



Bureau de la sécurité
des transports
du Canada

Transportation
Safety Board
of Canada



RAPPORT D'ENQUÊTE SUR LA SÉCURITÉ DU TRANSPORT AÉRIEN A18P0031

PERTE DE MAÎTRISE ET COLLISION AVEC LE RELIEF

Island Express Air Inc.
Beechcraft King Air B100 (C-GIAE)
Aéroport d'Abbotsford (Colombie-Britannique)
23 février 2018

Canada

À PROPOS DE CE RAPPORT D'ENQUÊTE

Ce rapport est le résultat d'une enquête sur un événement de catégorie 3. Pour de plus amples renseignements, se référer à la Politique de classification des événements au www.bst.gc.ca.

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

CONDITIONS D'UTILISATION

Reproduction non commerciale

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

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

Reproduction commerciale

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

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

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

Citation

Bureau de la sécurité des transports du Canada, *Rapport d'enquête sur la sécurité du transport aérien A18P0031* (publié le 14 août 2019).

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@tsb.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par
le Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2019

Rapport d'enquête sur la sécurité du transport aérien A18P0031

N° de cat. TU3-10/18-0031F-PDF
ISBN 978-0-660-32002-1

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

This report is also available in English.

Table des matières

1.0 Renseignements de base	1
1.1 Déroulement du vol	1
1.2 Renseignements sur le personnel	4
1.2.1 Généralités	4
1.2.2 Commandant de bord	4
1.2.3 Planification avant vol du pilote	4
1.3 Renseignements sur l'aéronef	5
1.3.1 Généralités	5
1.3.2 Système d'avertissement de décrochage	6
1.3.3 Systèmes de protection antigivrage	7
1.3.4 Masse et centrage	7
1.3.5 Soute à bagages arrière	8
1.4 Renseignements météorologiques	8
1.4.1 Généralités	8
1.4.2 Messages d'observation météorologique régulière pour l'aviation	9
1.4.3 Intensité des chutes de neige	9
1.5 Renseignements sur l'aérodrome	11
1.6 Enregistreurs de bord	12
1.6.1 Recommandation du BST sur l'installation obligatoire de systems d'enregistrement de données de vol légers	12
1.7 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	12
1.7.1 Examen de l'épave	12
1.8 Blessures	15
1.9 Questions relative à la survie des occupants	15
1.9.1 Ceintures-baudriers de l'équipage de conduite	15
1.9.2 Sièges passagers	16
1.9.3 Radiobalise de repérage d'urgence	16
1.10 Essais et recherche	16
1.10.1 Analyse de la performance	16
1.10.2 Températures froides et contamination par la neige	17
1.10.3 Rapports de laboratoire du BST	18
1.11 Renseignements sur les organismes et sur la gestion	19
1.11.1 Généralités	19
1.11.2 Historique de la surveillance effectuée par Transports Canada	19
1.12 Renseignements supplémentaires	21
1.12.1 Givrage	21
1.12.2 Tendance à s'en tenir au plan	27
2.0 Analyse	29
2.1 Décrochage aérodynamique au décollage	29
2.2 Givrage au sol	29

2.3	Prise de décision du pilote	30
2.4	Planification du vol et tâches requises avant le vol	30
2.5	Chargement de l'aéronef.....	31
2.6	Rapports d'intensité des chutes de neige et antigivrage.....	31
3.0	Faits établis	33
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs.....	33
3.2	Faits établis quant aux risques	33
3.3	Autres faits établis.....	33
4.0	Mesures de sécurité	34
4.1	Mesures de sécurité prises	34
4.1.1	Island Express Air Inc.	34
4.1.2	Transports Canada.....	34
Annexes	36
	Annexe A – Carte de prévision de zone graphique Nuages et temps valide à 18 h UTC le 23 février 2018.....	36
	Annexe – Carte de prévision de zone graphique Givrage, turbulence et niveau de congélation valide à 18 h UTC le 23 février 2018.....	37
	Annexe C – Reconstitution de la trajectoire de l'aéronef en cause dans l'événement à l'étude [anglais seulement].....	38
	Annexe D – Essai de refroidissement	39

RAPPORT D'ENQUÊTE SUR LA SÉCURITÉ DU TRANSPORT AÉRIEN A18P0031

PERTE DE MAÎTRISE ET COLLISION AVEC LE RELIEF

Island Express Air Inc.
Beechcraft King Air B100 (C-GIAE)
Aéroport d'Abbotsford (Colombie-Britannique)
23 février 2018

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

Résumé

Le 23 février 2018 à 12 h 4 (heure normale du Pacifique), un aéronef Beechcraft King Air B100 (immatriculation C-GIAE, numéro de série BE-8) d'Island Express Air Inc. a décollé de la piste 07 de l'aéroport d'Abbotsford (Colombie-Britannique) pour effectuer un vol de jour selon les règles de vol aux instruments à destination de l'aéroport international de San Bernardino (Californie), aux États-Unis. Le pilote et 9 passagers se trouvaient à bord. Il neigeait au moment du départ. Quelques secondes après le décollage, le pilote a escamoté le train d'atterrissage. Au même moment, l'aéronef a viré à gauche et a heurté le sol tout juste au nord de la piste 07. Cinq passagers et le pilote ont subi des blessures graves. Les 4 autres passagers ont subi des blessures mineures. L'aéronef a été détruit sous la force de l'impact. La radiobalise de repérage d'urgence s'est déclenchée, et le système de recherche et sauvetage assisté par satellite Cospas-Sarsat en a capté le signal.

1.0 RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

Le 23 février 2018, le pilote, qui était aussi propriétaire d'Island Express Air Inc. (Island Express), avait prévu transporter 9 membres de sa famille à bord d'un aéronef Beechcraft King Air B100 (King Air) de l'entreprise entre l'aéroport d'Abbotsford (CYXX) (Colombie-Britannique) et l'aéroport de Long Beach/Daugherty Field (KLGB) (Californie), aux États-Unis, dans le cadre d'un vol nolisé gratuit effectué selon les règles de vol aux instruments.

Le jour de l'événement à l'étude, le pilote s'est présenté au hangar vers 8 h¹. Dans les heures précédant le départ, le pilote a accompli plusieurs tâches liées à l'exploitation et à la gestion de l'entreprise. Il a notamment effectué un vol à bord de l'autre aéronef King Air de l'entreprise, pendant lequel un problème mécanique est apparu et a rendu l'appareil inutilisable. Par conséquent, le vol vers KLGB allait être effectué à bord du seul aéronef King Air d'Island Express qui soit en bon état mécanique .

Le pilote a délégué la plupart des tâches de planification du vol et d'inspection prévol à des employés d'Island Express. En raison de préoccupations liées à la détérioration des conditions météorologiques à l'aéroport où le vol prévoyait passer à la douane, on a demandé aux employés d'apporter des modifications au plan de vol exploitation et de prendre des dispositions pour passer à la douane à un autre aéroport.

Vers 10 h 30, les passagers sont arrivés, ont placé leurs bagages dans la soute à bagages arrière de l'aéronef et les ont arrimés à l'aide du filet d'arrimage fourni. À ce moment, l'aéronef se trouvait dans le hangar, dont la porte était fermée, pour le protéger de toute contamination par de la neige et faciliter l'embarquement des passagers.

À 11 h 21, alors que l'aéronef se trouvait toujours dans le hangar², le pilote a appelé le contrôleur de la circulation aérienne d'Abbotsford pour obtenir une autorisation plus tôt que prévu. Le pilote craignait que l'aéronef se retrouve couvert de neige s'il n'obtenait pas rapidement une autorisation de voler selon les règles de vol aux instruments. Comme le plan de vol du pilote ne se trouvait pas encore dans le système, le pilote a dit au contrôleur qu'il allait rappeler dans 10 à 15 minutes pour obtenir son autorisation.

À 11 h 40, le pilote a rappelé le contrôleur par téléphone pour obtenir son autorisation, mais le contrôleur lui a indiqué qu'il ne savait pas s'il lui était possible de le faire. Le pilote a indiqué au contrôleur qu'il allait faire remorquer l'aéronef à l'extérieur du hangar, puis allait communiquer avec lui par radio pour obtenir l'autorisation requise. Le pilote a aussi soulevé ses préoccupations concernant la neige qui s'accumulerait sur l'aéronef s'il ne pouvait pas obtenir rapidement son autorisation. Le contrôleur a informé le pilote qu'un autre aéronef s'apprêtait à atterrir, mais que cela ne devrait pas retarder considérablement son départ.

Le pilote et les passagers sont montés à bord de l'aéronef, puis la porte du hangar a été ouverte à 11 h 50 et l'aéronef a été remorqué à l'extérieur. Il neigeait à ce moment.

¹ Les heures sont exprimées en heure normale du Pacifique (temps universel coordonné moins 8 heures).

² La température dans le hangar variait généralement de 18 °C à 21 °C.

À 11 h 54, les 2 moteurs avaient été lancés. Aucun liquide de dégivrage³ ou d'antigivrage⁴ n'a été aspergé sur l'aéronef. Le pilote a demandé et collationné l'autorisation, et a commencé à circuler vers la piste 07 à 11 h 55.

Peu de temps après, l'équipage de conduite de l'aéronef qui venait d'atterrir sur la piste 07 a indiqué avoir eu l'aéroport en vue alors que l'aéronef se trouvait à environ 400 pieds au-dessus du sol, et indiqué que l'efficacité du freinage était passable à mauvaise.

À 11 h 59, le pilote a appelé le contrôleur pour lui dire qu'il se trouvait à l'écart de la piste 07. Personne n'a vu de contamination sur les ailes de l'aéronef pendant qu'on attendait l'autorisation de décoller. Deux minutes plus tard, l'aéronef qui venait d'atterrir a dégagé la piste 07, et le pilote de l'aéronef en cause dans l'événement à l'étude a obtenu l'autorisation de décoller. À 12 h 3, l'aéronef s'est engagé sur la piste 07 recouverte de neige et a amorcé un décollage immédiat.

De 4 à 5 secondes après le décollage, le pilote a placé le levier de commande de manière à escamoter le train d'atterrissage. Pendant l'escamotage du train d'atterrissage, l'aéronef a effectué un roulis d'environ 30° vers la gauche. Pour corriger ce roulis vers la gauche intempestif, le pilote a braqué les ailerons pour tourner vers la droite, et l'aéronef a repris une assiette presque horizontale. Pour effectuer un atterrissage d'urgence immédiat sur un terrain non aménagé, le pilote a réduit les gaz et a poussé sur le manche. L'aéronef a heurté le sol entre la piste 07 et la voie de circulation C, a glissé sur le sol couvert de neige sur une distance d'environ 760 pieds, et s'est immobilisé dans un champ de framboises sur le terrain de l'aéroport.

