système ISAT-200R assure automatiquement le suivi des vols, la messagerie texte, le transfert de données et la fonctionnalité de téléphone satellite, à l'échelle mondiale et en temps réel. Le système ISAT-200R a été récupéré de l'épave et il a été envoyé au laboratoire du BST pour en extraire les données. Celles-ci ont fourni des renseignements, comme l'heure, la latitude, la longitude, le cap, la vitesse sol et l'altitude; toutes ces valeurs ont été enregistrées à des intervalles de 5 secondes.

Les données montrent que l'hélicoptère a effectué au total 6 passages de relevé à faible altitude²² durant des périodes variant de 7 à 9 minutes environ, excepté le dernier passage, qui s'est soldé par un impact et qui a duré environ 3 minutes. Au total, durant le vol de 65 minutes, le pilote a passé environ 43 minutes, ou 66 % du temps dans les airs, à effectuer des passages de relevé entre 13 et 30 pieds au-dessus de la surface.

Les données montrent que juste avant l'accident, à 17 h 39 min 19 s, l'hélicoptère volait à l'horizontale à 36 pieds en direction est et maintenait une altitude variant de 23 à 39 pieds²³ jusqu'à 17 h 42 min 49 s. La vitesse sol moyenne durant cette période était de 67 nœuds. L'hélicoptère a alors descendu lentement jusqu'à ce qu'il entre en collision avec la surface de

²¹ © 2014 SkyTrac Systems Ltd.

²² Ces passages de relevé étaient considérés effectués lorsque l'hélicoptère volait en palier à 30 pieds d'altitude ou moins, avec de brèves excursions au-dessus de 30 pieds.

²³ À 17 h 42 min 49 s, les données extraites du système de suivi des vols de l'hélicoptère indiquaient une altitude de 39 pieds.

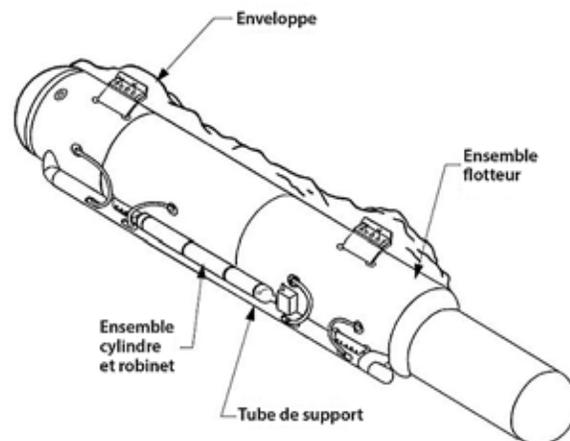
l'eau. Les données indiquent une vitesse sol de 68 nœuds et une altitude de 3 pieds à 17 h 43 min 2 s, heure du dernier enregistrement de données. La descente durant les 13 dernières secondes du vol correspond à un taux de 166 pieds par minute.

1.6.3 Dispositif de flottaison d'urgence

L'hélicoptère était muni d'un dispositif de flottaison²⁴ conçu pour permettre un amerrissage d'urgence et maintenir l'hélicoptère à flot. Ce dispositif permet de déployer les flotteurs durant le vol à une altitude de 3000 pieds ou moins et à une vitesse indiquée de 80 nœuds ou moins. Une fois ces flotteurs déployés, la vitesse indiquée maximale est de 100 nœuds. Le dispositif de flottaison consiste en 2 sous-systèmes de flotteurs fixés aux patins de gauche et de droite de l'hélicoptère (figure 4).

Les 2 sous-systèmes de flotteurs sont demeurés fixés à l'hélicoptère durant l'accident et ont été retrouvés dans leur entoilage respectif. Les 2 cylindres d'azote étaient remplis selon les spécifications du fabricant. Outre les dommages causés par l'impact et l'immersion dans l'eau, on n'a relevé aucune anomalie ni aucun défaut préexistant qui aurait empêché le dispositif de flottaison de fonctionner normalement. Rien ne donnait à croire que le dispositif de flottaison avait été activé avant l'impact ou au moment de celui-ci. Un examen des dossiers d'entretien a montré que les 2 sous-systèmes assemblés de flotteurs avaient été entretenus selon les recommandations du fabricant et qu'ils ne présentaient aucun point d'entretien différé au moment de l'accident.

Figure 4. Disposition générale des sous-systèmes de flotteurs (Source : Air Cruisers, BO-105 Float Subsystem, Part Numbers D24873-101, D24873-102, *Component Maintenance Manual with Illustrated Parts List*, Révision N° 11 [18 janvier 2010], p. 5, avec annotations du BST)



1.6.4 Émetteur de localisation d'urgence

L'hélicoptère n'était pas muni d'un émetteur de localisation d'urgence (ELT) automatique largable, et la réglementation en vigueur ne l'exigeait pas. Toutefois, il était muni d'un ELT fixe de 406 MHz fabriqué par Artex Aircraft Supplies Inc. (modèle C406-2HM, numéro de pièce 453-5001 Rév. M, numéro de série 170-08846). L'ELT a été retrouvé fixé au côté droit du fuselage, dans la soute à marchandises arrière et a été récupéré aux fins d'examen. Un ELT s'active automatiquement sous la force d'un impact ou manuellement à l'aide d'un interrupteur installé

²⁴ Fabriqué par Zodiac Aerospace.

dans le poste de pilotage. Dans l'événement à l'étude, l'interrupteur sur l'ELT ainsi que l'interrupteur dans le poste de pilotage ont été retrouvés en position armée.

L'ELT de 406 MHz à bord de l'hélicoptère en cause était conçu pour émettre un signal d'une durée de 440 à 520 millisecondes sur la fréquence de 406 MHz et répété toutes les 47,5 à 52,5 secondes. Toutefois, la première transmission après l'activation est intentionnellement temporisée pendant 50 secondes afin de prévenir les fausses alarmes qui peuvent survenir durant l'entretien périodique des ELT. Si cette temporisation permet de s'assurer que tout signal reçu par le système satellite COSPAS-SARSAT est un vrai signal de détresse, elle peut néanmoins empêcher l'émission d'un vrai signal de détresse dans le cas d'un amerrissage forcé s'il y a immersion de l'aéronef avant l'émission du signal. De plus, lors d'accidents mettant en cause des giravions, il y a souvent beaucoup d'incertitude quant à l'assiette de l'aéronef au moment de l'impact. Durant l'événement à l'étude, le système satellite COSPAS-SARSAT n'a reçu aucun signal.

Bon nombre de ces questions sont abordées par un comité mixte de l'organisme Results Through Collaboration in Aviation (RTCA) et de l'Organisation Européenne pour l'Équipement de l'Aviation Civile (EUROCAE) sur la prochaine génération d'ELT de 406 MHz. Le comité élabore des normes de déclenchement automatique d'une ELT à partir des données de vol anormales qui précèdent un écrasement. L'ELT commencerait à émettre un signal à un rythme accéléré presque immédiatement après son activation, et continuerait à émettre un signal à de nombreuses reprises dans les premières minutes d'opération. Ces caractéristiques respecteraient les exigences du Système mondial de détresse et de sécurité aéronautique (GADSS) de l'OACI en ce qui a trait au suivi de détresse autonome dont la mise en place est prévu en 2021.

L'examen de l'ELT a révélé que de l'eau avait envahi le dispositif, probablement à cause de la pression d'eau à la profondeur à laquelle l'hélicoptère a été récupéré. Les circuits internes étaient corrodés, et les piles au lithium avaient fui. Il a donc été impossible de tester le dispositif, étant donné que ses composants électroniques internes étaient trop endommagés par la corrosion. On n'a pas pu déterminer si l'ELT s'est activé après l'impact; même si cela avait été le cas, son signal aurait été atténué, une fois celui-ci submergé. Il est probable que l'hélicoptère a coulé avant que le signal de 406 MHz puisse être émis.

1.6.5 *Radiobalise sous-marine de détresse*

L'hélicoptère était muni d'une radiobalise sous-marine de détresse (ULB) Dukane modèle DK-100 (numéro de série DV12562). Cette ULB est conçue pour se déclencher dès qu'elle est immergée et pour envoyer un signal acoustique de 37,5 kHz. Ce signal se propage bien dans l'eau et il est habituellement facilement détecté au moyen d'un équipement portatif de détection qui utilise des hydrophones. Durant les recherches pour récupérer l'hélicoptère, on a utilisé des hydrophones pour trouver l'ULB, mais aucun signal uniforme et constant n'a pu être détecté. On a submergé une ULB d'essai dans l'eau, et son signal a été facilement détecté.

L'ULB de l'hélicoptère en cause a d'abord été examinée et testée au laboratoire du BST. Elle a ensuite fait l'objet d'autres examens et tests supervisés par le BST aux installations du fabricant²⁵ pour déterminer ce qui aurait pu causer son fonctionnement sporadique, comme ce fut le cas durant les opérations de recherche et sauvetage. On n'a pu déterminer la raison pour laquelle le signal ne pouvait être reçu de façon constante durant les opérations de recherche et sauvetage. L'ULB ne présentait aucun signe de dommage ou d'infiltration d'eau. La pile avait suffisamment d'énergie stockée pour permettre à l'ULB de fonctionner comme prévu et, une fois activée, elle a produit un signal à répétition constante et de la bonne fréquence, à toutes les températures et pressions auxquelles elle a été soumise. Toutefois, une fois refroidie, on a noté que l'UBL produisait une impulsion de sortie de forme effilée. Cela aurait entraîné une réduction de la puissance de sortie pour une partie de l'impulsion et pourrait avoir influé sur la portée utile de l'appareil; cette situation n'aurait toutefois pas entraîné le fonctionnement intermittent que les enquêteurs ont noté durant la recherche de l'épave.

1.6.6 Sièges et harnais de sécurité

Chacun des sièges avant était réglable longitudinalement et muni d'un harnais de sécurité à 4 points qui comprenait une ceinture abdominale et des bretelles de sécurité à verrouillage automatique (photo 2). La banquette arrière fixe à 3 places comprenait un harnais de sécurité à 3 points à chacun des sièges; toutefois, les bretelles de sécurité n'étaient pas du type à verrouillage automatique. Le système de ceinture de sécurité des sièges avant et arrière était du type où il faut lever le verrou de la boucle de ceinture de sécurité pour introduire les languettes en métal de la ceinture abdominale et des bretelles de sécurité. La fermeture du verrou de la boucle a pour effet de verrouiller les 4 ceintures ensemble. Pour déboucler les ceintures de sécurité, il faut lever le verrou de la boucle.

Photo 2. Harnais de sécurité à 4 points du siège avant



Au moment de la récupération de l'hélicoptère, le harnais de chacun des occupants était débouclé. Rien n'indiquait que la languette de l'une ou l'autre des bretelles de sécurité ou des ceintures abdominales avait été retirée de force de la boucle. L'examen des harnais de sécurité des occupants n'a relevé aucune anomalie qui aurait empêché leur fonctionnement normal.

Le siège du pilote avait été repoussé vers l'arrière jusqu'à l'extrémité du rail de fixation droit (extérieur) et juste avant l'extrémité du rail gauche. Le châssis du siège était déformé d'une manière qui correspond à l'application d'une force vers l'arrière sur son dossier. Ces observations donnent à croire qu'une force vers l'arrière a été appliquée au haut du corps de

²⁵ Radiant Power Corp. à Sarasota, en Floride, aux États-Unis.

l'occupant et transmise au dossier du siège. Le siège avant de gauche a été retrouvé fixé aux rails et ne présentait aucun signe de déplacement durant l'événement. Aucune déformation du châssis de ce siège n'a été observée. L'absence de dommages importants au siège avant gauche indique qu'il n'a pas été soumis à la même infiltration rapide d'eau que le siège du pilote. La jambe de support gauche de la banquette arrière s'était rompue et elle était déformée vers l'avant. Il est donc probable que la jambe verticale avant gauche se soit rompue à cause de la charge dynamique occasionnée par la décélération verticale de l'occupant au moment de l'impact.

1.6.7 *Nacelle vidéo et système de cinécaméra*

L'hélicoptère était doté d'une nacelle contenant une caméra vidéo (nacelle vidéo). L'installation de cette nacelle était approuvée conformément au Bulletin de service des services des aéronefs (ASSB) 351-0177. Cet ASSB permet l'installation d'une nacelle vidéo sur l'une ou l'autre ou encore les 2 marches d'embarquement, qui sont fixées aux patins. Habituellement, la nacelle vidéo est installée sur la marche de gauche, et ses câbles sont acheminés à travers une vitre modifiée dans la porte arrière gauche. Lorsque le système de sonde de glace était également installé, les câbles de la nacelle vidéo et ceux de la sonde étaient rattachés en faisceau et acheminés par la même vitre modifiée dans la porte arrière gauche.

En août 2013, l'hélicoptère en cause avait été configuré pour permettre l'installation d'un système de cinécaméra sur le patin gauche, conformément au certificat de type supplémentaire (STC) 0-LSH10-188²⁶. Étant donné la conception du système de cinécaméra²⁷, il était impossible d'installer à la fois la cinécaméra et la nacelle vidéo sur le patin gauche. Le jour de l'événement, la cinécaméra n'était pas installée. Toutefois, la marche d'embarquement gauche avait été remplacée par le tube de support pour la cinécaméra. Étant donné que le déplacement de la nacelle vidéo d'un côté à l'autre de l'hélicoptère exige beaucoup de travail, il avait été décidé de la laisser du côté droit, même si la cinécaméra n'était pas montée sur le patin gauche.

²⁶ La Direction générale des services des aéronefs a émis le Bulletin de service des services des aéronefs ASSB 351-25-10-0469 pour ce certificat de type supplémentaire.

²⁷ La marche d'embarquement gauche avait été remplacée par le tube de support pour la cinécaméra.

1.6.8 Système de relevé des glaces

1.6.8.1 Description générale

L'hélicoptère était muni d'un système de relevé des glaces, qui comprenait un mât orienté vers l'avant (sonde pour mesurer la glace), un ordinateur et des câbles de connexion. La sonde, qui comprenait des capteurs pour mesurer la profondeur de la neige et l'épaisseur de la glace ainsi qu'un altimètre laser, était fixée au nez de l'hélicoptère (photo 3). L'ordinateur connecté à la sonde était attaché dans le siège arrière et il a été récupéré en même temps que l'épave. Seules des pièces de la sonde ont été récupérées, et rien de l'équipement qui se trouvait à l'intérieur du bâti n'a été récupéré.

Photo 3. Sonde de glace fixée au nez de l'hélicoptère



La modification visant à installer le système de relevé des glaces avait été approuvée conformément au STC SH01-4²⁸ émis à JCM Aerodesign Limited et le BO 105 de la GCC était muni du système depuis 2001. La STC SH01-4 renvoie aux documents suivants :

- Dessin JCM-003011 révision nc daté du 10 janvier 2001;
- Manuel de pilotage supplémentaire (MPS) n° 003011FMS daté du 2 février 2001.

Le dessin JCM-003011 révision nc comprend de l'information portant sur l'installation du mât et l'assemblage de ses bras de soutien. Le MPS n° 003011FMS comprend les limites d'exploitation obligatoires, une section avec une description générale de la modification et une photo montrant l'acheminement des câbles de connexion.

Le 5 février 2001, la DGSA a émis l'ASSB 351-0262 intitulée « Installation of JCM Aerodesign Ice Probe per STC SH01-4 », comme document d'accompagnement du STC. Cette méthode permet de faire un suivi des STC dans le cadre du programme d'entretien de la DGSA.

1.6.8.2 Installation de la sonde de glace

Des vols d'essai ont dû être réalisés dans le cadre du processus STC. Pour obtenir un permis de vol d'essai, JCM Aerodesign Limited a préparé un rapport qui décrit comment l'hélicoptère allait être configuré pour les vols d'essai et qui comprenait des photos de l'acheminement des câbles. L'installation initiale du système de sonde, qui comprenait l'acheminement des câbles, a été faite par la DGSA sur un hélicoptère de la GCC. Conformément au rapport, les câbles étaient

²⁸ Approuvé par Transports Canada le 2 février 2001.

acheminés sur le côté gauche du fuselage durant les vols d'essai. Aucun vol d'essai n'a été effectué avec les câbles acheminés sur le côté droit du fuselage. Le titulaire du STC a documenté les détails de l'installation et a transmis ces renseignements sous forme d'un supplément au manuel de maintenance (MMS) n° 003011MMS (26 mars 2008). Ce MMS a été élaboré pour satisfaire aux exigences de la *Federal Aviation Regulation* (FAR) 27.1529 (Amdt. 27-3, Eff. 10/17/68), relativement à l'exigence concernant le manuel d'entretien de giravions.

Le personnel d'entretien de la DGSA avait accès à la documentation suivante relative à l'installation des câbles :

- MPS n° 003011FMS;
- MMS n° 003011MMS;
- Rapport de JCM Aerodesign n° 003011D (description technique);
- Manuel d'installation et d'utilisation EISFlow^{MD}.

Tous ces documents comprennent des photos montrant l'acheminement des câbles sur le côté gauche du fuselage. Toutefois, il n'est stipulé nulle part que les câbles doivent être installés de ce côté du fuselage et aucune note ou avertissement interdisent leur installation du côté droit.

Depuis 2001, la DGSA installe les câbles de sonde de glace du côté gauche de l'hélicoptère conformément aux photos figurant dans les nombreux documents à cet effet. La DGSA n'a aucun dossier témoignant d'une installation différente de ces câbles ni d'une demande d'acheminement autre que celui indiqué sur les photos. La base de données des rapports de sécurité de la DGSA ne contient aucun rapport de sécurité concernant l'installation du système de sonde de glace.

1.6.8.3 Installation de la sonde le jour de l'événement

Durant la première utilisation de la sonde et de la nacelle vidéo après la reconfiguration pour permettre l'installation du système de cinécaméra sur le patin gauche, en août 2013, on a décidé d'acheminer les câbles de la sonde du côté droit du fuselage. Malgré l'absence de toute instruction publiée pour un tel acheminement des câbles, le personnel d'entretien de la DGSA a positionné ceux-ci de manière à ce que leur acheminement soit semblable à celui du côté gauche. Le faisceau de câbles s'est ainsi trouvé au-dessus de la prise statique et du tube de Pitot du côté droit (photo 4).

Photo 4. Exemple d'acheminement du faisceau de câbles en août 2013



Durant le premier vol d'essai avec les câbles installés ainsi, on a noté des indications anémométriques erronées. L'hélicoptère est retourné au navire et s'est posé sans autre incident.

Le personnel d'entretien de la DGSA en a conclu que l'emplacement du faisceau de câbles nuisait probablement à l'écoulement d'air aux alentours du tube de Pitot et de la prise statique, source des indications anémométriques erronées. On n'a pu déterminer si cette anomalie nuisait également à l'altimètre.

On a donc réacheminé le faisceau de câbles le long du côté inférieur droit du fuselage, sous la prise statique et le tube de Pitot. Durant les vols suivants, on n'a relevé aucune indication anémométrique erronée. Aucune inscription n'a été faite dans le carnet de route d'hélicoptère concernant le changement dans l'acheminement des câbles ou encore les indications anémométriques erronées durant le premier vol. De plus, la DGSA n'a aucun dossier témoignant d'une proposition de modification pour changer l'acheminement des câbles.

Lorsque le personnel d'entretien de la DGSA en service durant l'événement est monté à bord du navire, la sonde avait été déposée, mais les câbles étaient toujours en place sur le côté inférieur droit du fuselage, sous le tube de Pitot et la prise statique. Durant cette première installation de la sonde et de la nacelle vidéo par le personnel d'entretien de la DGSA, les câbles ont été retirés du côté droit pour être réinstallés du côté gauche afin que leur installation soit conforme au MMS n° 003011MMS et aux photos fournies. C'est alors qu'on a informé le personnel d'entretien de la DGSA des changements apportés plus tôt à la nacelle vidéo et de l'installation des câbles sur le côté droit pour permettre ces changements. Le 8 septembre 2013, les câbles ont été retirés du côté gauche du fuselage pour être réinstallés du côté droit et acheminés d'une manière semblable à l'installation précédente du même côté. D'un diamètre d'environ 4 cm, le faisceau de câbles de la sonde a été acheminé environ 6 cm au-dessus de la prise statique et fixé en place par plusieurs couches d'un épais ruban adhésif gris au lieu d'utiliser les brides, comme le montre la photo 4. L'installation des câbles et de la nacelle vidéo du côté droit du fuselage a été notée dans le carnet de route d'hélicoptère.

Après la récupération de l'hélicoptère, on a noté que les câbles avaient été arrachés du mât et que les multiples couches de ruban adhésif n'avaient pu les tenir en place. Ces dommages sont fort probablement survenus durant l'impact. Les câbles traversaient toujours la porte arrière droite, mais celle-ci avait été arrachée du fuselage de l'hélicoptère.

Durant le vol en cause, les câbles étaient acheminés d'une manière semblable à leur première installation du côté droit de l'hélicoptère, installation qui avait donné lieu à des indications anémométriques erronées. On n'a pu déterminer si les indications anémométriques étaient exactes durant le vol en cause.

1.7 Renseignements sur la météo

1.7.1 Introduction

Les renseignements météorologiques ci-après sont un résumé du rapport d'analyse météorologique préparé par Environnement Canada.

1.7.2 *Météo pour l'aviation*

Le 9 septembre 2013, les secteurs ouest de l'archipel arctique canadien étaient sous l'influence d'une crête stationnaire de haute pression qui s'étendait depuis un important anticyclone centré près de 80°N, 118°W vers 70°N, 098°W. Les couches inférieures de l'atmosphère étaient couvertes de multiples couches de nuages sur l'ensemble de la région, y compris les îles Banks, Prince Patrick, Victoria et Melville.

Il n'y a qu'un nombre limité de messages d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) pour l'archipel arctique canadien qui comprennent les rapports d'état du ciel (hauteur du plafond nuageux et nébulosité), de visibilité et de temps actuel. Au moment de l'accident, l'endroit le plus proche qui diffuse des METAR était Sachs Harbour (CYSY) (Territoires du Nord-Ouest), sur la côte sud-ouest de l'île Banks, à environ 200 nm. Selon le METAR de 17 h, le vent soufflait de l'est à 11 nœuds, la visibilité était de 15 milles terrestres (sm) avec des nuages fragmentés à 1700 pieds au-dessus du niveau du sol (agl) et une autre couche de nuages fragmentés à 25 000 pieds agl, la température était de 2 °C et le point de rosée était de +1 °C. Plusieurs autres observations météorologiques sont disponibles pour la région autour du détroit de M'Clure; toutefois, aucune d'entre elles ne comprend l'état du ciel, la visibilité et le temps actuel.

Les prévisions de zone graphiques (GFA) comprennent des cartes des nuages et du temps ainsi que des cartes indiquant le givrage, la turbulence et le niveau de congélation. Les GFA qui couvrent le détroit de M'Clure (GFACN37) et qui ont été émises le 9 septembre 2013 couvraient la zone qui comprend le détroit de M'Clure, le chenal de Parry et les îles Banks, Prince Patrick, Melville et Victoria.

La carte des nuages et du temps de la GFA diffusée à 11 h 41 et valide à midi (avant l'accident) ainsi que la carte valide à 18 h (17 minutes après l'accident) faisaient état d'une vaste zone de nuages fragmentés avec plafond bas par endroits entre 500 et 1000 pieds agl (annexe A). Les prévisions faisaient également état d'une visibilité locale (25 % ou moins de la zone couverte) réduite à 2 sm par endroits dans des conditions de neige, et localement à 1 sm dans de la faible bruine verglaçante et de la brume dans les écoulements vers le littoral. Les cartes correspondantes indiquant le givrage, la turbulence et le niveau de congélation montraient une zone de givrage mixte et modéré dans les couches de nuages à l'est de la crête de surface de haute pression, et un givrage transparent modéré dans la bruine verglaçante locale (annexe B).

Les AIRMET servent à modifier les GFA, et les renseignements météorologiques significatifs (SIGMET) servent à avertir les pilotes de conditions météorologiques dangereuses et à modifier les GFA lorsque ces phénomènes ne figurent pas dans les prévisions. Aucun AIRMET ni aucun SIGMET n'avait été émis pour ce secteur aux alentours de l'heure de l'accident.

Le 9 septembre 2013, la fin du crépuscule civil²⁹ calculée au lieu de l'accident est survenue à 22 h 59. L'azimut du soleil était de 238,3 degrés à l'est du nord, et son altitude était de 13,3 degrés au-dessus de l'horizon. Le soleil se trouvait donc derrière et à la droite de l'hélicoptère alors que celui-ci volait vers l'est en direction du navire.

1.7.3 Conditions météorologiques observées en mer

Le NGCC *Amundsen* est muni d'une station automatisée d'observations météorologiques qui enregistre la température, le point de rosée, la direction et la vitesse du vent, la température de la surface de la mer, la pression atmosphérique et la tendance de la pression.

Le 9 septembre 2013 à 17 h, soit 41 minutes avant l'accident, le vent signalé soufflait du 130° à 6 nœuds. À 18 h, soit 17 minutes après l'accident, le vent soufflait du 140° à 3 nœuds, la température de l'air était de -1,4 °C et la température de la surface de la mer était de -0,6 °C. Après 14 h, le point de rosée était de 1 à 2 °C plus bas que la température de l'air. Étant donné que le point de rosée était inférieur à la température de la surface de la mer durant toute la journée, il est peu probable qu'il y ait eu de la bruine ou du brouillard givrant dans la région où se trouvait le navire. Il est fort probable que la visibilité aurait été maximale durant l'après-midi et en début de soirée. Des photos et vidéos prises durant le vol montrent que la visibilité était bonne – il n'y avait aucune précipitation et la ligne d'horizon était définie.

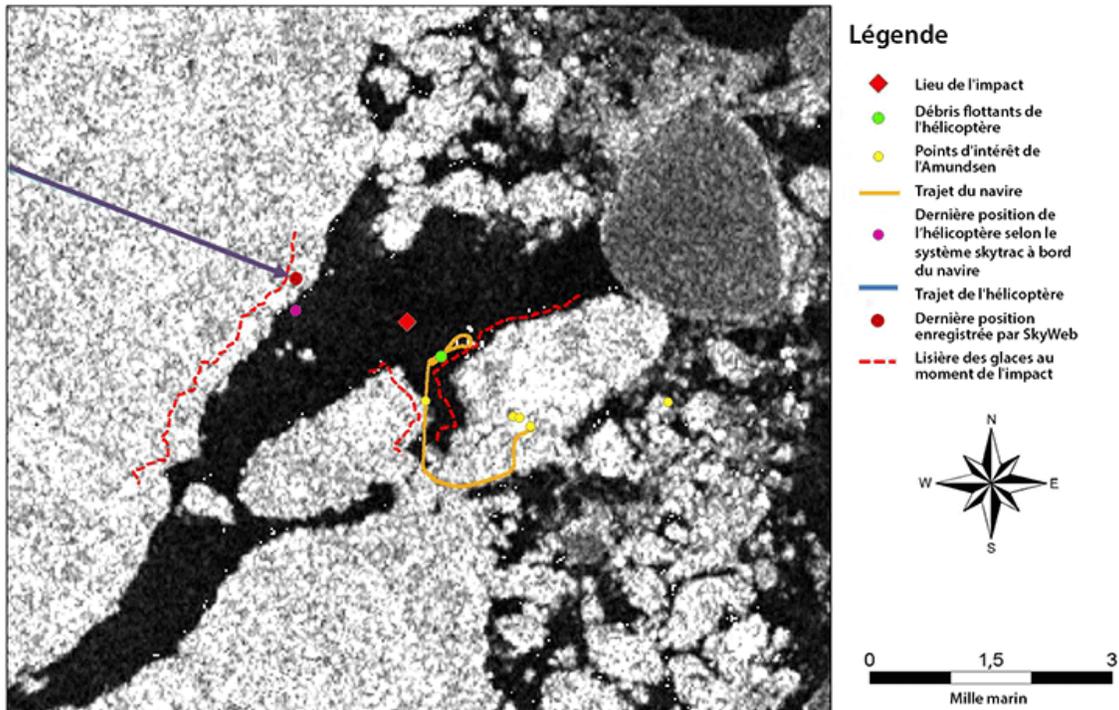
1.7.4 État des glaces

L'équipage du NGCC *Amundsen* recevait quotidiennement des cartes des glaces et des analyses d'images satellites du chenal de Parry et du détroit de M'Clure. Le jour de l'événement, on utilisait des images RADARSAT-2 et des cartes de la concentration des glaces produites par le Service canadien des glaces pour déterminer l'état des glaces dans le détroit de M'Clure.

Les images satellite les plus rapprochées de l'heure de l'événement ont été prises à 19 h 21 min 38 s le 9 septembre 2013, soit 1 heure et 38 minutes après l'événement, ou 57 minutes après que le navire s'est mis en route vers la dernière position connue (LKP) de l'hélicoptère. À la figure 5, les trajets du navire et de l'hélicoptère sont indiqués sur l'image RADARSAT-2 afin de donner un aperçu de leur route par rapport à l'état des glaces au moment de l'événement.

²⁹ En tenant compte des méridiens de référence des fuseaux horaires, période de la journée qui commence au coucher du soleil et se termine au moment défini par l'Institut des étalons nationaux de mesure du Conseil national de recherches du Canada. Note : Le crépuscule civil finit [en soirée] lorsque le centre du disque solaire est à 6 degrés au-dessous de l'horizon. (Source : Transports Canada, TP 1158F, *Glossaire à l'intention des pilotes et du personnel des services de la circulation aérienne*, Révision N° 22 [août 2013]).

Figure 5. Image RADARSAT-2 prise le jour de l'événement et montrant les trajets de l'hélicoptère et du navire (Source : Service canadien des glaces, avec annotations du BST)



Le mouvement des glaces a été mesuré à partir de l'image prise à 14 h 3 min 36 s, le 9 septembre 2013, soit 3 heures et 40 minutes avant l'accident. Les images prises avant et après l'événement ont permis aux enquêteurs de déterminer la position approximative de la lisière des glaces au moment de l'impact; elle est représentée par la ligne rouge tiretée à la figure 5.

L'image indique que les eaux libres que survolait l'hélicoptère mesuraient environ 2,3 nm de large. À partir de la position réelle de l'épave indiquée sur l'image RADARSAT-2, l'hélicoptère s'est écrasé environ 0,7 nm avant d'atteindre la prochaine lisière des glaces.

Alors que le NGCC *Amundsen* faisait route vers la dernière position connue de l'hélicoptère, il naviguait dans une banquise très serrée, avec une concentration totale des glaces de 9+/10³⁰; dont 8/10 de glace épaisse de première année en grand floe³¹, 1/10 de vieille glace³² en grand floe, et 1/10 de nouvelle glace³³ (annexe C).

³⁰ On exprime en dixièmes la concentration totale des glaces sur la surface de la mer.

³¹ D'après le *Manuel des normes d'observation des glaces* (MANICE) du Service canadien des glaces, une glace épaisse de première année présente une épaisseur supérieure à 120 cm, et un grand floe a une largeur qui varie de 500 à 2000 m.

³² Le MANICE définit la vieille glace comme étant de la glace de mer ayant survécu à au moins un été de fonte. Les accidents topographiques sont généralement plus arrondis que sur la glace de première année. La vieille glace peut être divisée en glace de deuxième année et en glace de plusieurs années.

³³ D'après le MANICE, la nouvelle glace a une épaisseur inférieure à 10 cm.

1.8 Aides à la navigation

Le NGCC *Amundsen* est doté d'un radiophare non directionnel (NDB), d'équipement de mesure de distance (DME) et du système de suivi des vols (SSV) SkyTrac comme aides à la navigation pour les pilotes qui effectuent les opérations de bord. Ces aides à la navigation embarquées étaient toutes fonctionnelles le jour de l'événement; aucune anomalie n'a été signalée.

L'hélicoptère était muni d'un radiocompas automatique (ADF) qui, lorsqu'il est activé, indique au pilote le cap vers le NDB du navire; de DME, qui indique la distance jusqu'au navire; et de l'interface CDU du SSV, qui indique le cap et la distance jusqu'au navire, lorsqu'il est activé. Il était également muni d'un système mondial de localisation (GPS) portable (un dispositif Garmin GPSMAP 396) comme aide à la navigation³⁴. Aucune anomalie n'a été consignée dans le carnet de route d'hélicoptère concernant cet équipement à bord de l'hélicoptère.

1.9 Communications

1.9.1 Procédures de communications en vol

Durant les opérations aériennes, la pratique habituelle est d'exercer une veille radio, même si l'aéronef est muni d'un FFS.

D'après le *Manuel d'information et de procédures relatives aux hélicoptères à bord des navires*³⁵, les procédures habituelles de communication durant les opérations aériennes normales veulent que le pilote :

- établisse le contact radio avec la passerelle après le démarrage des moteurs;
- demande à l'officier d'héli-plate-forme (OHP) l'autorisation de décoller avant chaque décollage;
- informe la passerelle quand il est en vol et qu'il a quitté le navire;
- transmet au navire un compte-rendu de position toutes les 15 minutes si l'aéronef n'est pas muni d'un NavLink, ou toutes les 30 minutes s'il est muni d'un NavLink;
- donne au navire une heure d'arrivée prévue (ETA) aussitôt que possible après le décollage;
- confirme cette ETA au moins 10 minutes avant d'apponter;
- demande à l'OHP l'autorisation d'apponter au moins 1 minute avant d'arriver.

³⁴ Le GPS n'a pas été retrouvé.

³⁵ Ministère des Pêches et des Océans, *Manuel d'information et de procédures relatives aux hélicoptères à bord des navires* (DFO/5282), Première révision (2007), chapitre 5.

Dans l'événement à l'étude, la dernière communication faite par le pilote était un appel radio pour confirmer son ETA dans 10 minutes. Aucun appel de détresse n'a été entendu ou enregistré.

1.9.2 Procédures en cas de perte de communication

D'après le *Manuel d'information et de procédures relatives aux hélicoptères à bord des navires*, au cas où aucune communication n'aurait eu lieu avec l'hélicoptère durant une période de 15 minutes ou au moment de la prochaine communication prévue :

- une tentative d'établissement de communication doit être effectuée;
- s'il n'y a aucun contact dans les 15 minutes qui suivent, les mesures normales de recherche et sauvetage doivent être mises en œuvre.

Dans l'événement à l'étude, la dernière communication avec le pilote a eu lieu à 17 h 38, lorsqu'il a confirmé son ETA 10 minutes avant son arrivée. Conformément aux procédures habituelles de communication décrites ci-dessus (1.9.1), l'appel suivant prévu aurait dû avoir lieu à 17 h 47 pour demander l'autorisation juste avant d'apponter. Ainsi, selon ces procédures, une recherche par moyens de communication aurait dû être lancée à 17 h 48. Toutefois, la première tentative de communication avec le pilote n'a eu lieu qu'à 18 h 18, soit 30 minutes plus tard³⁶.

D'après les procédures en cas de perte de communication, l'étape suivante aurait dû être de lancer les mesures SAR à 18 h 3, soit 15 minutes après le dernier appel attendu à 17 h 48 pour demander l'autorisation d'apponter. À 18 h 5, un membre de l'équipage de la timonerie a vérifié la position de l'hélicoptère affichée sur le CDU du SSV SkyTrac, qui indiquait que l'hélicoptère se trouvait à 3,2 nm du navire. À 18 h 18, on a amorcé une recherche par moyens de communication, et à 18 h 24, on a lancé les mesures SAR; le navire a fait route vers la dernière position affichée sur le CDU du SSV.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

Le pont d'envol du navire sert d'aérodrome³⁷ pour les opérations aériennes. Le pont d'envol et ses installations sur le navire ne présentaient aucune anomalie opérationnelle qui aurait pu avoir un effet négatif sur le vol du CCG364.

Le *Manuel d'information et de procédures relatives aux hélicoptères à bord des navires* offre une source unique d'information et de lignes directrices pour l'équipe du navire et de l'hélicoptère. D'après ce manuel, les tâches d'OHP sont habituellement confiées à l'officier en second, mais elles

³⁶ En tout, de 18 h 18 à 18 h 43, on a tenté à 18 reprises de joindre le pilote, sans succès.

³⁷ La *Loi sur l'aéronautique* définit un aérodrome ainsi : « Tout terrain, plan d'eau (gelé ou non) ou autre surface d'appui servant ou conçu, aménagé, équipé ou réservé pour servir, en tout ou en partie, aux mouvements et à la mise en œuvre des aéronefs, y compris les installations qui y sont situées ou leur sont rattachées. »

peuvent être confiées à un officier de pont qualifié ou au maître d'équipage. L'OHP relève du capitaine ou, en l'absence de celui-ci, de l'officier de quart. Dans l'événement à l'étude, étant donné que le capitaine était à bord de l'hélicoptère, l'officier en second agissait à titre de capitaine, et le deuxième lieutenant occupait les fonctions d'OHP. L'OHP était muni d'une radio à très haute fréquence (VHF) portable pour communiquer avec le pilote de l'hélicoptère, soit directement, soit par l'intermédiaire de l'équipage de la timonerie.