Lorsque l'aéronef s'est immobilisé, le pilote a placé les leviers FUEL CUTOFF (coupure de l'alimentation en carburant) et FEATHER (mise en drapeau) aux positions FUEL CUTOFF et FEATHER, puis a ordonné aux passagers d'évacuer l'aéronef. Le pilote a quitté le poste de pilotage et a ouvert la porte de la cabine pour aider les passagers à évacuer l'aéronef. Après que tous les occupants eurent évacué l'aéronef, le personnel de sauvetage et de lutte contre les incendies de l'aéroport est arrivé sur place, suivi de membres des services d'incendie et de police d'Abbotsford.

³ Le dégivrage est « une procédure qui consiste à enlever le givre, la glace ou la neige accumulés sur les surfaces critiques d'un aéronef afin d'éliminer la contamination ». (Source: Transports Canada, DORS/96-433, *Règlement de l'aviation canadien*, Norme 622.11 : Opérations dans des conditions de givrage au sol, section 2.0, Définitions.)

⁴ L'antigivrage est « une mesure de précaution visant à empêcher, pendant une certaine période de temps, la formation de givre, de glace et l'accumulation de neige sur les surfaces traitées d'un aéronef ». (Source : *Ibid.*)

1.2 Renseignements sur le personnel

1.2.1 Généralités

Tableau 1. Renseignements sur le personnel

Licence de pilote	Licence de pilote de ligne
Date d'expiration du certificat médical	1 ^{er} septembre 2018
Heures de vol total	Plus de 10 000
Heures de vol sur type	Environ 800
Heures de vol au cours des 7 derniers jours	9,5
Heures de vol au cours des 30 derniers jours	29,6
Heures de vol au cours des 90 derniers jours	108
Heures de service avant l'événement	4
Heures hors service avant la période de travail	13

1.2.2 Commandant de bord

Le pilote détenait une licence de pilote de ligne canadienne – avion et une qualification de type sur le Beechcraft King Air B100. Sa licence portait l'annotation de qualification de vol aux instruments de groupe 1 et était valide jusqu'au 1^{er} septembre 2018.

Le pilote volait depuis 1994 et effectuait des vols commerciaux depuis le début des années 2000. Il a mis sur pied Island Express en 2009. Il était à la fois cadre supérieur responsable et gestionnaire de l'exploitation de l'entreprise.

Il n'a pas été possible de déterminer si le pilote satisfaisait aux exigences minimales en matière de formation, car les dossiers de formation de l'entreprise étaient incomplets. Toutefois, le pilote avait de l'expérience avec le régime de vol aux instruments monopilote et avait suivi une formation le 24 juillet 2017 portant notamment sur l'amorce de décrochage.

Le pilote était frais et dispos, et rien n'indique que la fatigue a joué un rôle dans l'événement à l'étude.

1.2.3 Planification avant vol du pilote

Chez Island Express, le commandant de bord d'un vol accomplissait généralement les tâches de planification du vol, y compris la rédaction d'un plan de vol exploitation (PVE). Toutefois, le pilote en cause dans l'événement à l'étude avait l'habitude de demander à d'autres membres du personnel d'accomplir ces tâches.

Le PVE a été modifié à plusieurs reprises dans les heures qui ont précédé l'événement à l'étude. La destination du premier segment du vol a été changée de l'aéroport international

de Bellingham (KBLI) (Washington, É.-U.) à l'aéroport international Norman Y. Mineta de San Jose (KSJC) (Californie, É.-U.), puis à l'aéroport Bob Hope (KBUR) (Californie), et finalement à l'aéroport international de San Bernardino (KSBD) (Californie).

Le personnel d'Island Express a rempli le PVE pour le vol vers KSJC. Toutefois, comme il était impossible de passer à la douane à KSJC, on a pris des dispositions pour que le vol passe à la douane à KBUR. Avant que le personnel de l'entreprise puisse obtenir l'approbation de passer à la douane à KBUR, le pilote a pris des dispositions pour passer à la douane à KSBD. KSBD est donc devenu la nouvelle destination pour le premier segment du vol vers KLGB. Le pilote a modifié la destination sur le PVE à la main, en biffant « Jose » et en écrivant « Bernadino » [*sic*], puis a signé le PVE pour l'accepter sans avoir d'abord recalculé la quantité de carburant nécessaire.

Le PVE ne reflétait donc pas la route prévue ou la quantité de carburant nécessaire.

1.3 Renseignements sur l'aéronef

1.3.1 Généralités

Tableau 2. Renseignements sur l'aéronef

Constructeur	Beechcraft
Type, modèle et immatriculation	King Air B100, C-GIAE
Année de construction	1976
Numéro de série	BE-8
Date d'émission du certificat de navigabilité / permis de vol	8 septembre 2017
Type de moteur (nombre)	Garrett TPE331-6-511B (2)
Moteur gauche	Numéro de pièce 3101630-1; numéro de série P-27016C
Moteur droit	Numéro de pièce 3101630-3; numéro de série P-20086C
Type d'hélice (nombre)	Hartzell HC-B4TN-5F (2)
Masse maximale autorisée au décollage	11 800 livres (5352 kilos)
Masse maximale autorisée à l'atterrissage	11 210 livres (5085 kilos)
Type(s) de carburant recommandé(s)	Jet A, Jet A-1, Jet B
Type de carburant utilisé	Jet A

L'aéronef en cause dans l'événement à l'étude a été importé des États-Unis en mars 2017 et le programme d'inspection complet de Beechcraft avait été effectué à ce moment. L'aéronef avait cumulé 10 580,4 heures de vol cellule.

Selon le carnet de route de l'aéronef en cause dans l'événement à l'étude, le prochain entretien prévu aurait dû être effectué avant le 20 février 2018 en vertu de la consigne de

navigabilité (CN) CF-1981-25R6,^{5,6}. Cette CN récurrente a pour objet l'inspection des longerons d'aile pour déceler des fissures. La dernière inspection en vertu de cette CN avait été effectuée le 20 février 2017. Il n'existe aucun document attestant que cette inspection avait été exécutée comme elle aurait dû l'être avant l'événement à l'étude. Selon l'article 605.84 du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC), « il est interdit à toute personne d'effectuer [...] le décollage d'un aéronef [...] ou de permettre à toute personne d'effectuer le décollage d'un tel aéronef », et ce, sauf si cet aéronef « est conforme aux consignes de navigabilité délivrées en vertu de l'article 521.427 ». Le non-respect d'une consigne de navigabilité obligatoire fait en sorte qu'un aéronef n'est plus en état de navigabilité.

Rien n'indique qu'une défaillance préalable d'un système ait joué un rôle dans l'événement à l'étude.

1.3.2 Avertisseur de décrochage

L'aéronef en cause dans l'événement à l'étude était doté d'un avertisseur de décrochage comportant un voyant installé du côté gauche de l'écran anti-éblouissement, un disjoncteur et un klaxon, ainsi qu'un détecteur d'angle d'attaque à ailette chauffé recouvert d'une plaque de montage sur le bord d'attaque de l'aile gauche.

Le détecteur d'angle d'attaque mesure les coefficients de portance en fonction de l'angle d'attaque maximal d'un aéronef en configuration lisse⁷. Lorsque le détecteur d'angle d'attaque mesure une pression aérodynamique indiquant qu'un décrochage est sur le point de se produire, un interrupteur électronique est activé et déclenche l'avertisseur de décrochage. Toutefois, le manuel de vol du King Air indique [traduction] « qu'une accumulation de glace sur l'aile peut perturber l'écoulement de l'air et empêcher l'avertisseur de prévenir le pilote d'un décrochage imminent⁸. »

L'enquête n'a pas permis d'établir que l'avertisseur de décrochage a retenti pendant l'événement à l'étude.

⁵ Transports Canada, consigne de navigabilité (CN) CF-1981-25R6, *Raytheon Aircraft Company (formerly Beech) – Wing Main Spar* (date d'entrée en vigueur : 31 décembre 2001).

⁶ Cette CN est équivalente à la CN 89-25-10 de la Federal Aviation Administration (FAA).

⁷ Dans ce contexte, le terme « configuration lisse » signifie que les surfaces critiques de l'aéronef, dont les ailes et les hélices, sont exemptes de givre, de glace ou de neige.

⁸ Beechcraft, *Beechcraft King Air B100 Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual* (révisé en août 2004), p. 7-38.

1.3.3 Systèmes de protection contre le givre

L'aéronef en cause dans l'événement à l'étude était doté d'une gamme complète de systèmes de protection contre le givre⁹, et les interrupteurs de ces systèmes ont été trouvés aux positions adéquates pour le vol dans des conditions givrantes connues.

1.3.4 Masse et centrage

Selon le manuel de vol de l'aéronef, il ne faut pas dépasser les limites de masse et de centre de gravité (CG) lorsqu'on charge l'aéronef. Les performances générales d'un aéronef dont la masse est supérieure à la masse maximale au décollage (11 800 livres) ou à la masse maximale à l'atterrissage (11 210 livres) seront inférieures à ce qui est normalement attendu. Plus particulièrement, une surcharge fait croître la distance de décollage et d'atterrissage, augmente la vitesse de décrochage et réduit le taux de montée, la vitesse de croisière et l'autonomie de l'aéronef. Le BST a précédemment cerné les risques liés à l'exploitation d'un aéronef dont la masse dépasse la masse maximale autorisée et les répercussions d'une telle surcharge sur les performances de l'aéronef¹⁰.

De manière générale, le déplacement vers l'arrière du CG se traduit par une diminution de l'appui aérodynamique de l'empennage et une amélioration des performances de l'aéronef; mais aussi par une diminution de la stabilité longitudinale de l'aéronef¹¹. Selon le manuel de vol de l'aéronef, le pilote d'un aéronef dont le CG se trouve au-delà de la limite arrière [traduction]

constatera une diminution de la stabilité et des forces de commande (accompagnée d'un risque accru de surcharge structurelle pendant les manœuvres), aura de la difficulté à ajuster les compensateurs, et remarquera des caractéristiques de décrochage dégradées et un amortissement directionnel latéral inférieur à la normale¹².

L'enquête a permis de relever un certain nombre d'erreurs relatives à la masse et au centrage sur le PVE. Plus particulièrement, le PVE indiquait que les réservoirs auxiliaires de l'aéronef étaient vides même si ceux-ci contenaient 549 livres de carburant. Il n'y avait pas de balance au hangar d'Island Express, et le poids de plusieurs occupants (dont le pilote et

⁹ Les systèmes de protection contre le givre comprennent des hélices à chauffage électrique, un dégivreur de pare-brise, des boudins de dégivrage de bord d'attaque, des tubes de Pitot chauffés, un avertisseur de décrochage chauffé et des conduites de mises à l'air libre de carburant chauffées.

¹⁰ Rapports d'enquête aéronautique A10Q0117, A12C0154, A13A0075, A13O0125, A13W0120, A14W0181, A15O0031 et A15C0163 du BST.

¹¹ Boeing, « The Effect of High Altitude and Center of Gravity on The Handling Characteristics of Swept-wing Commercial Airplanes », *AERO Magazine* (numéro 02, printemps 1998), disponible à l'adresse https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_02/textonly/fo01txt.html (dernière consultation le 3 juillet 2019).

¹² Beechcraft, *Beechcraft King Air B100 Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual* (révisé en août 2004), p. 10-8.

le passager prenant place à sa droite) était erroné. De plus, la distribution du poids de ces passagers figurant dans le PVE ne correspondait pas aux sièges réellement occupés pendant le vol de l'événement à l'étude.

Selon le PVE, la masse de l'aéronef était de 11 200 livres (c.-à-d. 600 livres sous la masse brute maximale autorisée au décollage de 11 800 livres), et le CG se trouvait à l'intérieur du domaine de vol approuvé. Toutefois, en fonction du poids réel des occupants, des bagages et du carburant, l'enquête a permis d'établir que la masse de l'aéronef était d'environ 12 000 livres et que le CG se trouvait près de la limite arrière du domaine approuvé.

On ne s'est pas assuré que les bagages étaient chargés adéquatement pendant l'inspection avant vol.

1.3.5 Soute à bagages arrière

La soute à bagages arrière pouvait contenir un maximum de 410 livres de bagages¹³. De plus, tous les bagages devaient être arrimés à l'aide d'un dispositif d'arrimage approuvé par la FAA¹⁴. Lors de l'événement à l'étude, les passagers ont placé environ 480 livres de bagages dans la soute arrière, et ces bagages ont été arrimés à l'aide d'un filet. L'enquête n'a pas permis d'établir si ce filet était un dispositif d'arrimage approuvé.

Pendant la séquence d'impact, le filet n'a pas retenu les bagages dans la soute arrière. L'un des points de fixation du filet sur le plancher de l'aéronef a été arraché, et le filet s'est libéré des autres points de fixation. Certains bagages ont été projetés vers l'avant dans la cabine et ont heurté les passagers prenant place à l'arrière de la cabine.

Le BST a précédemment cerné les risques relatifs aux bagages mal arrimés et aux limites de masse non respectées d'une soute à bagages¹⁵.

1.4 Renseignements météorologiques

1.4.1 Généralités

Dans les heures précédant l'événement à l'étude, la région d'Abbotsford était sous l'influence d'un système dépressionnaire (annexe A) accompagné de neige, de visibilité réduite et de températures d'environ -2 °C. Lors de l'événement à l'étude, du givrage mixte modéré était prévu dans les nuages entre 3000 pieds et 14 000 pieds au-dessus du niveau de la mer (annexe B).

¹³ *Ibid.*, p. 1-10.

¹⁴ *Ibid.*, p. 2-13.

¹⁵ Rapports d'enquête aéronautiques A01P0194, A04W0114, A06P0095, A10P0147, A10Q0117, A14A0067, A15A0045 et A16P0180 du BST.

1.4.2 Messages d'observation météorologique régulière pour l'aviation

Les renseignements figurant dans le tableau 3 proviennent des messages d'observation météorologique régulière d'aérodrome (METAR) émis à CYXX dans les heures précédant l'événement à l'étude et peu de temps après celui-ci.

Tableau 1. Renseignements des METAR émis à CYXX le jour de l'événement à l'étude (source : NAV CANADA)

Heure	Vents	Visibilité (milles terrestres)	Intensité des chutes de neige	Plafond (pieds)	Température	Point de rosée
11 h	Calmes	1/2 sm	Modérée	Ciel couvert à 1000 pi.	-2 °C	-3 °C
11 h 27	080° vrais à 3 nœuds	5/8 sm	Modérée	Ciel couvert à 700 pi.	-2 °C	-3 °C
12 h*	Variables à 2 nœuds	3/8 sm	Modérée	Nuages fragmentés à 600 pi.	-2 °C	-3 °C
1212	Calmes	3/8 sm	Modérée	Nuages fragmentés à 600 pi.	-2 °C	-3 °C
12 h 47	190° vrais à 8 nœuds	1/2 sm	Modérée	Nuages fragmentés à 600 pi.	-2 °C	-3 °C
13 h	200° vrais à 5 nœuds	3/4 sm	Faible	Nuages fragmentés à 800 pi.	-1 °C	-3 °C

* Le METAR de 12 h était le bulletin météorologique en vigueur au moment de l'événement à l'étude.

L'enquête a permis d'établir, au moyen des données sur l'accumulation de neige de l'aéroport d'Abbotsford, que le taux d'accumulation de neige avait augmenté à environ 2 cm par heure pendant la demi-heure précédant l'événement à l'étude¹⁶. À ce taux, on estime à 4 ou 5 mm la quantité de neige qui est tombée sur l'aéronef entre le moment où il a quitté le hangar et le moment où il s'est engagé sur la piste.

Selon les renseignements météorologiques de la région, il y avait peut-être une couche d'air humide d'une température de près de 0 °C au-dessus de la surface. Cela pourrait avoir entraîné la formation de neige mouillée composée de flocons partiellement fondus et contenant plus d'eau que de la neige sèche à la température de la surface de -2 °C.

1.4.3 Cote d'intensité des chutes de neige

Dans l'élaboration des METAR, des messages d'observation météorologique spéciale d'aérodrome (SPECI) et des bulletins du service automatique d'information de région

¹⁶ Les données sur l'accumulation de neige proviennent d'Environnement et Changement climatique Canada et de NAV CANADA.

terminale (ATIS), la visibilité est utilisée pour estimer l'intensité des chutes de neige en fonction des lignes directrices suivantes :

- **Faible** : la visibilité est d'au moins $\frac{5}{8}$ de mille.
- **Modérée** : les précipitations tombent isolément et la visibilité est de $\frac{1}{2}$ mi ou $\frac{3}{8}$ de mille.
- **Fort** : les précipitations tombent isolément et la visibilité est de $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{8}$ de mille, ou de 0 mi.

Remarque : « Isolément » signifie en l'absence d'autres précipitations ou d'obstacles à la vue au même moment¹⁷.

L'intensité des chutes de neige est une donnée essentielle à l'établissement du délai d'efficacité du liquide de dégivrage et d'antigivrage¹⁸. Au lieu de se fier seulement à la visibilité pour évaluer l'intensité des chutes de neige, l'industrie et les organismes de réglementation ont élaboré un tableau sur l'intensité des chutes de neige qui tient compte de l'éclairage ambiant, de la plage de températures et de la visibilité (tableau 4).

Tableau 2. Intensités des chutes de neige en fonction de la visibilité dominante (Source : Transports Canada, Guide de Transports Canada sur les durées d'efficacité : Hiver 2018-2019, Tableau 40, p. 50)

Éclairage ambiant	Plage de températures		Visibilité par température neigeuse en milles terrestres (mètres)			
	°C	°F	Fortes	Modérées	Légères	Très légères
Obscurité	-1 et au-dessus	30 et au-dessus	≤1 (≤1600)	>1 à 2½ (>1600 à 4000)	>2½ à 4 (>4000 à 6400)	>4 (>6400)
	Au-dessous de -1	Au-dessous de 30	≤3/4 (≤1200)	>3/4 à 1½ (>1200 à 2400)	>1½ à 3 (>2400 à 4800)	>3 (>4800)
Lumière du jour	-1 et au-dessus	30 et au-dessus	≤½ (≤800)	>½ à 1½ (>800 à 2400)	>1½ à 3 (>2400 à 4800)	>3 (>4800)
	Au-dessous de -1	Au-dessous de 30	≤3/8 (≤600)	>3/8 à 7/8 (>600 à 1400)	>7/8 à 2 (>1400 à 3200)	>2 (>3200)

Selon les renseignements météorologiques pour CYXX (période de clarté, température de -2 °C et visibilité de 3/8 sm), les conditions au moment de l'événement à l'étude

¹⁷ Environnement et changement climatique Canada, *Manuel d'observations météorologiques de surface*, Huitième édition (février 2019), section 6.6.2.5.3: Intensité en fonction de la visibilité, p. 6-39.

¹⁸ Le délai d'efficacité est « l'estimation de la période de temps au cours de laquelle les fluides de dégivrage et d'antigivrage sont efficaces afin d'empêcher la formation de givre ou de glace ou l'accumulation de neige sur les surfaces traitées. Cette période s'étend dès le début de la dernière application du fluide de dégivrage ou d'antigivrage jusqu'à ce que le produit n'ait plus d'effets. » (Source : Transports Canada, DORS/96-433, *Règlement de l'aviation canadien*, Norme 622.11 : Opérations dans des conditions de givrage au sol, section 2.0, Définitions.)

correspondaient à de fortes chutes de neige. D'après les lignes directrices de Transports Canada (TC) relatives au liquide de dégivrage et d'antigivrage¹⁹, il n'y a pas d'exigences relatives au délai d'efficacité pour les fortes chutes de neige, et ce, peu importe le type de liquide utilisé et la température. En d'autres termes, lors de fortes chutes de neige, on considère que le liquide de dégivrage et d'antigivrage n'est pas un moyen efficace de réduire les risques de contamination pendant les opérations au sol. Dans les lignes directrices internationales relatives au délai d'efficacité, les chutes de neige fortes sont dans la même catégorie que les granules de glace, la pluie verglaçante modérée et forte, la grêle de petit diamètre et la grêle^{20,21,22}.

1.5 Renseignements sur l'aérodrome

CYXX se trouve à 194 pieds au-dessus du niveau de la mer. L'aérodrome compte 2 pistes d'atterrissage : la piste 07/25, de 9597 pieds de longueur et de 200 pieds de largeur avec une surface en asphalte et en béton; et la piste 01/19, de 5328 pieds de longueur et de 200 pieds de largeur avec une surface en asphalte.

Au nord de la piste 07 se trouve la voie de circulation parallèle C. Un champ de framboises se trouve sur le terrain de l'aéroport au nord de la voie de circulation C.