1.11 *Enregistreurs*

1.11.1 *Enregistreurs de bord*

L'hélicoptère n'était pas doté d'un enregistreur de données de vol (FDR) ni d'un enregistreur de conversations de poste de pilotage (CVR), et n'était pas tenu d'en avoir selon la réglementation en vigueur.

Les avantages des données de vol enregistrées dans les enquêtes sur les accidents d'aéronefs sont bien connus et documentés. On considère depuis des décennies que les enregistreurs de bord font partie des principaux outils des grandes enquêtes sur les accidents d'aéronefs. De nombreux rapports d'enquête aéronautique du BST ont fait état d'enquêteurs incapables de déterminer toutes les raisons pour lesquelles un accident s'est produit, étant donné l'absence de dispositifs d'enregistrement de bord. À l'heure actuelle, les CVR et les FDR sont considérés comme les moyens les plus complets pour saisir de grandes quantités de données de vol aux fins d'enquête sur les accidents. Les rapports d'enquête sur des aéronefs qui ne sont pas munis d'enregistreurs de bord contiennent à l'occasion des données téléchargées du GPS, des moniteurs de moteur ou d'autres sources de mémoire rémanente qui ne sont pas à l'épreuve des impacts, plutôt que celles d'enregistreurs de bord et des données radar. Les enquêtes qui peuvent compter sur des données d'enregistreur de bord et d'autres sources d'enregistrement comprenant une mémoire rémanente ont plus de chances de cerner des lacunes de sécurité que les enquêtes qui n'ont pas accès à de telles données.

Les aéronefs d'exploitation commerciale qui pèsent moins de 5700 kg ne sont pas habituellement dotés de l'infrastructure système nécessaire pour un FDR au moment de leur fabrication, et les FDR conventionnels exigeraient des modifications pour que l'on puisse les installer à bord d'aéronefs de cette catégorie. Il existe actuellement sur le marché plusieurs systèmes d'enregistrement des données de vol autonomes légers capables d'enregistrer une combinaison de données vidéo et audio du poste de pilotage, de données paramétriques de l'aéronef ou des messages de liaison de données et dont l'installation dans l'aéronef ne nécessite que des modifications minimales. Plusieurs exploitants d'hélicoptères ont déjà adopté ce type de

technologie comme point de départ pour le programme d'assurance de la qualité des opérations aériennes (AQOA)³⁸ recommandé par la Federal Aviation Administration (FAA).

Dans le Rapport d'enquête aéronautique A11W0048 du BST, le Bureau a recommandé que :

Le ministère des Transports, en collaboration avec l'industrie, élimine les obstacles et élabore des pratiques recommandées en ce qui a trait à la mise en œuvre du suivi des données de vol et à l'installation de systèmes d'enregistrement des données de vol légers par les exploitants commerciaux qui ne sont pas actuellement tenus de munir leurs aéronefs de ces systèmes.

Recommandation A13-01 du BST

TC appuie cette recommandation du BST et prévoit procéder en 2015-2016 à l'élaboration d'une circulaire d'information décrivant les pratiques recommandées concernant les programmes de suivi des données de vol (SDV). De plus, TC procédera à une consultation à l'aide d'un groupe de discussion afin de cerner les obstacles dans le mandat de TC et de formuler des recommandations visant à atténuer les obstacles à l'installation de systèmes légers d'enregistrement des données de vol par les exploitants commerciaux qui ne sont pas tenus de munir leurs aéronefs de ces systèmes.

Le Bureau est heureux de constater que TC entend prendre des mesures pour traiter des questions soulevées par la recommandation. Toutefois, les travaux sont toujours en cours. En conséquence, la réponse a été jugée comme dénotant une intention satisfaisante. Le BST continuera de surveiller la progression de la mise en œuvre des mesures prévues et demandera de plus amples renseignements à TC pour réévaluer cette lacune.

1.11.2 Photos et vidéos

Un appareil photo Canon, modèle PowerShot G10, a été récupéré de l'épave et envoyé au laboratoire du BST pour déterminer s'il était possible d'en extraire des données. On a réussi à extraire 31 images et 3 vidéos datées du 9 septembre 2013 pour en faire une analyse photogrammétrique.

³⁸ L'assurance de la qualité des opérations aériennes est un programme de sécurité volontaire conçu pour améliorer la sécurité aérienne par l'utilisation proactive de données d'enregistreurs de bord. (Source : http://www.faa.gov/about/initiatives/atos/air_carrier/foqa/ [dernière consultation le 24 novembre 2015])

Il y avait une différence appréciable entre la vidéo et les images fixes, et on estime que les images fixes sont plus représentatives des conditions de luminosité réelles du moment. La première vidéo a été enregistrée en couleurs, tandis que les 2 autres sont en noir et blanc (figure 6).

Un examen des 3 vidéos a permis de déterminer que si les repères ont varié durant le vol, ils étaient meilleurs durant la 3^e étape. La vidéo tournée durant la 3^e étape montre que :

- la lumière était plus vive que dans les 2 vidéos précédentes;
- les ombres étaient visibles, et le soleil était bas dans le ciel, environ à la position 5 heures de l'hélicoptère;
- un ciel couvert et sombre à l'horizon créait une ligne d'horizon distincte par rapport à la surface blanche de la glace;
- la texture de la glace variait de lisse à brisée;
- la vue ne présentait pas d'eaux libres³⁹.

Aucune image ni aucune vidéo ne montrait des signes d'un accident imminent. La dernière image parmi les photos, prise à 17 h 32 min 57 s – environ 10 minutes avant l'accident –, a servi à l'analyse photogrammétrique (photo 5).

Au moyen d'un modèle tridimensionnel CAO (conception assistée par ordinateur) du BO 105, et à partir de l'heure à laquelle la photo a été prise, et de l'altitude et de l'azimut du soleil, on a orienté le modèle de l'hélicoptère de manière à ce que son ombre corresponde à celle dans l'image pour déterminer l'altitude de l'hélicoptère et son cap à ce moment-là. On a déterminé

Figure 6. Saisie d'écran de la vidéo 3 prise à 17 h 33 min 34 s



Photo 5 Image fixe prise environ 10 minutes avant l'événement



³⁹ Il n'y avait aucune vue d'eaux libres durant la vidéo de 53 secondes.

que l'hélicoptère faisait route vers l'est suivant une trajectoire à 96°, à une altitude d'environ 16,5 pieds au-dessus du niveau de la glace depuis le point le plus bas du patin, à un angle d'inclinaison d'environ 1 degré à gauche et à une assiette longitudinale d'environ 1,5 degré vers le bas. Ces paramètres correspondent à une assiette et à une altitude convenables pour des opérations de mesure de l'épaisseur de la glace.

Dans les 3 vidéos récupérées, le coin supérieur gauche du tableau de bord de l'hélicoptère apparaît périodiquement dans l'image pour montrer les indicateurs du moteur. Les saisies d'images de chacun des segments montrant les indicateurs du moteur ont été accentuées afin de mieux montrer les indications des instruments. Les indicateurs de température d'huile (OIL TEMP), de pression d'huile (OIL PRESS), de température tuyères (TOT) et de moment de flexion du mât⁴⁰ étaient visibles. Les indicateurs OIL TEMP des 2 moteurs et de la transmission du rotor principal étaient tous dans les arcs verts. Les indicateurs TOT, OIL PRESS du moteur n° 1 et de la transmission du rotor principal étaient eux aussi tous dans les arcs verts. Malheureusement, les indicateurs TOT et OIL PRESS du moteur n° 2 n'étaient pas visibles dans les saisies d'image. En fonction des indications ci-dessus, il est raisonnable de conclure que les 2 moteurs fonctionnaient normalement au moment où la dernière image et la dernière vidéo ont été prises.

Ces images montrent également que le scientifique avait un ordinateur portable sur ses genoux et que l'écran était relevé. Le portable faisait partie de l'équipement du scientifique dans le cadre des opérations de mesure de l'épaisseur de la glace.

1.11.3 Enregistreur du navire

Le NGCC *Amundsen* était muni d'un enregistreur des données du voyage (VDR), même si la réglementation en vigueur ne l'exigeait pas⁴¹. L'appareil, un Rutter VDR-1 00G3, enregistrait les données audio, vidéo⁴² et de la National Marine Electronics Association (NMEA).

Peu après l'événement, l'équipage à bord du navire a sauvegardé les données du VDR. Les données audio ont servi à vérifier si l'on avait peut-être raté des appels du pilote qui auraient pu expliquer le retard dans l'arrivée de l'hélicoptère. Les données sauvegardées ont été remises aux enquêteurs du BST lorsqu'ils sont montés à bord du navire. Les enquêteurs ont utilisé diverses données extraites du VDR et l'heure d'un bruit de fond qu'ils n'ont pas attribué à de l'interférence pour calculer une position possible d'impact en se servant de la route de

⁴⁰ Le système d'indication du moment de flexion du mât mesure et indique les moments de flexion du mât rotor principal.

⁴¹ Le *Règlement sur les enregistreurs des données du voyage* est entré en vigueur le 30 septembre 2011 et exige que tous les nouveaux bâtiments à passagers d'une jauge brute de 500 ou plus, ou les bâtiments de charge d'une jauge brute de 3000 ou plus soient munis d'un enregistreur des données du voyage. Les propriétaires de bâtiments à passagers avaient jusqu'au 1^{er} juillet 2015 pour installer cet équipement.

⁴² Les données vidéo consistent en des images enregistrées depuis l'écran radar du navire à intervalles de 15 secondes.

l'hélicoptère consignée dans le registre du serveur SkyWeb. Cette position a servi de point de départ des recherches pour récupérer l'épave. Durant les recherches de l'épave, on a détecté une petite zone de débris de matériaux légers (panneaux) et de Plexiglas sur le fond marin dans un rayon de 15 m de la position d'impact calculée. On a ainsi déterminé que l'impact est survenu à 17 h 42 min 59 s, heure à laquelle le VDR a enregistré ce bruit de fond. Ce renseignement a permis aux enquêteurs de localiser l'épave avec un degré de précision qui leur a évité des jours de recherches.

Les dossiers du VDR ont été envoyés au laboratoire du BST à Ottawa pour faire effectuer des analyses plus approfondies. Des données audio, vidéo et NMEA utilisables ont été récupérées pour la période allant de 12 h 54 le 7 septembre 2013, à 12 h 54 le 10 septembre 2013. Les données pour la période allant de 16 h 15 à 20 h 45 le 9 septembre 2013 ont été extraites de l'appareil. L'examen des données vidéo a permis d'établir que le CCG364 était visible à l'écran radar à son départ du navire. Au total, 6 images radar ont saisi l'hélicoptère survolant les alentours du navire. Toutefois, les données vidéo n'ont fourni aucune preuve de la proximité de l'hélicoptère du navire au moment de son impact avec la surface de l'eau.

Les enregistrements audio pour la période allant de 16 h à 21 h, le 9 septembre 2013 ont également été extraits à des fins d'analyse. Les fichiers audio comprenaient 5 canaux distincts. Deux d'entre eux étaient des canaux VHF, tandis que les 3 autres étaient des microphones d'ambiance situés dans la timonerie du NGCC *Amundsen*. La qualité audio a été jugée bonne⁴³. Aucun appel de détresse venant du CCG364 n'a été enregistré.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.12.1 Examen préliminaire de l'épave

Le 25 septembre 2013, l'épave de l'hélicoptère a été récupérée et mise à bord du NGCC *Amundsen* avant d'être transférée à bord du NGCC *Henry Larsen*, qui prenait part à l'opération de recherche et récupération. Durant la recherche de l'épave au moyen d'un véhicule téléguidé (VTG), on a trouvé plusieurs autres morceaux d'épave. Toutefois, à cause des conditions météorologiques et de la détérioration de l'état des glaces, seule l'épave principale a été récupérée. Celle-ci comprenait le poste de pilotage, le fuselage, les patins d'atterrissage, la transmission principale, la tête rotor (avec une seule des 4 pales de rotor présente) et les 2 moteurs. La poutre de queue, sectionnée juste derrière le fuselage, n'a pas été récupérée. Le poste de pilotage était endommagé et il lui manquait plusieurs parties de vitres et de portes.

Les enquêteurs du BST et de Rolls-Royce ont examiné l'épave et les moteurs à bord du NGCC *Henry Larsen*, le 25 septembre 2013. Les éléments de preuve physique observés sur les composants de la chaîne dynamique de l'hélicoptère donnent à croire que les moteurs

⁴³ La plus grande partie de la conversation était claire et facilement intelligible, mais certains mots ou certaines parties de phrases ne l'étaient pas.

fonctionnaient au moment de l'impact. Ni l'un ni l'autre des moteurs ne présentait de signe de dommage ou de fonctionnement anormal avant l'impact.

On a rangé l'épave dans un hangar à bord du NGCC *Henry Larsen* pour la transporter à St. John's (Terre-Neuve et Labrador), sous la supervision du BST, où elle est arrivée le 12 octobre 2013. Elle a ensuite été acheminée par transport au sol au laboratoire du BST à Ottawa pour des examens plus approfondis.

1.12.2 *Empreinte des dommages et caractéristiques de l'impact*

L'examen de l'épave a eu lieu au laboratoire du BST, en présence de représentants d'Airbus Helicopters Deutschland GmbH, du bureau fédéral d'enquête sur les accidents aéronautiques d'Allemagne (Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung [BFU])⁴⁴, de TC et de la GCC à titre d'observateurs.

L'examen des dommages à la structure principale et à la sonde de glace ont indiqué que l'hélicoptère a percuté la surface de l'eau en position légèrement en piqué et légèrement inclinée à droite à une vitesse approximative de 54 nœuds. On estime que les dommages notés à la partie supérieure avant droite de l'hélicoptère sont fort probablement survenus plus tard durant l'écrasement. Comme l'hélicoptère s'est immobilisé à l'envers, il est possible que ces dommages soient survenus lorsqu'il a heurté le fond marin. Il est également possible que la force d'impulsion avant de l'hélicoptère lors de l'impact initial et la forte résistance de l'eau contre la surface inférieure du fuselage aient entraîné un moment de rotation qui a fait basculer l'hélicoptère vers l'avant⁴⁵.

L'examen de la partie de poutre de queue qui est restée fixée à l'hélicoptère a révélé des déformations et un transfert de matériau qui correspondent à un impact de pale de rotor. L'examen des images du fond marin prises par le VTG semble indiquer que la partie sectionnée de la poutre de queue était également endommagée par un impact de pale de rotor. Étant donné que la partie sectionnée de la queue n'a pas été récupérée, il a été impossible d'en faire un examen détaillé pour confirmer cette hypothèse.

1.12.3 *Examen des commandes de vol*

L'examen du circuit de commandes de vol et de ses composantes n'a révélé aucune anomalie qui aurait empêché l'exploitation normale, et on a noté la continuité des commandes de vol à l'échelle des circuits. Malgré le sectionnement de la poutre de queue durant l'impact, les images des composantes du rotor de queue prises par le VTG correspondent à un circuit de rotor de queue intact au moment de l'impact.

⁴⁴ En tant qu'État de construction et conformément à l'annexe 13 de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), le BFU, à titre d'autorité allemande responsable des enquêtes, a nommé un représentant agréé et des conseillers techniques pour appuyer l'examen.

⁴⁵ Un basculement vers l'avant est une rotation autour de l'axe latéral, c'est-à-dire l'axe qui traverse l'hélicoptère de gauche à droite.

1.12.4 *Examen des instruments et voyants d'alarme*

Les instruments et voyants d'alarme ont été récupérés avec l'épave et on les a examinés pour déterminer ce qu'ils indiquaient au moment de l'impact. L'examen au microscope des cadrans des instruments et de leurs mécanismes internes n'a révélé aucune marque qui aurait pu indiquer leur position au moment de l'impact.

Les filaments des ampoules des voyants du panneau annonciateur ont été examinés au microscope afin de déterminer s'ils étaient allumés ou éteints au moment de l'impact. Habituellement, le filament d'une lampe présente une déformation, comme un allongement ou un étirement des spires du filament, s'il était chaud au moment du choc. Un filament froid peut aussi se rompre en plusieurs morceaux si le choc est suffisamment grand, mais il peut aussi demeurer intact. Aucun des filaments ne présentait d'allongement ou d'étirement.

1.13 *Renseignements médicaux et pathologiques*

Une fois à bord du navire, les 3 occupants ont été menés dans le hangar sur des civières. Aucun des 3 occupants ne présentait de signe vital, mais ils présentaient des signes de noyade. On a commencé la réanimation du pilote, mais on l'a interrompue après quelques minutes. Aucune réanimation du capitaine ou du scientifique n'a été tentée, et l'officier de santé a constaté le décès des 3 occupants.

Le NGCC *Amundsen* est rentré à Resolute Bay, où la Gendarmerie royale du Canada (GRC) a pris en charge les défunts au nom du médecin légiste. Les défunts ont ensuite été transportés aux laboratoires du médecin légiste à Edmonton (Alberta), où l'on a procédé à l'examen externe des 2 passagers et à l'autopsie du pilote, le 16 septembre 2013. Le médecin légiste a conclu que l'immersion dans l'eau froide avait entraîné la mort des 3 occupants. Rien n'indique que des facteurs physiologiques ont nui à la performance du pilote.

1.14 *Incendie*

Aucun incendie ne s'est déclaré avant ou après l'impact.

1.15 *Questions relatives à la survie des occupants*

1.15.1 *Généralités*

Tous les occupants ont survécu à l'impact, mais ont succombé à la noyade après leur immersion dans l'eau froide. Des études ont montré que, pour les hélicoptères civils immatriculés au Canada, les taux de survie après un accident dans l'eau correspondent aux données mondiales publiées par le passé et demeurent autour de 78 %⁴⁶. Ces études montrent également que le

⁴⁶ C.J. Brooks, C.V. MacDonald, L. Donati et M.J. Taber, « Civilian Helicopter Accidents into Water: Analysis of 46 Cases, 1979-2006 », *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 79, N° 10 (2008), pp. 935-940.

manque d'avertissement avant l'impact avec le plan d'eau et la position finale de l'hélicoptère – qui coule ou qui est à l'envers – sont d'importants facteurs contributifs aux décès. De plus, la noyade demeure la principale cause de décès rapportée dans les accidents d'hélicoptère dans l'eau.

Quand un hélicoptère se trouve à l'envers, cette soudaine inversion fait que les survivants doivent non seulement évacuer l'épave avant d'être complètement submergés dans l'eau froide, mais ils doivent aussi trouver une issue alors qu'ils sont à l'envers, position qui entraîne la désorientation⁴⁷.

1.15.2 Radeau de sauvetage

D'après le paragraphe 602.63(5) du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC) :

Il est interdit d'utiliser, au-dessus d'un plan d'eau, un hélicoptère multimoteur pouvant se maintenir en vol en cas de panne d'un moteur, au-delà de 50 milles marins ou d'une distance qui peut être parcourue en 30 minutes de vol, à la vitesse de croisière précisée dans le plan de vol ou l'itinéraire de vol, d'un site convenable pour un atterrissage d'urgence, selon la distance la plus courte, à moins que ne soient transportés à bord des radeaux de sauvetage d'une capacité nominale totale permettant de recevoir toutes les personnes à bord.

Dans l'événement à l'étude, le vol s'est déroulé au-dessus d'une zone couverte d'une concentration de glace de 9+/10, qui comprenait des banquises de largeur variant de 500 à 2000 m. Huit dixièmes de cette zone avaient une épaisseur supérieure à 120 cm. Une telle épaisseur de glace peut supporter en toute sécurité une charge limite de 58 000 kg⁴⁸, ce qui est amplement supérieure à la masse maximale au décollage certifiée de l'hélicoptère. De la glace continue capable de supporter l'hélicoptère aurait pu convenablement servir de lieu d'atterrissage d'urgence. Par conséquent, l'exigence du RAC concernant le transport d'un radeau de sauvetage à bord ne s'appliquait pas à ce vol. Toutefois, d'après l'ordonnance de la flotte de la GCC 218.00, *Helicopter Safety Equipment Requirements*, et le *Manuel d'exploitation – Hélicoptères de la Garde côtière canadienne*⁴⁹, l'hélicoptère doit être doté d'un radeau de sauvetage approuvé par TC lorsque le plan de vol d'un hélicoptère de la GCC comprend le vol au-dessus de l'eau.

⁴⁷ C.J. Brooks, « The Human Factors of Surviving a Helicopter Ditching », *Survival at Sea for Mariners, Aviators and Search and Rescue Personnel* (Survie en mer pour les marins, les aviateurs et le personnel de recherche et de sauvetage), Organisation OTAN pour la recherche et la technologie (février 2008), Chapitre 5.

⁴⁸ Ministère des Transports des Territoires du Nord-Ouest, *A Field Guide to Ice Construction Safety* (novembre 2007).

⁴⁹ Transports Canada, Direction générale des services des aéronefs, *Manuel d'exploitation – Hélicoptères de la Garde côtière canadienne* (septembre 2006), section 4.25.6.

Le radeau de sauvetage approuvé par TC qui se trouvait à bord de l'hélicoptère en cause avait été fabriqué par Winslow Life Raft Company en février 2008. Le radeau est un appareillage d'aéronef homologué qui répond à la Technical Standard Order (TSO) C-70a de la FAA. Il est installé à la verticale à l'arrière du pylône central, juste devant les sièges arrière. Il est conçu pour recevoir 6 occupants et offre une capacité de surcharge de 9 occupants. La structure de support du radeau s'est séparée du pylône central durant l'accident. Toutefois, lorsque l'on a récupéré l'hélicoptère, le radeau de sauvetage était toujours attaché à la structure et se trouvait plus ou moins à son emplacement normal dans la cabine.

D'après le certificat de validation de capacité de service, le radeau était valide, et son prochain entretien prévu était en avril 2014. Durant l'examen, le radeau s'est gonflé à la bonne pression et dans la forme prévue. Toutefois, après une période de 24 heures, on a pris note du fait que le tube de flottaison inférieur s'était complètement dégonflé. On a déterminé que la source de la fuite était une petite coupure d'environ 6 mm de long, dans la paroi extérieure du tube de flottaison inférieur. L'absence de tout signe de perforation ou de coupure de la valise extérieure du radeau, ou encore du polywrap métallisé dans lequel le radeau est conditionné sous vide indique que cette coupure existait probablement avant le chargement du radeau. Étant donné que ce radeau peut demeurer à flot avec un seul tube de flottaison gonflé même en situation de capacité de surcharge du radeau, le poids des 3 occupants n'aurait probablement pas présenté de problème.

1.15.3 Exigences réglementaires concernant les combinaisons pour passagers d'hélicoptère

À l'heure actuelle, les exigences réglementaires et les normes concernant les combinaisons pour passagers d'aéronef sont énoncées à l'alinéa 602.63(7)(a) du RAC et à la norme 551.407 du RAC.

L'article 602.63(7) du RAC stipule, en partie :

Il est interdit d'utiliser un hélicoptère au-dessus d'un plan d'eau dont la température est inférieure à 10 °C lorsque des radeaux de sauvetage doivent être transportés [...] à moins que les conditions suivantes ne soient réunies :

(a) la combinaison pour passagers d'hélicoptère est mise à la disposition de chaque personne à bord [...]

À la suite de l'enquête A09A0016 du BST, TC avait indiqué que ces dispositions ne s'appliquaient pas aux combinaisons des équipages de conduite. Cela semble contredire l'alinéa 602.63(7)(a), selon lequel chaque personne à bord doit avoir une combinaison pour passager d'hélicoptère. Il serait raisonnable de penser que cela comprend l'équipage de conduite. Toutefois, comme certaines des caractéristiques de conception de ces combinaisons ne sont pas compatibles avec le port d'un casque de vol ou d'un casque d'écoute, nuisent à l'amplitude des mouvements des commandes de vol ou limitent la souplesse, et entraînent la fatigue causée par la chaleur (surchauffe), TC a examiné l'exigence relative à une combinaison

propre aux équipages de conduite d'aéronef⁵⁰. TC a par la suite proposé une modification aux alinéas 602.63(7)(a) et (b)⁵¹ du RAC, qui exigerait que chaque membre de l'équipage de conduite porte une combinaison d'équipage de conduite d'hélicoptère. TC a indiqué qu'il faudrait un certain temps pour développer la norme de combinaison d'équipage de conduite d'aéronef et qu'entre-temps, la nouvelle réglementation permettrait aux exploitants de choisir n'importe quelle combinaison propre à l'équipage de conduite offrant une protection adéquate.

Bien qu'il n'existe actuellement aucune spécification de TC pour ce type de combinaison pour passager, en 2006, l'Agence européenne de sécurité aérienne (AESA) a publié les normes suivantes de conception de combinaison qui s'appliquent à la fois aux passagers et aux équipages de conduite :

- Spécification technique européenne (ETSO-2C502), *Helicopter Crew and Passenger Integrated Immersion Suits* [combinaisons de survie intégrées destinées à l'équipage et aux passagers des hélicoptères];
- Spécification technique européenne (ETSO-2C503), *Helicopter Crew and Passenger Immersion Suits for Operations to or from Helidecks Located in a Hostile Sea Area* [combinaisons de survie destinées à l'équipage et aux passagers des hélicoptères qui participent à des opérations à destination ou au départ des héliplates-formes situées dans des zones maritimes hostiles].

Dans l'événement à l'étude, puisque le RAC n'exigeait pas le transport d'un radeau de sauvetage à bord, comme l'indique la section 1.15.2 du présent rapport, il n'était pas nécessaire de fournir aux passagers une combinaison pour passager d'hélicoptère et ceux-ci n'étaient pas tenus d'en porter une, d'après le RAC.

L'article 551.407 des normes de la Partie V du RAC⁵² définit une combinaison pour passager d'aéronef comme il suit :

Désigne toute combinaison flottante individuelle qui réduit le choc thermique au contact de l'eau froide, retarde l'effet d'hypothermie au cours d'une immersion dans l'eau froide, assure une certaine flottabilité et minimise les risques de noyade tout en ne gênant pas l'utilisateur dans ses efforts pour évacuer un aéronef ayant fait un amerrissage forcé.

D'après le RAC, les normes de conception actuelles⁵³ de même que d'autres normes⁵⁴ s'appliquent aux combinaisons pour passagers d'aéronef et représentent des critères acceptables

⁵⁰ L'examen a eu lieu parallèlement à la rédaction de la nouvelle réglementation visant à donner suite aux recommandations du BST concernant les dispositifs de flottaison d'urgence et les dispositifs respiratoires submersibles de secours (recommandations A11-03 et A11-04 du BST).

⁵¹ La version actuelle a été publiée dans la partie I de la *Gazette du Canada* en novembre 2013.

⁵² Article 551.407 « Combinaisons pour passagers d'hélicoptère ».

⁵³ Office des normes générales du Canada, Norme nationale du Canada, CAN/ONGC-65.17-99 « Combinaisons pour passagers d'hélicoptère » (décembre 1999).

aux fins de certification. Malgré le fait que le RAC mentionne la norme de conception actuelle comme étant la norme CAN/ONGC-65.17-99 publiée en 1999, une nouvelle norme a été rédigée en 2012⁵⁵, selon le site Web du Conseil canadien des normes. Toutefois, à l'heure actuelle, aucun produit connu ne se conforme à cette plus récente norme. D'après la norme CAN/ONGC-65.17-99, la combinaison pour passager d'aéronef doit offrir une protection thermique d'au moins 0,75 clo⁵⁶.

Le capitaine et le scientifique portaient tous les 2 une combinaison pour passager d'hélicoptère Mustang Survival modèle MS2175 TC (figure 7), vêtement approuvé par la DGSA et la GCC comme combinaison d'immersion. Toutefois, ce modèle n'est certifié selon aucune norme établie et offre une isolation thermique dans l'eau calme de 0,4 clo. Cette combinaison se fonde sur le concept original de vêtement de survie de Mustang Survival auquel on a apporté des modifications pour aider le porteur à évacuer en sécurité un hélicoptère en cas d'amerrissage forcé. Comparativement au vêtement de survie, la combinaison pour passager d'hélicoptère offre moins de flottabilité, ce qui rend l'évacuation plus sûre, et plus de protection contre le froid pour accroître le temps de survie dans l'eau. Mustang Survival recommande de porter la combinaison avec un gilet de sauvetage à gonflage manuel afin d'améliorer la flottabilité. D'après le fabricant, ce produit est conçu pour fournir une flottaison et protéger contre l'hypothermie en cas d'immersion dans l'eau froide.

Figure 7. Combinaison MS2175 TC



Le vêtement MS2175 TC est muni d'un capuchon en néoprène et de gants à 3 doigts en forme de pince de homard, que l'on range dans les 2 poches intégrées aux jambes. Les manchettes du vêtement aux poignets et chevilles sont munies de fermetures auto-grippantes pour permettre un ajustement personnalisé. Le concept du vêtement permet l'infiltration de l'eau par le cou et aux manchettes des poignets et des chevilles.

Ces vêtements sont fournis dans des tailles allant de très petit à très très très grand. Le capitaine et le scientifique portaient tous 2 un vêtement de grande taille (42-46 pouces). D'après le tableau des tailles de ce vêtement et le fait que les 2 personnes portaient des vêtements d'hiver, cette taille (grande) aurait été correcte. Aucune instruction n'est fournie avec le vêtement concernant la façon de l'enfiler et de l'enlever.

⁵⁴ Office des normes générales du Canada, Norme nationale du Canada, CAN/ONGC-65.17-M88 « Combinaisons pour passagers d'hélicoptère » (janvier 1988).

⁵⁵ Office des normes générales du Canada, Norme nationale du Canada, CAN/ONGC-65.17-2012 « Combinaisons pour passagers d'hélicoptère » (avril 2012).

⁵⁶ Le clo est une unité de mesure de l'isolation thermique des vêtements. Un clo égale 0,155 °C x watts⁻¹.

Durant la récupération, on a noté le fait que le vêtement de chacun des passagers était rempli d'eau et que ni l'un ni l'autre de ceux-ci ne portait le capuchon ou les gants. L'examen des vêtements a permis de noter que les capuchons et les gants se trouvaient dans leur pochette de rangement et que la fermeture éclair de chacune d'elles était fermée. D'après la publication TP13822F de TC, *La survie en eaux froides : Rester en vie*, le gant à 3 doigts en forme de pince de homard « en pratique [...] fonctionne très bien, mais toute tâche qui exige la motricité fine ne sera pas facile. »

Selon la norme CAN/ONGC-65.17-99, l'une des exigences relativement à la performance des combinaisons pour passagers d'hélicoptère est la capacité de « redresser » le porteur, que l'on définit ainsi :

[traduction] Le vêtement doit pouvoir retourner le porteur, d'une position ventrale à une position face vers le haut en 5 secondes ou permettre au porteur de se redresser sans aide d'une position ventrale à une position face vers le haut en 5 secondes. Si un vêtement offre une flottabilité additionnelle, ce vêtement doit être conçu pour répondre à ces exigences lorsqu'on utilise un moyen de flottabilité additionnelle comme lorsqu'on n'en utilise pas⁵⁷.

Ni l'un ni l'autre des 2 passagers qui portaient le vêtement MS2175 TC n'a été retrouvé flottant complètement sur le dos.

1.15.4 Politique de la Direction générale des services des aéronefs / Garde côtière canadienne concernant les combinaisons d'immersion

D'après le *Manuel d'exploitation – Hélicoptères de la Garde côtière canadienne*⁵⁸, les équipages de conduite et passagers à bord d'hélicoptères multimoteurs de la GCC qui survolent l'eau à des distances supérieures à 15 nm du navire, de la côte ou de la glace continue capable de supporter l'hélicoptère doivent porter une combinaison d'immersion. L'ordonnance de la flotte 218 de la GCC, *Helicopter Safety Equipment Requirements*, comprend les mêmes exigences pour son personnel; toutefois, ce document appelle ce vêtement une combinaison pour passagers d'hélicoptère. Les documents de la DGSA et de la GCC utilisent de façon interchangeable les termes combinaison d'immersion, combinaison pour passagers d'hélicoptère et combinaison étanche, malgré le fait que chacun de ces types de vêtements a ses propres caractéristiques.

Dans l'événement à l'étude, même quand l'hélicoptère survolait des eaux libres, il se trouvait toujours à l'intérieur d'un rayon de 15 nm de la glace continue capable de supporter l'hélicoptère en cas d'atterrissage d'urgence. Ainsi, il n'y avait aucune exigence visant le port de combinaisons d'immersion, mais le catalogue d'exploitation de sous-unité (SOC) exige que les équipages de conduite et les techniciens navigants portent l'équipement de survie approprié en

⁵⁷ Office des normes générales du Canada, Norme nationale du Canada CAN/ONGC-65.17-99 « Combinaisons pour passagers d'hélicoptère » (décembre 1999).

⁵⁸ Transports Canada, Direction générale des services des aéronefs, *Manuel d'exploitation – Hélicoptères de la Garde côtière canadienne* (septembre 2006), section 5.23.1.

fonction de la zone d'opérations. Cependant, le SOC ne définit pas la notion de zone d'opérations afin de déterminer ce que l'on considère comme approprié en matière d'équipement de survie.

Le *Manuel d'exploitation – Hélicoptères de la garde côtière canadienne*⁵⁹ stipule que, lorsque des radeaux de sauvetage doivent être transportés à bord et que la température de l'eau est inférieure à 10 °C, chaque personne à bord doit avoir une protection contre l'hypothermie. Bien que la DGSA et la GCC encouragent fortement les membres d'équipage et les passagers à porter en tout temps une combinaison d'immersion ou une combinaison pour passagers d'hélicoptère lorsque le vol a lieu au-dessus de l'eau, leur port n'est pas obligatoire lorsque la température combinée de l'air et de l'eau est supérieure à 25 °C afin de parer au risque d'épuisement par la chaleur et de déshydratation qui peut survenir avec le port continu de combinaisons d'immersion.

1.15.5 *Combinaisons d'immersion des équipages de conduite de la Direction générale des services des aéronefs*

À la suite de l'accident à Marystown (Terre-Neuve-et-Labrador) (A05A0155), le groupe de travail mixte DGSA-GCC sur la sécurité des opérations d'hélicoptère a recommandé la fourniture d'une combinaison d'immersion améliorée aux équipages de conduite. Les opérations d'hélicoptère de la GCC se déroulent dans des conditions très différentes de celles de l'industrie d'exploration et de production pétrolière en mer. La DGSA devait relever le défi de trouver une combinaison d'immersion à port continu qui offre non seulement un degré élevé de protection, mais aussi un degré raisonnable d'utilisabilité durant les opérations normales à toutes les saisons de l'année. Une évaluation des risques des opérations au-dessus de l'eau a été faite et, après un examen de l'équipement disponible pour ce secteur d'activité et un essai de 12 mois au cours duquel les pilotes et techniciens d'entretien d'aéronefs ont testé différentes combinaisons, la combinaison d'immersion Viking modèle PS4089 et la sous-combinaison matelassée n° PS4830 ont été retenues et achetées.

⁵⁹ Transports Canada, Direction générale des services des aéronefs, *Manuel d'exploitation – Hélicoptères de la Garde côtière canadienne* (septembre 2006), section 6.7.

La combinaison Viking PS4089 est un vêtement imperméable à l'eau fabriqué en GORE-TEX^{MD} muni d'une fermeture éclair hydrofuge, de manchettes et d'un col en néoprène et de chaussettes imperméables à l'eau fixées aux jambes (figure 8). Des gants à 3 doigts en forme de pince de homard et un capuchon en néoprène se rangent dans les poches au bas de la jambe. Des fermetures éclair ont été ajoutées à la combinaison pour permettre de joindre le gilet de sauvetage Switlik directement à la combinaison. Cette combinaison ne prévient pas parfaitement l'infiltration de l'eau étant donné son concept de joint divisé à l'encolure⁶⁰. La combinaison PS4089⁶¹ n'offre pas une flottabilité inhérente et offre une certaine protection thermique lorsqu'elle est sèche. Un gilet de sauvetage distinct assure la flottabilité, tandis qu'une sous-combinaison thermique procure la protection thermique. Sèche, cette combinaison offre un facteur d'isolation de 0,7 clo en eaux calmes. Toutefois, ce facteur diminue à aussi peu que 0,15 à 0,2 clo lorsqu'elle est remplie d'eau. L'exigence d'une valeur clo d'au moins 0,75 pour les combinaisons d'immersion ne s'applique pas aux équipages de conduite, et il n'existe à l'heure actuelle aucune définition ni norme réglementaire pour une combinaison d'immersion d'équipage de conduite. La Spécification technique européenne (ETSO) fixe une valeur clo minimale de 0,5 pour une combinaison d'équipage de conduite.

Figure 8. Combinaison Viking PS4089



Le 10 avril 2012, on a fourni au pilote une combinaison d'immersion PS4089 et une sous-combinaison thermique PS4830 taillées sur mesure⁶². On a également donné au pilote une formation sur l'utilisation et l'entretien de cette combinaison. Durant la partie de la formation traitant de la façon d'enfiler et d'enlever la combinaison, on a insisté tout particulièrement sur l'importance de fermer complètement les fermetures éclair. Le jour de l'événement, le pilote portait la combinaison de même que la sous-combinaison thermique.