À 11 h 27, le message ATIS indiquait les conditions suivantes pour la surface de la piste 07 : trace de neige sèche à 80 %, surface nue et mouillée à 20 %. Les renseignements sur l'état de la piste du message ATIS de 11 h 27 étaient tirés d'observations effectuées à 10 h 48 qui avaient justifié l'émission d'un avis SNOWTAM/NOTAMJ²³. Les renseignements sur l'état de la piste n'avaient pas été mis à jour pour tenir compte de l'augmentation de l'intensité des chutes de neige entre le moment où le SNOWTAM/NOTAMJ de 10 h 48 a été émis et le moment où s'est produit l'événement à l'étude. Toutefois, juste avant l'événement à l'étude, des membres du personnel d'opérations au sol ont rapporté que le coefficient canadien de

¹⁹ Transports Canada, *Guide de Transports Canada sur les durées d'efficacité : Hiver 2018-2019* (version originale : 7 août 2018).

²⁰ *Ibid.*

²¹ Federal Aviation Administration, *FAA Holdover Time Guidelines Winter 2018-2019* (publication originale le 7 août 2018).

²² Organisation de l'aviation civile internationale, document 9640, *Manuel sur les activités de dégivrage et d'antigivrage au sol des aéronefs*, troisième édition (2018).

²³ « Les NOTAMJ et les SNOWTAM sont les types de NOTAM utilisés pour aviser les utilisateurs de la présence ou de la suppression de conditions dangereuses comme la neige, la glace, la neige fondante ou l'eau stagnante associées à la neige et au freinage des surfaces des pistes en conformité avec les exigences publiées en matière de diffusion de rapports. » (Source : NAV CANADA, « NOTAMJ/SNOWTAM, » disponible à l'adresse https://ais.navcanada.ca/Documents/User_Manual_ACS-FR.pdf [dernière consultation le 3 juillet 2019])

frottement sur piste (CRFI)²⁴ était de 0,18, que les conditions changeaient rapidement à mesure que les chutes de neige s'intensifiaient, et qu'ils se préparaient à balayer la piste au moment où l'aéronef en cause décollait. Un CRFI de 0,18 est la valeur la plus basse publiée par TC pour la correction de la distance d'atterrissage sur une piste contaminée.²⁵

1.6 Enregistreurs de bord

L'aéronef en cause n'était pas pourvu d'un enregistreur de conversations de poste de pilotage (CVR) ni d'un enregistreur de données de vol (FDR), et la réglementation ne l'exigeait pas.

1.6.1 Recommandation du BST sur l'installation obligatoire de systèmes d'enregistrement de données de vol légers

Le 13 octobre 2016, un aéronef Cessna Citation 500 en exploitation privée s'est écrasé peu de temps après le décollage. Il n'y a eu aucun survivant. Cet aéronef n'était pas doté d'un CVR ni d'un FDR. À la suite de cet accident, le BST a recommandé (A18-01) que TC rende obligatoire l'installation de systèmes d'enregistrement des données de vol légers à bord des aéronefs d'exploitants commerciaux et privés qui ne sont pas actuellement tenus d'en avoir²⁶. En septembre 2018, TC a répondu à cette recommandation en indiquant qu'on travaillerait de concert avec l'industrie pour encourager l'installation volontaire de FDR et de systèmes d'enregistrement des données de vol légers. Toutefois, TC n'a pas produit d'échéancier pour les mesures proposées. Par conséquent, la réponse à la recommandation A18-01 est jugée en partie satisfaisante²⁷.

1.7 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.7.1 Examen de l'épave

Le point d'impact se trouvait entre la piste 07 et la voie de circulation C. Le sol au point de collision initial était plat et n'était pas gelé au moment de l'événement à l'étude. Toutefois, il était recouvert d'environ 3 cm de neige. Après la collision initiale avec le relief, l'aéronef a

²⁴ Le coefficient canadien de frottement sur piste est une mesure des forces de décélération qui agissent sur un véhicule dont les freins sont serrés. Ce coefficient varie de 1 à 0. Un coefficient de 1 correspond à la capacité de décélération maximale théorique d'un véhicule sur une surface sèche, et une valeur de 0 indique un faible coefficient de frottement de freinage.

²⁵ Transports Canada, *Manuel d'information aéronautique de Transports Canada (TC AIM)*, AIR – Discipline aéronautique (11 octobre 2018), section 1.6.6, tableau 4.

²⁶ Rapport d'enquête aéronautique A16P0186 du BST.

²⁷ Une évaluation **Attention en partie satisfaisante** est assignée quand les mesures prises ou envisagées permettront d'atténuer la lacune, sans toutefois la réduire considérablement ou l'éliminer, et que des progrès significatifs ont été réalisés depuis la formulation de la recommandation. Le BST fera un suivi auprès de l'intéressé afin d'établir ce qui pourrait permettre d'atténuer davantage les risques découlant de la lacune. Le BST réévaluera la lacune annuellement ou au besoin.

glissé sur le sol et la voie de circulation C sur une distance d'environ 760 pieds, puis s'est immobilisé dans un champ de framboises situé à environ 800 pieds à la gauche de l'axe de la piste et à environ 7500 pieds du seuil de la piste (figure 1). Pendant la séquence d'impact, l'aile gauche s'est rompue tout juste à l'extérieur de la nacelle moteur gauche.

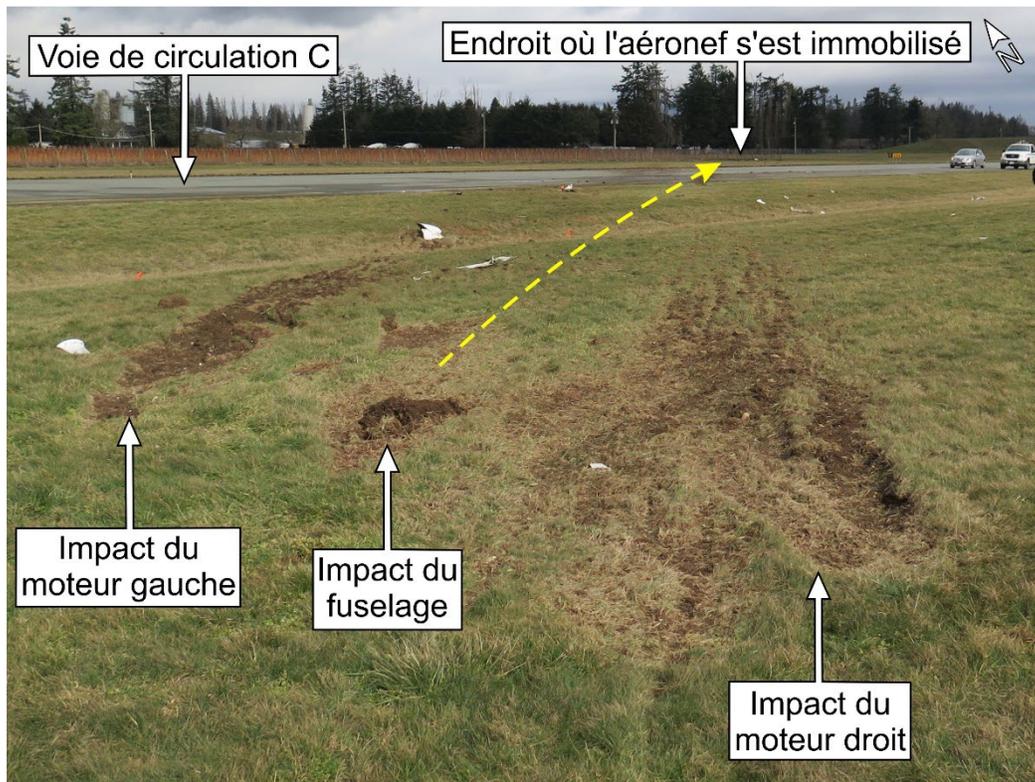
Figure 1. Aéronef en cause dans l'événement à l'étude, à l'endroit où il s'est immobilisé (source : Transports Canada)



L'examen du point initial de collision avec le relief a permis de déceler 3 marques distinctes au sol (figure 2). Il y avait 2 longues marques au sol correspondant à l'impact du dessous des nacelles moteurs de chaque côté d'une marque correspondant à l'impact du dessous du fuselage. La profondeur maximale de cette dernière marque a été estimée à plus de 1 pouce (2,5 centimètres). L'écrasement du dessous du fuselage et des nacelles des moteurs et l'absence de signes de contact entre le saumon de l'aile droite et le sol indiquent que l'aéronef volait presque à l'horizontale lorsqu'il a heurté le sol. Les marques de cisaillement vertical de chaque côté du fuselage témoignent de la grande force d'impact vers le haut transmise par les longerons d'aile lorsque les nacelles moteurs ont heurté le sol.

Le Laboratoire d'ingénierie du BST a effectué des calculs de performance qui lui ont permis d'estimer à au moins 20 pi/s la vitesse de descente de l'aéronef au moment de l'écrasement (c.-à-d. au début de la séquence d'impact).

Figure 2. Point de collision initial avec le sol et direction de l'aéronef (photo prise le 27 février 2018; source : BST)



Des représentants de Textron Aviation, de Hartzell Propeller Inc. et de Honeywell Aerospace ont participé à l'examen de l'épave aux installations régionales du BST à Richmond (Colombie-Britannique).

Pendant l'examen de l'épave, les hélices ont été déposées et examinées par le BST avec l'aide d'un représentant de leur fabricant. Cet examen n'a pas permis de constater de condition préexistante qui aurait pu empêcher le fonctionnement normal de l'une ou l'autre des hélices. Les dommages aux pales et les marques de frottement sur le cylindre du mécanisme de contrôle des hélices laissent croire que les 2 hélices tournaient presque au ralenti au moment de l'impact, ce qui correspond à la réduction de la puissance par le pilote avant de toucher le sol.

Les 2 moteurs ont été déposés et expédiés aux installations de Honeywell Aerospace à Phoenix (Arizona) aux fins d'un démontage et d'un examen en présence d'un enquêteur du BST. Pendant le démontage et l'examen des moteurs, on a constaté des dommages indiquant que les moteurs tournaient et fonctionnaient au moment de l'impact avec le sol. Des essais de fonctionnement du circuit de commande des moteurs, des régulateurs des hélices et des commandes de carburant ont été effectués, et aucune anomalie qui aurait pu empêcher le fonctionnement normal des moteurs n'a été constatée.

En raison des dommages causés par l'impact, il n'a pas été possible de confirmer avec certitude l'intégrité de l'avertisseur de décrochage. Toutefois, l'élément chauffant

fonctionnait normalement lorsque le circuit a été alimenté en électricité pendant les examens de l'épave.

L'analyse d'échantillons de carburant prélevés dans la cuve du filtre de la pompe à carburant de chaque moteur n'a permis de constater aucune anomalie.

Le dispositif de navigation par GPS (système de positionnement mondial) Garmin Aera 696 de l'aéronef en cause a été envoyé au Laboratoire d'ingénierie du BST à Ottawa (Ontario), et toutes les données disponibles ont été extraites avec succès.