Durant la récupération, on a noté que la combinaison du pilote était remplie d'eau et que la fermeture éclair était fermée environ jusqu'à la mi-poitrine. L'examen de la combinaison a permis de noter que le capuchon et les gants se trouvaient dans leur pochette de rangement et que la fermeture éclair de chacune d'elles était fermée. En outre, on a relevé une petite déchirure sur la partie arrière supérieure de la manche droite. L'usage des 2 mains est nécessaire pour fermer complètement la fermeture éclair : l'une pour tirer sur la languette et l'autre pour empêcher le matériel de la combinaison de se coincer dans la fermeture éclair. En

⁶⁰ Transports Canada a été informé de cette norme dans le cadre de son processus d'approvisionnement.

⁶¹ La combinaison a été conçue sans flottabilité inhérente afin de faciliter l'évacuation d'un aéronef submergé.

⁶² La combinaison et la sous-combinaison sont considérées comme des produits « non navigables »; elles ne sont donc assujetties à aucun règlement de navigabilité.

fermant la fermeture éclair autour du cou, le porteur doit incliner la tête vers l'arrière et vers la droite pour maintenir la fermeture éclair bien droite.

Durant le vol, il était courant pour les pilotes de la DGSA de laisser leur combinaison d'immersion partiellement ouverte, environ jusqu'à la mi-poitrine. En mai 2011, la DGSA de TC avait émis un document interne⁶³ qui décrivait la nouvelle combinaison d'immersion et le raisonnement qui sous-tendait son utilisation. Ce document précisait notamment ce qui suit :

[traduction] La conception de la combinaison Viking incorpore un « joint divisé » à l'encolure qui permet de porter la combinaison partiellement ouverte durant certaines opérations aériennes. Un ensemble de fermetures éclair a été ajouté à la combinaison pour attacher le gilet de sauvetage Switlik directement à celle-ci, tout en permettant de laisser la fermeture éclair de la combinaison partiellement ouverte. Pour obtenir une protection maximale, il est primordiale de complètement fermer la fermeture éclair jusqu'au cou avant l'immersion dans l'eau. La combinaison doit être portée de cette façon chaque fois qu'il y a un risque d'immersion dans l'eau après un amerrissage d'urgence ou intentionnel et qu'il est possible que l'aéronef ne demeure pas à la verticale.

Ce document comprenait également le passage suivant :

[traduction] Nous encourageons les équipages de conduite et les passagers à porter des combinaisons d'immersion approuvées même dans des conditions où leur port n'est pas obligatoire. De plus, dans tous les cas où le commandant de bord (PIC) estime que les conditions justifient le port d'une combinaison d'immersion, les passagers et les autres membres d'équipage doivent porter une combinaison d'immersion, peu importe les critères mentionnés ci-dessus.

⁶³ Transports Canada, Direction générale des services des aéronefs, *Immersion Suit-CCG Operations* (18 mai 2011).

1.15.6 Vêtement de flottaison individuel

D'après le *Manuel d'exploitation – Hélicoptères de la Garde côtière canadienne* et l'ordonnance de la flotte 218.00 de la GCC, lorsque le plan de vol comprend le vol au-dessus de l'eau, tous les passagers à bord des hélicoptères de la GCC doivent porter un vêtement de flottaison individuel (VFI) approuvé par la GCC durant le vol au complet. L'utilisation du gilet de sauvetage Switlik HV-35C pour l'équipage d'hélicoptère est approuvée et il s'agit du type de VFI que portaient tous les occupants.

Ce gilet de sauvetage comprend un dos en mailles de filet et 2 chambres de flottaison, chacune avec son propre système de gonflage manuel au CO₂⁶⁴, et un tube de gonflage à bouche. Il comprend également 2 poches, chacune avec un rabat retenu en place par une fermeture auto-grippante, et une boucle (photo 6).

Le gilet de sauvetage HV-35C est certifié par la FAA conformément à la spécification technique TSO C13d. Selon TC, les gilets de sauvetage qui sont certifiés selon la spécification TSO C13d sont approuvés au Canada.

D'après la spécification technique TSO C13d, le gilet de sauvetage doit maintenir le porteur dans une position de flottaison lorsque pas plus de la moitié des chambres de flottaison sont gonflées et les autres chambres de flottaison sont complètement dégonflées. Le gilet de sauvetage doit redresser le porteur qui se trouve dans l'eau en position ventrale dans les 5 secondes qui suivent l'activation. Le gilet de sauvetage gonflé doit maintenir la bouche et le nez du porteur, entièrement détendu, au-dessus de la ligne d'eau, avec le tronc du corps incliné vers l'arrière par rapport à une position verticale. La façon mécanique de gonfler le gilet de sauvetage est de tirer sur les cordons reliés à chacun des dispositifs de gonflage. La force nécessaire pour activer ces dispositifs ne doit pas dépasser 15 livres.

Les instructions de gonflage et d'utilisation du gilet de sauvetage HV-35C précisent ce qui suit :

[traduction] Ne pas gonfler le gilet de sauvetage à l'intérieur de l'aéronef.

Après avoir évacué l'aéronef, tirer d'un coup sec sur les cordons de gonflage.

Si le gilet ne se gonfle pas ou ne se gonfle pas complètement, souffler dans les tubes de gonflage à bouche.

Photo 6. Gilet de sauvetage Switlik HV-35C d'équipage d'hélicoptère



⁶⁴ L'utilisation de vêtements de flottaison individuel à gonflage automatique n'est pas approuvée au Canada, conformément à la norme 551.403 du *Règlement de l'aviation canadien*.

Tirer sur la languette de la pile amorçable pour allumer la lumière.⁶⁵

Le pictogramme qui illustre la façon d'enfiler le gilet de sauvetage indique qu'il faut tirer sur les 2 cordons en même temps.

En mars 2013, un membre du personnel de base de la DGSA a informé le chef, Assurance de la qualité de la maintenance de la DGSA, que l'on avait trouvé un VFI plié de la mauvaise façon, et que le manuel de révision des gilets⁶⁶ ne comprenait aucun dessin de référence qui illustrait les instructions pour plier un VFI. Avant la fin du mois, on a fourni à la base une version corrigée du manuel de révision des gilets de sauvetage, et on a indiqué à la personne en question de passer en revue la plus récente procédure.

Le 23 septembre 2013, le même membre du personnel a constaté un autre cas d'un VFI mal plié à la même base. La DGSA a immédiatement effectué un examen interne d'assurance de la qualité, et le 25 septembre 2013, a émis l'avis 010-25-60-027, *Switlik life preserver folding procedure*.

En mars 2014, la DGSA a trouvé 7 VFI qui avaient été incorrectement pliés. Pour clarifier la procédure de pliage, la DGSA a émis un second avis (010-25-60-027 rév. A), le 15 mai 2014, et a produit et distribué une vidéo d'instructions au personnel responsable de l'inspection et du pliage des gilets de sauvetage. Les instructions du fabricant de ce gilet stipulent que les chambres de flottaison doivent être pliées en accordéon plutôt que roulées.

Afin de montrer le danger potentiel d'un VFI mal plié, la DGSA a effectué un essai⁶⁷. Un employé de la DGSA a enfilé le gilet de sauvetage et a tiré uniquement sur le cordon de droite. La bouteille de droite a gonflé la chambre de flottaison. On a bien noté que le sceau de droite s'est immédiatement relâché pour permettre au côté droit de la chambre de se gonfler. Par contre, le sceau de gauche ne s'est pas immédiatement relâché, ce qui a empêché le côté gauche de la chambre de se gonfler. Le mouvement des bras a fait se relâcher le sceau de gauche, ce qui a permis au côté gauche de la chambre de se gonfler. L'employé a ensuite tiré sur le cordon de gauche, et la 2^e chambre de flottaison s'est gonflée.

Lorsqu'il a été récupéré, le capitaine du navire portait un VFI non gonflé. Un enquêteur du BST a testé le VFI en tirant sur les 2 cordons, ce qui a déclenché les 2 bouteilles; lorsque le VFI a commencé à se gonfler, on a noté que la fermeture auto-grippante du collet ne s'est pas immédiatement relâchée. N'étant pas au courant de la question du pliage au moment de faire cet essai, il a été impossible de déterminer si les chambres de flottaison avaient été roulées ou pliées en accordéon.

⁶⁵ Switlik Parachute Company Inc, *Helicopter Crew Vest – Orientation and Operation*, HCV-35c Rev.8-16-04.

⁶⁶ Switlik Parachute Company Inc, *Overhaul Manual – Life Preserver*, HV-35C, P/N S-7200, 25-60-171.

⁶⁷ L'essai s'est déroulé en position debout, en dehors de l'eau.

Lorsqu'il a été récupéré, le scientifique portait un VFI partiellement gonflé; seul le côté gauche était gonflé. Lorsqu'un enquêteur du BST a examiné le VFI, il a noté que les 2 bouteilles avaient été activées. Cependant, il a été impossible de déterminer s'ils avaient été activés par le porteur ou accidentellement pendant qu'on tirait celui-ci de l'eau ou par la suite.

Même si le pilote avait enfilé son VFI avant le départ du vol, ce VFI entièrement gonflé flottait tout près du pilote et a été récupéré à part. L'enquête a examiné ce VFI et n'a noté aucune anomalie, et aucun dommage n'a été noté sur la fermeture à glissière ou sur l'attache. Étant donné que le VFI s'était gonflé, il a été impossible de déterminer si les chambres de flottaison avaient été roulées ou pliées en accordéon. On a gonflé manuellement le VFI de chacun des 3 occupants pour constater qu'ils tenaient la pression d'air.

Après avoir été informé du problème concernant les VFI mal pliés, le BST a examiné les 4 VFI de rechange qui ont été récupérés à bord de l'hélicoptère. On a ainsi constaté que les chambres de flottaison de ces 4 vêtements étaient roulées plutôt que pliées en accordéon. La dernière inspection d'entretien des VFI à bord de C-GCFU avait été faite en juillet 2013. Les VFI des 3 occupants avaient été inspectés de la même manière que les 4 autres de rechange.

1.15.7 Casques de vol

Le pilote portait un casque au moment de l'événement. D'après l'ordonnance de la flotte 218.00 de la GCC, tout passager occupant le siège avant d'un hélicoptère de la GCC doit porter le casque de vol fourni à bord de l'aéronef. Le casque de vol que portait le scientifique a été retrouvé séparément dans l'épave de l'hélicoptère. Les 2 extrémités de la mentonnière étaient bouclées ensemble⁶⁸; toutefois, la sangle de droite avait été arrachée de sa fixation sur le casque. Cela donne à croire que le scientifique portait son casque au moment de l'impact. Le capitaine ne portait pas de casque, et il n'était pas tenu de le faire. En plus d'offrir une protection, le casque peut offrir une isolation thermique à la tête.

1.15.8 Radiobalise individuelle de repérage

La réglementation n'exige pas l'utilisation d'une radiobalise individuelle de repérage. Toutefois, d'après l'ordonnance de la flotte 218 de la GCC, *Helicopter Safety Requirements*,

[traduction] (...) tous les VFI que porte le personnel de la GCC à bord d'aéronefs de la GCC doivent être munis d'une radiobalise qui fonctionne correctement. Le port d'une radiobalise n'est pas obligatoire durant les vols à bord d'un aéronef qui est suivi par un système de suivi des vols par satellite.

Les VFI des 3 occupants étaient munis d'une radiobalise étanche⁶⁹ (Aerofix 406 GPS/IO, modèle PLB-200) fabriquée par ACR Electronics Inc. (figure 9).

⁶⁸ La mentonnière se boucle au moyen d'une fermeture auto-grippante.

⁶⁹ Étanche à une profondeur de 16 pieds (5 m) pendant 1 heure, à 33 pieds (10 m) pendant 10 minutes, testée en usine à 70 °F.

Avant qu'on les remette aux enquêteurs du BST, les radiobalises du capitaine et du scientifique ont été retrouvées rangées dans la pochette de droite de leur VFI; celle du pilote a été retrouvée à l'extérieur de la pochette, mais attachée à son VFI par un cordon. Il a été impossible de déterminer si le pilote a retiré sa radiobalise de la pochette ou si elle a été tirée accidentellement durant ou après la récupération.

La radiobalise émet des signaux de détresse aux satellites du réseau COSPAS-SARSAT sur les fréquences 406 MHz et 121,5 MHz et elle est munie d'un récepteur GPS intégré capable de déterminer la position (latitude et longitude) du dispositif. Lorsque les données GPS sont comprises dans le message de détresse, cela améliore énormément le temps de réaction de recherche et sauvetage, puisque l'on peut alors déterminer dans un rayon de 100 m l'emplacement de la balise⁷⁰.

Le déploiement et l'activation de cette radiobalise se font manuellement. Pour l'activer, il faut détacher l'antenne⁷¹ du boîtier et la placer en position verticale. L'utilisateur doit ensuite soulever le couvercle pour exposer le clavier et appuyer simultanément sur les boutons d'auto-essai et I/O du GPS pendant au moins une demi-seconde, mais moins de 5 secondes. Pour garantir un bon fonctionnement du dispositif, l'antenne doit avoir une vue directe du ciel; elle ne doit donc pas être couverte par des vêtements, de l'équipement de survie ou de l'eau. D'après le fabricant, pour obtenir les meilleurs résultats, il est important de garder l'antenne au sec et à l'écart de l'eau. L'eau nuit à la performance de la radiobalise et en réduit l'efficacité.

Les examens et tests des radiobalises des 3 occupants ont permis de conclure que ces dispositifs respectaient les spécifications du fabricant et qu'aucune anomalie ne les aurait empêchés de fonctionner comme prévu au moment de l'événement. Les tests n'ont pas vérifié la fonction GPS de la radiobalise à son activation, ni sa capacité d'incorporer les coordonnées GPS dans le message de détresse, étant donné que les installations d'essai blindées du laboratoire du BST empêchaient la transmission du signal à partir de la pièce ou vers celle-ci. Cependant, même sans coordonnées GPS incorporées dans le message de détresse, le réseau COSPAS-SARSAT peut tout de même déterminer l'emplacement de la balise de détresse à l'intérieur d'un rayon de 1 à 2 km⁷².

Figure 9. Radiobalise Aerofix 406 GPS/IO, modèle PLB-200



⁷⁰ ACR Electronics, Inc., Y1-03-0175, Rev. E, *Product Support Manual*, p. 8.

⁷¹ L'antenne se verrouille en place à l'aide d'une languette située sur l'antenne que l'on enfonce dans une fente située sur le coin supérieur droit de l'étui.

⁷² RTCA, Inc., DO-204A, *Minimum Operational Performance Standards for 406 MHz Emergency Locator Transmitters (ELT)* (2007), p. 3.

1.15.9 Formation sur l'évacuation subaquatique d'un hélicoptère

Le RAC n'exige pas que la DGSA oblige ses équipages de conduite à recevoir une formation à l'évacuation d'un hélicoptère immergé (HUET). Toutefois, depuis le milieu des années 1990, la DGSA recommande que ses équipages de conduite reçoivent une telle formation. La DGSA a mis en place une formation HUET obligatoire en 2011. Depuis 2012, cette formation a été donnée à des équipages de conduite dotés de combinaisons d'immersion taillées sur mesure. La DGSA a indiqué que presque tous ses pilotes ont reçu la nouvelle formation. La formation périodique est nécessaire et elle est fournie tous les 3 ans. Au moment de l'événement, il y avait presque 2 ans que le pilote avait reçu cette formation.

Le scientifique n'avait pas reçu la formation HUET, et la réglementation en vigueur ne l'exigeait pas. Toutefois, l'ordonnance de la flotte 536.00 de la GCC, qui a été approuvée en 2007, recommande fortement que tous les employés qui doivent régulièrement voler à bord d'hélicoptères reçoivent la formation HUET. D'après cette ordonnance, tous les employés qui doivent monter à bord d'un hélicoptère pour exécuter leurs tâches et que cette formation intéresse peuvent la recevoir. Toutefois, on accorde la priorité à ceux qui doivent utiliser souvent un hélicoptère, que l'ordonnance de la flotte décrit comme étant les employés de la GCC qui doivent voler à bord d'hélicoptères, dans le cadre de leurs tâches ou comme passagers, sur une base mensuelle ou plus fréquemment, soit plus de 12 fois par année civile. Rien n'indique que le capitaine avait reçu la formation HUET.

1.15.10 Fréquence et rétention de la formation élémentaire de survie

L'Industrial Foundation for Accident Prevention (IFAP) en Australie dispense la majorité de la formation HUET pour l'industrie pétrolière à l'extérieur des côtes en Australie. L'IFAP a déterminé qu'au cours des 6 à 12 mois qui suivent la formation initiale, il y a une importante érosion des compétences acquises⁷³. L'organisme a également recommandé que les participants reçoivent une formation superflue pour combattre les graves dangers d'un amerrissage forcé. Il a conclu que :

[traduction] Des études des aptitudes opératoires et de l'exécution de fonctions de sécurité montrent qu'en général, le niveau le plus élevé d'érosion des compétences [en simulateur d'immersion] survient dans les 6 à 12 mois qui suivent la formation initiale. Leurs conclusions indiquent qu'en matière d'évacuation subaquatique d'un hélicoptère, l'actuelle formation périodique obligatoire aux deux ans sans recyclage intérimaire n'est pas assez fréquente.

De même, des recherches parrainées par l'industrie du pétrole et du gaz soulignent l'importance du recyclage pour préserver les aptitudes opératoires associées à l'évacuation d'un

⁷³ F. Summers, Procedural skill decay and optimal retraining periods for helicopter underwater escape training, Industrial Foundation for Accident Prevention (1996).

hélicoptère submergé. Dans une étude de 1997⁷⁴, plus du tiers des participants qui avaient suivi la formation HUET étaient incapables de mener efficacement une évacuation subaquatique, et même 6 mois après avoir suivi la formation HUET, il arrivait souvent qu'ils n'effectuaient pas les tâches dans le bon ordre. En plus de souligner l'importance des formations périodiques, le rapport réclamait la réalisation d'études complémentaires afin de déterminer l'intervalle optimal entre les séances de formation.

La DGSA ne dispense aucune formation additionnelle pour atténuer l'érosion des aptitudes opératoires qui pourrait survenir durant les 3 années entre les séances de formation périodique HUET, et la réglementation en vigueur ne l'exige pas.

1.15.11 *Immersion dans l'eau*

1.15.11.1 *Vidéo de consignes à l'intention des passagers de la Garde côtière canadienne*

Toutes les personnes qui voyagent à bord des navires de la GCC peuvent visionner une vidéo de consignes à l'intention des passagers. Cette vidéo couvre la sécurité générale autour de l'hélicoptère et les caractéristiques de sécurité de celui-ci, et comprend des instructions sur la façon d'enfiler et d'utiliser un gilet de sauvetage, le fonctionnement de la radiobalise, et l'utilisation d'un radeau de sauvetage et la façon d'y monter depuis l'hélicoptère et depuis l'eau. La pratique de la GCC consiste à s'assurer que celles et ceux qui n'ont jamais voyagé à bord d'un hélicoptère visionnent cette vidéo.

1.15.11.2 *Stades de l'immersion en eau froide*

Il y a 4 stades de l'immersion en eau froide⁷⁵. Le premier stade, le choc dû au froid, est la principale cause de noyade des membres d'équipage et des passagers lorsqu'un hélicoptère fait un amerrissage forcé en eau froide^{76, 77}. Même avec la protection d'une combinaison d'immersion, l'exposition soudaine à l'eau froide entraîne le réflexe de profonde inspiration, l'hyperventilation et l'ingestion involontaire d'eau. Le réflexe de profonde inspiration et l'hyperventilation peuvent durer de 10 à 120 secondes. Dans l'événement à l'étude, les occupants ont immédiatement été exposés au choc dû au froid lorsque l'hélicoptère s'est renversé dans l'eau à -0,6 °C avant de couler.

Tout comme le réflexe de chercher sa respiration, l'hyperventilation est une réaction naturelle au froid. Cette réaction physiologique diminue avec le temps, mais la panique peut provoquer une continuation physiologique de l'hyperventilation et entraîner la perte de conscience.

⁷⁴ A.M. Mills et H. Muir, *Development of a Training Standard for Underwater Survival*, Cranfield University (1999).

⁷⁵ G.G. Giesbrecht, "Cold stress, near drowning and accidental hypothermia: a review", *Aviation, Space and Environmental Medicine*, Vol. 71, N° 10 (2000), pp. 733-752.

⁷⁶ Transports Canada [préparé par C. J. Brooks], TP13822E, *Survival in Cold Waters: Staying Alive* (2003).

⁷⁷ F. Golden et M.J. Tipton, *Essentials of Sea Survival*, Human Kinetics (2002).

L'intensité et la durée de la réaction au choc dû au froid dépendent de la superficie ou quantité de peau qui est refroidie, du taux de refroidissement et de la température la plus basse. Parallèlement, la fréquence cardiaque augmente dangereusement et peut causer l'arrêt ou l'arythmie cardiaque^{78, 79}. Plus la température de l'eau baisse, plus la durée moyenne de rétention du souffle diminue. Dans l'eau près du point de congélation, la durée moyenne de rétention du souffle, pour un sujet bien préparé, chute rapidement à environ 10 à 15 secondes⁸⁰.

Le 2^e stade de l'immersion en eau froide est la perte de motricité provoquée par le froid. Durant ce stade, les muscles et les nerfs se refroidissent, état qui diminue leur capacité de fonctionner et limite le contrôle de la motricité fine, puis de la motricité globale^{81, 82}. Dans l'eau à 0 °C, la performance physique peut commencer à diminuer après 1 ou 2 minutes seulement, et la perte de motricité totale peut survenir en 10 à 20 minutes. Sans gants, le refroidissement des muscles et des nerfs diminue rapidement la dextérité et la force des mains.

Le 3^e stade est l'hypothermie. La température centrale normale du corps est de 37 °C. Le seuil clinique de l'hypothermie légère est 35 °C; les classifications sont les suivantes : hypothermie légère, de 35 à 32 °C; hypothermie modérée, de 32 à 28 °C; et hypothermie grave, moins de 28 °C. Le corps humain adulte prend normalement au moins 30 minutes pour atteindre le stade d'hypothermie légère dans l'eau à 0 °C et vêtu de vêtements d'hiver normaux, et plus de 2 heures avant d'atteindre le stade d'hypothermie grave avec risque de fibrillation ventriculaire causée par le froid⁸³. L'ajout de vêtements de protection thermique retarde le début et la gravité de l'hypothermie. Les facteurs qui influent sur la perte de chaleur corporelle, l'isolation des vêtements et le taux de baisse de la température centrale comprennent : les courants d'eau, l'état de la mer, la superficie du corps qui est exposée à l'eau, la masse corporelle et le pourcentage de tissus adipeux.

Le 4^e stade est l'effondrement post sauvetage, qui peut survenir juste avant, durant ou après le sauvetage ou l'extraction⁸⁴. Les symptômes peuvent varier de l'effondrement et la perte de

⁷⁸ F. Golden et M.J. Tipton, *Essentials of Sea Survival*, Human Kinetics (2002).

⁷⁹ M. Tipton, C. Eglin, M. Gennser et F. Golden, « Immersion Deaths and Deterioration in Swimming Performance in Cold Water », *The Lancet*, Vol. 354, N° 9179 (1999), pp. 626-629.

⁸⁰ J. S. Hayward, C. Hay, B. R. Matthews, C. H. Overweel, D. D. Radford, « Temperature effect on the human dive response in relation to cold water near-drowning », *Journal of Applied Physiology*, Vol. 56, N° 1, American Physiological Society (1984), pp. 202-206.

⁸¹ G.G. Giesbrecht, G.K. Bristow, « Decrement in manual arm performance during whole body cooling », *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 63, N° 12 (1992), pp. 1077-1081.

⁸² G.G. Giesbrecht, M.P. Wu, M.D. White, C.E. Johnston, G.K. Bristow, « Isolated effects of peripheral arm and central body cooling on arm performance », *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 66, N° 10 (1995), pp. 968-975..

⁸³ Durant la fibrillation ventriculaire, le cœur est incapable de pomper le sang, ce qui entraîne la mort cardiaque soudaine.

⁸⁴ F.S. Golden, G.R. Hervey et M.J. Tipton, « Circum-rescue collapse: collapse, sometimes fatal, associated with rescue of immersion victims », *Journal of the Royal Naval Medical Service*, Vol. 77, N° 3 (1991), pp. 139-149.

conscience, à l'arrêt cardiaque et la mort. Le sauvetage peut entraîner une relaxation mentale et une baisse de production de l'hormone de stress (adrénaline), qui peut à son tour entraîner une forte baisse de la tension artérielle; comme le cœur irrité par le froid⁸⁵ doit travailler plus fort pour maintenir la tension artérielle, il peut cesser de battre.

À des fins pratiques, l'on considère que le risque d'hypothermie causée par l'immersion survient lorsque la température de l'eau est inférieure à 25 °C. Si l'on définit l'eau froide comme étant d'une température de 25 °C, le risque d'hypothermie causée par l'immersion est pratiquement universel en Amérique du Nord durant la majorité de l'année⁸⁶.

1.15.11.3 Modèle d'immersion en eau froide

On a utilisé le modèle d'immersion en eau froide⁸⁷ pour prédire le taux de refroidissement de la température centrale de chaque victime, en se fondant sur des facteurs comme la température de l'eau et de l'air, le type de vêtements et de combinaison d'immersion portés, l'âge, la taille et le poids (tableau 2).

Tableau 2. Durées estimées pour atteindre les températures centrales inférieures (minutes)

Température centrale du corps	Pilote	Capitaine	Scientifique
34 °C	78 à 90	90 à 132	96 à 138
28 °C	162 à 186	180 à 252	192 à 270

Le modèle d'immersion en eau froide a permis de prédire que les températures centrales des 3 victimes, lorsque celles-ci ont été récupérées, n'étaient pas inférieures à 34 °C (hypothermie légère). À une température centrale de 34 °C, la victime serait probablement encore consciente, mais elle aurait perdu toute motricité à l'exception des mouvements globaux des bras et jambes.

Les durées calculées pour le pilote tiennent compte de sa combinaison d'immersion fermée environ jusqu'à la mi-poitrine, soit l'état de la fermeture éclair lorsqu'on a retrouvé le pilote. La combinaison d'immersion du pilote était remplie d'eau, ce qui aurait annulé la valeur d'isolation de la sous-combinaison thermique et accéléré le refroidissement. Il est pertinent de

⁸⁵ L'asthénie neuro-circulatoire, aussi appelée cœur irritable, est un état pathologique caractérisé par l'essoufflement, la fatigue, un pouls rapide et des palpitations, parfois accompagné de battements excessifs, causé principalement par l'exercice, et qui n'est pas attribuable à une maladie physique du cœur — aussi appelée *névrose cardiaque*, *syndrome de l'effort* ou *cœur de soldat*. (Source : <http://www.merriam-webster.com/medical/neurocirculatory+asthenia> [dernière consultation le 24 novembre 2015])

⁸⁶ A. Steinman et G. Giesbrecht, « Cold-Water Immersion, » dans P. Auerbach, éditeur, *Wilderness Medicine 4th edition*, C.V. Mosby, St. Louis (2001).

⁸⁷ P. Tikuisis, « Prediction of survival time at sea based on observed body cooling rates », *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 68, N° 5 (1997), pp. 441-448.

signaler que, quand une combinaison d'immersion Viking PS4089 intacte est complètement fermée et qu'on la porte par-dessus une sous-combinaison thermique, la température centrale du corps pourrait prendre jusqu'à 7 heures pour atteindre 34 °C.

Ni le scientifique ni le capitaine ne portaient le capuchon fourni ou tout autre vêtement isolant sur la tête. Il a été montré que l'immersion de l'arrière de la tête dans l'eau froide peut accélérer dans une certaine mesure la baisse de la température centrale⁸⁸.

On a trouvé le pilote flottant en position face vers le haut, sans VFI; le scientifique flottant sur le côté, son VFI partiellement gonflé; et le capitaine flottant en position ventrale, son VFI non gonflé. Sans la flottabilité additionnelle qu'offre un VFI correctement gonflé, tous les occupants auraient nécessité plus d'efforts et de mouvements pour maintenir leurs voies respiratoires en dehors de l'eau, activité qui aurait entraîné une plus grande perte de chaleur.

1.15.12 *Noyade en eau froide*

Lorsqu'une noyade se produit dans des eaux à une température supérieure à 20 °C, la mort cérébrale survient normalement en 4 minutes ou moins. Si la noyade se produit en eau froide, surtout à une température inférieure à 10 °C, le cerveau peut survivre plus longtemps sans oxygène avant de subir des dommages irréversibles⁸⁹. La survie après 10 à 30 minutes d'immersion est souvent signalée. Une personne a déjà survécu à une immersion de 66 minutes dans de l'eau glacée (bien qu'il s'agisse d'un cas exceptionnel)⁹⁰. Puisque la température centrale n'a pas été prise lors du repêchage des victimes, nous ne savons pas jusqu'à quel point le cerveau s'est refroidi dans le présent cas. Comme les corps et les voies respiratoires n'étaient pas entièrement ou continuellement submergés, le cerveau ne se serait pas refroidi autant que ce qui se produit normalement lors d'une noyade en eau froide. Par conséquent, il est peu probable que le refroidissement du cerveau ait eu une incidence sur leur survie ou les efforts de réanimation post-sauvetage.

1.16 *Essais et recherches*

1.16.1 *Mise à l'essai du vêtement de flottaison individuel dans une piscine.*

À la suite de l'événement, le BST a mis à l'essai le VFI dans une piscine. Aux fins des essais, la DGSA a fourni le type de combinaison d'immersion portée par les pilotes d'hélicoptère de la GCC et 4 VFI. Deux des VFI ont été préparés conformément aux instructions du fabricant en

⁸⁸ G.G. Giesbrecht, T.L. Lockhart, G.K. Bristow et A.M. Steinman, « Thermal effects of dorsal head immersion in cold water on non-shivering humans », *Journal of Applied Physiology*, Vol. 99, N° 5 (2005), pp. 1958-1964.

⁸⁹ G.G. Giesbrecht, « Cold stress, near drowning and accidental hypothermia: a review », *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 71, N° 10 (2000), pp. 733-752..

⁹⁰ R.G. Bolte, P.G. Black, R.S. Bowers, J.K. Thorne et H.M. Corneli, « The use of extracorporeal rewarming in a child submerged for 66 minutes, » *JAMA [Journal of the American Medical Association]*, Vol. 260, N° 3 (1988), pp. 377-379.

pliant en accordéon les sacs gonflables à l'intérieur de l'enveloppe du gilet de sauvetage. Les 2 autres VFI ont été préparés en roulant les chambres à air à l'intérieur de l'enveloppe du gilet de sauvetage, comme l'étaient les VFI de réserve trouvés à bord de l'hélicoptère en cause. Il est probable que les 3 VFI des occupants étaient également roulés, plutôt que pliés.

Quatre essais de gonflage ont été menés. À cette fin, le sujet se trouvait dans la partie profonde de la piscine et portait une combinaison d'immersion et un VFI. Le gilet de sauvetage était attaché et déployé comme il est décrit ci-dessous. La fermeture à glissière de la combinaison d'immersion était entièrement remontée lors des 3 premiers essais et descendue jusqu'au milieu du sternum lors du 4^e essai.

Les résultats des essais sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 3. Résultats de l'essai 1

État du gilet de sauvetage	Il est emballé correctement — plié en accordéon.
Méthode d'attache	Il est rattaché par une fermeture à glissière à la combinaison d'immersion et est bouclé.
Méthode de gonflage	Les tirettes sont tirées séparément — le côté droit en premier.
Observations	<p>Au moment de plonger dans l'eau, une quantité importante d'air a été emprisonnée dans la combinaison, ce qui a compliqué le basculement du sujet sur le dos.</p> <p>La combinaison permettait au sujet de flotter à la surface.</p> <p>Le gilet ne s'est pas entièrement gonflé lorsque la tirette de droite a été tirée initialement. Le sac gonflable jaune n'était observable qu'au dos du gilet.</p> <p>Lorsque la tirette de gauche a été tirée, le gilet s'est gonflé entièrement et a permis au sujet de flotter le visage vers le haut. Cela suggère que lorsque le gilet est correctement emballé, une seule cartouche devrait suffire pour le gonfler entièrement le collet applicable.</p> <p>Seul le collet de flottaison avant (gonflé avec la tirette de gauche) est demeuré gonflé tout au long de l'essai. Une inspection a révélé que de l'air dans le collet de flottaison arrière fuyait par la valve de gonflage manuel.</p> <p>Les tentatives de gonfler manuellement le gilet ont échoué.</p>

Tableau 4. Résultats de l'essai 2

État du gilet de sauvetage	Il est emballé correctement — plié en accordéon.
Méthode d'attache	Il est bouclé seulement; la fermeture à glissière est ouverte.
Méthode de gonflage	Les tirettes sont tirées simultanément.
Observations	<p>Le gilet s'est gonflé correctement et immédiatement.</p> <p>Une fois gonflé, le gilet est demeuré sur le sujet, qui flottait le visage vers le haut.</p> <p>Le gilet gonflé était inconfortable, car il exerçait une pression sur le visage, le cou et les oreilles du sujet.</p>

Tableau 5. Résultats de l'essai 3

État du gilet de sauvetage	Il est mal emballé – roulé.
Méthode d'attache	Il est rattaché par une fermeture à glissière à la combinaison d'immersion.
Méthode de gonflage	Les tirettes sont tirées séparément – le côté droit en premier.
Observations	Seul le côté droit du gilet s'est gonflé lorsque la tirette de droite a été tirée. Lorsque le gilet était emballé de cette manière, une cartouche ne suffisait pas à détacher la fermeture auto-grippante de l'enveloppe et à permettre au collet de se gonfler entièrement. Le gilet s'est gonflé complètement lorsque la seconde tirette a été tirée.

Tableau 6. Résultats de l'essai 4

État du gilet de sauvetage	Il est mal emballé – roulé.
Méthode d'attache	Il est rattaché par une fermeture à glissière à la combinaison d'immersion et est bouclé.
Méthode de gonflage	Les tirettes sont tirées simultanément.
Observations	Lorsque les 2 tirettes étaient tirées, le gilet se gonflait immédiatement et complètement.

Ce qui suit a été observé au cours de l'essai :

- Il n'était pas possible de remonter la fermeture à glissière à partir du milieu du sternum avec une seule main. Même avec les 2 mains, il a fallu demander l'aide d'une autre personne pour remonter complètement la fermeture à glissière.
- Le sujet a pu retirer le gilet de sauvetage entièrement gonflé pendant qu'il était dans l'eau. Cela aurait été toutefois beaucoup plus difficile en eau froide, car la perte de dextérité manuelle aurait compliqué la tâche de trouver et d'ouvrir les fermetures à glissière, ainsi que de déboucler le gilet.
- Le sujet a pu atteindre toutes les poches de sa combinaison d'immersion et de son gilet de sauvetage pendant qu'il flottait dans l'eau avec le gilet entièrement gonflé.
- Il a pu trouver (bien que difficilement) et utiliser les 2 tubes de gonflage manuel.
- Plonger sous la surface de l'eau en portant la combinaison d'immersion sans le gilet de sauvetage était extrêmement difficile en raison de la flottabilité de la combinaison (même avec la fermeture à glissière de la combinaison partiellement descendue et de l'eau dans la combinaison).

1.16.2 Rapports du laboratoire du BST

Le BST a réalisé les rapports de laboratoire suivants pour appuyer son enquête :

- LP197/2013 – *Switch Examination* [Examen des commutateurs]
- LP198/2013 – *Non-Volatile Memory Recovery* [Récupération de la mémoire rémanente]
- LP205/2013 – *Float System Examination* [Examen du système de flottaison]

- LP214/2013 – *ULB Examination* [Examen de la radiobalise sous-marine de détresse (ULB)]
- LP222/2013 – *Instrument Examination* [Examen des instruments]
- LP232/2013 – *Helicopter Structure and Seat Examination* [Examen de la structure et des sièges de l'hélicoptère]
- LP235/2013 – *Flight Control Continuity Examination* [Examen de la continuité des commandes de vol]
- LP243/2013 – *Photogrammetric Analysis of Videos* [Analyse photogrammétrique des vidéos]
- LP047/2014 – *Life Raft Testing* [Mise à l'essai du radeau de sauvetage]
- LP052/2014 – *PLB Activation Test* [Essai d'activation des radiobalises individuelles de repérage]

1.17 Renseignements sur les organismes et sur la gestion

1.17.1 Garde côtière canadienne

1.17.1.1 Généralités

La Garde côtière canadienne⁹¹ (GCC) fournit aux Canadiens des services maritimes importants, dont des services de recherche et sauvetage. Elle veille à la sécurité et à l'accessibilité des voies navigables et joue également un rôle prépondérant dans l'exploitation et le développement durables des océans et des voies navigables du Canada. Dans le présent cas, le NGCC *Amundsen* avait été affrété par ArcticNet pour mener la mission scientifique de 82 jours de cet organisme.

⁹¹ La Garde côtière canadienne est un organisme de service spécial du ministère des Pêches et des Océans.

1.17.1.2 Fiche technique du navire

Tableau 7. Fiche technique du navire

Nom du navire	<i>Amundsen</i> , auparavant <i>Sir John Franklin</i>
Numéro d'Organisation maritime internationale (OMI)	7510846
Port d'immatriculation	Ottawa (Ontario)
Pavillon	Canadien
Type	Brise-glace de recherche scientifique et d'exploration
Jauge brute	5910
Longueur	90,22 m
Tirant d'eau	9,6 m
Construction	1978, Vancouver (Colombie-Britannique)
Propulsion	2 hélices à pas fixe actionnées par 6 moteurs diesel-électriques c.a.-c.c.
Cargaison	Personnel et équipement scientifique
Équipage	40 membres d'équipage et 33 scientifiques d'ArcticNet
Propriétaire enregistré	Garde côtière canadienne
Gestionnaire	Commissaire, Garde côtière canadienne

1.17.1.3 Description du navire

L'*Amundsen* est un brise-glace à coque d'acier type (photo 7). Ce navire a été construit spécialement à titre de brise-glace, désigné le *Sir John Franklin*, enregistré en 1979 et déclassé en 1995. En 2003, le navire a été modernisé et remis en état de service sous la charge d'ArcticNet.

Ce navire a été remis sous le commandement de la GCC et il a été convenu qu'il serait doté d'un équipage de la Garde côtière et utilisé pour des expéditions scientifiques de mai à décembre. La remise en état de service comprenait la construction

d'un puits central de 2,3 x 2,3 m. Ce puits central permet au personnel à bord d'effectuer des levés océanographiques sans devoir percer la glace. Il permet aussi de déployer des véhicules téléguidés, comme celui utilisé pour chercher et récupérer l'hélicoptère.

La passerelle de navigation de l'*Amundsen* est équipée du matériel de navigation requis, dont 2 radars, 2 systèmes électroniques de visualisation des cartes, 2 systèmes de localisation par

Photo 7. *Amundsen* (Source : Site Web de la Garde côtière canadienne)

satellite (GPS) et 1 système IceVue. Le navire peut être commandé depuis 3 postes de commande – bâbord, centre et tribord.

1.17.1.4 *Spécialistes en sauvetage de la Garde côtière canadienne*

Les spécialistes en sauvetage de la GCC sont des membres courants de l'équipage qui, en plus de s'acquitter de leurs tâches à bord du navire, se portent volontaire pour suivre la formation de spécialiste en sauvetage. Ils ont la responsabilité de secourir les personnes en détresse dans le milieu marin et de prodiguer des soins d'urgence préhospitaliers aux survivants, ainsi que des premiers soins aux personnes transportées à bord des navires de la GCC.

Lorsque des soins hospitaliers immédiats ne sont pas disponibles ou que des interventions médicales importantes sont requises, les spécialistes en sauvetage prodiguent des soins en suivant les instructions données par un médecin à terre. Dans le présent cas, il y avait un officier de santé à bord qui était le responsable des urgences médicales. Par conséquent, la principale tâche des spécialistes en sauvetage consistait dans un premier temps à récupérer les occupants et à les ramener le plus rapidement possible à bord du navire. En raison de l'espace limité dans l'embarcation rapide de sauvetage (ERS), les spécialistes en sauvetage n'ont pas pu tenter de manœuvres de réanimation sur les occupants avant qu'ils ne soient amenés à bord du navire, puis pris en charge par l'officier de santé.

Selon l'ordonnance de la flotte de la GCC 535.00, au moins 2 spécialistes en sauvetage désignés doivent être à bord d'un brise-glace de taille moyenne comme le NGCC *Amundsen*. Dans l'événement à l'étude, il y avait 4 spécialistes en sauvetage à bord.

1.17.1.5 *Formation des spécialistes en sauvetage*

Le programme de formation initiale des spécialistes en sauvetage comprend 120 heures de cours en classe et environ 24 heures de travail et d'études individuels. Le programme de formation est constitué de 10 modules, qui portent notamment sur les soins à apporter aux victimes d'hypothermie et de quasi-noyade en eau froide. Les participants doivent obtenir une note d'au moins 80 % pour réussir. Ils obtiennent cette note de passage s'ils atteignent tous les objectifs de rendement au cours des simulations, des exercices et des tests pratiques. Une fois leur formation terminée et la note de passage obtenue, les spécialistes en sauvetage obtiennent une accréditation valide pendant 3 ans. Les 4 spécialistes en sauvetage à bord détenaient une accréditation valide⁹² au moment de l'accident.

1.17.1.6 *Officiers de santé*

Les officiers de santé à bord des navires de la GCC sont embauchés en vertu d'un contrat parmi un bassin de candidats qualifiés. L'officier de santé sur le NGCC *Amundsen* le jour de l'accident

⁹² Premier intervenant en soins médicaux avancés en mer, accréditation de niveau II, et certification du Cours avancé de secourisme en mer et du programme de recherche et de sauvetage de la Garde côtière canadienne.

a reçu son diplôme d'infirmière ou d'infirmier en 1973 et travaillait de manière contractuelle pour la GCC depuis 2003.

Selon le *Manuel de l'officier de santé*⁹³ de la GCC, un officier de santé est une infirmière ou un infirmier autorisé⁹⁴ détenant des compétences en soins infirmiers avancés acquises à bord de navires de la Garde côtière⁹⁵. Selon le *Cadre des infirmières ou infirmiers du Canada*⁹⁶, les infirmières ou infirmiers autorisés acquièrent de l'expertise dans le domaine où ils ont choisi de pratiquer par l'autoapprentissage, la certification dans une spécialité⁹⁷, des programmes de mentorat, une formation théorique avancée et l'application de directives sur les pratiques exemplaires⁹⁸. Au moment de l'événement, l'officier de santé était titulaire d'un certificat valide de réanimation cardio-respiratoire et de défibrillation externe automatique, qui doit être renouvelé aux 2 ans.

À bord du navire, l'officier de santé relève directement du capitaine. Toutefois, l'officier de santé est le responsable des urgences médicales.

Les tâches des officiers de santé décrites dans le *Manuel de l'officier de santé* comprennent l'administration d'un traitement adjuvant, dont l'inhalation d'oxygène, la thérapie intraveineuse, les injections, la pose d'attelles, d'écharpes et de bandages de contention et la réanimation cardiopulmonaire (RCP), selon les besoins des patients.

Dans l'événement à l'étude, l'officier de santé a été avisé de se préparer à traiter des patients présentant possiblement des symptômes d'hypothermie. Des couvertures chaudes, de l'oxygène thérapeutique et des solutions intraveineuses ont été mises à sa disposition. Comme les installations médicales à bord ne permettaient pas de recevoir 3 patients en même temps, les 3 occupants récupérés de l'hélicoptère ont été transportés dans le hangar du navire en vue des examens et des premiers soins.

1.17.1.7 Premiers soins et services médicaux à bord des navires de la Garde côtière canadienne

En cas d'urgence médicale ou de blessures en mer, les navires peuvent devoir se diriger vers le port de refuge le plus près pour y évacuer un patient. Le temps requis pour arriver au port ou

⁹³ Pêches et Océans Canada, Garde côtière canadienne, *Manuel de l'officier de santé*, révisé en janvier 2012.

⁹⁴ Au Canada, la profession d'infirmière et d'infirmier comprend 3 groupes : infirmière ou infirmier autorisé, infirmière ou infirmier auxiliaire autorisé, et infirmière ou infirmier psychiatrique autorisé. (Source : *Cadre de pratique des infirmières et infirmiers au Canada* [août 2007]).

⁹⁵ Expertise en soins infirmiers utilisée pour dispenser des soins de santé primaires, qui comprennent l'évaluation des soins à donner, les diagnostics et le traitement (comprenant la prescription de médicaments, des interventions médicales, des procédures chirurgicales [p. ex., faire des sutures], etc.).

⁹⁶ Association des infirmières et des infirmiers du Canada, *Cadre des infirmières ou infirmiers du Canada* (août 2007).

⁹⁷ Programme de certification de l'Association des infirmières et des infirmiers du Canada

⁹⁸ Programme *Best Practices Guidelines* de l'Ontario, mis au point par l'Association des infirmières et infirmiers autorisés de l'Ontario.

pour évacuer le patient dépend de nombreuses variables, dont la distance à parcourir, les conditions en mer et la météo, ainsi que l'état de navigabilité et la vitesse du navire. Il est possible que le temps exigé pour évacuer un patient se compte en jours. Dans l'événement à l'étude, le navire se trouvait à 2 jours de Resolute Bay, où se situe le port le plus près et où les 3 occupants auraient pu être amenés en vue d'autres traitements s'ils avaient survécu.

Selon le *Manuel de la sécurité de la flotte* de la GCC⁹⁹ :

Le document de référence à conserver à bord des navires de la GCC est le *Guide médical international de bord* publié par l'Organisation mondiale de la santé. Cet ouvrage a été adopté par l'Organisation maritime internationale et le Syndicat international des gens de mer.

Ce manuel traite de plusieurs sujets, dont la mort en mer et les soins médicaux à donner aux naufragés. Selon ce manuel, les signes vitaux suivants indiquent l'état de la personne : température corporelle, fréquence du pouls et rythme cardiaque, fréquence respiratoire, tension artérielle et le niveau de conscience¹⁰⁰.

Selon le *International Medical Guide for Ships* [Guide médical international de bord], une personne souffrant d'hypothermie peut sembler morte et être toujours en vie. Le guide indique également ce qui suit :

[traduction] Un patient souffrant d'hypothermie modérée ou sévère, surtout s'il ne frissonne pas, doit être réchauffé :

- étendez une bâche sur une couchette et couchez le patient dessus;
- couvrez-le avec deux ou trois couvertures;
- trempez quatre serviettes (ou de grandes pièces de tissus) dans de l'eau chaude (à environ 40 °C), puis mettez-les sans les essorer dans quatre sacs de plastique;
- placez ces sacs de plastique sous les aisselles et sur l'aîne;
- après dix minutes, remplacez ces serviettes par de nouvelles serviettes chaudes;
- continuez jusqu'à ce que la température du patient s'élève au-dessus de 32 °C¹⁰¹.

Dans l'événement à l'étude, les 3 occupants étaient tous inconscients lorsqu'ils ont été repêchés; ils ne respiraient plus et présentaient tous des signes de noyade. En raison du manque d'espace dans l'ERS, il n'a pas été possible de donner les premiers soins ou d'effectuer une manœuvre de réanimation. Après avoir amené les occupants dans le hangar du navire, leurs signes vitaux ont été vérifiés, mais pas leur température corporelle. Aucun des occupants ne respirait et aucun

⁹⁹ Pêches et Océans Canada, Garde côtière canadienne, Direction de la Flotte, MPO/5737, *Manuel de la sécurité de la Flotte*, 4^e édition (septembre 2012).

¹⁰⁰ Les signes vitaux ne sont pas présentés selon l'ordre d'importance.

¹⁰¹ Organisation mondiale de la santé, *International Medical Guide for Ships* [Guide médical international de bord], 3^e édition (2007).

pouls¹⁰² n'était perçu. Ils étaient pâles et leurs pupilles étaient dilatées. La RCP a été effectuée sans succès pendant quelques minutes sur le pilote. Son décès a été confirmé à 19 h 20, 15 minutes après son transfert à bord du navire. Étant donné que le capitaine du navire et le scientifique présentaient des conditions physiques semblables, on a estimé qu'une tentative de RCP serait également infructueuse. Ainsi, on n'a pas tenté de pratiquer la RCP sur le capitaine du navire et le scientifique, et leur décès a été constaté peu de temps après leur arrivée au hangar.

1.17.2 Direction générale des services des aéronefs de Transports Canada

Il incombe à la DGSA de TC de fournir des aéronefs, de les entretenir et de les modifier de même que de dispenser des services afin de soutenir les activités de TC ainsi que les programmes d'autres ministères et agences du gouvernement fédéral, dont la Garde côtière canadienne. Cela inclut la formation professionnelle appropriée des pilotes et du personnel d'entretien. La DGSA est considérée comme un transporteur aérien commercial en vertu du RAC et des normes du RAC. Elle détient des certificats d'exploitation afin de mener ses activités conformément aux sous-parties 702, 703 et 704 du RAC¹⁰³. Le vol en cause a été effectué conformément à la sous-partie 702 du RAC.

La DGSA exploite une flotte de 39 aéronefs, comprenant 13 avions et 26 hélicoptères, dont 14 BO 105. Les hélicoptères BO 105 appartiennent à la GCC, mais sont exploités et entretenus par la DGSA. La DGSA est le plus important exploitant d'hélicoptères BO 105 au pays, avec 14 des 18 BO 105 enregistrés au Canada.

La base de données du BST indique qu'il y a eu au total 4 accidents d'hélicoptères BO 105 au Canada au cours de la période de 20 ans s'étendant du 9 septembre 1993 au 10 septembre 2013¹⁰⁴. Tous ces appareils étaient exploités par la DGSA. Deux de ces accidents ont été fatals¹⁰⁵. Rien n'indiquait qu'un problème mécanique ait causé ces 4 accidents. Cette base de données montre également qu'un total de 20 incidents à signalement obligatoire impliquant un hélicoptère BO 105 ont été signalés au BST : 8 de ces incidents étaient liés à une anomalie des moteurs¹⁰⁶, 1 à une défaillance de la boîte de transmission, 1 était une déclaration de situation d'urgence, 1 représentait un risque de collision en vol et 9 étaient liés au largage intentionnel ou

¹⁰² Le pouls peut être difficile à percevoir en raison du ralentissement extrême du cœur provoqué par l'hypothermie. (Source : Organisation mondiale de la santé, *International Medical Guide for Ships*, [Guide médical international de bord], 3^e édition [2007]).

¹⁰³ La sous-partie 702 du *Règlement de l'aviation canadien* s'applique aux travaux aériens, la sous-partie 703 s'applique à l'exploitation d'un taxi aérien, et la sous-partie 704, à l'exploitation d'un service aérien de navette.

¹⁰⁴ Événements aéronautiques A94A0132, A05P0103 et A05A0155 du BST, ainsi que l'événement à l'étude.

¹⁰⁵ Rapport d'enquête aéronautique A05A0155 du BST et l'événement à l'étude.

¹⁰⁶ Panne moteur (2), arrêt intentionnel des moteurs (4), perte de puissance partielle des moteurs (1), indication d'une modification de la pression d'huile et du couple (1).

à titre de mesure de précaution ou d'urgence d'une charge suspendue. Le pilote de l'événement en cause a été impliqué dans l'un des incidents à signalement obligatoire précités, soit un incident lié au largage d'une charge suspendue en 1999.

1.17.3 *Système de gestion de la sécurité de la Direction générale des services des aéronefs*

Le RAC n'exige pas que la DGSA se dote d'un système de gestion de la sécurité (SGS). La DGSA s'est toutefois montrée proactive en élaborant un SGS entièrement intégré et un programme de sécurité au sein de son organisation par le biais de sa Direction du service de la sécurité. La Direction du service de la sécurité a pour rôle de fournir des services qui soutiennent le SGS entièrement intégré et le programme de sécurité de la DGSA.

Depuis le 5 juin 2012, la DGSA est considérée comme une entreprise en transition par Transports Canada - Aviation civile (TCAC), ce qui signifie qu'elle satisfait aux exigences suivantes établies dans la Directive de l'Aviation civile (DAC) 107-004, *Application de la loi en aviation - Systèmes de gestion de la sécurité* :

- [traduction] L'entreprise dispose d'un programme de signalement interne soutenu et promu par la direction de celle-ci;
- L'entreprise dispose d'un processus réactif d'analyse des événements qui permet d'établir les causes profondes et d'élaborer des mesures correctives.

Puisqu'il ne s'agit pas encore d'une exigence réglementaire, TC n'a pas encore évalué le SGS de la DGSA. La DGSA et tous ses programmes opérationnels font toutefois l'objet d'une supervision et d'examen par TC. La surveillance de la DGSA par TC a compris des vérifications, des inspections de validation de programme (IVP) et des inspections de processus, qui sont abordées plus loin dans le présent rapport.

La DGSA promeut une politique de signalement non punitive au sein de son organisation. Les employés sont incités à partager ouvertement l'information et à signaler tout danger pour la sécurité, même attribuable à des erreurs opérationnelles, en sachant qu'ils ne seront pas pénalisés pour une erreur non intentionnelle. Du 1^{er} décembre 2010 jusqu'au jour de l'événement, un total de 11 dangers liés à des vols en hélicoptère ont été signalés à la Direction du service de la sécurité et consignés dans le registre des dangers de la DGSA. Les signalements suivants sont liés à des vols d'un hélicoptère BO 105 :

- le fil de sécurité installé sur le couvercle du contacteur à flotteur d'urgence a empêché le pilote de soulever le couvercle;
- il y avait un nombre insuffisant de sacs de couchage à bord de l'hélicoptère pour le nombre de passagers;
- la combinaison étanche ne permettait pas de garder au chaud le pilote lorsqu'il travaillait à l'extérieur;
- l'installation non approuvée d'équipement pouvait empêcher le copilote de correctement actionner les pédales du rotor de queue en présence de commandes doubles;
- des débris présentant un danger se trouvaient sur l'aire de trafic.

À l'exception de l'installation non approuvée d'équipement qui peut nuire aux commandes de vol, tous les autres dangers signalés ont fait l'objet d'un suivi et ces problèmes sont considérés comme étant réglés. L'installation non approuvée d'équipement peut empêcher le copilote de correctement actionner les pédales du rotor de queue, en présence de commandes doubles. L'hélicoptère en cause n'était pas équipé de commandes de vol doubles autres que les pédales de rotor de queue. Celles-ci étaient toutefois verrouillées et le passager du siège avant ne pouvait pas les actionner accidentellement.

1.17.4 Évaluation des risques

La DGSA a procédé à la fin de 2009 à une évaluation des risques liés à l'utilisation d'une sonde de glace. Les documents sur l'évaluation des risques indiquent que les limites de l'équipement de sondage de la glace exigeaient que le sondage soit effectué à une hauteur de 15 à 18 pieds au-dessus de la glace et à une vitesse de 70 nœuds. Le danger relevé dans l'évaluation des risques était le contact accidentel avec la surface, désigné comme un impact sans perte de contrôle (CFIT)¹⁰⁷, en raison des scénarios possibles suivants :

- distraction provoquée par une défaillance mécanique, telle qu'une panne d'un moteur, par l'allumage d'un voyant d'avertissement principal ou par l'émission d'une tonalité d'avertissement, qui peut réduire l'attention du pilote et donner lieu à une perte d'altitude et au contact avec le sol;
- réduction de l'attention du pilote pour toute autre raison, donnant lieu à une perte d'altitude et au contact avec le sol;
- perte de conscience de la situation en raison du manque ou de la perte de repères visuels adéquats requis pour établir l'assiette de l'hélicoptère, qui peut provoquer une perte d'altitude et le contact avec le sol;
- défaut de reconnaître une crête de pression sur la glace en raison de repères visuels défaillants ou d'une distraction momentanée provoquant une collision avec la crête de pression.

L'évaluation des risques souligne ce qui suit :

Les études scientifiques ont établi qu'il faut de deux à trois secondes à une personne ordinaire pour se rendre compte d'un changement de situation et une ou deux secondes de plus pour réagir. Un vol effectué dans les conditions indiquées précédemment laisse peu de temps pour réagir à une distraction ou à une situation d'urgence.

¹⁰⁷ L'indice de risque établi à la suite de l'analyse des risques de la mission de sondage indiquait un niveau élevé de risque d'impact sans perte de contrôle, sans mesures d'atténuation. Puisque l'opération visait à mesurer l'épaisseur de la glace, l'évaluation des risques a porté sur les opérations sur glace et n'a pas tenu compte des opérations à basse altitude au-dessus de l'eau.

Après avoir établi le danger et le risque connexe, les 3 options suivantes ont été examinées afin de réduire le risque :

1. effectuer les vols de sondage à une plus grande altitude;
2. effectuer les vols de sondage à une vitesse beaucoup moins grande, comme à la vitesse de roulage en vol stationnaire;
3. établir des procédures opérationnelles qui :
 - minimisent la vitesse avant, tout en maintenant une vitesse de fonctionnement monomoteur sécuritaire;
 - limitent le temps passé à voler à faible altitude;
 - font en sorte que les vols à faible altitude soient dans la mesure du possible effectués face au vent;
 - établissent des limites en ce qui a trait aux conditions météorologiques, à la visibilité et aux contrastes.

Il a été noté que le fait d'effectuer des vols de sondage à une altitude plus élevée constituait le moyen le plus sûr pour réduire le risque, mais que cette option dépendait des limites de l'équipement de sondage. Il a également été noté que l'évaluation des capacités de l'équipement ne relevait pas de l'évaluation des risques. Plusieurs problèmes possibles liés à des vols de sondage effectués à une vitesse anémométrique réduite ont été relevés, dont le plus notable est que ces vols devraient être effectués sous la vitesse d'angle de montée optimale monomoteur de 60 nœuds.

L'option recommandée retenue pour réduire le risque était d'établir des procédures dans le SOC (annexe D) lorsqu'il n'était pas possible d'effectuer les vols de sondage à une plus haute altitude. Cette option a été acceptée le 22 janvier 2010. Pour déterminer si ces nouvelles procédures dans le catalogue étaient efficaces, des entrevues ont été menées après des vols avec des pilotes de la GCC à l'automne de 2010 et de nouveau en janvier 2011, à la suite de missions de sondage. Selon ces entrevues, il a été établi que ces procédures étaient efficaces pour réduire le risque à un niveau acceptable au cours de ce type de vol.

Toutefois, quelques mois avant ces entrevues, des pilotes de la GCC avaient suggéré que la limite de 5 minutes de vol à faible altitude devait être portée à 25 ou 30 minutes. Il a été décidé qu'une limite de 30 minutes était trop longue et inutile dans la plupart des cas. Il a donc été convenu qu'une limite de 15 minutes devait constituer la limite maximale, et seulement lorsque les conditions de contraste et la visibilité sur une banquise étaient idéales. Le SOC n'a pas été modifié pour tenir compte de la durée prolongée des vols effectués en dessous de 200 pieds, et rien n'indique qu'une nouvelle évaluation des risques a été effectuée pour déterminer le niveau de risque propre à cette limite de temps accrue.

Le SOC réduit la masse brute maximale à 4850 livres pour les opérations de sondage de la glace à faible altitude afin d'assurer la remontée sur un seul moteur. Cette masse maximale ne tient pas compte de la réduction du taux de montée de 200 pieds par minute lorsque le système antigivrage des moteurs est en fonction. Cependant, en cas de panne de moteur, la masse de l'aéronef pourrait avoir diminuée au taux de 300 livres la minute à l'aide du vide-vite.

1.17.5 Surveillance réglementaire de la Direction générale des services des aéronefs

Il incombe à TC de veiller au respect de la réglementation régissant le secteur de l'aviation. La DGSA détient un certificat d'exploitation de TC, est une organisation de maintenance agréée par TC et est considérée comme un exploitant commercial.

Transports Canada déploie des efforts pour améliorer son approche en matière de surveillance afin qu'en plus des inspections et des vérifications classiques effectuées pour veiller au respect de la réglementation soit inclus l'examen des systèmes en vue de déterminer s'ils permettent d'assurer efficacement la conformité et s'ils sont utilisés régulièrement. Cette nouvelle approche s'inscrit dans la mise en place prochaine d'un SGS. Toutefois, tous les exploitants l'utilisent, qu'ils soient tenus ou non de se doter d'un SGS¹⁰⁸.

Cela peut également être considéré comme une approche de surveillance visant les systèmes, car l'objectif est de veiller à ce que l'entreprise ait en place des systèmes appropriés qui fonctionnent. Transports Canada définit un système comme suit : « Ensemble de processus interdépendants et de personnes travaillant de concert en vue d'atteindre un objectif donné. Un système comprend des politiques, des processus et des procédures »¹⁰⁹. La surveillance des systèmes doit donc porter principalement sur les politiques, les processus et les procédures de l'exploitant.

En plus de servir à surveiller un SGS, cette approche peut également être utilisée pour surveiller n'importe quel système requis, qui pourrait inclure un programme ou un système d'assurance qualité, un système de contrôle de la maintenance, un système de contrôle opérationnel, un système de masse et centrage, un système de contrôle de la documentation ou un système de préparatifs d'urgence¹¹⁰.

1.17.6 Processus de surveillance

L'Instruction visant le personnel SUR-001¹¹¹ décrit les procédures que doit utiliser le personnel de TCAC pour surveiller les titulaires d'un document de l'Aviation civile. Ce document vise à fournir à TCAC les outils requis pour vérifier que l'entreprise s'est dotée de politiques, de procédures et de processus efficaces en vue de gérer proactivement les risques, tout en l'incitant à prendre en charge ces processus et à en assurer l'amélioration continue. Trois types de

¹⁰⁸ Transports Canada, Instruction visant le personnel SUR-001, *Procédures de surveillance*, n° d'édition 04, (17 novembre 2010), p. 9, et n° d'édition 05 (28 juin 2013), p. 8.

¹⁰⁹ Transports Canada, Instruction visant le personnel SUR-001, *Procédures de surveillance*, n° d'édition 04, (17 novembre 2010), p. 9.

¹¹⁰ Transports Canada, Instruction visant le personnel SUR-001, *Procédures de surveillance*, n° d'édition 05, (28 juin 2013), p. 14.

¹¹¹ L'édition n° 4 de l'Instruction visant le personnel SUR-001 est entrée en vigueur le 17 novembre 2010 et régit les activités de surveillance décrites aux présentes. Elle a été remplacée par l'édition n° 05 le 28 juin 2013, qui était en vigueur au moment de l'événement. Le présent rapport fait référence à l'édition n° 4, à moins d'une indication contraire.

surveillance des activités y sont décrits : l'évaluation du SGS, l'IVP et l'inspection des processus. Bien que ces 3 types de surveillance visent les entreprises qui sont tenues de se doter d'un SGS, seules l'IVP et l'inspection des processus s'adressent aux entreprises qui ne sont pas tenues de se doter d'un SGS.

L'IVP constitue la méthode de surveillance habituelle, remplaçant les inspections classiques. Pour les titulaires d'un certificat d'exploitation aérienne visés par les sous-parties 703 et 704, qui ne sont pas tenus de disposer d'un SGS, l'IVP doit porter sur le contrôle opérationnel et être suffisamment poussée pour veiller à ce que les titulaires aient en place des processus qui assurent efficacement le contrôle opérationnel et leur permettent de se conformer à la réglementation.

L'inspection des processus porte sur un seul processus afin de vérifier s'il satisfait aux exigences réglementaires. Elle vise à fournir de l'information pour appuyer des décisions concernant le niveau de risque propre à un titulaire de certificat et pour établir quelle surveillance supplémentaire peut être exigée. L'inspection des processus peut porter sur n'importe quel processus, bien que des modèles aient été conçus pour les processus les plus couramment examinés (p. ex., la formation). Bien qu'une inspection des processus permette de relever des questions de sécurité, une IVP peut être menée en cas d'urgence afin de recueillir suffisamment d'éléments pour appuyer la publication d'un rapport officiel et des mesures visant un certificat¹¹², au besoin.

Selon l'Instruction visant le personnel SUR-001 n° d'édition 04, lorsque les activités de surveillance permettaient d'établir des faits, les titulaires d'un document étaient alors tenus de fournir un plan de mesures correctives (PMC) à TCAC dans les 30 jours suivant la rédaction du rapport de surveillance. Il était entendu que le PMC devait comprendre un examen de la non-conformité, une analyse de la cause profonde de la non-conformité, des mesures correctives, un calendrier de mise en œuvre et une confirmation de l'approbation des mesures correctives par la direction. Le défaut de présenter un PMC pouvait résulter en une suspension du certificat d'exploitation¹¹³.

L'inspecteur principal avait la responsabilité de vérifier si le PMC satisfaisait aux critères précédents dans les 10 jours ouvrables. Si le PMC était acceptable, un plan de suivi administratif ou de suivi en cours d'emploi devait être produit, et le titulaire du certificat devait en être avisé. Si le PMC était jugé inacceptable, le titulaire du certificat était avisé des défaillances. Un PMC jugé inacceptable pouvait soit être modifié, soit mener à un avis de suspension. Cette première option était privilégiée dans les situations où les modifications exigées étaient mineures et que le temps nécessaire à l'exploitant pour les apporter et au TCAC pour examiner de nouveau le PMC était limité. L'avis de suspension était réservé aux PMC exigeant des modifications

¹¹² Avis de suspension ou d'annulation, avis de détection et surveillance accrue.

¹¹³ Une telle mesure peut être prise conformément à l'Instruction visant le personnel n° SUR-014, qui est entrée en vigueur en juillet 2011 et qui énonce les exigences pour établir un motif valable de suspension en vertu de la *Loi sur l'aéronautique*.

majeures. Lorsqu'un PMC révisé était jugé inacceptable, les procédures de TC indiquaient alors que l'inspecteur principal émettrait un avis de suspension.

Les titulaires d'un certificat étaient avisés de l'échéance et du type de suivi prévu lorsque le PMC était accepté. Il était entendu que l'inspecteur principal concerné devait assurer le suivi et clore le dossier après l'apport des mesures correctives. Dans la plupart des cas, cela devait se produire dans les 90 jours. Tous les faits établis à la suite d'une IVP devaient être résolus dans les 6 mois suivants et une évaluation des risques devait avoir lieu si la mise en œuvre d'une PMC ne respectait pas cette échéance.

1.17.7 *Fréquence de la surveillance effectuée par Transports Canada*

La Directive de l'Aviation civile (DAC) SUR-008 de TCAC indique à quelle fréquence les activités de surveillance doivent être menées. Avant l'événement à l'étude, TC avait effectué la dernière IVP à la DGSA en septembre 2011. La version de la DAC SUR-008 en vigueur à ce moment indiquait que les titulaires d'un certificat émis en vertu des parties III, IV, V, VII et VIII du RAC devaient faire l'objet d'une IVP tous les 12 mois, à moins que des indicateurs de risques précis ne justifient un intervalle plus court¹¹⁴. Cette directive stipulait que cette fréquence devait être respectée dans la mesure où les ressources le permettraient et que tout écart devait être signalé au directeur responsable des normes.

Une version révisée de la DAC SUR-008¹¹⁵ a été émise le 29 mai 2012. Cette nouvelle version indique que l'intervalle de surveillance d'un titulaire de certificat est établi au moyen d'une évaluation des risques, qui tient compte de facteurs tels que l'ampleur et la complexité des activités, les changements récents apportés à l'exploitation et l'historique de l'exploitant. Le profil de risques d'une organisation doit être mise à jour annuellement. La directive énonce un processus pour établir le niveau de risque d'une organisation et l'incidence des risques, qui devaient être appliqués à une matrice afin de déterminer la fréquence de la surveillance. Les entreprises dont la fréquence de surveillance établie d'après cette matrice était 5D ou 5E doivent faire l'objet d'une IVP chaque année. La fréquence de surveillance de la DGSA était évaluée à 5D (annexe E).

1.17.8 *L'inspection de validation de programme menée en 2011*

L'IVP menée par TC en septembre 2011 a permis d'établir 15 faits : 9 liés à des opérations aériennes et 6, à la maintenance. Les faits établis liés à des opérations aériennes concernaient le contrôle opérationnel (3), les périodes de service et le temps de vol (1), les dossiers de formation des équipages de conduite (2), les manuels d'entreprise (2) et les documents de vol (1). L'un des faits établis concernant le contrôle opérationnel a été qualifié de critique et un autre, de majeur.

¹¹⁴ Transports Canada, Directive de l'Aviation civile SUR-008, *Politique de surveillance*, n° d'édition 01 (22 janvier 2009).

¹¹⁵ Transports Canada, Directive de l'Aviation civile SUR-008, *Politique de surveillance*, n° d'édition 02, (29 mai 2012).

Dans le fait établi qualifié de critique, on citait à titre d'exemple de manque de contrôle opérationnel 2 incidents impliquant des hélicoptères de la GCC. La lettre de novembre 2011 communiquant les résultats de l'IVP à la DGSA indiquait que l'organisation n'avait pas démontré que ses programmes de contrôle opérationnel et d'assurance qualité satisfaisaient les exigences réglementaires minimales établies dans les sous-parties 571, 573, 605, 703, 704 et 706 du RAC.

Le 16 décembre 2011, la DGSA présentait sa première série de PMC en regard des 15 faits établis. Les inspecteurs principaux de TCAC ont évalué des PMC, et le 1^{er} février 2012, la DGSA a été avisée que 6 des 9 PMC visant les opérations aériennes et les 6 PMC visant les activités de maintenance étaient jugés inacceptables. Les raisons fournies ont trait au manque d'analyse des causes des non-conformités, ce qui signifie que les inspecteurs chargés de l'évaluation n'étaient pas convaincus que la DGSA avait bien relevé les causes des non-conformités et redressé la situation.

On a donné initialement à la DGSA jusqu'au 10 février 2012 pour revoir les PMC jugés inacceptables. Le 9 mars 2012, la DGSA a présenté une série de PMC révisés à TCAC. Les inspecteurs principaux de TCAC ont fait part le 16 mars 2012 que tous les PMC révisés étaient acceptables. TCAC a alors planifié un suivi administratif jusqu'à la fin d'avril 2012.

Les PMC révisés comportaient une analyse beaucoup plus poussée des causes des non-conformités que celle des PMC présentés initialement. Les mesures correctives étaient en grande partie assez importantes. Par exemple, en réponse aux faits établis concernant les opérations aériennes, la DGSA a indiqué qu'elle planifiait :

- réviser le manuel d'exploitation de la compagnie;
- instaurer un programme d'assurance qualité pour les opérations aériennes;
- examiner toutes les procédures opérationnelles à bord des hélicoptères en concertation avec la Garde côtière.

En raison de l'ampleur des mesures correctives proposées, la DGSA a demandé un report de l'échéance pour présenter un rapport d'étape à TCAC. Cette demande a été reçue le 15 mai 2012 et l'échéance a été reportée à la fin de juin. À la fin de juin 2012, la DGSA a présenté sa réponse de suivi, que TCAC a jugé inacceptable. TCAC a rencontré la DGSA afin d'examiner les problèmes concernant l'information fournie. Les faits établis par l'IVP demeuraient inchangés en attendant la mise en œuvre des mesures correctives prévues par la DGSA.

De plus, en juin 2012, TCAC a avisé la DGSA qu'elle la considérait comme une entreprise en transition. Cette désignation, donnée aux organisations qui instaurent volontairement un SGS, signifie que TCAC avait établi au moyen d'un examen des documents que le programme de signalement interne et le processus réactif d'analyse des événements dont disposait l'organisation étaient acceptables. Cette désignation signifiait également qu'en cas de violation non intentionnelle de la réglementation, TCAC donnerait au titulaire du certificat la possibilité de proposer lui-même des mesures correctives pour en éviter la répétition.

TCAC a reçu en septembre 2012 le manuel d'exploitation de la compagnie modifié. À ce moment, les mesures correctives visant l'assurance qualité des opérations aériennes et l'examen des procédures opérationnelles à bord des hélicoptères n'avaient pas encore été mises en œuvre.

Au moment de l'événement, soit en septembre 2013, les faits établis par l'IVP menée en 2011, dont le fait établi critique lié au contrôle opérationnel, demeuraient inchangés, puisque TCAC n'avait pas obtenu l'assurance que les mesures correctives proposées par la DGSA dans les plans avaient été mises en œuvre avec succès.

Aucune autre IVP n'a été effectuée avant l'événement, puisque l'IVP de 2011 n'était pas close¹¹⁶. Aucune mesure visant le certificat n'a été prise, car TCAC continuait de travailler avec la DGSA afin de veiller à la mise en œuvre des mesures correctives stipulées dans les PMC.

1.17.9 L'inspection des processus menée en 2013

Après l'événement, TCAC a mené une inspection des processus visant les opérations des aéronefs à voilure tournante de la GCC. Cette inspection, menée du 25 septembre au 6 décembre 2013, évaluait les processus liés au contrôle opérationnel, le volet surveillance de la sécurité du SGS de la DGSA et le programme de formation des équipages de conduite de la DGSA. Outre l'accident, ce sont le nombre croissant d'indicateurs de risque et la difficulté constante à produire des PMC acceptables à la suite de l'IVP de 2011 à la DGS qui ont motivé à la base l'inspection des processus. Les indicateurs de risque sont produits par le Système national de gestion d'information sur la sécurité aérienne, qui consigne les renseignements de l'exploitant pour 10 aires dangereuses. Dans le cas de la DGS, de récents incidents et le nombre et la portée des faits établis de l'IVP de 2011 auraient contribué à relever son indicateur de risque.

À la suite de l'inspection des processus, TCAC a constaté plusieurs problèmes dans la façon d'effectuer le sondage de la glace. Plus précisément, l'organisme de réglementation a exprimé son désaccord avec le fait que les procédures visant l'utilisation de la sonde de glace ne figuraient pas dans le manuel d'exploitation de la compagnie (COM) et qu'il n'y avait aucun programme de formation au sol ou d'entraînement au vol formel lié à cette utilisation.