1.8 Blessures

Tous les occupants ont été transportés à l'hôpital après l'événement à l'étude. Les occupants (et particulièrement les adultes) ont tous subi des blessures par flexion (*jackknife injury*). Ce type de blessure se produit généralement lorsqu'une personne subit des forces d'impact tout en étant retenue à la hanche seulement par une ceinture sous-abdominale, et que les parties supérieure et inférieure de son corps se replient l'une contre l'autre. Dans une telle situation, les blessures se produisent généralement lorsqu'une personne se heurte à une surface.

Les occupants des 2 sièges du poste de pilotage ont subi des blessures à la tête (c.-à-d. fractures et lacérations du visage) et des blessures par tassement (c.-à-d. des fractures vertébrales) graves. Le passager assis dans le siège de droite du poste de pilotage a perdu conscience et a dû être porté jusqu'à l'extérieur de l'aéronef.

En plus de subir des blessures par flexion, les passagers assis dans la cabine ont subi différentes blessures découlant de la séquence d'impact. Deux des adultes qui prenaient place dans la cabine ont subi des blessures par tassement et des fractures vertébrales. Par ailleurs, les blessures qu'ont subies les adultes et les enfants assis dans la cabine ont été causées par des impacts avec des articles qui n'étaient pas fixés, des sièges qui se sont détachés et d'autres passagers.

1.9 Questions relatives à la survie des occupants

1.9.1 Ceintures-baudriers de l'équipage de conduite

Selon le paragraphe 101.01 (1) du RAC, une ceinture de sécurité est un « [d]ispositif de retenue individuel qui se compose soit d'une ceinture sous-abdominale, soit d'une ceinture sous-abdominale et d'une ceinture-baudrier ». Le paragraphe 605.27 (3) du RAC indique qu'au moins 1 pilote doit porter une ceinture de sécurité en tout temps, et l'alinéa 605.27 (1)(a) du RAC indique que tous les membres de l'équipage de conduite doivent porter une ceinture de sécurité au décollage et à l'atterrissage.

Selon l'article 605.24 du RAC, la réglementation n'exige pas que les petits avions construits avant le 18 juillet 1978 soient munis de ceintures-baudriers. Même si l'aéronef en cause dans l'événement à l'étude a été construit en 1976, les sièges pilotes étaient pourvus de

ceintures-baudriers. Le RAC ne stipule pas spécifiquement si les ceintures-baudriers installées doivent être portées, sauf à l'article 705.29 (1), qui s'applique seulement aux exploitants assujettis à la sous-partie 705 du RAC. Toutefois, selon TC, le port de la ceinture-baudrier est obligatoire lorsque l'aéronef en est doté, afin de satisfaire aux exigences en matière de ceinture de sécurité.

Dans l'événement à l'étude, le pilote et le passager assis dans le siège de droite du poste de pilotage ne portaient pas les ceintures-baudriers dont l'aéronef était doté. Ils ont donc subi de graves blessures à la tête pendant la séquence d'impact.

1.9.2 Sièges passagers

Certains sièges passagers se sont détachés du plancher de l'aéronef durant la séquence d'impact. Tous les sièges passagers ont donc été examinés. Aucun siège occupé par une personne de moins de 75 livres n'a été endommagé pendant l'écrasement. Toutefois, tous les sièges occupés par des personnes de plus de 75 livres ont été endommagés par les forces d'impact durant l'écrasement.

Les sièges devaient satisfaire aux exigences de certification de la norme technique (TSO) 39a, qui était en vigueur au moment de la construction de l'aéronef. En vertu de la norme TSO-39a et de sa version ultérieure, les sièges des aéronefs de catégorie II (normale ou utilitaire) doivent résister à une charge d'inertie vers le bas d'au moins 7,0 *g* produite par un passager d'un poids standard de 190 livres et le poids du siège. Comme les passagers ont subi des forces d'impact verticales se situant entre 8,5 *g* et 14,3 *g*, les sièges de l'aéronef en cause se sont comportés comme prévu compte tenu de ces forces.

1.9.3 Radiobalise de repérage d'urgence

L'aéronef en cause était muni d'une radiobalise de repérage d'urgence (ELT) Artex émettant sur la fréquence de 406 MHz. L'ELT s'est déclenchée au moment de l'impact et a transmis un signal qui a été capté par le système de recherche et sauvetage assisté par satellite Cospas-Sarsat.

1.10 Essais et recherche

1.10.1 Analyse des performances

Pendant l'enquête, on a analysé les données du radar secondaire de surveillance de NAV CANADA situé à proximité de CYXX, les données du GPS Garmin Aera 696 installé à bord de l'aéronef et les enregistrements du système de télévision en circuit fermé (CCTV) de l'aéroport. Les données du radar et du GPS ont permis d'obtenir de l'information sur le profil de vol de l'aéronef. Les enregistrements du système CCTV ont permis d'établir la période pendant laquelle l'aéronef a été exposé aux chutes de neige avant le décollage.

L'enquête a établi que l'aéronef a décollé à une vitesse indiquée entre 100 et 110 nœuds (KIAS). La vitesse de rotation indiquée au manuel de vol de l'aéronef pour un décollage

normal (c.-à-d. avec les volets escamotés) est de 97 KIAS (vitesse indiquée en nœuds). La vitesse d'envol estimée correspondait donc à la vitesse de rotation précisée. L'aéronef a atteint une vitesse maximale de quelque 110 KIAS environ 10 secondes après avoir quitté le sol. Il a ensuite ralenti avant de heurter le sol à environ 100 KIAS. Si l'on suppose que la décélération était constante, l'aéronef a glissé pendant 8 à 9 secondes avant de s'immobiliser.

L'enquête a permis d'établir que l'aéronef a quitté le sol après une course d'environ 3300 pieds et qu'il est demeuré dans les airs sur une distance d'environ 3500 pieds. Il restait environ 2800 pieds de piste au-delà du point d'impact.

Selon le manuel de vol de l'aéronef, celui-ci devrait atteindre sa vitesse de rotation sur environ 1700 pieds²⁸. Une analyse des renseignements disponibles laisse croire que la combinaison de l'augmentation graduelle de la puissance et de la résistance au roulement accrue de la piste contaminée a entraîné une course au décollage plus longue. Une fois que l'aéronef a quitté le sol, son accélération a diminué jusqu'à ce qu'il heurte le sol.

La dernière mesure de l'altitude valide a été effectuée par le radar environ 8 secondes avant l'impact. Une analyse de l'impact a permis au BST d'estimer que la vitesse verticale au moment de l'impact était de 1200 pi/min. Les vitesses verticale et horizontale au moment de l'impact permettent de calculer un angle de trajectoire de vol final de -6,8°. Les données du radar et du GPS et la trajectoire d'impact ont permis d'établir le profil vertical complet du vol dans l'événement à l'étude. L'aéronef a atteint un taux de montée maximal d'environ 1000 pi/min, puis a cessé de monter dans les 5 secondes du décollage, lorsqu'il a atteint son altitude maximale d'environ 100 pieds au-dessus de la piste. Toutefois, il se peut que l'aéronef n'ait pas dépassé 75 pieds en raison de la précision de l'altitude indiquée par le transpondeur mode S²⁹. L'altitude a ensuite diminué jusqu'à l'impact (annexe C).

1.10.2 Températures froides et contamination par la neige

La surface extérieure de l'aéronef était principalement faite d'aluminium, un matériau qui refroidit rapidement en raison de sa conductivité thermique élevée. Certaines surfaces refroidissent rapidement jusqu'à 0 °C (généralement en quelques minutes) lorsqu'un aéronef quitte un hangar chauffé et entre en contact avec de l'air sous le point de congélation. Même si les réservoirs de carburant dans les ailes contenaient peut-être du carburant chaud, il a été établi que le carburant chaud dans les ailes n'empêche pas toutes les surfaces d'un aéronef d'atteindre le point de congélation³⁰. De plus, différentes parties de l'aéronef (p. ex., les bords d'attaque, les saumons d'ailes, les ailerons, les volets et

²⁸ À la masse maximale au décollage, sur une piste dégagée, sèche et de niveau, avec la puissance de décollage réglée au moment de relâcher les freins.

²⁹ Un transpondeur mode S transmet l'altitude en incréments de 25 pieds.

³⁰ APS Aviation Inc., TP 13482E, *Evaluation of Warm Fuel as an Alternative Approach to Deicing* (octobre 1999), p. viii à ix.

l'empennage) ne contiennent pas de carburant et refroidissent donc à un taux différent des parties qui en contiennent.

Des essais de refroidissement ont été effectués au Laboratoire d'ingénierie du BST en faisant passer un composant d'aéronef typique fait d'aluminium léger d'une température de 20 °C à l'intérieur à une température de -5 °C à l'extérieur (annexe D). Le refroidissement initial était rapide et a atteint un taux de 10 °C par minute. Le taux de refroidissement a diminué à mesure que la température du composant baissait, et le composant a atteint le point de congélation après environ 7 minutes d'exposition au froid.

Pendant les essais de refroidissement, les premiers flocons de neige qui ont touché les composants chauds ont fondu, puis ont formé des gouttelettes d'eau de 1 à 2 millimètres. Le taux de fonte a diminué à mesure que la surface refroidissait (rapidement), et on a observé un mélange de gouttelettes d'eau et de flocons partiellement fondus (annexe D, figure D1). Lorsque la surface a atteint 0 °C, les gouttelettes d'eau ont commencé à se transformer en cristaux de glace (annexe D, figure D2). Alors que la neige continuait de tomber, les flocons ont commencé à se fusionner à la couche de précipitations partiellement fondues et regelées, ce qui a entraîné la formation d'une surface très irrégulière d'une épaisseur maximale de 3 millimètres et très difficile à voir sur la peinture blanche (annexe D, figure D3). Les tentatives pour décoller cette couche de contamination à l'aide d'un écoulement d'air ou d'une accélération rapide se sont soldées par des échecs, ce qui suggère qu'elle ne se détacherait pas de la surface pendant un décollage. Une partie de la contamination vue sur l'épave était le résultat de ce même processus de fonte et de regel, et une partie de cette contamination existait probablement déjà avant l'écrasement (annexe D, figure D4).

Les essais de refroidissement ont produit des résultats semblables à des recherches antérieures, ainsi qu'à l'écrasement d'un aéronef Fokker F-28 d'Air Ontario survenu à Dryden (Ontario) en 1989. Dans le cas de l'accident de Dryden, on a estimé que la couche de neige mouillée a totalement gelé en 2 à 4 minutes, et qu'un gel partiel se serait produit plus rapidement³¹. Même si l'aéronef en cause dans l'accident de Dryden était entièrement refroidi, car il venait d'atterrir après un vol précédent, les conditions étaient comparables à celles de l'événement à l'étude.