Les 9 faits établis résultant de l'inspection des processus sont résumés ci-dessous :

- Contrôle opérationnel – Limites de l'aéronef (modéré) : Aucun processus n'était en place pour veiller à la tenue à jour des procédures opérationnelles avec les révisions du manuel de vol du giravion (RFM), et plusieurs RFM n'étaient pas à jour.
- Contrôle opérationnel – Régulation des vols (modéré) : Des écarts ont été relevés dans l'information sur la masse et le centrage provenant des différentes sources utilisée par les équipages de conduite.
- Contrôle opérationnel – Diffusion de l'information (modéré) : Les directives transmises aux équipages de conduite sur l'utilisation de la sonde de glace ne figuraient pas dans le

¹¹⁶ On a clos l'inspection de validation de programme de 2011 en 2014.

COM. De plus, les restrictions d'exploitation mises en place à la suite de l'accident ont été communiquées verbalement et par courriel et ne reposaient pas sur une évaluation des risques étayée.

- Contrôle opérationnel – Transport de personnes (modéré) : En plus de ne pas avoir fait paraître les directives dans le COM, il n'existait aucun programme de formation sur l'utilisation d'une sonde de glace. De plus, le capitaine du NGCC *Amundsen* était à bord de l'hélicoptère, même si sa présence n'était pas essentielle au sondage de la glace durant le vol.
- Contrôle opérationnel – Vols au-dessus de l'eau (majeur) : La procédure relative aux vols de sondage de glace n'avait pas été validée afin de vérifier la conformité aux exigences relatives au gonflage des flotteurs. Plusieurs cas où des pilotes n'avaient pas de combinaison d'immersion ont été relevés, ainsi qu'un cas où un pilote ne portant pas de combinaison d'immersion avait été affecté à un vol au-dessus de l'eau exigeant le port d'une combinaison d'immersion.
- Programme de formation – Travail aérien (majeur) : Les procédures relatives aux vols de sondage de la glace ne figuraient pas dans le COM, aucun programme de formation au sol ou d'entraînement au vol n'était approuvé et une séance d'information ou une autoformation était jugée acceptable en guise de formation initiale ou périodique pour les vols de sondage de la glace.
- Contrôle opérationnel – Planification de vol (majeur) : Des défaillances ont été relevées dans le COM en ce qui concerne l'exigence relative aux plans d'opérations aériennes et à leur conservation.
- Programme de formation – Équipages de conduite (majeur) : Des défaillances ont été relevées dans les dossiers de formation des pilotes. Plus précisément, aucun dossier de formation sur la contamination des surfaces et sur les opérations hivernales n'était disponible, et les vols ont été volontairement suspendus jusqu'à ce que de la formation puisse être donnée.
- Contrôle opérationnel – Affectation des équipages (modéré) : Des cas ont été relevés où des pilotes étaient affectés à titre de commandants de bord sans qu'ils possèdent l'expérience de vol requise et il a également été relevé qu'il n'y avait aucun processus en place pour les autorisations, les affectations ou les manifestes de vol.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Contrôle opérationnel

Comme il est stipulé à l'article 722.12 des *Normes de service aérien commercial*, « Les opérations aériennes effectuées en vertu de la sous-partie 702 du *Règlement de l'aviation canadien* nécessitent un système de contrôle d'exploitation de type D. », ce qui était le cas dans l'événement en cause. Dans un système de type D, le suivi des vols consiste à surveiller la progression d'un vol et à aviser l'exploitant aérien visé ainsi que les autorités de recherche et de sauvetage si le vol est en retard ou si l'aéronef est porté disparu. Le gestionnaire des opérations délègue au commandant de bord le contrôle d'exploitation d'un vol, mais il demeure responsable de l'exploitation de l'ensemble des vols.

1.18.2 *Suivi et surveillance des vols*

Le paragraphe 2.6.1 de la Partie 2 du *Manuel d'exploitation – Hélicoptères de la Garde côtière canadienne*, stipule qu'un système de surveillance de vol doit continuellement surveiller les vols de nuit effectués selon les règles de vol à vue, depuis le décollage initial jusqu'à la destination finale. Puisque le vol en cause a été effectué le jour selon les règles de vol à vue, il n'était pas requis de surveiller continuellement la progression du vol. Selon l'article 4.29 du *Manuel d'exploitation – Hélicoptères de la Garde côtière canadienne*, lorsque des hélicoptères de la GCC sont assignés à des navires de la GCC, le suivi de tous les vols et la surveillance de leur progression sont assurés au moyen de l'équipement des navires.

1.18.2.1 *Activités sur la passerelle au cours des opérations héliportées*

Les procédures d'exploitation d'un hélicoptère à bord sont contenues dans le *Manuel d'information et de procédures relatives aux hélicoptères à bord des navires* et sont complétées par le *Manuel de la sécurité de la flotte DFO/5737*, ainsi que par le *Manuel d'exploitation de vol – Hélicoptère* et les *Ordres permanents à l'intention des capitaines* de Transports Canada. Le *Manuel d'information et de procédures relatives aux hélicoptères à bord des navires* décrit les responsabilités, les échelons hiérarchiques et les tâches générales de personnes et de groupes donnés au cours des vols. Les tâches sur la passerelle doivent avoir lieu seulement lorsque l'hélicoptère décolle et atterrit.

Le jour de l'événement, pendant que l'hélicoptère était en vol, le navire était manœuvré en fonction des tâches liées à la mission scientifique. Plus spécifiquement, le premier officier, à titre d'officier de quart, pilotait le navire à travers la glace afin de trouver des glaces flottantes d'une dimension précise. Puisque le capitaine était à bord de l'hélicoptère, le capitaine en second assumait le commandement du navire et de l'équipage et se trouvait sur la passerelle en train de superviser le travail des scientifiques et d'attendre l'hélicoptère. Le capitaine en second est autorisé à prendre des décisions en l'absence du capitaine et de prendre, au besoin, les commandes du navire. En plus du capitaine en second, le premier officier et son timonier, ainsi que le second officier et le membre d'équipage de pont, étaient sur la passerelle en attente du retour de l'hélicoptère.

Vers 17 h 40, le second officier et le membre d'équipage de pont ont quitté la timonerie afin de préparer le pont d'envol pour l'arrivée de l'hélicoptère lorsqu'ils ont appris que l'heure d'arrivée prévue (ETA) était dans 10 minutes. Le navire a poursuivi ses manœuvres. À 18 h 18, après avoir été avisé de la perte de communication avec l'hélicoptère, le capitaine en second a relevé le premier officier et pris les commandes du navire, a ordonné de lancer les opérations de recherche et de sauvetage et les a supervisées.

1.18.3 *Système de suivi des vols*

1.18.3.1 *Généralités*

Au moment de l'événement, la Garde côtière en était à sa première saison avec un nouveau SSV. Officiellement, ce système était encore en développement, ayant réussi 2 des 3 étapes d'essais en vue de son acceptation stipulées dans le contrat conclu avec le fournisseur. Un

nouveau SSV était requis, car l'entretien du système utilisé (NavLink) devenait difficile puisqu'il arrivait à la fin de sa durée de vie utile.

Les Services techniques intégrés (STI) de la GCC supervisaient le développement et la mise en œuvre du SSV. Il fallait à cette fin rédiger un énoncé des besoins opérationnels (SOR) en consultation avec la flotte de la GCC et trouver des solutions possibles pour répondre aux besoins. Les recherches menées par les STI ont permis de constater qu'il n'existait aucune solution commerciale disponible répondant entièrement aux besoins énoncés. La façon la plus rapide de développer ce système consistait à utiliser du matériel commercial disponible immédiatement et de le pourvoir d'une interface et de logiciels personnalisés.

1.18.3.2 Énoncé de besoins opérationnels

Les spécifications indiquées dans le SOR sont résumées ci-dessous :

- Le système doit permettre, en toute autonomie, de suivre les aéronefs depuis les navires, et depuis la terre au moyen d'un service en ligne.
- Le système doit pouvoir, en toute autonomie, suivre un hélicoptère de la GCC depuis un navire et inversement, et afficher l'indicatif d'appel, la position, le relèvement et la distance de l'hélicoptère ou du navire.
- L'équipement utilisé sur l'hélicoptère doit être certifié en ce sens, et un certificat de type supplémentaire (CTS) doit être fourni pour en permettre l'installation sur tous les types d'hélicoptères de la flotte de la GCC.
- Le système doit pouvoir fonctionner dans toutes les conditions météorologiques et à toutes les latitudes.
- Le GPS de l'unité doit fournir de l'information sur la position, et l'établir avec une précision de 30 m.
- Le dispositif d'affichage utilisé sur l'hélicoptère doit pouvoir être utilisé sur le navire.
- La position de l'hélicoptère doit être transmise toutes les 2 minutes. Cet intervalle doit pouvoir être réduit à 30 secondes.
- La position du navire doit être transmise toutes les 4 heures. Cet intervalle doit pouvoir être réduit à 2 minutes.
- Le système doit permettre de transmettre manuellement un signal d'urgence et un compte rendu de position ainsi que d'aviser des personnes-ressources présélectionnées et toute ressource suivant l'hélicoptère ou le navire. [traduction] « Le destinataire doit être immédiatement informé de cet avis et doit en accuser réception avant de pouvoir le supprimer de son système ».
- L'interface doit occuper le moins de place possible.
- L'utilisation de système ne doit pas exiger une formation poussée.
- Une formation appropriée doit être fournie aux pilotes et aux officiers du navire « en collaboration avec le fabricant ».

- Une formation appropriée doit être fournie aux techniciens de TC et de la GCC « par le fabricant ».

Il n'y avait pas d'autres besoins concernant les caractéristiques de l'interface utilisateur, comme l'affichage de la latitude et la longitude. Il n'y avait pas d'alarme sonore requise lorsqu'un aéronef était en situation d'urgence ou qu'il était en retard, car l'on croyait que l'équipage de la timonerie surveillerait l'écran.

1.18.3.3 Architecture et interface du système de suivi des vols

Les officiers du navire et les pilotes d'hélicoptère peuvent connaître leur position respective en utilisant le SSV depuis un panneau de commande et d'affichage (CDU-300), qui allie un CDP300 (numéro de série 104-300-01) et un DVI300 (numéro de série 105-300-01). À bord de l'hélicoptère, le CDU se trouve dans le bas du tableau de bord, au centre. Sur le NGCC *Amundsen*, le CDU se trouve sur la table des cartes, à tribord à l'arrière de la timonerie (figure 10).

Figure 10. Emplacement de l'interface utilisateur CDU-300 du SSV à la table des cartes



Alors que le système précédent, NavLink, utilisait des ondes courtes pour communiquer directement avec le navire et l'hélicoptère, le SSV SkyTrac utilise les comptes rendus de position GPS transmis par un système de communication par satellite et gérés par les centres de données de SkyTrac. Ces comptes rendus de position sont transmis à l'intervalle de position spécifié par l'utilisateur et sont utilisés par l'application en ligne SkyWeb pour suivre l'hélicoptère ou le navire. L'intervalle de position par défaut est de 4 heures pour le navire et de 2 minutes pour l'hélicoptère. L'intervalle de position détermine la fréquence à laquelle la position du navire et de l'hélicoptère est transmise automatiquement au serveur. Les comptes rendus de position peuvent également être transmis manuellement au serveur depuis le CDU d'après la configuration effectuée par l'utilisateur.

Au moment de l'accident, le *Manuel d'information et de procédures relatives aux hélicoptères à bord des navires* n'était pas à jour et le nouveau SSV, qui en était au stade de développement, n'y figurait pas. D'après ce manuel, c'est l'officier de quart qui doit surveiller l'équipement NavLink au cours des vols. En attendant la modification du manuel, la GCC a émis la Circulaire des opérations (07-2013) en juin 2013, qui décrit les procédures d'exploitation normalisées (SOP) à utiliser avec le nouveau SSV.

Selon les SOP, avant d'entreprendre l'exploitation d'un hélicoptère, l'équipage du navire doit effectuer ce qui suit sur le CDU du SSV :

- changer l'intervalle de position de 4 heures à 2 minutes afin de veiller à ce que le navire et l'hélicoptère reçoivent l'information sur leur position respective toutes les 2 minutes;
- choisir l'hélicoptère approprié dans la liste de rendez-vous et amorcer le rendez-vous;
- mettre fin à la fonction de rendez-vous dans l'hélicoptère et le navire, puis remettre l'intervalle de position à 4 heures sur le navire lorsque l'exploitation de l'hélicoptère est terminée.

Les SOP ne précisait pas qui était chargé de changer l'intervalle de position, de lancer la fonction de rendez-vous et de surveiller le CDU pour vérifier la position ou constater un retard.

Lorsque la fonction de rendez-vous est lancée, le serveur utilise les comptes rendus de position reçus pour calculer le relèvement et la distance, puis pour transmettre l'information de rendez-vous suivante aux ressources jumelées :

- relèvement et distance;
- latitude et longitude;
- estampille temporelle de la position.

La position est mise à jour sur le CDU après la transmission manuelle ou automatique de la position du navire au serveur. Les comptes rendus de position sont transmis automatiquement au serveur à l'intervalle de position sélectionné ou manuellement par l'utilisateur depuis le CDU.

En défilant dans les menus du CDU, l'utilisateur peut afficher la latitude et la longitude ou le relèvement et la distance. Dans les 2 cas, l'identificateur et l'estampille temporelle de l'aéronef ou du navire sont affichés (figure 11). Le CDU affiche l'estampille temporelle afin d'indiquer le moment auquel la position est valide.

L'information de rendez-vous sur l'écran du CDU n'indique pas l'intervalle de position actuel. L'utilisateur doit sélectionner l'écran approprié du système ou comparer l'estampille temporelle de la position affichée au temps réel. Dans l'événement à l'étude, une estampille temporelle remontant à plus de 2 minutes aurait indiqué que l'intervalle de position n'était pas réglé à 2 minutes, et qu'il pouvait être demeuré à 4 heures.

La latitude et la longitude sont censées être affichées en degrés, en minutes et en secondes sur le CDU. Le point décimal a été ajouté à des fins d'affichage seulement; il n'a aucune incidence sur la position. Ainsi, l'information fournie sur le cap et la distance est exacte. Cependant, puisqu'un point décimal est affiché entre les minutes et les secondes, les utilisateurs pourraient être portés à croire que la position est indiquée en degrés, en minutes et en centièmes de minutes (figure 11).

Figure 11. Information de rendez-vous sur le CDU



1.18.3.4 Alertes transmises par le système de suivi des vols

Deux alertes sont transmises à bord du navire pour indiquer que l'hélicoptère peut être en détresse ou en retard. Ces 2 alertes ne sont que des indications visuelles; il n'y a pas de signal sonore pour aviser l'équipage du navire de vérifier le SSV. Ces 2 alertes sont les suivantes :

- Urgence – Lorsque cette alerte est lancée par actionnement du bouton d'urgence du CDU de l'hélicoptère, l'unité sur le vaisseau affiche l'identificateur de l'hélicoptère (dans le présent cas GCC364) et le mot Emergency [Urgence].
- En retard / compte rendu de position non transmis – Lorsque l'on amorce un rendez-vous et qu'un nombre défini de comptes rendus de position ne sont pas transmis (de GCC364 dans le présent cas), des tirets sont affichés à la place. Cette alerte peut être déclenchée par l'interruption des communications par satellite ou par l'occurrence d'un événement lié à la sécurité. Dans l'événement à l'étude, puisque l'alerte a découlé d'un événement lié à la sécurité, seul le terme « alerte de retard » sera employé. Le temps écoulé avant l'affichage d'une telle alerte dépend de la configuration du CDU sur l'hélicoptère et le navire. Une alerte est transmise par défaut après 3 comptes rendus de position non transmis.

Puisque l'hélicoptère et le navire doivent utiliser un intervalle de position de 2 minutes, des tirets devraient être affichés lorsque la position transmise remonte à plus de 6 minutes. Il a été décidé d'utiliser des tirets pour signaler une alerte de retard afin de minimiser les distractions causées par une alarme sonore ou visuelle dans l'hélicoptère.

Un service en ligne (SkyWeb)¹¹⁷ est disponible afin de permettre la surveillance à terre de la transmission des comptes rendus de position des hélicoptères et des navires. Lorsque SkyWeb détecte qu'il manque 5 comptes rendus de position, il envoie un autre type d'alerte de retard par courriel à des personnes-ressources présélectionnées afin de les alerter que l'hélicoptère n'a pas transmis de comptes rendus de position ou qu'il est en retard. Les comptes rendus de position manquants pourraient aussi être attribuables à un incident lié à la sécurité ou à des problèmes de communications par satellite. Une alerte d'urgence est également envoyée par courriel à l'actionnement du bouton d'urgence de l'hélicoptère.

Dans le présent cas, le service en ligne a été initialement configuré pour transmettre les messages à des destinataires désignés du Centre des opérations régionales de la GCC, des centres secondaires de sauvetage maritime et de la DGSA. Les panneaux du SSV n'étaient pas configurés pour faire une distinction entre les statuts « au sol » et « en vol »; tous les comptes rendus de position étaient considérés « en vol ». Ainsi, plusieurs fausses alertes de retard étaient reçues alors que l'hélicoptère se trouvait au sol, dans le hangar. Par conséquent, on a supprimé le nom de toutes les personnes-ressources figurant sur la liste des personnes à alerter en cas de retard en juillet 2013 jusqu'à ce que d'autres examens puissent être effectués avec le fabricant

¹¹⁷ © 2014 SkyTrac Systems Ltd.

afin de savoir ce qui provoquait ces fausses alertes et de trouver une solution à ce problème. Ces personnes-ressources pouvaient toujours recevoir les alertes d'urgence.

1.18.3.5 Mise en œuvre du système de suivi des vols et formation connexe

Le nouveau SSV a franchi avec succès les 2 premières étapes du contrat (essais d'acceptation en usine et en cours d'emploi) avant le début de la saison des opérations dans l'Arctique en 2013. Les essais d'acceptation complète des capacités devaient être terminés au terme du contrat.

Pour la saison des opérations de 2013, seule une partie de la flotte d'hélicoptères de la GCC était pourvue du nouveau SSV. Certains navires étaient donc toujours équipés du SSV SkyTrac et de l'ancien SSV NavLink et utilisaient l'un ou l'autre de ces systèmes en fonction duquel l'hélicoptère qui leur était affecté était pourvu.

En raison des contraintes de temps, des formateurs ont été formés sur le tas pour former les pilotes et les équipages des navires à l'utilisation du système avant la saison des opérations de 2013. On a offert de la formation à du personnel de la GCC, qui a par la suite adapté le matériel didactique et donné un aperçu de la formation aux pilotes superviseurs à l'occasion d'un webinaire.

En ce qui concerne la formation des officiers du navire, des techniciens qui devaient voyager à bord des navires pourvus du nouveau système ont assisté à cette même séance d'information. Il était entendu que ces techniciens utiliseraient ensuite ce matériel didactique pour informer les équipages des navires de l'utilisation du système. Un technicien a fait une démonstration de l'utilisation du nouveau SSV à 4 officiers de navigation à bord du NGCC *Amundsen*.

Le matériel didactique fourni aux officiers du navire, aux techniciens et aux pilotes de la DGSA indiquait qu'il était nécessaire de régler l'intervalle de position à 2 minutes afin que chaque navire et aéronef utilisant le système reçoive respectivement l'information la plus à jour possible. Ce matériel ne traitait pas spécifiquement de la fonction d'alerte de retard du SSV ou de l'importance du réglage de l'intervalle de position et de son rôle dans les alertes de retard.

En ce qui concerne l'importance de savoir à quel moment un compte rendu de position est transmis, le matériel didactique fourni par l'entrepreneur se limite à définir la position comme étant la distance et le relèvement actuels de l'aéronef ou du navire. L'importance de valider le moment de transmission des comptes rendus de position n'a donc pas été soulignée.

1.18.3.6 Réglage de l'intervalle de position sur le navire Amundsen de la Garde côtière canadienne dans les jours précédant l'événement

Le 5 septembre 2013 à 7 h 45, au cours d'un vol de l'hélicoptère, le SSV du NGCC *Amundsen* a commencé à transmettre régulièrement des comptes rendus de position toutes les 2 minutes, indiquant ainsi que l'intervalle de position avait été réglé à 2 minutes comme il est requis au cours d'un vol d'hélicoptère. Le SSV à bord du navire continuait toutefois de transmettre des comptes rendus de position toutes les 2 minutes au cours des 3 prochains jours, même si l'hélicoptère ne volait pas. Le 8 septembre 2013 à 8 h 42, l'équipage a remis l'intervalle de position du SSV à bord du navire à sa valeur par défaut de 4 heures.

1.18.3.7 *L'intervalle de position le jour de l'événement*

Le jour de l'événement, juste avant le décollage, la fonction de rendez-vous était activée à bord du navire et de l'hélicoptère. Toutefois, l'équipage de la timonerie a éprouvé de la difficulté à changer l'intervalle de position de 4 heures à 2 minutes. Alors qu'il tentait de régler l'intervalle de position à 2 minutes, l'équipage de la timonerie a été distrait par d'autres tâches liées à la marche du navire, et l'intervalle de position n'a pas été changé.

Dix-sept minutes après le décollage, l'équipage a communiqué avec le pilote pour l'aviser que le SSV à bord du navire indiquait que l'hélicoptère se trouvait toujours à 0 mille du navire. Cela indique que l'intervalle de position sur le navire n'était pas réglé à 2 minutes.

Les registres du serveur du NGCC *Amundsen* confirment que les comptes rendus de position n'étaient pas transmis toutes les 2 minutes le jour de l'événement. Les registres indiquent toutefois que le NGCC *Amundsen* a reçu des comptes rendus de position à 17 h 3, 17 h 55 et 18 h 5 et 6 fois à des intervalles irréguliers jusqu'à 18 h 26, heure à partir de laquelle des comptes rendus de position ont été transmis régulièrement toutes les 4 heures. Cela indique que l'équipage de la timonerie a lancé la fonction de rendez-vous ou a mis à jour le CDU entre 17 h 3 et 18 h 26. Lorsque le serveur reçoit des comptes rendus de position, le relèvement et la distance sont calculés et transmis avec l'estampille temporelle; le CDU à bord du navire affiche ensuite la position de l'hélicoptère avec l'estampille temporelle.

À 17 h 55, l'estampille temporelle de la position de l'hélicoptère indiquait 17 h 41, soit la dernière position de l'hélicoptère transmise au serveur. L'équipage n'a pas remarqué que cette indication de position remontait à 14 minutes.

À 18 h 5, le chef de pont d'envol de l'hélicoptère sur le pont d'envol a demandé par radio à l'équipage de la timonerie de chercher la position de l'hélicoptère. L'équipage de la timonerie a vérifié le CDU du SSV et confirmé que l'hélicoptère se trouvait à 3,2 nm du navire. L'estampille temporelle indiquait toujours 17 h 41, soit la dernière position de l'hélicoptère transmise au serveur; l'équipage n'a pas remarqué que cette indication de position de l'hélicoptère remontait maintenant à 24 minutes.

À 18 h 26, pendant que NGCC *Amundsen* se dirigeait vers la dernière position connue de l'hélicoptère, l'équipage de la timonerie s'est rendu compte que l'estampille temporelle remontait à 45 minutes.

Les registres du serveur du GCC364 indiquent la mise en marche de l'hélicoptère à 16 h 32, le décollage à 16 h 38, la transmission de comptes rendus de position toutes les minutes et la transmission de dernier rapport à 17 h 41. Il n'a pas été établi pourquoi le CDU de l'hélicoptère était réglé à 1 minute plutôt qu'à 2 minutes.

1.18.3.8 *Normes régissant les avertissements et les alertes*

La GCC n'a fait référence à aucune norme précise de conception d'interface utilisateur pour le développement des systèmes à installer sur ses navires. Il existe plusieurs normes pour guider la conception des interfaces utilisateur. La FAA a élaboré une norme de conception tenant

compte des facteurs humains, qui regroupe des normes et des directives pertinentes à utiliser lors du développement des systèmes de la FAA. Il s'agit d'une référence utile pour saisir les problèmes liés aux interfaces utilisateur, puisqu'on y trouve des directives sur une foule de sujets, dont des textes cités des documents d'origine.

Les directives pertinentes comprennent ce qui suit :

[traduction] Si l'équipement n'est pas surveillé régulièrement, une alerte audio doit être prévue pour signaler les défaillances ou les situations qui pourraient provoquer des blessures ou endommager l'équipement. [Source : Department of Defense des États-Unis (MIL-STD-1472F), 1999]

Les alarmes du système doivent :

- a) alerter l'utilisateur lorsqu'il y a un problème;
- b) informer l'utilisateur du niveau de priorité et de la nature du problème;
- c) guider l'intervention initiale de l'utilisateur;
- d) confirmer rapidement si l'intervention de l'utilisateur a permis de corriger le problème. [Source : Commission de réglementation de l'énergie nucléaire (NUREG-0700), 1981]

Fournir un avertissement visuel redondant. Tous les signaux sonores non verbaux doivent être accompagnés d'un signal visuel indiquant la situation. [Source : MIL-STD-1472F, 1999]

Éviter de faire sursauter. Les signaux ne doivent pas faire sursauter de manière à nuire à une intervention appropriée ou à interférer avec d'autres tâches en détournant l'attention d'autres signaux critiques. [Source : MIL-STD-1472F, 1999]

Indicateurs de dépassement de plage. Une indication doit être donnée lorsque l'équipement est défectueux ou qu'il ne fonctionne pas dans les limites prescrites. [Source : NASA-STD-3000A, 1989; MIL-STD-1472D, 1989; MIL-STD-1800A, 1990]

1.18.4 Utilisation d'une sonde de glace

Un SOC a été rédigé (annexe D) afin de fournir des directives aux pilotes sur l'utilisation d'une sonde de glace. Ce SOC indique que, au cours de la collecte de données, l'hélicoptère doit voler à moins de 20 pieds de la surface de la glace durant une courte période, ne dépassant généralement pas 5 minutes, et à une vitesse d'au moins 60 nœuds et d'au plus 80 nœuds¹¹⁸.

¹¹⁸ À la suite de discussions avec des pilotes et des spécialistes en facteurs humains à la Direction générale des services des aéronefs menées en juin 2010, il a été décidé d'accroître la limite maximale à 15 minutes. Cette limite ne s'appliquait que dans des conditions de contraste et de visibilité idéales au-dessus d'une banquise solide.

Comme il été mentionné précédemment, le pilote a effectué au total 6 vols de sondages d'une durée de 7 à 9 minutes, sauf le dernier menant à l'impact, qui a duré environ 3 minutes.

Selon le SOC, seules les personnes indispensables doivent se trouver à bord d'un hélicoptère au cours des sondages de la glace. Dans l'événement à l'étude, le vol comprenait 2 types d'activités liées à des travaux aériens, soit la prise de mesures de la glace et la reconnaissance des glaces.

Le document TP 8880¹¹⁹ de Transports Canada définit les différents types d'activités liées à des travaux aériens réalisés par les avions et les hélicoptères. Le terme inspection et surveillance aérienne désigne l'utilisation d'un aéronef dans le but d'effectuer de l'observation et des patrouilles aériennes des événements, des objets en surface et des animaux. Cette définition s'applique à la reconnaissance des glaces effectuée par le capitaine au cours du vol en cause.

Le document TP 8880 définit un levé topographique aérien comme suit : « Utilisation d'un aéronef dans le but d'effectuer un levé topographique à l'aide d'une caméra ou d'autres appareils de mesure ou dispositifs enregistreurs ». Cette définition s'applique à la mission de mesure des glaces effectuée par le scientifique.

L'alinéa 702.16(a) du RAC stipule ce qui suit : « Il est interdit à l'exploitant aérien de transporter à bord d'un aéronef toute personne autre qu'un membre d'équipage de conduite, à moins que la présence de la personne à bord de l'aéronef ne soit essentielle pendant le vol ». Puisqu'ils étaient tous les 2 affectés à une tâche au cours du vol, soit à une tâche de mesure pour le scientifique et à une tâche d'observation pour le capitaine, ils satisfaisaient aux critères visant les membres d'équipage formulés au paragraphe 101.01 du RAC¹²⁰. De plus, la présence du scientifique et du capitaine était essentielle durant le vol, conformément à l'alinéa 702.16(a) du RAC.

Le SOC stipule également que pour les sondages de glace à faible altitude, la masse brute maximale d'un hélicoptère doit être de 4850 livres¹²¹ afin d'assurer la montée sur un seul moteur. Cette masse maximale ne tient toutefois pas compte de la réduction du taux de montée lorsque le système antigivrage des moteurs est en fonction.

L'hélicoptère a été ravitaillé avec 125 gallons américains de carburant au total le 8 septembre et n'avait pas volé de nouveau jusqu'au vol en cause. D'après le poids réel des occupants et de l'équipement à bord, il a été déterminé que la masse au décollage de l'hélicoptère était de 5268 livres. Avec un temps de vol d'à peu près 65 minutes et une consommation de carburant

¹¹⁹ Transports Canada, TP 8880, *Établissement d'un service aérien commercial*, quatrième édition (août 2004).

¹²⁰ Le *Règlement de l'aviation canadien* définit un membre d'équipage comme étant une « personne qui est chargée de fonctions à bord d'un aéronef pendant le temps de vol ».

¹²¹ La masse maximale au décollage est normalement de 5512 livres.

de 45 gallons américains à l'heure¹²², la masse au moment de l'écrasement aurait été d'environ 4942 livres. Avec cette masse, la température extérieure de l'air de $-1,4$ °C et le niveau de la mer comme altitude barométrique au moment de l'accident, le taux de montée sur un seul moteur¹²³ aurait été d'environ 140 pieds à la minute comparativement à 180 pieds à la minute avec une masse de 4850 livres, le système antigivrage des moteurs hors fonction et une puissance maximale continue appliquée¹²⁴. Le taux de montée aurait alors été semblable si la puissance d'urgence avait été utilisée¹²⁵. Toutefois, le RFM du BO 105 stipule que le taux de montée est réduit de 200 pieds à la minute lorsque le système antigivrage des moteurs est en fonction¹²⁶. Les interrupteurs d'antigivrage se trouvaient à ON au moment de l'examen initial de l'épave et l'examen des moteurs a révélé que les vannes antigivrage des moteurs étaient ouvertes au moment de l'événement.

Selon le SOC, les dossiers de formation initiale et périodique des pilotes doivent être conservés. Il n'y avait pourtant aucun dossier indiquant que le pilote avait suivi une formation initiale et périodique sur l'utilisation d'une sonde de glace. Il n'a pas été possible de déterminer si le pilote avait consulté le SOC dans le cadre d'une formation périodique avant le vol en cause.

1.18.5 Urgences en vol

La section 3 du RFM approuvé de l'hélicoptère BO 105 contient les procédures recommandées à suivre pour divers types d'urgence, de défaillances et de situations critiques. Les pilotes de la DGSA utilisent également la liste de vérification du pilote de l'hélicoptère BO 105. Cette liste de vérification comprend la liste de contrôle des opérations normales, la liste de contrôle des défaillances et les procédures d'urgence.

La plupart des urgences en vol sont signalées par un voyant rouge sur le tableau des voyants d'alarme ou par un voyant d'avertissement jaune sur le tableau de bord. L'illumination d'un voyant d'alarme rouge signale une situation d'urgence exigeant des mesures correctives immédiates. Ce qui importe le plus toutefois est de conserver la maîtrise de l'hélicoptère avant

¹²² Calcul fondé sur les données tirées des figures 9-3 et 9-4 du manuel du giravion (Eurocopter Canada Limited, *Flight Manual*, BO 105 CB/CBS). Les valeurs présentées dans les diagrammes reposent sur une masse volumique du carburant de 6,682 livres par gallon américain. La masse carburant par gallon américain est de 7,098 livres à $-1,4$ °C.

¹²³ Taux de montée avec un seul moteur selon les données présentées aux figures 5-13 et 5-14 du manuel de vol du giravion. (Source : Eurocopter Canada Limited, *Flight Manual*, BO 105 CB/CBS, p. 5-31 et 5-32).

¹²⁴ Température de sortie de la turbine de 779 °C et couple de 95 % selon le manuel de vol du giravion. (Source : Eurocopter Canada Limited, *Flight Manual*, BO 105 CB/CBS, p. 5-32).

¹²⁵ Température de sortie de la turbine de 810 °C et couple de 95 % selon le manuel de vol du giravion. (Source : Eurocopter Canada Limited, *Flight Manual*, BO 105 CB/CBS, p. 5-31).

¹²⁶ Dans la section 2 du manuel du giravion, traitant des limites, le système antigivrage des moteurs doit être en fonction lorsque la température ambiante est inférieure à $+4$ °C et que l'humidité est visible, sauf au décollage et à l'atterrissage. (Source : Eurocopter Canada Limited, *Flight Manual*, BO 105 CB/CBS, p. 2-7).

de prendre des mesures correctives indiquées dans la liste de vérification d'urgence. Les voyants d'avertissement jaune sur le tableau de bord signalent une défaillance ou une panne. L'illumination de ces voyants n'exige pas une intervention immédiate de l'équipage, mais indique la probabilité imminente d'apporter des mesures correctives.

Le RFM indique qu'il est toujours possible qu'un voyant d'alarme ou d'avertissement s'allume sans cause. En pareil cas, dans la mesure du possible, le pilote doit vérifier le voyant par rapport à l'instrument correspondant afin de s'assurer qu'il y a bien une situation d'urgence. D'après l'urgence qui survient, la liste de vérification connexe indique les options d'atterrissage suivantes :

- atterrissage immédiat¹²⁷;
- atterrir dès que possible¹²⁸;
- atterrir dès que cela est faisable¹²⁹.

Selon le RFM et la liste de vérification du pilote de l'hélicoptère BO 105, les 2 conditions suivantes exigeraient un atterrissage immédiat :

- lorsque la pression d'huile de la transmission du rotor principal est inférieure à 0,5 bar ou que la température de la transmission est supérieure à 105 °C;
- lorsque le voyant du détecteur de limaille de la transmission principale et le voyant d'alarme de pression d'huile de la transmission s'allument et que la température et la pression de la transmission sont anormales.

Selon le RFM et la liste de vérification du pilote de l'hélicoptère BO 105, les conditions suivantes exigeraient un atterrissage le plus tôt possible :

- incendie moteur en vol;
- incendie électrique;
- pression d'huile de la transmission du rotor principal normale et température supérieure à 105 °C;
- voyant du détecteur de limaille de la transmission principale allumé;
- défaillance d'un seul moteur;
- vibrations importantes des pédales;

¹²⁷ Il faut atterrir de toute urgence. Ce qui importe avant tout est d'assurer la survie des occupants. Se poser sur l'eau (amerrissage forcé) ou atterrir sur des arbres ou dans d'autres endroits dangereux ne doivent être considérés qu'en dernier recours.

¹²⁸ Il faut atterrir sans délai à l'endroit approprié le plus près (p. ex., dans un champ dégagé) où il est possible d'exécuter une approche et d'atterrir en toute sécurité.

¹²⁹ Le choix du site d'atterrissage et la durée du vol sont à la discrétion du pilote. Il n'est pas recommandé de prolonger le vol au-delà du site d'atterrissage approuvé le plus près où de l'aide peut être fournie.

- surchauffe d'une batterie;
- court-circuit électrique;
- obstruction des 2 filtres à huile;
- voyant de refroidissement d'huile allumé lorsque la température des moteurs ou de la transmission atteint presque la limite;
- obstruction des déflecteurs.

1.18.6 Pêril aviaire

L'information qui suit est un résumé du document TP 13549 de Transports Canada intitulé *Un ciel à partager : Guide de l'industrie de l'aviation à l'intention des gestionnaires de la faune*.

Selon ce document, les hélicoptères sont constamment exposés au risque d'un impact d'oiseaux, car la majorité des hélicoptères sont utilisés à très basse altitude, normalement en dessous de 500 pieds agl. Le pilote se concentre sur la marge de franchissement du relief tout en accomplissant ses tâches; il n'a donc que très peu de temps, voire pas du tout, pour surveiller les oiseaux¹³⁰.

Les hélicoptères perturbent davantage les colonies d'oiseaux que les avions; par conséquent, le risque de collision augmente lorsque les oiseaux s'envolent. Il existe un risque important de bris du pare-brise et de graves blessures et d'incapacité.

La majorité des mouvements quotidiens se situent entre 30 et 300 pieds au-dessus du sol (agl). Les oiseaux volent rarement au-dessus de 1000 pieds agl. Il n'est donc pas surprenant que plus de 80 % des impacts d'oiseaux signalés surviennent lorsque l'aéronef se trouve au-dessous de cette altitude; la vaste majorité des impacts se produisent au-dessous de 300 pieds agl.

La vaste majorité des espèces d'oiseaux d'Amérique du Nord (de 60 à 80 % ou plus des cinq milliards d'oiseaux) migrent chaque automne vers le sud des États-Unis, le Mexique — et jusqu'en Amérique centrale et du Sud — pour ne revenir qu'au printemps. Durant ces périodes migratoires, des oiseaux en très grand nombre traversent le continent nord-américain tout entier. Il est évident que les périodes migratoires de septembre-octobre et d'avril-mai marquent un temps où le risque d'impact d'oiseaux est important.

Le plus grand danger pour les pilotes d'hélicoptère à la suite du fracassement du pare-brise est la perte de la vue causée par les débris. Cela explique pourquoi le guide TP 13549 suggère notamment aux pilotes d'hélicoptère de toujours porter un casque muni d'une visière afin de réduire la gravité des collisions d'oiseaux. Dans l'événement à l'étude, le pilote portait un casque, mais il n'a pas été possible de déterminer si la visière était abaissée avant l'écrasement.

¹³⁰ Transports Canada, TP 13549F, *Un ciel à partager : Guide de l'industrie de l'aviation à l'intention des gestionnaires de la faune* (mars 2004).

L'examen du casque n'a pas révélé de signe d'impact d'oiseaux, qui aurait pu nuire à la visibilité du pilote.

L'activité aviaire dans les environs du lieu de l'écrasement le jour de l'événement n'est pas connue. Des photos et des vidéos prises au cours du vol en cause ne montrent pas de signes d'activité aviaire. L'examen de l'épave n'a pas révélé de signe d'impact d'oiseaux. Par conséquent, il est peu probable que le pilote ait été distrait par la présence d'oiseaux ou qu'il ait tenté d'éviter une volée d'oiseaux. Cette possibilité ne peut toutefois pas être complètement écartée.

1.18.7 Indices visuels

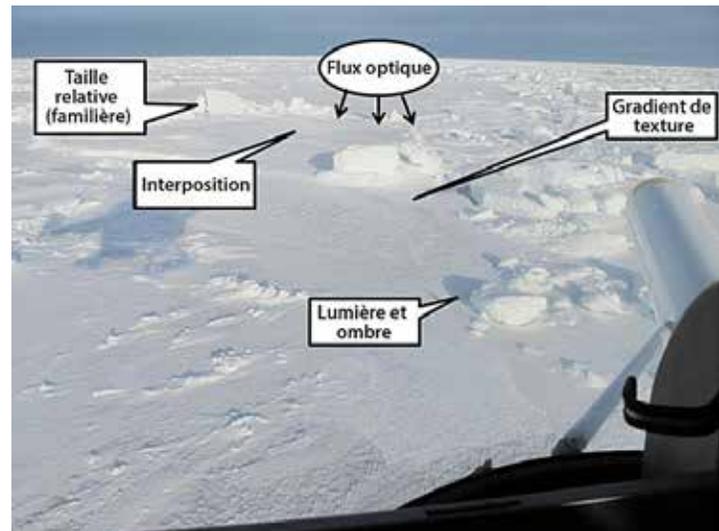
En plus d'un horizon discernable, essentiel pour estimer l'attitude d'un aéronef au cours d'un vol à vue, les indices visuels¹³¹ pertinents pour estimer l'altitude au cours d'un vol à faible altitude comprennent ce qui suit :

- perspective linéaire : le degré de convergence entre des lignes parallèles diminue à mesure que la hauteur au-dessus de la surface augmente (évasement);
- interposition : l'espacement entre les objets semble décroître à mesure qu'on s'approche de la surface (compression);
- lumière et ombre : la position relative des ombres change à mesure que la hauteur au-dessus de la surface augmente;
- dimension relative : les objets semblent plus petits à mesure que la hauteur au-dessus de la surface augmente;
- gradient de texture : la texture de la surface semble plus uniforme (moins de détails) à mesure que la hauteur au-dessus de la surface augmente;
- flux optique : les objets semblent s'éloigner de plus en plus d'un point central à mesure que l'altitude augmente.

¹³¹ C.D. Wickens et J.G. Hollands, *Engineering Psychology and Human Performance*, 3^e édition, Prentice Hall, New Jersey, (2000), pp. 139-142 et pp. 160-164.

La figure 12 illustre des exemples d'indices visuels permettant de maintenir l'altitude pendant un vol de sondage de la glace. Le pilote doit continuellement surveiller 3 zones : le champ visuel rapproché, le champ visuel éloigné et les instruments de l'aéronef – surtout l'altimètre radar de sondage des glaces et l'anémomètre. L'importance relative de chacune de ces zones dépend des indices disponibles; le pilote doit prêter davantage attention aux instruments lorsqu'il y a moins d'indices visuels à l'extérieur de l'aéronef.

Figure 12. Indices visuels permettant de maintenir l'altitude (photo prise environ 10 minutes avant l'événement)



1.18.8 Impact sans perte de contrôle

Un impact sans perte de contrôle (CFIT) est un événement au cours duquel un aéronef en vol contrôlé est conduit contre le relief, l'eau ou un obstacle, sans que l'équipage se doute de la tragédie sur le point de se produire¹³².

Dans les 3 vidéos examinées, l'hélicoptère survole des parcelles d'eau libre de glaces. Les plus grosses parcelles d'eau libre ont été parcourues en 5 secondes environ. La texture de la surface de l'eau variait; certaines parcelles étaient ondulées à la surface et d'autres étaient lisses et brillantes et semblaient être recouvertes d'une fine couche de glace.

Au moment de l'accident, les vents étaient faibles. Dans de telles conditions, les surfaces d'eau plus lisses présentent une apparence uniforme vues d'en haut, un peu comme un miroir. Cela a une incidence sur les références visuelles et peut se révéler extrêmement dangereux, surtout lorsqu'on vole près de la surface. Lorsque la surface de l'eau réfléchit des nuages ou des glaces flottantes, la perception de se trouver à une altitude plus élevée peut pousser des pilotes, même expérimentés, à descendre et donner lieu à un CFIT.

1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces

1.19.1 Navire de récupération

La récupération de l'hélicoptère du détroit de M'Clure en septembre posait un défi de taille. Le NGCC *Amundsen* et le NGCC *Henry Larsen* et leurs équipages, ainsi que les pilotes du VTG fournis par ArcticNet, ont permis à l'équipe de récupération de relever ce défi.

¹³² Transports Canada, Glossaire à l'intention des pilotes et du personnel des services de la circulation aérienne (août 2013).

1.19.2 *Emplacement de l'épave*

Les équipes du BST et du VTG sont montées à bord du NGCC *Amundsen* à Resolute Bay le 19 septembre 2013 et sont arrivées au lieu de l'accident le 21 septembre 2013. Les nombreuses glaces flottantes dans la zone de recherches ne permettaient pas d'effectuer des recherches par quadrillage. Un hydrophone a été utilisé au début des recherches afin de détecter le signal émis par la radiobalise sous-marine de détresse à bord de l'hélicoptère. Comme un signal de radiobalise régulier n'a pu être détecté, la recherche de l'épave s'est poursuivie avec le VTG en se fondant sur le point d'impact calculé. Un signal de radiotransmission inhabituel a été détecté à 17 h 42 min 59 s par le VDR du navire. On a pensé que ce signal pouvait provenir du GCC364 et il a été utilisé pour établir le moment de l'impact.

Le CDU du SSV à bord du navire affichait à 17 h 41 la dernière position de l'hélicoptère, soit N 74 45.56, W 117 49.52¹³³, mais n'a pas conservé les positions précédentes. Par conséquent, la trajectoire suivie jusqu'à la dernière position n'était pas disponible pour calculer une ligne de position en vue des recherches. Cependant, les positions enregistrées chaque minute sur le serveur Web (SkyWeb) ont été fournies à l'équipe du BST avant qu'elle ne monte à bord du NGCC *Amundsen*. La dernière position enregistrée sur le serveur Web était 74°45.95' N, 117°49.88' W à 17 h 41 min 42 s.

L'écart entre la dernière position interprétée à partir du CDU du SSV à bord du navire et la dernière position récupérée du registre du serveur SkyWeb était de 743 m, presque perpendiculaire à la trajectoire de l'hélicoptère. Pour vérifier la précision des positions enregistrées sur le serveur SkyWeb, la position de l'hélicoptère sur le pont d'envol juste avant son décollage a été utilisée. Il a été établi que la position du navire et de l'hélicoptère était exactement la même juste avant le décollage à 16 h 37. Les positions enregistrées par SkyWeb, les vitesses au sol déterminées et les données de suivi du vol ont donc été utilisées pour estimer que la position de l'hélicoptère au moment supposé de l'impact, soit à 17 h 42 min 59 s, était de 74°45.8080' N, 117°44.2850' W.

Le 23 septembre 2013 à 8 h 5, le VTG a atteint la première fois le fond marin situé à une profondeur de 458 m afin de commencer la recherche de l'épave du GCC364. À 8 h 22, un premier débris de l'hélicoptère a été trouvé et l'épave principale a été repérée 5 heures plus tard à 13 h 22, environ 170 m plus loin sur la trajectoire calculée.

1.19.3 *Récupération de l'épave*

Le 24 septembre 2013, les nombreuses glaces flottantes au-dessus du site de l'épave en ont empêché la récupération. En raison des vents forts continus soufflant du sud-est, les glaces ont

¹³³ La position affichée sur le panneau de commande et d'affichage (CDU) a été présumée être exprimée en degrés, en minutes et en centièmes de minute en raison du point décimal qui séparait les minutes et les secondes. Cependant, la position affichée sur le CDU était exprimée en degrés, minutes et secondes.

continué de dériver vers le nord en laissant de plus grandes étendues d'eau libres entre les glaces flottantes. Le NGCC *Henry Larsen* avait la tâche de briser la banquise et les glaces flottantes plus grosses à proximité des activités de récupération. Le NGCC *Amundsen* a pu maintenir la position voulue au-dessus de l'épave et commencer les opérations de récupération le 25 septembre 2013. Le dispositif d'amarrage a été descendu sur le fond marin à 40 m environ de l'épave de l'hélicoptère.

À 8 h 58, le VTG a atteint le dispositif d'amarrage, a installé les cordages autour des pièces de fixation du train d'atterrissage de l'hélicoptère et a fixé le câble en Kevlar utilisé pour remonter l'épave à la surface et la hisser sur le pont avant du NGCC *Amundsen* à 14 h 30 (photo 8).

L'épave a été transférée au GCCS *Henry Larsen* pour son retour à St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador), puis transportée par camion au laboratoire du BST à Ottawa, où elle arrivée le 22 octobre 2013.

Photo 8. Récupération de l'épave



2.0 Analyse

2.1 Introduction

Il n'y avait aucune information radar concernant le vol en cause, aucun témoin et aucun survivant. Certains renseignements ont été récupérés du système SkyTrac à bord de l'hélicoptère. L'hélicoptère n'était pas muni d'un enregistreur de données de vol (FDR) ou d'un enregistreur de conversations de poste de pilotage (CVR), et n'était pas tenu d'en avoir, selon la réglementation en vigueur. Si l'hélicoptère avait été muni au moins d'un système d'enregistrement des données de vol léger capable d'enregistrer les données vidéo et audio du poste de pilotage, ses données paramétriques ou les messages de liaison de données, les enquêteurs auraient pu mieux comprendre les circonstances et les événements qui ont mené à l'accident. Les données d'un système d'enregistrement des données de vol léger seraient devenues un outil de choix dans le cadre de l'enquête. L'absence d'un enregistrement de conversations dans le poste de pilotage ou d'un enregistrement des données de vol, dans le cadre d'une enquête, pourrait empêcher la détermination et la communication d'importantes lacunes au chapitre de la sécurité et ainsi l'amélioration de la sécurité des transports.

Le pilote possédait les licences et les qualifications nécessaires pour effectuer le vol, conformément à la réglementation en vigueur. Selon l'enquête, rien ne donne à croire que la fatigue ou des facteurs physiologiques aient pu nuire au rendement du pilote.

Ce vol était une mission mixte de mesure de l'épaisseur de la glace et de reconnaissance qui s'est déroulée à très basse altitude au-dessus de la surface glacée avant que l'hélicoptère n'entre en collision avec un plan d'eau. Tous les occupants ont survécu à l'impact et ont pu évacuer l'épave, mais ils ont tous péri.

Ce qui suit donne à croire que l'accident est survenu soudainement :

- le pilote n'a fait aucun appel de détresse;
- le pilote n'a pas activé le système de flottaison pour effectuer un amerrissage forcé;
- le pilote n'a pas activé l'interrupteur d'urgence du système de suivi des vols;
- le pilote n'a pas déclenché l'émetteur de localisation d'urgence (ELT) à l'aide de l'interrupteur à cet effet dans le poste de pilotage.

Ce qui suit donne à croire que l'hélicoptère ne présentait aucune anomalie qui aurait contraint le pilote à atterrir immédiatement ou qui aurait entraîné une perte de maîtrise et l'écrasement :

- aucune défaillance technique n'a été signalée ni avant le vol ni durant celui-ci;
- les images prises en vol qui montrent les instruments moteur n'indiquent aucune panne mécanique imminente;
- après la dernière communication du pilote où il annonçait son heure d'arrivée prévue (ETA), aucune indication n'a donné à croire que le pilote était monté à une altitude sécuritaire supérieure à 200 pieds pour évaluer toute situation anormale ou d'urgence, comme l'exige le catalogue d'exploitation de sous-unité (SOC);

- le pilote n'a fait aucun appel de détresse;
- il n'y avait aucune indication comme quoi on avait activé le système de flottaison en vue d'un amerrissage forcé;
- l'examen des moteurs a révélé qu'ils étaient en marche au moment de l'impact;
- l'examen de la continuité et de l'intégrité des commandes de vol n'a révélé aucune anomalie;
- le taux moyen de descente calculé ne correspondait pas à une perte de maîtrise;
- l'empreinte des dommages d'impact ne correspondait pas à une perte de maîtrise.

La maîtrise de l'altitude d'un hélicoptère durant un vol à basse altitude exige des repères visuels adéquats afin de pouvoir juger exactement l'altitude au-dessus du sol ou de l'eau. L'absence de repères visuels ou encore des repères trompeurs, qui donnent lieu à des illusions visuelles, peuvent soulever des difficultés. L'absence de points de référence visuels lorsque l'hélicoptère survolait une zone d'eaux libres cadre avec les faits de l'événement et ne peut être écartée.

La présente analyse porte essentiellement sur ce qui suit :

- l'installation et l'utilisation de la sonde de glace;
- les repères visuels;
- le système de suivi des vols et son activation;
- les possibilités de survie;
- la surveillance réglementaire.

2.2 *Utilisation de la sonde de glace*

Malgré les risques liés à un vol à basse altitude, il y a des motifs valables pour le faire, entre autres le travail aérien comme la mesure de l'épaisseur des glaces. D'après une évaluation des risques réalisée par l'exploitant en 2009, on a déterminé que le niveau de risque que présente un impact sans perte de contrôle (CFIT) est élevé, étant donné les scénarios possibles suivants :

- distraction causée par une défaillance mécanique, comme une panne moteur, un voyant principal d'avertissement ou une alarme sonore, qui peut entraîner une perte de concentration suivie d'une perte d'altitude et d'une collision avec le relief;
- perte de concentration pour toute autre raison qui entraîne une perte d'altitude et une collision avec le relief;
- perte de conscience de la situation à cause de l'absence ou de la perte de repères visuels convenables et nécessaires pour déterminer l'assiette de l'hélicoptère, ce qui peut entraîner une perte d'altitude et une collision avec le relief;
- incapacité de distinguer une crête de pression dans la banquise à cause de repères visuels insuffisants ou une distraction momentanée qui entraîne une collision avec la crête de pression.

Le SOC limitait la durée des vols à basse altitude, en général à un maximum de 5 minutes, afin de permettre au pilote de réduire son niveau de concentration et de gérer le début de la fatigue et de la distraction. En juin 2010, on a augmenté cette durée à 15 minutes au terme de discussions avec les pilotes de la Direction générale des services des aéronefs (DGSA) et des spécialistes des facteurs humains. Toutefois, aucune nouvelle évaluation des risques n'a été faite pour déterminer le niveau de risque lié à cette limite accrue. Étant donné que l'hélicoptère a volé à basse altitude pendant 66 % du vol de 65 minutes, il se peut que la concentration du pilote ait diminué au point où il n'a pas pris conscience de la descente à faible pente à temps pour prévenir l'impact.

L'examen de l'hélicoptère n'a révélé aucune anomalie qui aurait pu être un facteur dans le présent événement. L'examen des filaments des ampoules des voyants du panneau annonceur n'a révélé aucun signe d'allongement ou d'étirement. Bien que cela puisse indiquer que tous les voyants étaient éteints au moment de l'impact, cela pourrait également indiquer que les forces d'impact transmises aux voyants annonceurs étaient insuffisantes pour causer la déformation que l'on voit normalement lorsqu'une ampoule incandescente s'allume. Ainsi, la possibilité que le pilote ait été distrait, ne serait-ce que momentanément, par un voyant d'avertissement allumé ne peut être écartée. De plus, une brève distraction causée par un autre membre d'équipage à bord ou la présence d'oiseaux aux alentours aurait également pu faire perdre au pilote sa concentration et entraîner une perte d'altitude et une collision avec l'eau.

Le fait que la masse de l'hélicoptère au décollage était supérieure à 4850 lb, la masse brute maximale indiquée dans le SOC, n'a pas été un facteur dans l'événement à l'étude. Cette masse brute maximale vise à permettre une montée performante sur un moteur durant les opérations de relevé des glaces. L'enquête a déterminé que les 2 moteurs fonctionnaient au moment de l'événement.

Comme le circuit d'antigivrage du moteur était allumé (ON), la performance de montée aurait été compromise. Le recours au vide-vite pour abaisser la masse de l'aéronef aurait pu atténuer ce problème. Toutefois, selon la quantité de carburant devant être larguée, abaisser la masse à 4850 livres pourrait prendre un certain temps et s'avérer impossible dans les délais disponibles en fonction de l'altitude. Si un hélicoptère est exploité en dehors de la limite de masse permettant une montée sur un seul moteur, telle que publiée par le fabricant, il y a un risque accru qu'une montée performante sur un seul moteur ne puisse être réalisée dans des situations inattendues.

D'après le manuel de vol du giravion (MVG), le circuit d'antigivrage du moteur doit être activé (ON) lorsque la température ambiante est inférieure à 4 °C et lorsqu'il y a présence d'humidité visible, sauf durant le décollage et l'atterrissage¹³⁴. Durant l'événement à l'étude, la température extérieure de l'air (OAT) était de -1,4 °C, mais rien n'indiquait la présence d'humidité visible,

¹³⁴ L'hélicoptère n'est pas certifié pour le vol dans des conditions givrantes. Le système antigivrage des moteurs du BO 105 n'est pas conçu pour les vols dans des conditions givrantes, mais plutôt pour les vols dans des conditions d'humidité visible.

même si la prévision de zone graphique (GFA) faisait état d'une visibilité locale (25 % ou moins de la zone couverte) réduite à 2 sm dans des conditions de neige, et localement à 1 sm dans de la faible bruine verglaçante et de la brume dans les écoulements vers le littoral. Rien dans le SOC n'empêche l'utilisation de la sonde de glace dans de telles conditions, sauf s'il y a des risques de voile blanc. Par conséquent, il est possible que le pilote ait activé le circuit d'antigivrage du moteur dans l'éventualité qu'il rencontre de l'humidité visible. De cette façon, le pilote n'aurait pas été distrait par la tâche d'activer ce circuit alors qu'il volait à basse altitude.

On ne sait pas pourquoi le pilote a décollé même si la masse de l'hélicoptère était supérieure à la masse brute maximale indiquée dans le SOC, mais l'une ou l'autre des raisons suivantes aurait pu être un facteur dans cette décision :

- le pilote n'a appris qu'après l'avitaillement de l'hélicoptère, le jour précédent, que le capitaine allait prendre place à bord;
- étant donné que la dernière mission du pilote pour mesurer l'épaisseur de la glace avec la sonde de glace remontait à 2010, il se peut qu'il ait oublié la limite de masse;
- on n'a trouvé aucune indication selon laquelle le pilote aurait reçu une formation initiale ou périodique, conformément au SOC, qui lui aurait rappelé toutes ces limites;
- il n'y avait aucune indication que le pilote avait relu le SOC avant la mission.

Il n'y avait pas de spécialiste du service des glaces à bord du navire pour procéder à la reconnaissance aérienne des glaces; cela pourrait expliquer la décision du capitaine de prendre part au vol. Ce type de travail aérien se déroule habituellement à une altitude plus élevée de manière à offrir une meilleure vue de la trajectoire projetée. L'équipage du navire de la Garde côtière canadienne (NGCC) *Amundsen* avait accès à des cartes des glaces quotidiennes et à des analyses d'images satellites du chenal de Parry et du détroit de M'Clure. Cependant, les cartes des glaces et l'imagerie satellite ne reflètent pas toujours ce qui se passe à un certain endroit et à un moment précis, car le mouvement des glaces est dynamique.

2.2.1 Installation de la sonde de glace

Sur l'hélicoptère en cause, les câbles longeaient le côté droit, contrairement à toutes les données justificatives du certificat de type supplémentaire (STC), qui montraient les câbles acheminés le long du côté gauche de l'hélicoptère. Le faisceau de câbles s'est ainsi trouvé au-dessus de la prise statique et du tube de Pitot du côté droit. Cette installation avait entraîné des indications anémométriques erronées, durant un vol antérieur, et le pilote avait été contraint de retourner plus tôt que prévu pour corriger le problème. Durant l'événement à l'étude, le faisceau de câbles de la sonde de glace était acheminé de façon semblable, environ 6 cm au-dessus de la prise statique, et était maintenu en place par plusieurs couches d'un épais ruban adhésif gris plutôt que par des brides. Rien ne donne à croire que le pilote ait dû composer avec une indication anémométrique erronée, mais cette hypothèse ne peut être entièrement écartée. Ainsi, si les exploitants s'écartent d'un concept approuvé ou d'une installation approuvée sans tenir compte des conséquences négatives potentielles, il y a un risque que ce changement puisse mettre en péril la sécurité de vol.

Ni le pilote en cause ni le technicien d'entretien d'aéronef (TEA) qui a réinstallé les câbles et la sonde de glace n'auraient pu être au courant du problème précédent, puisque celui-ci n'a été ni consigné dans le carnet de route d'hélicoptère ni signalé au moyen du système de gestion de la sécurité (SGS) de la DGSA. Si l'on omet de signaler ou de consigner les dangers que l'on relève durant les opérations aériennes, il y a alors un risque accru que l'on n'élabore pas et que l'on ne mette pas en place des mesures d'atténuation pour prévenir toute répétition ultérieure.

Le changement apporté à l'acheminement du câble n'a pas été documenté, pas plus que les indications anémométriques erronées constatées durant un vol antérieur. De plus, la DGSA n'a aucun dossier témoignant d'une proposition visant à modifier l'acheminement des câbles. Si les exploitants ne consignent pas dans les dossiers techniques de l'hélicoptère les travaux réalisés ou les anomalies constatées durant l'exploitation, il y a alors un risque que l'on ne connaisse pas exactement l'état global de l'hélicoptère, ce qui pourrait mettre en péril la sécurité de vol.

2.3 *Repères visuels durant un vol à basse altitude*

Comme le montre l'examen des images fixes et des vidéos récupérées de l'épave, la disponibilité des repères visuels et des niveaux de lumière a varié considérablement durant le vol. L'hélicoptère a survolé une zone d'eaux libres d'une largeur d'environ 2,3 nm, d'après l'imagerie RADARSAT-2. Ce plan d'eau était plus grand que toutes les autres zones observées dans les vidéos. La transition du vol au-dessus d'eaux libres aurait entraîné une importante et soudaine réduction des repères visuels permettant de juger la hauteur. Cela aurait été tout particulièrement le cas par vent calme ou s'il y avait une couche de glace primaire sur l'eau.

La perte de points de référence dans le champ visuel rapproché aurait contraint le pilote à intensifier son balayage des autres repères disponibles (champ visuel éloigné et instruments) pour détecter tout changement d'altitude. En raison de la basse altitude du vol, il aurait fallu que cette transition se fasse très rapidement, car une perte d'orientation momentanée pourrait entraîner une collision avec la surface. En outre, le ciel couvert sombre devant l'hélicoptère aurait cessé de présenter une ligne d'horizon distincte par rapport à l'eau qui aurait été visible durant le vol au-dessus de la glace. Dans ces circonstances, il aurait été difficile de percevoir un changement d'assiette en tangage.

Durant l'événement à l'étude, l'hélicoptère est revenu en vol horizontal à 36 pieds à 17 h 39 min 19 s, soit 3,71 minutes avant l'impact. À une vitesse moyenne de 67 nœuds jusqu'au moment de l'impact, l'hélicoptère se serait trouvé à environ 4,1 nm du lieu de l'impact à ce moment-là. Étant donné que la zone d'eaux libres avait une largeur d'environ 2,3 nm et que l'hélicoptère s'est écrasé à environ 0,7 nm de la prochaine lisière des glaces, l'hélicoptère survolait la glace et se trouvait à environ 2,5 nm des eaux libres lorsqu'il est revenu en vol horizontal à 36 pieds. En se fondant sur la même vitesse moyenne, l'hélicoptère aurait atteint la lisière des glaces vers 17 h 41 min 33 s, puis aurait survolé les eaux libres pendant environ 89 secondes avant l'impact. D'après les données extraites du système de suivi des vols (SSV) embarqué, la descente qui a précédé l'impact a duré environ 13 secondes, ce qui indique que le pilote a conservé la maîtrise pendant 76 secondes après la perte de points de référence dans son champ visuel rapproché. Cette descente de 13 secondes correspond à un taux moyen de descente d'environ 166 pieds par minute avec une légère accélération. Cela correspond à une

trajectoire de descente à faible pente, qui aurait été difficile à percevoir étant donné l'absence de repères visuels. Cette absence de repères visuels pendant que l'hélicoptère survolait une zone d'eaux libres cadre avec les faits de l'événement et ne peut être écartée. Il est fort probable qu'en survolant les eaux libres, le pilote se soit trouvé sans les repères visuels nécessaires pour juger l'altitude, situation qui a entraîné un impact sans perte de contrôle (CFIT).

2.4 *Système de suivi des vols*

Le déploiement à temps des activités de recherche et sauvetage (SAR) peut réduire énormément la gravité des conséquences après un accident d'aéronef offrant des chances de survie. Durant le présent événement, les 3 occupants ont survécu à l'impact, mais malgré la proximité du navire du lieu de l'accident, ils ont succombé aux effets de l'immersion en eau froide avant qu'on puisse les secourir.

Le système de suivi des vols (SSV) sert à minimiser les retards dans le déploiement des efforts de recherche et sauvetage; ce système suit la position et l'état de l'hélicoptère en vol et transmet aux exploitants de l'information dès que possible après une perte de contact ou un écrasement. L'ancien SSV qui servait aux opérations de bord n'était plus viable, et la mise en place d'un nouveau SSV avait commencé en 2013. Pour l'équipage à bord du NGCC *Amundsen*, il s'agissait de la première saison d'utilisation du nouveau SSV pour faire le suivi de l'hélicoptère. Pour diverses raisons, le jour de l'événement, le nouveau SSV a failli à la tâche de déployer rapidement les efforts de recherche et sauvetage. La présente partie de l'analyse va donc porter sur les raisons de ce manquement.

2.4.1 *Réglage et surveillance du système de suivi des vols*

D'après les procédures d'exploitation normalisées (SOP) du SSV de la Garde côtière canadienne (GCC) publiées le 14 juin 2013¹³⁵, avant de lancer des opérations en hélicoptère, l'équipage du navire doit accomplir les tâches suivantes sur le panneau de commande et d'affichage (CDU) du système de suivi des vols :

- changer l'intervalle de position (PI) de 4 heures à 2 minutes afin de veiller à ce que le navire et l'hélicoptère reçoivent l'information sur la position toutes les 2 minutes;
- choisir l'hélicoptère approprié dans la liste de rendez-vous et amorcer le rendez-vous.

L'intervalle de prise de position détermine la fréquence à laquelle la position du navire est transmise au serveur. La position, le relèvement et la distance de l'hélicoptère, ainsi que tout retard, le cas échéant, sont transmis au navire et affichés sur le CDU du système de suivi des vols (SSV) lorsque la fonction de rendez-vous est activée. Ces renseignements sont mis à jour une fois que la position du navire est transmise manuellement ou automatiquement au serveur. Les comptes rendus de position sont automatiquement transmis au serveur en fonction de l'intervalle de prise de position sélectionné, ou manuellement par l'utilisateur depuis le CDU. Si

¹³⁵ Circulaire des opérations 07-2013, datée du 14 juin 2013.

le serveur détecte que l'hélicoptère a raté 3 comptes rendus de position, il renvoie un avis de retard qui s'affiche sur le CDU du SSV et remplace l'identificateur de l'hélicoptère par des tirets.

La dernière position de l'hélicoptère a été enregistrée dans le journal de serveur à 17 h 41; par conséquent, l'intervalle de prise de position étant réglé à 2 minutes, le serveur aurait renvoyé un avis de retard à 17 h 47. Toutefois, étant donné que le PI de l'hélicoptère était réglé à 1 minute ce jour-là, le serveur aurait renvoyé un avis de retard après 17 h 44. Ainsi, si la fonction de rendez-vous avait été activée, tout compte rendu de position du navire transmis au serveur (automatiquement ou manuellement) après 17 h 44 aurait entraîné l'envoi d'un avis de retard au navire, qui aurait été affiché sur le CDU du SSV du navire par des tirets au lieu de l'identificateur de l'hélicoptère (CCG364).

L'équipage du navire connaissait mal le nouveau CDU du SSV et avait de la difficulté à l'utiliser. Par exemple, durant des opérations antérieures en hélicoptère, le PI était demeuré réglé à 2 minutes pendant 3 jours avant qu'on le règle de nouveau à 4 heures. Le jour de l'événement, personne n'a changé de 4 heures à 2 minutes l'intervalle de prise de position sur le CDU du navire. Étant donné que la dernière prise de position automatique du navire avait été transmise à 16 h 17, l'avis de retard n'aurait été reçu automatiquement qu'à 20 h 23, 2 heures et 40 minutes après l'écrasement. Les seules positions du navire transmises au serveur étaient les comptes rendus de position manuels, comme suite aux manipulations du CDU faites par les utilisateurs à 17 h 55, à 18 h 5 et à 18 h 26.

À 18 h 5, 17 minutes après l'ETA de l'hélicoptère et 22 minutes après son écrasement, l'équipage de la timonerie a vérifié la position de l'hélicoptère au CDU du navire, qui indiquait que l'hélicoptère se trouvait à une distance de 3,2 nm. À partir de ce renseignement, l'équipage a conclu que, malgré son retard, l'hélicoptère arriverait dans environ 3 minutes. L'équipage n'a pas remarqué que l'estampille temporelle qui accompagnait la position de l'hélicoptère sur le CDU, vieille de 24 minutes déjà, indiquait 17 h 41.

À 18 h 26, pendant que le navire était en route vers la dernière position connue (LKP), un membre de l'équipage s'est interrogé sur l'heure de cette position. Ce n'est qu'à ce moment que l'équipage a noté l'estampille temporelle et s'est aperçu que la position de l'hélicoptère affichée sur le CDU remontait à 45 minutes. Les registres du serveur Web ont permis de déterminer que l'identificateur de l'hélicoptère (GCC364) avait été remplacé par des tirets à 17 h 55.

Les procédures d'exploitation normalisées (SOP) du SSV ne précisent pas qui doit surveiller le CDU du navire en cas d'avis de retard, pas plus que la fréquence à surveiller. Pour noter rapidement tout avis de retard, un membre d'équipage désigné doit surveiller de façon continue le CDU du navire afin de constater l'affichage de tirets au lieu de l'identificateur de l'hélicoptère (CCG364). Cela n'était pas pratique dans le contexte des exigences opérationnelles dans la timonerie le jour de l'accident, surtout vu son emplacement physique sur le pont. Si les SOP n'indiquent pas clairement les personnes responsables de certaines tâches précises, comme la surveillance du SSV, il y a un risque accru que l'on n'exécute pas efficacement les tâches où chaque seconde compte.

Une des hypothèses implicites dans l'énoncé des besoins opérationnels (SOR) est que l'équipage du navire doit surveiller le CDU du SSV. Des consultations entre les groupes responsables du

développement de systèmes et les utilisateurs finals n'ont pas remis en question cette hypothèse. Ainsi, l'énoncé des besoins opérationnels ne comprenait aucune exigence relativement à une alarme sonore pour accompagner les messages d'urgence ou avis de retard que génère le système. La décision de se fier entièrement à des indications visuelles discrètes dans de telles circonstances était fondée sur cette hypothèse; aucune ligne directrice ou norme de conception tenant compte des facteurs humains n'a été utilisée pour déterminer la justification d'une alarme sonore.

2.4.2 *Alarmes sonores*

L'ancien SSV produisait une alarme sonore lorsqu'il perdait le signal de l'hélicoptère. L'équipage connaissait bien ces alarmes et il se fiait à elles durant les opérations de bord plus intenses. Le nouveau SSV ne comprend pas d'alarme sonore, car cette fonction ne faisait pas partie des caractéristiques exigées. Étant donné la charge de travail de l'équipage du navire durant les opérations scientifiques et le fait qu'il devait exécuter plusieurs tâches simultanément, son attention était fort probablement tournée vers les tâches principales des opérations de bord. Il est possible que durant cette période, l'équipage de la timonerie s'attendait à ce que le SSV déclenche une alarme sonore en cas de perte du signal de l'hélicoptère¹³⁶.

Si l'équipage avait été immédiatement alerté du retard de l'hélicoptère, qui était consigné sur le serveur après 17 h 44, il aurait pu secourir les occupants vers 18 h 13 au lieu de 18 h 54. Cette hypothèse tient compte des mêmes 6 minutes pour la recherche par moyens de communication avant la prise des mesures de recherche et sauvetage, plus les 23 minutes qu'il a fallu au navire pour atteindre la zone de débris. Il n'y a eu aucune alarme sonore pour avertir immédiatement l'équipage du navire que l'hélicoptère ne transmettait plus de compte rendu de position ou qu'il s'était écrasé. Le déploiement des efforts de recherche et sauvetage a ainsi été retardé. Il a été impossible de déterminer l'incidence de ce retard sur la survie des occupants, car, même s'ils avaient été secourus à 18 h 13, ils auraient déjà passé environ 30 minutes dans l'eau.

2.4.3 *Formation sur le système de suivi des vols*

L'énoncé des besoins opérationnels concernant le SSV spécifiait que l'utilisation du système n'exige aucune formation approfondie. La méthode de formation sur l'utilisation de ce système destinée aux officiers du navire consistait en un exposé par webinaire et des documents de formation remis aux techniciens du navire, qui avaient ensuite pour tâche de donner un exposé à l'équipage de la timonerie.

¹³⁶ « En situation de stress ou de charge de travail élevée, les comportements peuvent retourner à ceux qui ont été appris dans le passé, ou à ceux qui sont habituellement utilisés. En situations où le comportement n'est pas applicable au contexte, il s'agit d'un transfert négatif. » (Source : Rapport d'enquête aéronautique A09Q0203 du BST).

Les documents et les procédures de formation décrivaient la nécessité de modifier l'intervalle de prise de position durant les opérations en hélicoptère. Toutefois, l'équipage du navire ne comprenait pas parfaitement le rôle des intervalles de prise de position en cas d'avis de retard, l'importance de l'estampille temporelle de même que le fonctionnement et l'affichage de l'avis de retard.

Par conséquent, malgré les efforts de l'équipage pour régler le SSV conformément aux SOP, l'intervalle de prise de position n'était pas correctement réglé pour les opérations en hélicoptère; cela explique pourquoi l'équipage du navire ne pouvait pas recevoir l'information sur la position de l'hélicoptère 17 minutes après son décollage. Lorsque l'information sur la position s'est enfin affichée sur le CDU, l'équipage l'a interprétée comme étant à jour et n'a pas déterminé dans un premier temps, à partir du CDU, que l'hélicoptère était en retard.

Ainsi, la formation n'a pas donné à l'équipage du navire le niveau de compétence nécessaire pour régler le SSV et ensuite interpréter l'information affichée sur le CDU. Cette lacune a réduit l'efficacité du SSV et a retardé la prise des mesures de recherche et sauvetage (SAR).

2.4.4 *Position indiquée par l'unité de présentation de données*

Dès la prise des mesures de SAR, l'équipage a mis le cap sur la position affichée sur le CDU du SSV. Comme cette position est présentée avec un point décimal entre les minutes et les secondes, l'équipage a lu cette position comme étant en degrés, minutes et dixièmes de seconde. En réalité, la position affichée sur le CDU devrait suivre le format degrés, minutes et secondes; l'équipage a été induit en erreur et s'est rendu à une dernière position connue incorrecte.

L'erreur sur la position dans ce cas était de 743 m et n'a pas eu d'incidence sur les mesures de SAR, car on a repéré visuellement les débris flottants et les occupants avant que le navire arrive aux coordonnées visées. Toutefois, dans d'autres circonstances, une telle erreur de position aurait pu nuire aux mesures de SAR. Il est donc essentiel que le CDU du SSV affiche l'information sur la position (latitude et longitude) dans le format auquel s'attend l'équipage.