1.10.3 Rapports de laboratoire du BST

Le BST a produit le(s) rapport(s) de laboratoire suivant(s) dans le cadre de la présente enquête :

- LP094/2018 – Flight Path Analysis [analyse de la trajectoire de vol]
- LP096/2018 – Structural/Impact Analysis [analyse de la structure et de l'impact]

³¹ M. M. Oleskiw, Rapport NRC-32124 du Conseil national de recherches Canada, Précipitation glaçante sur les surfaces portantes (septembre 1991), dans les annexes techniques du document intitulé *Commission d'enquête sur l'écrasement d'un avion de Air Ontario à Dryden (Ontario) – Rapport final* (1992).

- LP112/2018 – Analysis of Engine and Flight Instruments [analyse du moteur et des instruments de vol]

1.11 Renseignements sur les organismes et sur la gestion

1.11.1 Généralités

Island Express Air Inc. est un transporteur aérien, dont les propriétaires et exploitants sont locaux, qui offre des services réguliers vers Abbotsford, Vancouver, Victoria et Nanaimo, ainsi que des services nolisés vers différentes destinations en Colombie-Britannique et aux États-Unis. Au moment de l'événement à l'étude, l'entreprise exploitait un parc d'aéronefs en vertu des sous-parties 703 (taxi aérien) et 702 (travaux aériens) du RAC, et était certifiée pour le vol à vue de jour et de nuit (VFR) et le vol aux instruments (IFR). L'entreprise a commencé ses activités en 2009 avec 1 seul aéronef. Elle possédait les 10 aéronefs suivants au moment de l'événement à l'étude :

- 1 Piper PA-28 Cherokee Warrior
- 1 Piper PA-32 Cherokee Six
- 3 Piper PA-31 Navajo
- 3 Piper PA-31 Chieftain
- 2 Beechcraft B100 King Air

Island Express n'avait pas de système de gestion de la sécurité (SGS) et n'était pas tenue d'en avoir un d'après la réglementation.

1.11.2 Historique de la surveillance effectuée par Transports Canada

Le 7 février 2018, Island Express a reçu une lettre de TC à propos de sa capacité d'accomplir des travaux aériens et des activités de taxi aérien en conformité avec le RAC. TC a rédigé cette lettre après avoir effectué une inspection de validation de programme en décembre 2017 pour indiquer à l'entreprise qu'elle songeait à suspendre son certificat d'exploitation. Dans cette lettre, TC indiquait que ses activités de surveillance lui avaient permis de [traduction] « constater de vastes lacunes relatives à l'équipement, à la formation du personnel et aux processus d'exploitation d'Island Express, qui se sont traduites par des activités présentant d'importantes non-conformités »³². TC a aussi formulé les préoccupations suivantes :

- Les équipages de conduite pilotaient des aéronefs qui n'étaient pas en état de navigabilité.
- Des défaillances n'ont pas été notées dans le carnet de route des aéronefs, ou ont été notées sans être corrigées.

³² Transports Canada, lettre du service Opérations, région du Pacifique à Island Express Air Inc., 7 février 2018.

- Le défaut de maintenir un programme d'assurance de la qualité pour assurer l'efficacité et la conformité au RAC du système de contrôle de la maintenance et des calendriers d'entretien.
- On a permis à des personnes qui n'avaient pas participé au programme de formation approuvé d'Island Express d'agir comme membres de l'équipage de conduite de vols nolisés et réguliers.³³

Island Express a eu l'occasion de répondre à ces préoccupations; toutefois, elle a reçu le 21 février 2018 un avis de suspension entrant en vigueur le 28 mars 2018. Cet avis a été émis en vertu de l'alinéa 7.1 (1)(c) de la *Loi sur l'aéronautique*, qui est utilisé lorsque l'intérêt public requiert une suspension pour des raisons de sécurité. Dans cette lettre, TC a indiqué ce qui suit [traduction] :

même si les mesures énoncées répondent aux motifs de la suspension, elles ne démontrent pas qu'Island Express est capable d'effectuer le contrôle opérationnel nécessaire pour assurer la conformité et la sécurité de ces activités, comme l'exige l'article 703.07 du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC).³⁴

Dans cette lettre, TC a soulevé un certain nombre de préoccupations pour justifier l'émission d'un avis de suspension pour des raisons d'intérêt public, y compris les suivantes :

- Activités présentant d'importantes non-conformités, dont certaines ont entraîné des amendes.
- 11 activités de surveillance officielles depuis la certification initiale en 2009, dont 3 ont justifié une surveillance accrue.
- 47 situations de non-conformités potentielles liées à la remise en service technique et aux qualifications des équipages de conduite.
- Préoccupations ayant illustré une incapacité d'effectuer des activités en conformité avec le RAC³⁵.

Dans les semaines qui ont précédé l'événement à l'étude, TC a informé le pilote qu'il ne pouvait pas utiliser l'aéronef King Air de l'entreprise pour transporter des membres de sa famille, car il n'était pas titulaire d'un document d'enregistrement d'exploitant privé, comme l'exige le paragraphe 604.03 (1) du RAC. Le pilote a répondu qu'il effectuerait ce vol comme n'importe quel autre vol nolisé effectué par Island Express en vertu de la sous-partie 703 du RAC³⁶.

³³ *Ibid.*

³⁴ Transports Canada, lettre du service Opérations, Aviation civile à Island Express Air Inc., 21 février 2018.

³⁵ *Ibid.*

³⁶ Les vols effectués en vertu de la sous-partie 703 sont assujettis à une réglementation plus serrée que les vols privés.

Après l'événement à l'étude, soit le 28 février 2018, un avis de suspension a été transmis à Island Express en vertu du paragraphe 7 (1) de la *Loi sur l'aéronautique*, qui est utilisé pour émettre une suspension en cas de danger immédiat pour la sécurité aérienne. Dans sa justification, TC a cité les préoccupations soulevées dans l'avis de suspension du 21 février 2018, et d'autres non-conformités potentielles liées au vol effectué par le pilote juste avant le vol de l'événement à l'étude. Dans cet avis de suspension immédiate, TC a aussi indiqué que le PVE n'était pas conforme aux exigences de l'article 703.18³⁷ du RAC, et que le pilote s'était autorisé lui-même à décoller, d'une manière non conforme à la section 2.3 du guide d'exploitation d'Island Express, en vertu duquel un PVE doit être soumis pour chaque vol.

Depuis l'événement, Island Express a été vendue à un nouveau propriétaire, et le personnel de l'entreprise comprend maintenant un nouveau cadre supérieur responsable, un nouveau gestionnaire de l'exploitation et un nouveau responsable de l'entretien.

Le 26 juin 2018, on a remis à Island Express son certificat d'exploitation après que l'entreprise se soit soumise à un processus de recertification de TC.

1.12 Renseignements supplémentaires

1.12.1 Givrage

1.12.1.1 Généralités

L'aéronef en cause dans l'événement à l'étude était certifié pour le vol dans des conditions de givrage, conformément à la norme définie à l'annexe C du chapitre 525 du *Manuel de navigabilité*³⁸. Toutefois, selon le manuel de vol de l'aéronef, certaines conditions de givrage peuvent dépasser les capacités de ses dispositifs de protection ou compromettre les performances et la pilotabilité de l'aéronef.³⁹

1.12.1.2 Capacités de dégivrage d'Island Express Air Inc.

Au moment de l'événement à l'étude, du liquide de dégivrage de type I était disponible chez Island Express.

³⁷ Selon le paragraphe 703.18(1) du RAC « Il est interdit à l'exploitant aérien de permettre à une personne de commencer un vol, à moins qu'un plan de vol exploitation conforme aux *Normes de service aérien commercial* n'ait été établi conformément aux procédures précisées dans le manuel d'exploitation de la compagnie ».

³⁸ Cette annexe est identique à l'annexe C de la partie 25 des *Federal Aviation Regulations* (FAR) des États-Unis.

³⁹ Beechcraft, *Beechcraft King Air B100 Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual* (révisé en août 2004), p. 2-14.

1.12.1.3 Givrage au sol

Lorsqu'elles adhèrent à un aéronef, la neige et la glace peuvent avoir d'importantes répercussions sur les performances. C'est pourquoi l'article 602.11 du RAC stipule qu'il « est interdit d'effectuer ou de tenter d'effectuer le décollage d'un aéronef si du givre, de la glace ou de la neige adhèrent à toutes surfaces critiques »⁴⁰, une situation connue sous le nom de « givrage au sol ». Le RAC stipule aussi que « lorsque les conditions sont telles qu'il est raisonnable de prévoir que du givre, de la glace ou de la neige pourraient adhérer à l'aéronef »⁴¹ et que l'aéronef n'est pas exploité en vertu de la sous-partie 5 de la partie VII ou assujéti au programme d'inspection des aéronefs d'un exploitant⁴², il doit être « inspecté immédiatement avant le décollage pour déterminer si du givre, de la glace ou de la neige adhèrent à toutes surfaces critiques »⁴³.

Dans l'article 622.11 du RAC, intitulé « Opérations dans des conditions de givrage au sol », on définit 2 types d'inspection : l'inspection des surfaces critiques et l'inspection de contamination avant le décollage.

Une inspection des surfaces critiques est une inspection externe avant vol obligatoire dans des conditions de givrage au sol. Lorsqu'on utilise le délai d'efficacité comme critère pour la prise de décision, s'il y a eu dépassement de ce délai, il faut qu'une inspection de contamination avant le décollage soit effectuée ou qu'on ait procédé de nouveau au dégivrage ou à l'antigivrage de l'aéronef pour que ce dernier puisse décoller.

Pendant l'inspection de contamination avant le décollage, il n'est pas nécessaire d'effectuer un examen tactile lorsque le constructeur de l'aéronef a déterminé des surfaces représentatives qui peuvent être efficacement observées au cours de l'exploitation de jour et de nuit et qui servent de référence afin de déterminer si les surfaces critiques sont contaminées ou non⁴⁴. Dans le cas présent, le constructeur n'avait pas déterminé de « surface représentative » pouvant remplacer l'examen tactile pendant l'inspection visuelle de contamination avant le décollage.

Si la neige et la glace ne sont pas éliminées avant le décollage, elles peuvent altérer le profil de l'aile à un point où les qualités de portance de ce profil sont sérieusement compromises,

⁴⁰ Paragraphe 602.11 (4) du *Règlement de l'aviation canadien*. Aux fins de cet article, le terme « surfaces critiques » s'entend « des ailes, gouvernes, rotors, hélices, stabilisateurs, plans fixes verticaux ou toute autre surface stabilisante de l'aéronef, ainsi que de la partie supérieure du fuselage dans le cas des aéronefs avec moteur monté à l'arrière ».

⁴¹ *Ibid.*

⁴² Conformément à la partie VI du *Règlement de l'aviation canadien*, intitulée « Règles générales d'utilisation et de vol des aéronefs ».

⁴³ *Ibid.*

⁴⁴ *Règlement de l'aviation canadien*, norme 622.11 : Opérations dans des conditions de givrage au sol, paragraphe 7.1.1.3.

et ce, en raison d'une traînée accrue et, dans certains cas, du poids de la contamination^{45,46}. Cela peut engendrer des problèmes de contrôle, réduire l'angle d'attaque de décrochage de l'aéronef, réduire le taux de montée et la vitesse de l'aéronef, et faire augmenter les vitesses de décrochage⁴⁷. Même une quantité infime de glace peut occasionner une réduction des performances comparable à une accumulation de glace plus importante et facilement visible⁴⁸. Les pilotes qui effectuent seulement une inspection visuelle peuvent donc ne pas mesurer pleinement les risques qui existent. Il est presque impossible de déterminer si une aile est mouillée ou recouverte d'une mince couche de glace en effectuant seulement une inspection visuelle⁴⁹. Dans le guide d'exploitation d'Island Express, on fait référence à cette préoccupation en citant le *Manuel d'information aéronautique*⁵⁰ de Transports Canada (AIM de TC), et on indique que [traduction] « de fausses impressions existent concernant les effets sur les performances de l'accumulation de givre, de neige ou de glace sur l'aéronef »⁵¹. La publication technique (TP) 10643 de TC comprend la mention suivante :

Des données d'essais indiquent que les formations de givre, de glace ou de neige d'une épaisseur et d'une rugosité de surface semblables à celles d'un papier de verre moyen ou gros, qui se trouvent sur le bord d'attaque et l'extrados d'une aile peuvent réduire la portance de celle-ci de jusqu'à 30 % et accroître la traînée de 40 %⁵².

De la même manière, d'autres études ont permis de constater qu'une accumulation d'aussi peu que 1/16 pouce de givrage peut faire croître la vitesse de décrochage d'environ 20 %⁵³. C'est pourquoi le givrage au sol comporte des risques considérables, particulièrement en phase de décollage, pendant laquelle l'aéronef est exploité à une vitesse très proche de sa vitesse de décrochage et à une basse altitude rendant difficile une sortie de décrochage.

-
- ⁴⁵ Beechcraft, *Beechcraft King Air B100 Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual* (révisé en août 2004), p. 8-11.
- ⁴⁶ H. H. Hurt Jr., NAVWEPS OD-ROT-80, *Aerodynamics for Naval Aviators*, chapitre 6 (Application of Aerodynamics to Specific Problems of Flying), p. 373.
- ⁴⁷ Federal Aviation Administration (FAA), Advisory Circular (AC) 91-74B: Pilot Guide: Flight In Icing Conditions (en vigueur le 8 octobre 2015).
- ⁴⁸ National Transportation Safety Board, Safety Alert SA-006: Aircraft Ground Icing (révisé en décembre 2015).
- ⁴⁹ *Ibid.*
- ⁵⁰ Transports Canada, TP 14371F, *Manuel d'information aéronautique de Transports Canada* (AIM de TC), AIR – Discipline aéronautique (11 octobre 2018), section 2.12.1.
- ⁵¹ Island Express Air Inc., *Company Operations Manual* (15 février 2016), p. 3-29.
- ⁵² Transports Canada, TP 10643F, *Dans le doute... Programme de formation pour petits et gros aéronefs – Formation sur la contamination des surfaces critiques des aéronefs à l'intention des équipages de conduite et du personnel de piste*, 7^e édition (décembre 2004), p. 16.
- ⁵³ P. R. Veillette, « Recovering from ice-induced stalls in turboprops », *Business and Commercial Aviation*, 21 décembre 2007.

1.12.1.4 Conditions environnementales propices au givrage

Selon le manuel de vol de l'aéronef, des conditions potentielles de givrage existent lorsque de la condensation est visible et que la température est de 5 °C ou moins⁵⁴.

Des recherches sur le givrage en vol ont permis d'établir que le givrage fort est plus susceptible de se produire lorsque la teneur en eau liquide est élevée (p. ex., bruine verglaçante, pluie verglaçante, givrage mixte ou neige abondante) et que la température est sous le point de congélation. Les gouttelettes visibles sont un indicateur d'une teneur en eau liquide élevée⁵⁵. Selon la National Aeronautics and Space Administration (NASA) [traduction] :

Les chutes de neige à une température près du point de congélation (c.-à-d. entre -2 °C et +2 °C) risquent d'avoir une teneur en eau élevée et peuvent coller à la cellule de votre aéronef. Il est peu probable que la neige se décolle pendant la course au décollage.⁵⁶

Initialement, la glace forme une couche mince et irrégulière qui continuera de s'accumuler; elle prendra une nouvelle forme pouvant sérieusement compromettre les caractéristiques aérodynamiques de la cellule⁵⁷.

Dans le guide d'exploitation d'Island Express, on indique que de la neige mouillée combinée à une température ambiante de près de 0 °C est très propice au givrage au sol⁵⁸.

1.12.1.5 Répercussions du givrage sur les performances d'un aéronef

Même si le givrage fait croître la traînée, cette augmentation ne sera pas considérable au début de la course au décollage. Par conséquent, les effets du givrage au sol peuvent passer inaperçus pendant l'accélération initiale de l'aéronef (sauf si l'accumulation de glace a considérablement fait croître le poids de l'aéronef). Toutefois, à mesure que l'aéronef accélère, même une quantité infime de glace sur l'extrados d'une aile peut entraîner une réduction importante des performances et rendre difficiles la rotation et la montée initiale en toute sécurité⁵⁹.

⁵⁴ Beechcraft, *Beechcraft King Air B100 Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual* (révisé en août 2004), p. 2-13.

⁵⁵ Federal Aviation Administration (FAA), Advisory Circular (AC) 91-74B: Pilot Guide: Flight In Icing Conditions (en vigueur le 8 octobre 2015).

⁵⁶ National Aeronautics and Space Administration, *A Pilot's Guide to Ground Icing*, section « Anticipating Contamination », disponible à l'adresse https://aircrafticing.grc.nasa.gov/2_1_0_0.html (dernière consultation le 3 juillet 2019).

⁵⁷ T. P. Ratvasky, B. P. Barnhart et S. Lee, NASA/TM-2008-215453, AIAA 2008-6204, *Current Methods for Modeling and Simulating Icing Effects on Aircraft Performance, Stability and Control* (décembre 2008).

⁵⁸ Island Express Air Inc., *Company Operations Manual*, p. 3-31.

⁵⁹ National Transportation Safety Board, Safety Alert SA-006: Aircraft Ground Icing (révisé en décembre 2015).

Si l'aéronef arrive à quitter le sol, il peut bénéficier de l'effet de sol et prendre un peu d'altitude. Cela s'explique par le fait qu'une aile dans l'effet de sol a un coefficient de traînée moindre et un coefficient de portance plus élevé à tous les angles d'attaque, car elle est considérablement plus efficace⁶⁰. Toutefois, les avantages de l'effet de sol disparaissent lorsque l'aéronef atteint une altitude correspondant environ à l'envergure de ses ailes⁶¹. Si les ailes sont contaminées, la traînée accrue a un effet négatif sur la capacité de l'aéronef à poursuivre normalement sa montée initiale. Si le pilote ne sait pas que les ailes sont contaminées, il peut ne pas se rendre compte à quel point l'angle d'attaque de l'aéronef est proche du seuil de décrochage. De plus, les caractéristiques de décrochage d'un aéronef contaminé par du givrage peuvent comporter d'importantes différences par rapport aux caractéristiques d'un aéronef non contaminé. Dans le manuel de vol de l'aéronef, on indique qu'une réponse en roulis inhabituelle ou un roulis intempestif sont des signes d'un décrochage imminent.

Dans les procédures d'utilisation normalisées d'Island Express, on indique que si l'on observe une réponse en roulis inhabituelle ou un roulis intempestif, le pilote doit réduire l'angle d'attaque⁶².

1.12.1.6 Aéronefs qui quittent un hangar lorsqu'il neige

Même si un hangar peut être utilisé pour protéger un aéronef des conditions environnementales comme de la neige et des précipitations verglaçantes, les pilotes et les exploitants doivent tenir compte de certains facteurs importants lorsqu'ils sortent un aéronef d'un hangar alors qu'il neige. Selon le manuel de vol de l'aéronef, un aéronef garé dans un hangar devrait être traité avec du liquide de dégivrage, car la neige qui tombe sur une surface relativement chaude lorsque la température ambiante est inférieure au point de congélation a tendance à fondre, puis à regeler⁶³. En cas de précipitations, on doit prévoir suffisamment de temps pour que le revêtement d'un aéronef chaud refroidisse sous le point de congélation avant de sortir l'aéronef du hangar^{64,65}. On peut habituellement faire diminuer la température du revêtement en ouvrant les portes du hangar pour exposer l'aéronef au froid pendant un certain temps avant de l'exposer directement aux précipitations.

⁶⁰ E. Cui et X. Zhang, « Ground Effect Aerodynamics », dans : R. Blockley et W. Shyy (rédac.), *Encyclopedia of Aerospace Engineering* (John Wiley and Sons, Ltd., 2010), chapitre 18, p. 245 à 256.

⁶¹ L'envergure des ailes de l'aéronef en cause dans l'événement à l'étude était d'environ 46 pieds.

⁶² Island Express Air Inc., *Standard Operating Procedures, King Air B100* (15 octobre 2014), p. 51

⁶³ Beechcraft, *Beechcraft King Air B100 Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual* (révisé en août 2004), p. 8-11.

⁶⁴ Transports Canada, TP 14052F, *Lignes directrices pour les aéronefs lors du givrage au sol*, 3^e édition (juin 2018)

⁶⁵ Transports Canada, TP 10643F, *Dans le doute... Programme de formation pour petits et gros aéronefs – Formation sur la contamination des surfaces critiques des aéronefs à l'intention des équipages de conduite et du personnel de piste*, 7^e édition (décembre 2004), p. 16.