Des normes de conception tenant compte des facteurs humains n'étaient pas expressément définies dans les exigences. Si l'on développe des systèmes sans la collaboration appropriée des utilisateurs finals et sans compter sur des normes de conception qui tiennent compte des facteurs humains, il y a un risque accru que les systèmes d'affichage ne conviennent pas à leur fonction et que les utilisateurs finals les utilisent incorrectement.

2.5 *Possibilités de survie*

2.5.1 *Généralités*

Les chances de survivre à un écrasement d'hélicoptère sur terre dépendent normalement des forces de décélération tolérables, de l'existence continue d'un espace suffisant pour permettre aux occupants de survivre et de l'absence d'incendie après l'impact. L'impact avec l'eau ajoute une grave complication aux chances de survie des occupants – la possibilité d'une submersion rapide. Durant l'événement à l'étude, les 3 occupants ont survécu à l'impact, mais ont subi les effets de l'exposition à l'eau froide et se sont noyés avant d'être repêchés.

En effet, les occupants ont immédiatement été exposés au choc dû au froid pendant que l'hélicoptère coulait dans une eau ayant une température de $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. On n'a pas pu déterminer si les victimes ont réussi à déboucler elles-mêmes leurs ceintures de sécurité ou si elles ont reçu l'aide d'un autre occupant. Étant donné que ni le capitaine ni le scientifique n'avaient suivi la formation sur l'évacuation subaquatique d'un hélicoptère (HUET), il se peut que l'évacuation de l'hélicoptère ait été plus difficile pour eux que pour le pilote, qui avait suivi cette formation par le passé. Il est donc possible que le pilote ait réussi à évacuer plus rapidement l'épave et à gonfler son VFI avant de perdre toute motricité.

Au moment de l'événement, la formation HUET du pilote remontait à environ 2 ans. Bien que l'intervalle optimal entre les séances de formation périodiques HUET ne soit pas établi, des études ont démontré que les compétences s'érodent de façon significative aussi peu que 6 mois après la formation. Par conséquent, si les équipages ne reçoivent aucune formation additionnelle pour atténuer l'érosion des aptitudes opératoires qui survient durant les 3 années entre les formations périodiques HUET, il y a un risque accru qu'ils soient incapables de surmonter les graves dangers d'un amerrissage forcé.

Même avec la protection qu'offre une combinaison d'immersion, l'exposition soudaine à l'eau froide provoque le réflexe de chercher sa respiration et entraîne l'hyperventilation, ce qui peut mener à l'ingestion involontaire d'eau. Les occupants ont probablement eu très peu de temps pour évacuer l'épave, puisque dans l'eau près du point de congélation, la durée moyenne de rétention du souffle chute rapidement à environ 10 à 15 secondes¹³⁷. De plus, dans l'eau à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, la perte totale de motricité survient dans un délai de 10 à 20 minutes; sans flottaison adéquate, les victimes sont incapables de maintenir leurs voies respiratoires au-dessus de la ligne d'eau.

2.5.2 *Vêtement de flottaison individuel*

En mars 2013, un membre du personnel de base de la DGSA a informé le chef, Assurance de la qualité de la maintenance, de la DGSA que l'on avait trouvé un VFI plié de la mauvaise façon, et que le manuel de révision de ces vêtements ne comprenait aucun dessin de référence qui illustre les instructions pour plier un VFI. La DGSA a par la suite mis à jour le manuel¹³⁸.

Après l'événement à l'étude, à 2 reprises, en septembre 2013 et en mars 2014, la DGSA a relevé d'autres cas de VFI incorrectement pliés; des campagnes d'inspection à l'échelle de la flotte ont eu lieu à la suite de la diffusion de l'avis 010-25-60-027 et de l'avis 010-25-60-027 rév. A. Les 4 VFI de rechange récupérés à bord de l'hélicoptère en cause étaient incorrectement pliés. Étant donné que les VFI des 3 occupants avaient été remis à neuf en même temps en juillet 2013, il est probable qu'ils aient tous été pliés de la même façon. La façon similaire dont le VFI du capitaine

¹³⁷ J.S. Hayward, J.D. Eckerson et M.L. Collis, « Thermoregulatory heat production in man: prediction equation based on skin and core temperatures », *Journal of Applied Physiology*, Vol. 42, N° 3, American Physiological Society (1977), pp. 377-384.

¹³⁸ Switlik Parachute Company, Inc., Overhaul Manual Life Preserver HV-35C, P/N S-7200-(): 25-60-171 (23 novembre 2011).

s'est gonflé lors d'un essai réalisé par le BST et en comparaison aux essais réalisés en piscine, appuie cette hypothèse.

Lors du premier signalement d'un VFI mal plié à l'Assurance qualité de la maintenance, en mars 2013, seule la base de maintenance où on avait signalé le problème avait fait l'objet de mesures correctives. Ce n'est qu'en septembre 2013, après que l'on eut signalé d'autres VFI incorrectement pliés, que des mesures correctives ont été prises dans toutes les bases. Malgré la diffusion de l'avis 010-25-60-027, le 25 septembre 2013, on a trouvé 7 autres VFI incorrectement pliés en mars 2014. Un avis révisé a été diffusé le 15 mai 2014. Si les dangers cernés ne font pas l'objet d'une enquête rigoureuse par l'intermédiaire de programme d'assurance de la qualité pour déterminer leur ampleur et leur gravité, il y a un risque que les mesures d'atténuation ne puissent entièrement éliminer tous les cas de ce danger.

Bien que l'enquête ait confirmé que le pilote portait un VFI au décollage, il ne le portait pas lorsqu'il a été récupéré des eaux; ce vêtement a été retrouvé flottant tout près du pilote et complètement gonflé. À partir de l'examen de la combinaison d'immersion et du vêtement de flottaison du pilote, il est peu probable qu'un VFI joint à la combinaison par fermeture éclair ait pu se détacher de celle-ci durant l'accident. Il est donc fort probable que le pilote ait retiré le VFI après avoir évacué l'épave, possiblement pour une ou plusieurs des raisons suivantes :

- pour fermer sa combinaison d'immersion et empêcher l'infiltration d'une quantité supérieure d'eau;
- pour plonger afin d'aider un des occupants ou les 2 à déboucler leur ceinture de sécurité;
- pour plonger afin de déployer le radeau de sauvetage;
- pour réduire la pression qu'il ressentait sur son cou ou sa cage thoracique à cause du vêtement de flottaison gonflé.

Le capitaine a été retrouvé portant son VFI, mais celui-ci n'était pas gonflé. Un essai après l'événement a confirmé que le VFI que portait le capitaine se gonflait lorsque l'on tirait sur les deux cordons à cet effet. Il est par conséquent probable que le capitaine ait été incapable de gonfler son VFI avant de perdre sa motricité comme suite à l'immersion dans l'eau froide.

Lorsqu'il a été récupéré, le scientifique portait un VFI partiellement gonflé; seul le côté gauche était gonflé. Lorsqu'un enquêteur du BST a examiné le vêtement, il a noté que les 2 cartouches avaient été activées. On n'a pu démontrer avec certitude qu'un pliage incorrect était à l'origine du gonflement partiel du VFI du scientifique, étant donné que celui du pilote, qui était probablement incorrectement plié lui aussi, s'est néanmoins gonflé correctement. Toutefois, si un VFI est incorrectement plié, il se peut qu'il ne se gonfle pas comme prévu si l'on active 1 seule cartouche, ce qui accroît le risque que la bouche et le nez du porteur ne soient pas maintenus au-dessus de la ligne d'eau, d'une part, et le risque de noyade, d'autre part.

Durant l'événement à l'étude, aucun des 3 occupants n'avait la tête supportée de manière à maintenir sa bouche et son nez au-dessus de la ligne d'eau. Il est probable qu'ils se soient noyés sous l'effet de la perte de motricité due au froid.

2.5.3 *Radiobalises individuelles de repérage*

Le VFI de chaque occupant était muni d'une radiobalise individuelle de repérage imperméable à l'eau et rangée dans la poche de droite. Le déploiement et l'activation de cette radiobalise se font manuellement. Toutefois, le processus de déploiement et d'activation de la radiobalise exige une motricité fine qui pourrait être difficile à réaliser lorsqu'on porte des gants à 3 doigts en forme de pince de homard. Ainsi, l'utilisateur n'aurait d'autre choix que d'enlever ses gants pour activer la radiobalise, ce qui prolongerait la période d'exposition de ses mains et de ses doigts au froid. De plus, pour que la radiobalise fonctionne bien, rien ne doit obstruer l'antenne; celle-ci doit aussi avoir une vue dégagée du ciel et demeurer au sec et à l'écart de l'eau. Il pourrait être difficile pour les utilisateurs de maintenir la radiobalise en dehors de l'eau lorsqu'ils sont immergés pendant une longue période avant d'être secourus.

Durant l'événement à l'étude, aucune des radiobalises n'avait été déployée ni activée. Les raisons suivantes pourraient expliquer cette situation :

- les occupants ont perdu connaissance peu après l'écrasement; ou
- comme aucun des occupants ne portait de gants, leurs mains auraient été exposées à l'eau froide, ce qui les aurait empêchés de déployer ou d'activer leur radiobalise.

Si les mains des occupants sont exposées à l'eau froide, il pourrait alors être difficile d'utiliser l'équipement d'urgence personnel qui exige une motricité fine, ce qui accroît le risque d'être incapable de l'utiliser et de ne pas être retrouvé rapidement.

2.5.4 *Immersion en eau froide*

Il est fort peu probable que le temps d'immersion des victimes ait été suffisamment long pour entraîner l'hypothermie grave et la fibrillation ventriculaire causée par le froid. Toutefois, l'immersion des victimes a certainement été assez longue pour causer une perte considérable, sinon complète, de leur motricité due au froid, ce qui les aurait empêchés de maintenir leurs voies respiratoires au-dessus de la ligne d'eau sans l'aide d'un VFI ou en portant un VFI incorrectement gonflé.

En fonction de la température de l'eau ($-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$), de l'état (calme) de la mer et des vêtements que portaient les victimes, on s'attendait à ce que la température centrale des victimes ne soit pas inférieure à $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ au moment de leur récupération; cette température est beaucoup plus élevée que la température centrale à laquelle l'hypothermie entraînerait la fibrillation cardiaque (généralement $<28\text{ }^{\circ}\text{C}$); par conséquent, l'hypothermie comme telle n'était pas une cause principale du décès.

Il est probable que les occupants aient été complètement submergés durant l'impact et l'évacuation, en raison de la probabilité que l'hélicoptère ait coulé rapidement. L'immersion complète dans l'eau glacée entraînerait le réflexe de chercher sa respiration et diminuerait la capacité de rétention du souffle; ainsi, il se peut que la noyade soit survenue durant l'évacuation. Cela pourrait expliquer pourquoi les cartouches du VFI du capitaine n'ont pas été activées.

Si la noyade n'est pas survenue durant l'évacuation, la question à savoir comment les occupants auraient pu perdre leur motricité au point de se noyer est importante, car les scénarios donnent à croire que la température centrale des 3 occupants n'aurait pas été inférieure à 34 °C. Même en l'absence de norme au Canada en matière de critères d'isolation pour les combinaisons d'immersion de pilote, la valeur clo de la combinaison du pilote était supérieure aux normes établies par les spécifications techniques européennes ETSO-2C502 et ETSO-2C503. La perte de motricité du pilote pourrait s'expliquer par le fait que, lorsque la combinaison d'immersion est remplie d'eau, la valeur isolante de la sous-combinaison thermique devient pratiquement nulle. De plus, la flottabilité limitée de la combinaison du pilote a probablement exigé plus d'efforts et de mouvements de ce dernier pour maintenir ses voies respiratoires au-dessus de la ligne d'eau, en particulier puisque le pilote, à un moment donné, ne portait plus son VFI. Par conséquent, cette activité intense aurait accéléré la perte de chaleur, surtout avec une combinaison d'immersion remplie d'eau glacée. Bien que le casque procure une certaine flottabilité, le pilote s'est noyé parce qu'à un moment donné, il n'a pu maintenir ses voies respiratoires au-dessus de la ligne d'eau et il n'avait ni l'énergie ni la force pour le faire de façon continue.

Ni le capitaine ni le scientifique ne portaient de vêtement isolant sur la tête; si tel avait été le cas, ce vêtement aurait pu ralentir quelque peu le taux de refroidissement de la température centrale pendant que l'arrière de la tête se trouvait immergé dans l'eau froide. En outre, ils portaient tous les 2 une combinaison d'immersion à flottabilité réduite, ce qui aurait haussé le taux de refroidissement de la température centrale plus rapidement que ce que laissent croire les scénarios à cause de l'effort accru nécessaire pour maintenir leurs voies respiratoires au-dessus de la ligne d'eau, leurs VFI étant incorrectement gonflés.

Les faibles valeurs d'isolation des combinaisons d'immersion que portaient les 3 occupants, combinées à une hypothermie légère et à une grave perte de motricité due au froid, ont probablement contribué à leur incapacité de maintenir eux-mêmes leurs voies respiratoires au-dessus de l'eau, ce qui a entraîné leur noyade.

L'eau froide peut retarder l'effet du manque d'oxygène sur le cerveau. Les temps de survie après l'immersion dans l'eau froide varient habituellement de 10 à 30 minutes, la durée étant fonction de l'ampleur du refroidissement du cerveau. L'ampleur du refroidissement du cerveau n'a pu être déterminée dans le présent cas. Cependant, puisque ni leurs corps ni leurs voies respiratoires ne se trouvaient complètement ou continuellement sous la surface de l'eau, le refroidissement du cerveau aurait été moins important que ce qui est normalement observé lors de noyades en eaux froides.

Tableau 8. Durées possibles de survie

Temps écoulé (minutes)	Déroulement de l'événement
90	Récupération de la 3 ^e victime
80	Exemple extrême et attesté de survie en eau froide (66 minutes après la noyade; 86 minutes après l'accident)
70	Récupération des 2 premières victimes (73 minutes après l'accident)
60	
50	Période de protection probable due au refroidissement du cerveau (10 à 30 minutes après la noyade; 30 à 50 minutes après l'accident)
40	
30	
20	Estimation conservatrice du temps avant la perte de motricité totale (20 minutes). Dernier moment probable de noyade.
10	
0	Accident

Le tableau 8 présente le meilleur des scénarios en fonction de l'événement à l'étude en tenant compte des temps prévus avant la perte de motricité due au froid et la protection par l'eau froide indiquée ci-dessus. En se fondant sur le temps prévu le plus tard avant la perte de motricité totale due à l'immersion en eau froide, la noyade est probablement survenue 20 minutes après l'accident; toutefois, il est possible – quoique très incertain – que les victimes aient survécu jusqu'à 50 minutes après l'accident. Les victimes ont été retirées de l'eau 73 et 92 minutes après l'accident, ce qui est considérablement au-delà des durées de survie possible.

2.5.5 Émetteurs de localisation d'urgence

Si un aéronef s'écrase au sol, tout émetteur de localisation d'urgence (ELT) qui n'est pas endommagé par l'accident va normalement émettre un signal à pleine puissance au terme du délai obligatoire de 50 secondes. Toutefois, quand un aéronef s'écrase dans l'eau, il est fort probable que l'antenne fixe de l'émetteur de localisation d'urgence soit immergée avant la fin du délai de 50 secondes précédant le déclenchement de l'émetteur. Dans un tel cas, il se peut que le signal de l'ELT soit fortement atténué et que le système de satellites COSPAS-SARSAT ne le détecte pas. Si un ELT ne peut pas émettre son signal à la pleine puissance depuis un aéronef submergé, les secours risquent d'être grandement retardés, ce qui accroît le risque de blessure grave ou de mort.

2.5.6 Radeau de sauvetage

Le radeau de sauvetage était installé à l'intérieur de l'hélicoptère et a coulé avec celui-ci; ainsi, les survivants n'ont pas pu l'utiliser après l'accident. Sans radeau, les 3 occupants n'avaient d'autre option que de demeurer dans l'eau en attendant les secours. Les radeaux de sauvetage fixés à l'intérieur de l'hélicoptère peuvent être une bonne solution en cas d'amerrissage forcé contrôlé, mais ils ne garantissent aucune protection en cas d'écrasement soudain dans l'eau.

2.5.7 Combinaisons d'immersion

Les exigences énoncées dans le *Manuel d'exploitation – Hélicoptères de la Garde côtière canadienne* de la DGSA de TC concernant l'utilisation de combinaisons d'immersion sont plus strictes que celles du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC); cependant, les critères en matière de distance jusqu'au littoral, au navire ou à la glace continue capable de supporter l'hélicoptère sont inadéquats pour garantir une protection suffisante. Les survivants peuvent être blessés ou souffrir d'un choc dû au froid, facteurs qui pourraient limiter considérablement leur mobilité. Le plus grand défi pour les survivants immergés dans l'eau froide est de demeurer en vie assez longtemps pour gonfler le radeau de sauvetage et y grimper, ou de demeurer en vie dans une combinaison d'immersion jusqu'à l'arrivée des secours. Même lorsque le transport en hélicoptère a lieu à proximité du littoral, du navire ou de la glace continue capable de supporter le poids de l'hélicoptère, les pilotes et les passagers peuvent être exposés à des périodes d'exploitation au-dessus d'eaux parfois très froides sans protection suffisante, étant donné que les exigences liées au radeau de sauvetage sont fondées sur les critères de temps et de distance.

Les risques liés à l'immersion en eau froide deviennent considérables dès que la température d'eau est inférieure à 25 °C. C'est donc dire que le risque d'hypothermie causée par l'immersion est bien réel durant la majorité de l'année en Amérique du Nord. Cependant, la gestion des risques d'épuisement par la chaleur, de déshydratation et de fatigue causés par le port d'une combinaison d'immersion d'équipage de conduite est un objectif concurrent dont l'on doit tenir compte au moment de déterminer l'équipement de protection le plus approprié. Si les équipages de conduite et les passagers ne portent pas de combinaisons d'immersion appropriées lorsqu'ils survolent des eaux froides, il y a un risque accru qu'ils soient victimes d'hypothermie s'ils se retrouvent dans l'eau.

Durant l'événement à l'étude, tous les occupants portaient un vêtement de survie, même si ni le RAC ni les politiques de la GCC et de la DGSA ne l'exigeaient. Toutefois, les combinaisons d'immersion pour passagers d'aéronef que portaient le capitaine et le scientifique n'étaient pas conformes aux exigences de la norme 551.407 du RAC; ces combinaisons avaient une valeur d'isolation de 0,4 clo en eaux calmes, alors que la norme CAN/ONGC-65.17-99 stipule que de telles combinaisons doivent fournir une protection thermique d'au moins 0,75 clo. De plus, le capitaine a été retrouvé avec le visage entièrement submergé, tandis que le visage du scientifique était à moitié submergé. Ce fait indique que leurs combinaisons n'étaient pas conformes à l'exigence de « redressement » comprise dans la norme CAN/CGBS-65.17-99, selon laquelle [traduction] « le vêtement doit pouvoir retourner le porteur, d'une position ventrale à une position face vers le haut en 5 secondes ou permettre au porteur de se redresser sans aide d'une position ventrale à une position face vers le haut en 5 secondes ». Si la combinaison d'immersion pour passagers d'aéronef que l'on porte n'est pas conforme aux exigences standard, il y a un risque accru que le porteur soit exposé plus rapidement au début de l'hypothermie durant l'immersion en eau froide et qu'il ne soit pas suffisamment protégé contre la noyade.

En outre, les pilotes ont l'habitude de ne pas fermer complètement la fermeture éclair de leur combinaison. Cette pratique est avalisée par la note de service de TC diffusée en mai 2011 et qui laisse entendre qu'il est permis de ne pas fermer la combinaison complètement dans certaines

conditions de vol. La note ne définit toutefois pas ces conditions. Si les directives sur la bonne utilisation et le port correct des combinaisons d'immersion ne sont pas claires, les pilotes risquent alors de les porter d'une manière qui ne garantit pas une protection maximale lorsqu'il le faut.

Pour obtenir une protection maximale, il est essentiel de remonter la fermeture éclair d'une combinaison d'immersion jusqu'au cou avant d'entrer dans l'eau. Toutefois, il est pratiquement impossible de fermer complètement la fermeture éclair durant une situation d'urgence en vol. Il est extrêmement improbable qu'un pilote d'hélicoptère qui porte un casque et un gilet de sauvetage et dont le harnais de sécurité est bouclé durant le vol soit capable de fermer complètement sa fermeture éclair depuis la position de mi-poitrine, même dans le cas d'un amerrissage forcé planifié. Le casque et le dossier du siège limitent la capacité du pilote d'incliner la tête vers l'arrière et vers la droite; le gilet de sauvetage et les sangles de la ceinture de sécurité limitent l'accès à la fermeture éclair; de plus, le pilote a besoin de ses 2 mains pour piloter l'hélicoptère.

2.5.8 Premiers soins et services médicaux

Une fois à bord du navire, les 3 victimes ont été transportées dans le hangar. Comme les 3 victimes avaient subi une immersion en eau froide, on a d'abord pensé à leur donner des soins contre l'hypothermie. On a vérifié les principaux signes vitaux, sauf la température centrale du corps.

Rien ne donne à croire que les 3 victimes étaient toujours en vie au moment de leur récupération des eaux et de leur examen par l'officier de santé. Elles affichaient toutes des signes de noyade, et la cause de leur décès était fort probablement l'exposition à l'eau froide. Rien ne donne à croire que l'on aurait pu prévenir leur décès par des efforts soutenus de RCP ou pour les réchauffer, comme l'indique le *Guide médical international de bord*. Compte tenu de la vaste expérience de l'officier de santé, il est raisonnable de croire que la constatation du décès des 3 victimes était fondée.

Toutefois, dans le cas de l'hypothermie, le *Guide médical international de bord* indique que les personnes atteintes d'hypothermie peuvent toujours être en vie même si elles paraissent mortes, et qu'il peut être très difficile de vérifier leur pouls, leur fréquence cardiaque pouvant être extrêmement lente et faible. C'est pourquoi la température centrale du corps est un signe vital clé à vérifier. L'affichage et la disponibilité d'une liste de contrôle détaillant la marche à suivre pour traiter les personnes ayant été exposées à l'immersion en eaux froides aideraient probablement les personnes qui administrent les premiers soins à faire en sorte que toutes les étapes soient respectées.

Les signes vitaux déterminent les protocoles thérapeutiques à suivre, donnent de l'information cruciale nécessaire pour prendre des décisions dont dépend la survie, et confirment la réaction aux soins prodigués. Par conséquent, si l'on ne tient pas compte de tous les signes vitaux ou si l'on omet de les mesurer tous durant l'évaluation préliminaire du patient après qu'il ait été repêché, il y a un risque accru de ne pas avoir l'information cruciale nécessaire pour lui sauver la vie ou de suivre les mauvais protocoles thérapeutiques.

2.6 Renseignements sur les organismes et sur la gestion

2.6.1 Surveillance réglementaire

Transports Canada a opté pour une approche systémique de la surveillance. Dans le cas d'exploitants qui ne sont pas tenus d'avoir un SGS, cette approche vise à s'assurer que les processus suffisants sont en place pour garantir un contrôle opérationnel et la conformité à la réglementation. Des procédures de suivi sont également en place, et lorsqu'on y adhère, elles doivent montrer rapidement à l'organisme de réglementation que l'exploitant a analysé en profondeur les causes sous-jacentes des faits établis et qu'il a pris des mesures correctives pour les corriger et empêcher leur récurrence.

Deux ans déjà avant le vol en cause, Transports Canada, Aviation civile (TCAC) avait établi des faits cruciaux et graves concernant le contrôle opérationnel. TCAC a offert son aide à la DGSA pour veiller à la conception et à la mise en œuvre de plans de mesures correctives (PMC), mais rien n'a bougé rapidement. Il a fallu 6 mois avant que TCAC juge acceptable un ensemble de PMC révisés, et au moment de l'événement, 18 mois plus tard, l'organisme n'avait toujours pas reçu de preuve concluante que ces PMC avaient bel et bien été mis en œuvre.

Plusieurs problèmes ont fait en sorte qu'il a fallu beaucoup de temps pour conclure l'inspection de validation de programme (IVP) en 2011. Premièrement, le choix d'une approche systémique de la surveillance a contraint TCAC et la DGSA à composer avec une courbe d'apprentissage abrupte. Durant la période d'IVP en 2011, la documentation fournie aux inspecteurs de TCAC a fait l'objet d'une importante mise à jour avec des consignes additionnelles, y compris des feuilles de travail additionnelles pour aider à mieux comprendre les attentes liées à la validation de certains systèmes. De plus, il s'agissait de la première activité de surveillance où la DGSA devait fournir une analyse des problèmes sous-jacents dans l'ensemble de ses systèmes en appui aux mesures correctives prévues. Le manque d'analyse préliminaire explique en grande partie le rejet du premier ensemble de PMC; TCAC a néanmoins constaté une amélioration dans la portée de l'analyse fournie avec les PMC révisés.

Deuxièmement, certaines conclusions comprises dans l'IVP de 2011 étaient trop générales et vagues, notamment le fait établi crucial concernant le contrôle opérationnel, qui mentionnait simplement que 2 incidents distincts mettant en cause des hélicoptères de la GCC indiquaient une perte de contrôle opérationnel. Cette conclusion s'appuyait sur des mesures d'impact pour signaler un système de contrôle déficient dans son ensemble, plutôt que sur le repérage des faiblesses d'un ou de plusieurs aspects du système de contrôle opérationnel. Les enquêtes internes menées dans le cadre d'un SGS bien maîtrisé devraient permettre à l'exploitant de cerner les causes sous-jacentes des incidents et de prendre des mesures correctives. Si les faits établis sont trop imprécis, ils accroissent l'ampleur des mesures correctives potentielles et compliquent la tâche de l'organisme de réglementation visant à déterminer si le plan de mesures correctives corrige la lacune sous-jacente, ce qui accroît le risque que les lacunes de sécurité ne soient pas corrigées.

Troisièmement, la portée des mesures correctives proposées par la DGSA était extrêmement large, probablement à cause de la nature générale de certains faits établis. La révision du

manuel d'exploitation de la compagnie (COM), la mise en place d'un programme d'assurance qualité des opérations aériennes et l'examen de toutes les procédures de bord étaient des initiatives à long terme, et il n'était pas raisonnable d'espérer leur exécution dans le délai de 90 jours que l'on accorde habituellement pour la prise de mesures correctives - ou même dans le délai de 6 mois prévu pour l'achèvement de toutes les mesures correctives. Néanmoins, TCAC a accepté les amples mesures correctives proposées par la DGSA.

Enfin, TCAC a choisi de collaborer avec l'exploitant pour favoriser la mise en œuvre des plans de mesures correctives, au lieu de miser sur des mesures de certification. Les inspecteurs de TCAC ont souligné l'absence de progrès dans la mise en œuvre des PMC en juin 2012, et TCAC et la DGSA ont tenu une réunion pour discuter des exigences. On a convenu d'échéanciers révisés, et la DGSA a présenté un COM révisé à la fin de septembre 2012, avant l'achèvement du programme d'assurance qualité des opérations aériennes et de l'examen des procédures de bord. TCAC a continué de surveiller la progression de ce dossier, mais plus d'une année s'était déjà écoulée depuis qu'il avait informé la DGSA que son système de contrôle opérationnel n'était pas conforme aux exigences réglementaires minimales. La collaboration continue avec l'exploitant malgré les retards répétés dans la mise en œuvre des PMC n'a fait que prolonger cette situation. Si Transports Canada n'exige pas des exploitants qu'ils respectent les délais de mise en œuvre des PMC, il y a un risque que les lacunes de sécurité ne soient pas corrigées rapidement.

Ce délai prolongé de mise en œuvre des mesures correctives a eu une autre incidence sur la capacité de TCAC de s'assurer que la DGSA avait les processus en place pour mener ses activités en toute sécurité, puisque l'organisme a choisi de reporter toutes les autres IVP tant que les PMC n'étaient pas entièrement mises en œuvre. Le motif de cette décision était que toute surveillance additionnelle, réalisée avant la mise en œuvre des mesures correctives, ne ferait que cerner les mêmes lacunes; ce ne serait donc pas une utilisation efficace des ressources. Cependant, cette décision a donné lieu à une situation où l'exploitant, dont les systèmes nécessitaient une supervision annuelle et dont le contrôle opérationnel avait révélé auparavant des lacunes cruciales, faisait en réalité l'objet d'une surveillance réglementaire moins fréquente que ne l'exigeaient les directives de TCAC en cas de manque de progrès dans la mise en œuvre de mesures correctives. En somme, TC supervisait inadéquatement la DGSA comme entreprise en pleine transition vers un SGS.

Après l'accident, TCAC a cerné des lacunes dans la communication des procédures et la formation liée à l'utilisation de la sonde de glace, lacunes dont TCAC n'était pas au courant auparavant. Bien que l'on ne puisse affirmer avec certitude qu'une surveillance plus étroite des systèmes aurait cerné ces lacunes avant l'accident, l'absence d'une telle surveillance a certainement réduit l'efficacité de l'organisme de réglementation à cerner de façon proactive les pratiques qui pourraient donner lieu à des lacunes de sécurité. Si l'on ne respecte pas les intervalles de surveillance réglementaire indiqués, il y a une probabilité accrue de ne pas cerner et corriger des lacunes généralisées qui pourraient accroître les risques.

2.7 Recherche de l'épave

Il est important, pour des motifs humanitaires, de retrouver rapidement l'épave submergée d'un aéronef, et c'est essentiel aux fins de l'enquête. Élément fondamental de toute enquête sur un accident, l'examen de l'épave d'un aéronef est tout particulièrement important dans le cas d'un accident mortel mettant en cause un aéronef qui n'est pas muni d'enregistreur. Une radiobalise sous-marine de détresse, installée et fonctionnant correctement, aurait sans doute permis de retrouver plus rapidement l'épave.

Heureusement, le NGCC *Amundsen* était muni d'un enregistreur des données du voyage (VDR), même si la réglementation en vigueur ne l'exige pas. Les données enregistrées ont fourni de l'information utile à l'enquête et ont permis aux enquêteurs de déterminer le moment de l'impact; cette information, combinée à la dernière position connue et au trajet tirés du service SkyWeb, a permis de retrouver l'épave et de la récupérer pour l'examiner.

3.0 *Faits établis*

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

1. Il est fort probable qu'en survolant les eaux libres, le pilote ait perdu les repères visuels nécessaires pour juger l'altitude.
2. Il est également possible que le pilote ait été distrait et que sa perte de concentration ait entraîné une perte d'altitude et la collision avec le plan d'eau.
3. Aucun des 3 occupants n'était supporté de manière à maintenir sa bouche et son nez au-dessus de la ligne d'eau. Il est probable qu'ils se soient noyés sous l'effet de la perte de motricité due au froid avant qu'ils ne soient secourus.
4. Le radeau de sauvetage était installé à l'intérieur de l'hélicoptère et a coulé avec celui-ci; ainsi, les survivants n'ont pas pu l'utiliser après l'accident.
5. La formation n'a pas donné à l'équipage du navire le niveau de compétence nécessaire pour régler le système de suivi des vols et ensuite interpréter l'information affichée à l'écran de l'unité de présentation de données. L'efficacité du système de suivi des vols a ainsi été réduite, ce qui a retardé la mise en œuvre des mesures de recherche et sauvetage.
6. Il n'y a eu aucune alarme sonore pour avertir immédiatement l'équipage du navire que l'hélicoptère ne transmettait plus de compte rendu de position. La mise en œuvre des mesures de recherche et sauvetage a ainsi été retardée.

3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. L'absence d'un enregistrement de conversations dans le poste de pilotage ou d'un enregistrement des données de vol, dans le cadre d'une enquête, pourrait empêcher la détermination et la communication de lacunes au chapitre de la sécurité et ainsi l'amélioration de la sécurité des transports.
2. Si un hélicoptère est exploité en dehors de la limite de masse permettant une montée sur un seul moteur, telle que publiée par le fabricant, il y a un risque accru qu'une montée performante sur un seul moteur ne puisse être réalisée dans des situations inattendues.
3. Si les exploitants s'écartent d'un concept approuvé ou d'une installation approuvée sans tenir compte des conséquences négatives potentielles, il y a un risque que ce changement puisse mettre en péril la sécurité de vol.
4. Si l'on omet de signaler ou de consigner les dangers que l'on relève durant les opérations aériennes, il y a alors un risque accru que l'on n'élabore pas et que l'on ne mette pas en place des mesures d'atténuation pour prévenir toute répétition ultérieure.

5. Si les exploitants ne consignent pas dans les dossiers techniques de l'hélicoptère les travaux réalisés ou les anomalies constatées durant l'exploitation, il y a alors un risque que l'on ne connaisse pas exactement l'état global de l'hélicoptère, ce qui pourrait mettre en péril la sécurité de vol.
6. Si les procédures d'exploitation normalisées n'indiquent pas clairement les personnes responsables de certaines tâches précises, comme la surveillance du système de suivi des vols, il y a un risque accru que l'on n'exécute pas efficacement les tâches où chaque seconde compte.
7. Si l'on développe des systèmes sans la collaboration appropriée des utilisateurs finals et sans compter sur des normes de conception qui tiennent compte des facteurs humains, il y a un risque accru que les systèmes d'affichage ne conviennent pas à leur fonction et que les utilisateurs finals les utilisent incorrectement.
8. Si les équipages ne reçoivent aucune formation additionnelle pour atténuer l'érosion des aptitudes opératoires qui survient durant les 3 années entre les formations périodiques sur l'évacuation d'un hélicoptère immergé, il y a un risque accru qu'ils soient incapables de surmonter les graves dangers d'un amerrissage forcé.
9. Si les dangers cernés ne font pas l'objet d'une enquête rigoureuse par l'intermédiaire de programme d'assurance de la qualité pour déterminer leur ampleur et leur gravité, il y a un risque que les mesures d'atténuation ne puissent entièrement éliminer tous les cas de ce danger.
10. Si les vêtements de flottaison individuels sont incorrectement pliés, il se peut qu'ils ne se gonflent pas comme prévu si l'on active 1 seule cartouche, ce qui accroît le risque que la bouche et le nez du porteur ne soient pas maintenus au-dessus de la ligne d'eau et, de ce fait, le risque de noyade.
11. Si les mains des occupants sont exposées à l'eau froide, il pourrait alors être difficile d'utiliser l'équipement d'urgence personnel qui exige une motricité fine, ce qui accroît le risque d'être incapable de l'utiliser et de ne pas être retrouvé rapidement.
12. Si un émetteur de localisation d'urgence ne peut pas émettre son signal à la pleine puissance depuis un aéronef submergé, les secours risquent d'être grandement retardés, ce qui accroît le risque de blessure grave ou de mort.
13. Si les équipages de conduite et les passagers ne portent pas de combinaisons d'immersion adéquates lorsqu'ils survolent des eaux froides, il y a un risque accru qu'ils soient victimes d'hypothermie s'ils se retrouvent dans l'eau.
14. Si la combinaison d'immersion pour passagers d'aéronef que l'on porte n'est pas conforme aux exigences standard, il y a un risque accru que le porteur soit exposé plus rapidement au début de l'hypothermie durant l'immersion en eau froide et qu'il ne soit pas suffisamment protégé contre la noyade.

15. Si les directives sur la bonne utilisation et le port correct des combinaisons d'immersion ne sont pas claires, les pilotes risquent alors de les porter d'une manière qui ne garantit pas une protection maximale lorsqu'il le faut.
16. Si l'on ne tient pas compte de tous les signes vitaux ou si l'on omet de les mesurer tous durant l'évaluation préliminaire du patient après qu'il ait été repêché, il y a un risque accru de ne pas avoir l'information cruciale nécessaire pour lui sauver la vie ou de suivre les mauvais protocoles thérapeutiques.
17. Si l'on ne respecte pas les intervalles de surveillance réglementaire indiqués, il y a une probabilité accrue de ne pas cerner et corriger des lacunes généralisées qui pourraient accroître les risques.
18. Si les faits établis sont trop imprécis, ils accroissent l'ampleur des mesures correctives potentielles et compliquent la tâche de l'organisme de réglementation visant à déterminer si le plan de mesures correctives corrige la lacune sous-jacente, ce qui accroît le risque que les lacunes de sécurité ne soient pas corrigées.
19. Si Transports Canada n'exige pas des exploitants qu'ils respectent les délais de mise en œuvre des plans de mesures correctives, il y a un risque que les lacunes de sécurité ne soient pas corrigées rapidement.

3.3 *Autres faits établis*

1. Le navire de la Garde côtière canadienne *Amundsen* était muni d'un enregistreur des données du voyage, même si la réglementation en vigueur ne l'exige pas. Les données enregistrées ont fourni de l'information utile à l'enquête et ont permis aux enquêteurs de déterminer le moment de l'impact; cette information, combinée à la dernière position connue et au trajet tirés du service SkyWeb, a permis de retrouver l'épave et de la récupérer pour l'examiner.
2. La radiobalise sous-marine de détresse n'a pas émis de signal acoustique détectable. Une telle radiobalise, installée et fonctionnelle, aurait sans doute permis de retrouver plus rapidement l'épave.
3. Les radeaux de sauvetage fixés à l'intérieur de l'hélicoptère peuvent être une bonne solution en cas d'amerrissage forcé contrôlé, mais ils ne garantissent aucune protection en cas d'écrasement soudain dans l'eau.

4.0 Mesures de sécurité

4.1 Mesures de sécurité prises

4.1.1 Direction générale des services des aéronefs

Le 1^{er} novembre 2013, la Direction générale des services des aéronefs (DGSA) a transmis les renseignements figurant aux dossiers des pilotes (PIF) RW 2013-08-HQ à tous les pilotes d'hélicoptère de la Garde côtière canadienne (GCC) pour leur rappeler les dangers liés aux opérations aériennes à basse altitude et les directives sur ce sujet dans le manuel d'exploitation de la compagnie de la DGSA. On a établi une altitude d'exploitation minimale de 200 pieds agl pour tous les vols, sauf durant l'atterrissage et le décollage ou durant les opérations d'élingage de charges externes. En outre, on a suspendu les opérations avec la sonde de glace et tout travail semblable a été qualifié de travail aérien. On a relevé l'altitude d'exploitation minimale à 300 pieds agl pour les opérations de travaux aériens en mars 2015, à la suite de la publication d'une nouvelle édition du *Manuel d'exploitation de vol – Hélicoptère*. Si l'on prévoit qu'il sera nécessaire de voler à une altitude inférieure à 300 pieds agl au cours d'une opération en particulier, le pilote d'hélicoptère superviseur régional, le pilote en chef et le directeur, opérations aériennes, devront en être avisés et une évaluation des risques devra être complétée avant que l'on entreprenne la tâche. On ne devrait pas envisager de procéder à de tels vols à moins que l'évaluation des risques appuie les activités et que le pilote d'hélicoptère superviseur régional, le pilote en chef et le directeur, opérations aériennes, y accordent leur consentement.

Le 25 février 2014, la DGSA a transmis à tous les pilotes d'hélicoptère de la GCC le document PIF-RW 2014-09-HQ, auquel elle a ajouté un extrait du manuel d'exploitation d'hélicoptère de la GCC concernant les opérations de bord. D'après le document PIF, tous les pilotes devaient se réunir avec le capitaine et le premier lieutenant au début de leur prochain déploiement à des fonctions du bord afin de passer en revue les procédures d'exploitation de bord, tel que les décrit le manuel d'exploitation d'hélicoptère de la GCC.

Le 15 mai 2014, la DGSA a émis un second avis (010-25-60-027 Rev A) pour clarifier la façon de plier les gilets de sauvetage Switlik et rappeler de vérifier le plus tôt possible tous les vêtements de flottaison individuels afin de s'assurer qu'ils sont correctement pliés. Une vidéo montrant la bonne technique pour plier les VFI a été préparée, et le personnel responsable de l'inspection et du pliage des vêtements de flottaison individuels y a accès.

Le 16 septembre 2014, une équipe composée de membres de la DGSA et de la GCC a achevé l'examen de l'évaluation, réalisée en 2008, des risques liés aux combinaisons d'immersion des opérations d'aéronefs à voilure tournante afin de vérifier les hypothèses et de mettre à jour le document pour s'assurer qu'il demeure pertinent. Les recommandations comprises dans cette évaluation des risques ont entraîné une proposition de changement à la politique qui va accroître la fréquence de port des combinaisons d'immersion durant les opérations au-dessus de l'eau. L'équipe d'évaluation des risques a également recommandé un programme d'essai de combinaisons d'immersion pour déterminer de meilleures options pour les équipages de conduite, étant donné les progrès technologiques réalisés en matière de combinaisons depuis l'approvisionnement en combinaisons Viking 4089, en 2011. Après l'essai de combinaisons

d'immersion, on a fourni de nouvelles combinaisons (Survitec 1000-300 ou Viking 4043) aux équipages de conduite qui répondaient aux critères de remplacement urgent.

Le 1^{er} avril 2015, la DGSA a commencé à se doter d'une nouvelle flotte d'hélicoptères pour remplacer les BO 105. Les nouveaux hélicoptères sont équipés de dispositifs de déploiement de flotteurs et de radeaux de sauvetage installés à l'extérieur faisant partie intégrale du système de flottaison. Ils ont également une performance accrue lorsqu'un moteur est en panne.

Les nouveaux hélicoptères sont également munis d'enregistreurs de conversations dans le poste de pilotage combiné à un enregistreur de données de vol à la fine pointe de la technologie (CVFDR) ainsi que de systèmes de contrôle et de maintenance des hélicoptères pouvant détecter les défaillances prématurées de façon proactive.

Une nouvelle politique sur le port des combinaisons d'immersion a été mise en œuvre en avril 2015, resserrant considérablement l'exigence de porter des combinaisons et le processus d'achat de nouvelles combinaisons a été amorcé.

L'évaluation et la sélection de l'appareil respiratoire d'urgence ont été effectuées et le processus d'achat sera amorcé en octobre 2015.

Des gilets de sauvetage nouveaux et améliorés, de même que des radiobalises individuelles de repérage dotées d'un système d'activation simplifié ont été obtenus pour la nouvelle flotte d'hélicoptères.

Un processus d'assurance et de contrôle de la qualité des opérations a été mis en place le 1^{er} avril 2014.

Les mesures correctives liées aux inspections de validation de programme et aux intervalles de position ont été acceptées par Transports Canada – Aviation civile et ont été mises en œuvre conformément au plan de mesures correctives.

4.1.2 *Garde côtière canadienne*

Le 11 octobre 2013, la GCC a indiqué à son personnel qui prend part aux opérations de bord de s'assurer que tous les navires qui participent à des opérations en hélicoptère activent la fonction de rendez-vous de leur SSV, et qu'ils règlent à 2 minutes la fréquence des comptes rendus de position lorsque l'hélicoptère est en vol. En outre, l'équipage du navire doit vérifier la position de l'hélicoptère toutes les 5 minutes au CDU du SSV et enregistrer le relèvement et la distance du navire dans le carnet de route d'hélicoptère. Si des tirets remplacent l'indicatif d'appel de l'hélicoptère au CDU du SSV, l'équipage du navire doit utiliser la communication vocale pour confirmer la position de l'hélicoptère.

Le 20 décembre 2013, la GCC a émis la Circulaire des opérations (10-2013) au sujet de l'anomalie relevée dans l'affichage des coordonnées GPS du système de suivi des vols afin d'informer le personnel de la possible interprétation erronée des coordonnées GPS. Cette circulaire a été créée afin d'informer les navires dotés d'un système de suivi des vols que l'affichage d'un hélicoptère pourrait facilement être mal interprété par les utilisateurs et qu'il est important que les

utilisateurs comprennent comment l'information est présentement affichée, car une lecture erronée fera en sorte que l'utilisateur ne fait pas correctement le suivi de l'hélicoptère.

La GCC offre désormais, en plus de la vidéo d'information déjà en place pour toutes les unités opérationnelles du Centre et de l'Arctique, un exposé de familiarisation sur place sur les mesures de sécurité.

En juillet 2014, avant des opérations menées en Arctique, la GCC a mis en œuvre une version révisée de sa politique concernant les combinaisons d'immersion pour les opérations en Arctique. Selon la politique, tous les passagers à bord des hélicoptères de la GCC doivent porter une combinaison d'immersion « de type étanche » approuvée par la GCC et dont la protection thermique est adéquate.

Au cours des opérations dans l'Arctique de 2014, une évaluation des combinaisons d'immersion a été réalisée sur le terrain. La politique concernant les combinaisons d'immersion a été promulguée en décembre 2014 et complètement mise en œuvre le 1^{er} avril 2015. D'après la politique :

[traduction] Tous les passagers à bord des hélicoptères de la GCC et tous les employés de la GCC à bord d'hélicoptères n'appartenant pas à la GCC affrétés pour des opérations de la GCC doivent porter une combinaison d'immersion « de type étanche » approuvée par la GCC et dont la protection thermique est adéquate lorsque l'on s'attend à ce que l'hélicoptère :

i. survole un plan d'eau, et que :

a. la température de l'eau est inférieure ou égale à 13 °C, ou

b. la somme de la température de l'air et de l'eau est inférieure à 31 °C.

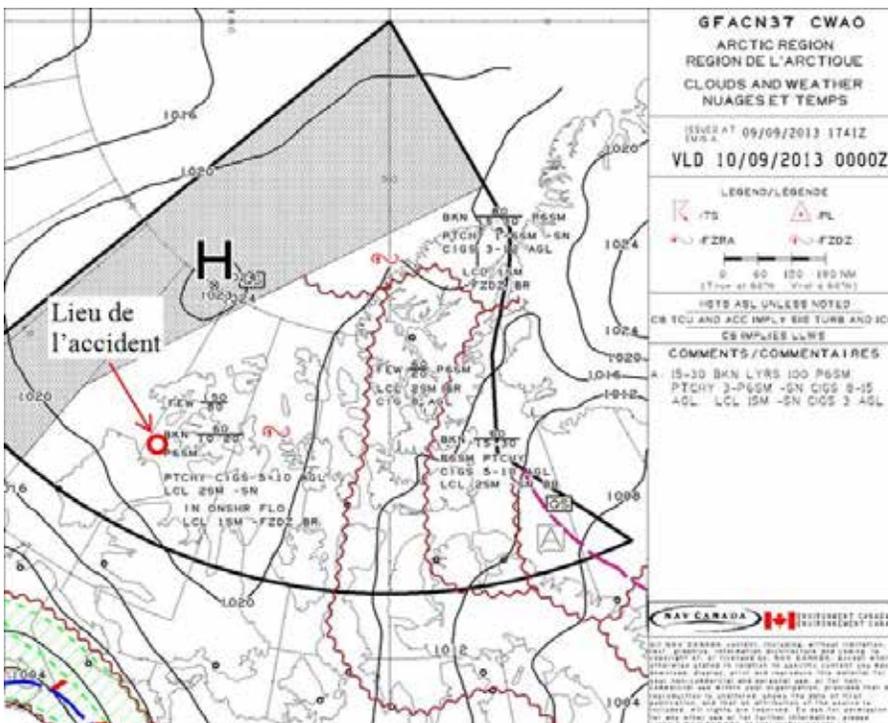
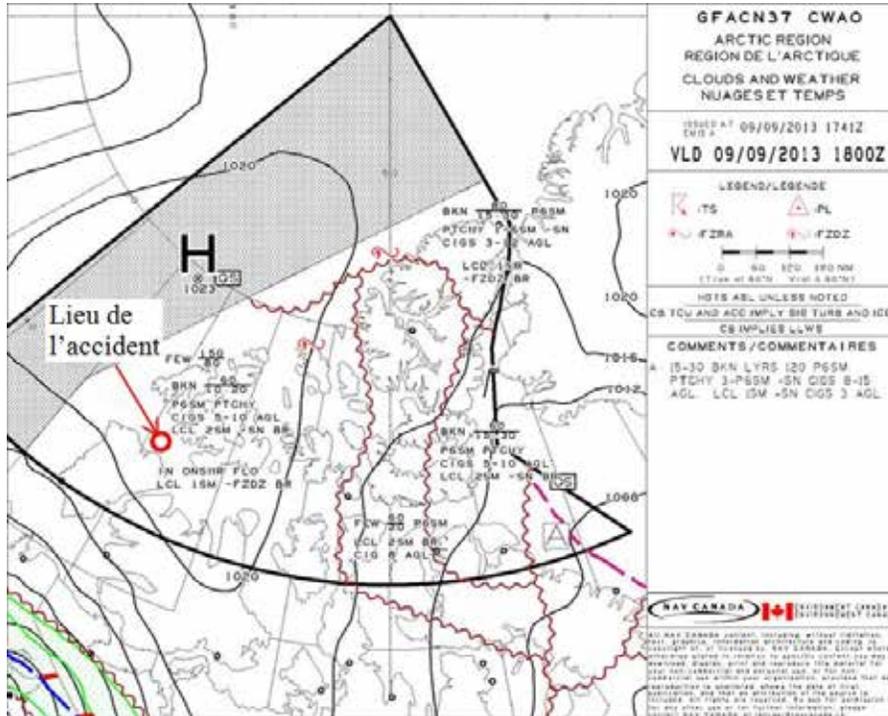
De plus, un bulletin d'exploitation sur la sécurité (OSB 06-2015) a été émis. L'objectif du bulletin était de clarifier les rôles et les responsabilités en ce qui concerne l'application de la Circulaire des opérations 07-2015 *CCG Operations – Helicopter Immersion Suit Policy* visant tout le personnel qui monte à bord d'un hélicoptère de la GCC ou d'un hélicoptère affrété par l'unité des opérations de la GCC.

Le présent rapport conclut l'enquête du Bureau de la sécurité des transports sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 10 novembre 2015. Le rapport a été officiellement publié le 7 décembre 2015.

Visitez le site Web du Bureau de la sécurité des transports (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 problèmes de sécurité dans les transports qui posent les plus grands risques pour les Canadiens. 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.

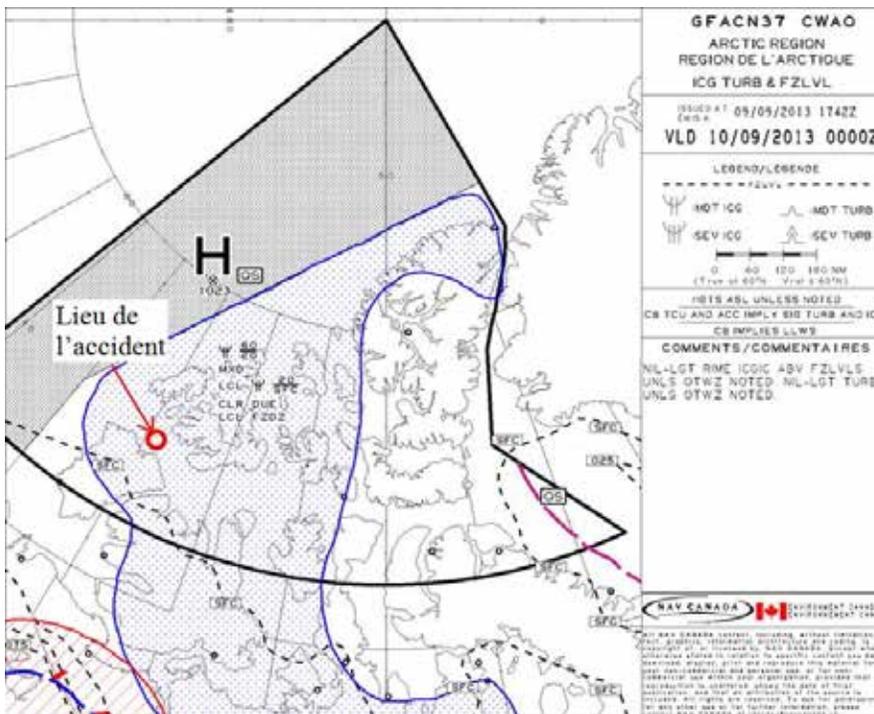
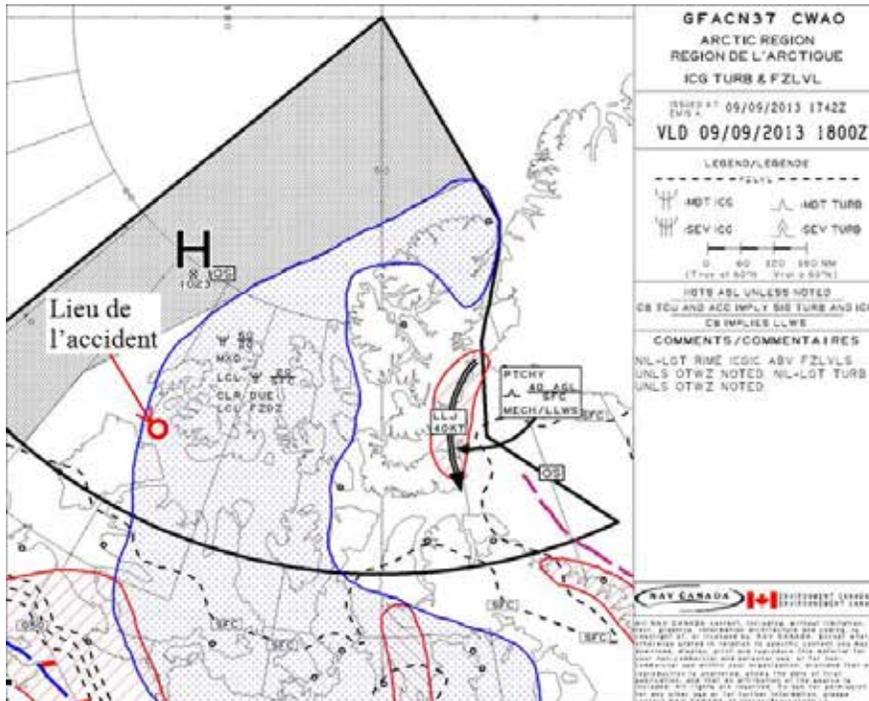
Annexes

Annexe A – Carte des nuages et du temps de la prévision de zone graphique



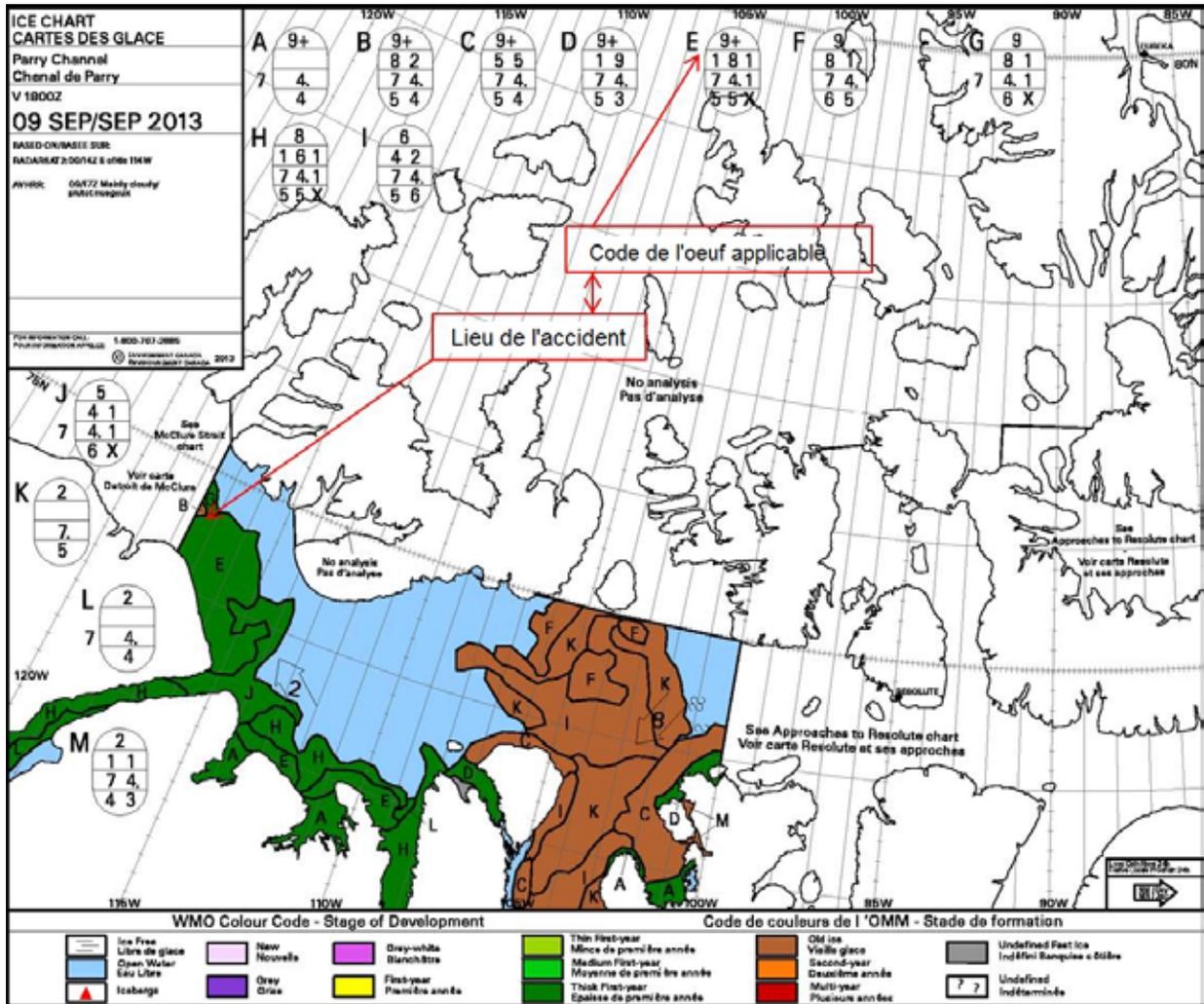
Source : NAV CANADA et Environnement Canada, avec annotations du BST

Annexe B – Carte indiquant le givrage, la turbulence et le niveau de congélation



Source : NAV CANADA et Environnement Canada, avec annotations du BST

Annexe C – Carte d'analyse quotidienne des glaces valide à 1800Z le 9 septembre 2013



Source : Environnement Canada, Service canadien des glaces, avec annotations du BST

Annexe D – Catalogue d'exploitation de sous-unité

[Catalogue d'exploitation de sous-unité](#)

PAS AUTORISÉ EN DATE DU 15 OCTOBRE 2013

BO105 Opérations de levés de glace avec sonde de nez Stinger

1. Description générale

Cet aéronef est muni d'une sonde fixée à l'avant de l'hélicoptère contenant l'équipement de levé. L'aéronef vole pour de courtes périodes à basse altitude et à vitesse réduite au-dessus de la glace durant la collecte des données. Une fois que la période de collecte des données a expiré, l'aéronef monte à une plus haute altitude pour prendre des photographies aériennes de la glace ayant fait l'objet des levés.

1. Restrictions

- L'équipage et l'équipe technique doivent avoir suivi une formation initiale et périodique avant le début des opérations.
- Un briefage détaillé d'un RSHP ou d'un membre d'équipage expérimenté portant sur la conduite d'une telle opération, sur les procédures d'urgence et sur la revue des éléments du présent guide du pilote suffit pour les exigences de formation initiale.
- L'examen de ce guide pilote est considéré comme suffisant aux fins de la formation périodique.
- La formation doit être consignée dans le Registre de formation des opérations spéciales et conservée en dossier dans les registres de formation des pilotes.
- Les membres de l'équipage et de l'équipe technique doivent porter l'équipement de survie nécessaire, compte tenu de la région où ont lieu les opérations.
- Les membres de l'équipe technique doivent porter un casque protecteur qui permet la communication bilatérale avec le pilote.
- Seules les personnes essentielles à l'opération doivent se trouver à bord de l'hélicoptère durant les opérations de levé; PAS DE PASSAGERS.
- Les conditions météorologiques ne doivent comporter aucun risque de voile blanc.
- Le soleil doit être suffisamment haut pour ne pas causer la dégradation des repères visuels par allongement des ombres ou par éblouissement en vol en direction du soleil.
- Par vent de plus de 15 nœuds, les lignes de levé à basse altitude doivent être parcourues de façon à maintenir une composante de vent de face dans un angle de 45 degrés par rapport à la direction du vol.
- La zone des levés doit être évaluée à une altitude sûre en cas d'obstacles tels que des ondes glaciales, etc., avant de commencer les levés à basse altitude.
- La durée du vol de levé à basse altitude ne doit pas dépasser 5 minutes par intervalle, après quoi l'aéronef doit remonter à une altitude de 200 pieds AGL au moins, et ce, pour permettre au pilote de se détendre en réduisant son niveau de concentration et de ne pas se laisser gagner par la fatigue et la distraction.
- La vitesse propre durant le levé à basse altitude doit être comprise entre 60 et 80 nœuds.
- L'altitude durant le levé à basse altitude ne doit jamais être inférieure à 20 pieds au-dessus de la glace.
- L'altimètre radar de la sonde de glace doit être fonctionnel pendant les vols de levés à basse altitude.

1. Pratiques normales

Le briefage de sécurité des « personnes à bord » doit inclure tous les points additionnels relatifs à l'opération de levé de la glace.

1. Mesures d'urgence

À la première indication d'une condition anormale ou d'urgence, le PIC doit monter à une altitude sécuritaire au-dessus de 200 pieds pour évaluer la situation.

1. Performance

La masse brute maximale ne doit pas dépasser 4850 livres pour les opérations de levé de la glace à basse altitude de manière à permettre une montée sur un seul moteur.

PAS AUTORISÉ EN DATE DU 15 OCTOBRE 2013

Source : Transports Canada, Direction générale des services des aéronefs

Annexe E – Matrice d'analyse des risques

RISK ANALYSIS (RDIMS 6000379)	
Risk measurement formula	
<p>When conducting a Risk Analysis, the Risk Level is based on an evaluation of the following two factors:</p> <ul style="list-style-type: none"> Likelihood that a risk scenario will occur, and Severity of the events. <p>The Risk Level is a subset of a two-digit Risk Indicator (number and letter) resulting from the intersection of LIKELIHOOD and SEVERITY on the Risk Matrix as identified in Figure 1 below.</p>	
Likelihood (L)	
What is the Likelihood of that sequence of events/situation/activities happening during the exposure interval?	
1 – Improbable - Rare	<ul style="list-style-type: none"> • Almost inconceivable that the event will occur during the exposure interval • statistically impossible [10^{-9} and below] • Event is almost never expected to occur
2 – Remote - Unlikely	<ul style="list-style-type: none"> • Unlikely, but possible to occur during the exposure interval • Statically $10^{-7} - 10^{-9}$ • Event is not expected to occur very often
3 – Occasional	<ul style="list-style-type: none"> • Likely to occur sometimes during the exposure interval • Statistically $10^{-5} - 10^{-7}$ • Event is expected to occur in some circumstances
4 – Probable - Likely	<ul style="list-style-type: none"> • Will occur several times during the exposure interval • Statistically $10^{-3} - 10^{-5}$ • Event is expected to occur in majority of circumstances
5 - Frequent - Almost certain	<ul style="list-style-type: none"> • Likely to occur often during the exposure interval • Statistically $10^{-1} - 10^{-3}$ • Event is expected to occur in almost all circumstances

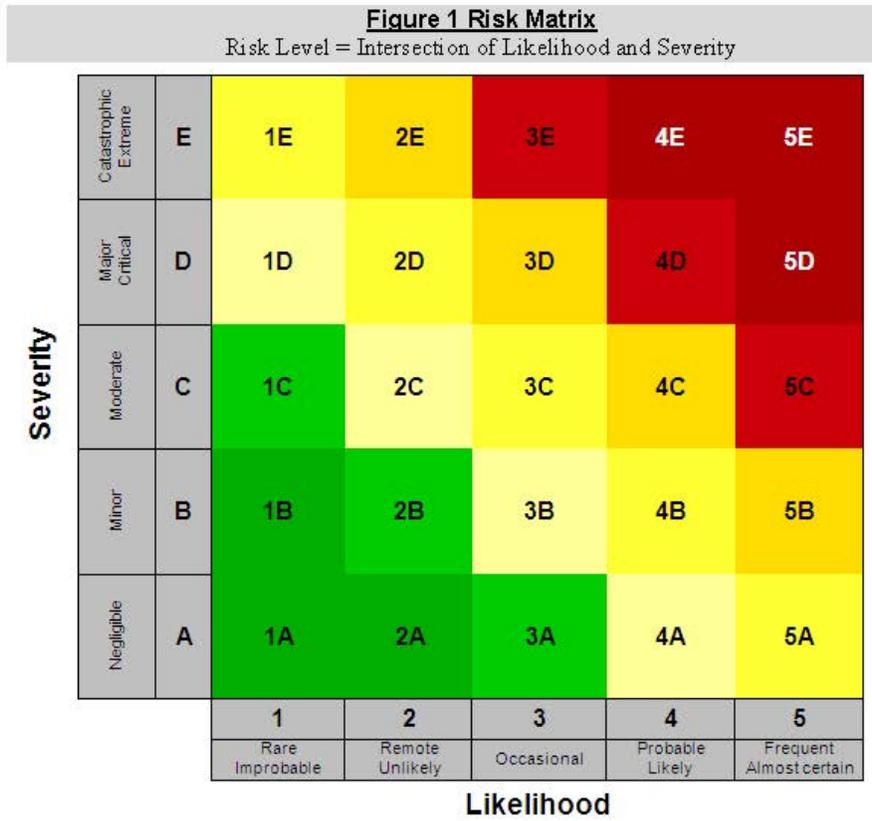
Note: - Qualitative or quantitative measures can be used as deemed appropriate.
 - The numerical values for the statistics found above were obtained from engineering certification standards. These quantitative values may not apply in cases where there is no available data or the values may have to be adjusted appropriately to the activity.
 - The descriptors above do not all have to be met to identify the level of likelihood. They are meant to help differentiate between the different levels.

Severity (S)	
The sequence of events has happened. How serious is the severity of the consequences?	
A Negligible	<ul style="list-style-type: none"> • Little to no impact on TCCA program or system objectives • Less than minor injury and/or less than minor system damage <p>Personnel: No injuries. Operations: Minor operational delay with no immediate costs. Equipment: No damage or minor technical delay with no immediate costs. Environment: Minor contained release that does not significantly threaten the quality of life of humans and/or the habitat. Media attention: No media attention. Public confidence: No loss of public confidence.</p>
B Minor	<ul style="list-style-type: none"> • Minimal questioning of TCCA program or system objectives • Nuisance / Operating limitations / Use of emergency procedures / Minor incident • Minor injury and/or Minor system damage <p>Personnel: First aid injury, no disability or lost time. Operations: May result in operating limitations, or emergency procedures; operational delay incurring relatively minimal costs. Equipment: Technical delay requiring grounding of aircraft and causing the operator to incur relatively minimal costs. Environment: Contained release that may reduce the quality of life of humans and the habitat. Full recovery period will be less than 5 years Media attention: Media attention that requires Briefing and/or Question Period notes and Minister's attention. Public confidence: May be lowered, but public accepts situation.</p>
C Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Significant questioning of TCCA program or system objectives • Injuries to persons / Serious incident / Significant reduction in safety margins / Reduction in the capacity to cope with adverse operating conditions / Increase in workload <p>Personnel: Lost time injury or passenger injuries (i.e. broken bone), no disability. Difficult for crew to cope with adverse conditions. Operations: Operational delay requiring grounding of an aircraft and causing the operator substantial costs. May result in significant reduction in safety margins. Equipment: Technical delay requiring grounding of an aircraft and causing the operator relatively substantial costs. Environment: Small uncontained release that threatens lives of humans and the habitat with effects lasting up to 15 years Media attention: Media attention that elevates occurrence to High profile status requiring Minister's action and/or results in Parliamentary debates. Public confidence: Significantly lowered with high profile media coverage and numerous ATIP requests.</p>
D Major - Critical	<ul style="list-style-type: none"> • Necessitates modifications to TCCA program or system objectives • Major damages to equipment / Serious injuries / large reduction in safety margins / Physical distress or excessive workload such that the operation cannot be conducted safely, accurately or completely • Severe injury and/or major system damage <p>Personnel: Disability or severe injuries. Crew extended because of workload or environmental conditions. Operations: Operational delay grounding air operator's fleet. May result in a large reduction in safety margins. Equipment: Technical delay grounding aircraft fleet causing substantial costs and long delays to return the aircraft to service. Environment: Moderate uncontained release that kills and/or threatens lives of</p>

	<p><i>humans and the habitat with effects lasting up to 30 years.</i></p> <p>Media attention: Media attention that initiates legal action against the Crown and/or public servants, Parliamentary debate.</p> <p>Public confidence: Decreased; significant reduction in travelling public flying on a particular aircraft type or airline.</p>
<p>E</p> <p>Catastrophic - Extreme</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Necessitates a significant change to and/or revocation of portions of TCCA program or system objectives • Equipment destroyed / multiple fatalities • Results in fatalities and/or loss of the system <p>Personnel: Fatal injuries to personnel or passengers. Public exposed to life threatening hazard.</p> <p>Operations: Operational delay grounding all operating certificates for the subject aircraft/ engine/ major component. Removal of the operating certificate for subject aircraft/engine/major component or airline.</p> <p>Equipment: Loss of aircraft.</p> <p>Environment: Large uncontained release that kills and threatens lives of humans and the habitat with irreversible effects lasting for more than 50 years.</p> <p>Media attention: Media attention having severe repercussion for the Minister, and/or public servants.</p> <p>Public confidence: Public demonstrations organized against the Crown.</p>

Note: Where the level of media and public levels are speculated operational and technical consequences should be considered (and stated). These descriptors are meant to help differentiate between levels it is not necessary to have all descriptors to determine a level.

Risk Indicator	Risk Level	Suggested decision
4E, 5D, 5E	Very High	Stop the activity: Extensive management of situation is essential 1. Safety action shall be taken to reduce the risk to an acceptable level: Use Delegation of Authority (DoA) and take immediate action as required. 2. Do not proceed until sufficient control measures and action plans have been managed to an acceptable level.
3E, 4D, 5C	High	Immediate actions shall be taken to reduce the Risk Level. These actions shall include tangible measures to mitigate the likelihood and/or the severity.
2E, 3D, 4C, 5B	Medium-High	May proceed: risk elements must be considered carefully to prevent the situation from escalating to a higher level. Considerable management is required. In the case of 2E, specific measures must be taken in order to reduce the severity. The same approach must be followed in the case of 5B, but in order to reduce the likelihood.
1E, 2D, 3C, 4B, 5A	Medium	May proceed after considering risk elements; manage and monitor risk. However, as much as possible, 1E and 5A might be subjected to a special attention to have respectively their severity and likelihood reduced.
1D, 2C, 3B, 4A	Low-Medium	Proceed after considering risk elements. Management effort worthwhile.
1C, 2B, 3A	Low	Proceed: risk may be worth accepting with monitoring. Consideration of mitigation strategy optional.
1A, 1B, 2A	Very Low	Proceed: Accept risk



Annexe F – Liste des acronymes et des abréviations

ADF	radiogoniomètre automatique
AESA	Agence européenne de la sécurité aérienne
agl	au-dessus du sol
AQOA	assurance de la qualité des opérations aériennes
asl	au-dessus du niveau de la mer
ASSB	Bulletin de service des services des aéronefs
BST	Bureau de la sécurité des transports
°C	degré Celsius
CDU	panneau de commande et d'affichage
CFIT	impact sans perte de contrôle
CO	capitaine en second
COM	Manuel d'exploitation de la compagnie
CTS	certificat de type supplémentaire
CVR	enregistreur de conversations de poste de pilotage
CYSY	Sachs Harbour
DAC	Directive de l'Aviation civile
DGSA	Direction générale des services des aéronefs de Transports Canada
DME	équipement de mesure de distance
EERB	Évaluation environnementale régionale de Beaufort d'ArcticNet
ELT	émetteur de localisation d'urgence
ERS	embarcation rapide de sauvetage
ETA	heure d'arrivée prévue
ETSO	Spécification technique européenne
FAA	Federal Aviation Administration des États-Unis

FDR	enregistreur de données de vol
GCC	Garde côtière canadienne
GFA	prévision de zone graphique
GPS	système de positionnement mondial
GRC	Gendarmerie royale du Canada
HPTSS	combinaison pour passager d'hélicoptère
HUET	formation sur l'évacuation subaquatique d'un hélicoptère
IFAP	Industrial Foundation for Accident Prevention
IP	Instruction visant le personnel
IVP	inspection de validation de programme
JRCC	centre conjoint de coordination de sauvetage
LKP	dernière position connue
°M	degré magnétique
MBB	Messerschmitt-Bölkow-Blohm
METAR	message d'observation météorologique régulière pour l'aviation
MMS	supplément au manuel de maintenance
MPS	manuel de pilotage supplémentaire
MVG	manuel de vol du giravion
NDB	radiophare non directionnel
NGCC	Navire de la Garde côtière canadienne
nm	mille marin
NMEA	National Marine Electronics Association
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
OAT	température extérieure de l'air
OHP	officier d'héli-plate-forme

OIL PRESS	pression d'huile
OIL TEMP	température d'huile
OPS 4	inspection périodique importante de la cellule
PI	intervalle de position
PIF	renseignements figurant aux dossiers des pilotes
PMC	plan de mesures correctives
PTSS	combinaison pour passager d'aéronef
RAC	Règlement de l'aviation canadien
RCP	réanimation cardiopulmonaire
RS	spécialiste en sauvetage
SAR	recherche et sauvetage
SEVCM	Système électronique de visualisation des cartes marines
SGS	système de gestion de la sécurité
SISA	Système d'information sur la sécurité aérienne
sm	mille terrestre
SOC	Catalogue d'exploitation de sous-unité
SOP	procédure d'exploitation normalisée
SOR	énoncé de besoins opérationnels
SSV	système de suivi des vols
STI	Services techniques intégrés
SVD	suites des données de vol
TC	Transports Canada
TCAC	Transports Canada, Aviation civile
TEA	technicien d'entretien d'aéronefs
TSO	Technical Standard Order

ULB	radiobalise sous-marine de détresse
°V	degré vrai
VDR	enregistreur des données du voyage
VFI	vêtement de flottaison individuel
VFR	règles de vol à vue
VHF	très haute fréquence
VTG	véhicule téléguidé