1.12.1.7 Recommandation du BST relative à la contamination au décollage

Le 13 décembre 2017, un aéronef Avions de Transport Régional ATR 42-320 (immatriculation C-GWEA, numéro de série 240) exploité par West Wind Aviation LP (West Wind), effectuait le vol 282 selon les règles de vol aux instruments, au départ de l'aéroport Glass Field de Prince Albert (CYPA) (Saskatchewan) et à destination de l'aéroport de Fond-du-Lac (CZFD) (Saskatchewan)⁶⁶. Durant la descente, l'aéronef a traversé des conditions givrantes, et l'équipage de conduite a mis en marche les dispositifs antigivrage et de dégivrage de l'aéronef. Lorsqu'on a coupé ces dispositifs 9 minutes plus tard, l'aéronef était en approche finale. Il restait du givre sur certaines parties de l'aéronef.

Après l'atterrissage à CZFD et avant le départ pour la prochaine étape du vol, un des pilotes a effectué une inspection prévol de l'aéronef et a informé l'autre pilote de la présence de glace sur l'aéronef. West Wind avait du matériel de dégivrage à l'intérieur de l'aérogare à CZFD, mais l'aéronef n'a pas été dégivré avant le décollage et s'est écrasé peu de temps après. Neuf passagers et 1 membre d'équipage ont été grièvement blessés; les 13 autres passagers et 2 autres membres d'équipage ont été légèrement blessés. Un des passagers qui a été grièvement blessé a succombé à ses blessures 12 jours après l'accident.

Dans le cadre de son enquête, le BST a effectué un vaste sondage auprès des pilotes de 83 exploitants canadiens qui mènent des activités dans bon nombre d'aéroports nordiques éloignés du Canada. Les réponses à ce sondage ont permis de constater qu'en l'absence de conséquences négatives, les décollages réalisés malgré la contamination de surfaces critiques sont devenus une déviation normale par rapport aux procédures. L'événement à Fond-du-Lac et les réponses des pilotes au sondage indiquent que certaines mesures de protection du système de transport aérien canadien, qui ont pour objet d'empêcher le décollage d'aéronefs ayant de la glace, du givre ou de la neige adhérent à une surface critique, laissent à désirer.

Les accidents causés par une contamination de l'aéronef continueront de se produire jusqu'à ce que le secteur de l'aviation et l'organisme de réglementation abordent la question en tant que problème systémique, et prennent les mesures nécessaires pour éliminer les facteurs sous-jacents qui peuvent avoir une influence néfaste sur l'attitude des pilotes face à la conformité. Par conséquent, le Bureau avait recommandé que :

le ministère des Transports et les exploitants aériens prennent des mesures pour améliorer la conformité au paragraphe 602.11(2) du *Règlement de l'aviation canadien* et réduire la probabilité que des aéronefs décollent malgré des surfaces critiques contaminées.

Recommandation A18-03 du BST

Au moment d'écrire ces lignes, la réponse de TC à la recommandation A18-03 est en cours d'évaluation.

⁶⁶ Événement de sécurité du transport aérien A17C0146 du BST. Au moment d'écrire ces lignes, l'enquête était toujours en cours.

1.12.2 Tendance à s'en tenir au plan

Pour prendre des décisions efficacement, un pilote doit avoir une compréhension exacte de la situation et être conscient de toutes les conséquences de cette situation, formuler un plan et des solutions de rechange, puis mettre en œuvre le meilleur plan d'action. Il est tout aussi important que le pilote reconnaisse les changements dans sa situation et qu'il relance le processus décisionnel afin de s'assurer que les changements sont pris en compte et que les plans sont modifiés en conséquence. Si le pilote ne tient pas compte des conséquences potentielles de la situation durant le processus décisionnel, il y a un risque accru que ses décisions et les mesures subséquentes se traduisent par des résultats négatifs donnant lieu à un état indésirable de l'aéronef.

Un certain nombre de facteurs peuvent avoir des répercussions négatives sur le processus de prise de décision d'un pilote. Par exemple, une charge de travail élevée peut nuire à la capacité d'un pilote à percevoir et à évaluer les indices dans son environnement et peut entraîner un rétrécissement du champ d'attention⁶⁷. Dans de nombreux cas, ce rétrécissement du champ d'attention peut entraîner un biais de confirmation, qui fait qu'on recherche les indices appuyant l'action souhaitée, à l'exclusion possible d'indices critiques qui peuvent appuyer une autre hypothèse moins désirable^{68,69}. Ainsi, il se peut qu'on ne prenne pas en considération de façon appropriée des conséquences potentiellement graves lorsqu'on détermine la meilleure façon de procéder.

Une forme précise du biais de confirmation est la « tendance à s'en tenir au plan » ou l'« erreur de poursuite du plan »⁷⁰. On décrit la tendance à s'en tenir au plan comme « une tendance cognitive inconsciente consistant à poursuivre les activités prévues malgré des changements de conditions⁷¹ » ou « une tendance profondément enracinée à poursuivre un plan d'action initial même quand un changement justifie l'adoption d'un nouveau plan⁷² ». Une fois qu'un plan a été établi et mis en œuvre, il devient plus difficile de reconnaître des stimuli ou des conditions dans l'environnement nécessitant que le plan soit modifié. Souvent, à mesure que la charge de travail augmente, ces stimuli et conditions sont évidents pour des personnes extérieures à la situation. Toutefois, un pilote appliquant un plan peut

⁶⁷ CRM Standing Group, *Crew Resource Management*, Royal Aeronautical Society (Londres, Royaume-Uni), 1999.

⁶⁸ C. D. Wickens et J. G. Hollands, *Engineering Psychology and Human Performance*, 3^e édition (CRC Press, 1999), chapitre 11, « Attention, time-sharing and workload ».

⁶⁹ M. Martinussen et D. R. Hunter, *Aviation Psychology and Human Factors* (CRC Press, 2009), p. 64 et 65.

⁷⁰ J. Orasanu, L. Martin et J. Davison, « Cognitive and contextual factors in aviation accidents: decision errors », dans E. Salas et G. A. Klein (éd.), *Linking Expertise and Naturalistic Decision Making* (Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2001), p. 209 à 225.

⁷¹ Voir par exemple la définition de « Continuation Bias » dans EUROCONTROL SKYbrary, disponible à l'adresse http://www.skybrary.aero/index.php/Continuation_Bias (dernière consultation le 3 juillet 2019).

⁷² B. Berman et R. K. Dismukes, « Pressing the approach », *Aviation Safety World*, Flight Safety Foundation, vol. 1, n° 6 (décembre 2006), p. 28 à 33.

avoir beaucoup de difficulté à reconnaître l'importance des indices et le besoin de modifier le plan⁷³.

Si la tendance à s'en tenir au plan réduit la capacité d'un pilote à détecter des indices importants, ou si le pilote ne reconnaît pas les implications des indices disponibles, il peut se produire des failles dans sa conscience situationnelle^{74,75}. Ces failles peuvent lui faire prendre des décisions non optimales, ce qui peut compromettre la sécurité.

Un examen des enquêtes du National Transportation Safety Board des États-Unis réalisé par la NASA et l'Ames Research Center a permis de déterminer que près de 75 % des erreurs de décision tactiques en cause dans 37 accidents découlaient d'un équipage de conduite qui avait décidé de s'en tenir au plan original, malgré des signes qui recommandaient un changement de plan d'action⁷⁶. Selon Dekker (2006), les pilotes ont tendance à s'en tenir au plan lorsque les indices utilisés pour formuler le plan initial leur semblent très solides. Par exemple, si le plan est jugé excellent en fonction des renseignements disponibles au moment où il a été élaboré, il est possible qu'on ne tienne pas compte de la même façon des indices ultérieurs qui laissent entendre que cela n'est plus le cas, en ce qui a trait à la prise de décisions⁷⁷.

Il est donc important de reconnaître que la tendance à s'en tenir au plan peut se manifester, et les pilotes doivent être conscients des risques qu'ils courent s'ils n'analysent pas soigneusement les changements de la situation et ne tiennent pas compte des implications de ces changements pour déterminer s'il convient d'adopter un plan d'action révisé. La capacité intellectuelle nécessaire pour traiter ces changements et prendre en compte leurs répercussions potentielles sur le plan initial diminue à mesure que la charge de travail augmente, et ce, particulièrement dans le cas de l'exploitation de l'aéronef par un seul pilote.

⁷³ E. Muthard et C. Wickens, « Factors that mediate flight plan monitoring and errors in plan revision: Planning under automated and high workload conditions », article présenté au 12^e International Symposium on Aviation Psychology, Dayton (Ohio), 14 au 17 avril 2003.

⁷⁴ J. Goh et D. A. Wiegmann, « Visual flight rules flight into instrument meteorological conditions: An empirical investigation of the possible causes », *International Journal of Aviation Psychology*, vol. 11, n^o 4 (2001), p. 357 à 359.

⁷⁵ J. Orasanu, L. Martin et J. Davison, « Cognitive and contextual factors in aviation accidents: decision errors », dans E. Salas et G. A. Klein (éd.), *Linking Expertise and Naturalistic Decision Making* (Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2001), p. 209 à 225.

⁷⁶ J. Orasanu, L. Martin et J. Davison, « Errors in Aviation Decision Making: Bad Decisions or Bad Luck? » (NASA/Ames Research Center), article présenté à la Fourth Conference on Naturalistic Decision Making, Warrington (Virginie), 29 au 31 mai 1998.

⁷⁷ S. Dekker, *The Field Guide to Understanding Human Error* (CRC Press, 2006).

2.0 ANALYSE

Rien n'indique qu'une défaillance préexistante ou en vol d'un système a joué un rôle dans l'événement à l'étude. Par conséquent, l'analyse portera principalement sur les aspects opérationnels du vol qui ont mené à l'accident. Plus particulièrement, on abordera les conditions qui ont entraîné le décrochage aérodynamique au décollage, le rôle du givrage au sol dans l'événement à l'étude, la prise de décision du pilote, la planification du vol et le chargement de l'aéronef, et les rapports concernant l'intensité des chutes de neige.

2.1 Décrochage aérodynamique au décollage

Lorsque l'aéronef a quitté le sol et que le train d'atterrissage a été rentré, l'aéronef a immédiatement effectué un roulis vers la gauche. Le pilote a d'abord perçu ce roulis vers la gauche comme une diminution de la puissance du moteur gauche, même si rien n'étayait cette théorie. En analysant les performances, il est évident que l'aéronef n'a pas gagné beaucoup d'altitude ou de vitesse au décollage. La vitesse indiquée a alors atteint environ 110 nœuds, puis a commencé à diminuer. Le pilote n'a pas constaté que l'aéronef volait à cette vitesse relativement basse, car il portait son attention à l'extérieur pendant un décollage dans des conditions de visibilité réduite.

En fonction des conditions environnementales et du profil de vol de l'aéronef, celui-ci a probablement subi un décrochage aérodynamique causé par le givrage, la vitesse réduite pendant la montée initiale et la perte des avantages de l'effet de sol. L'exposition des surfaces chaudes (c.-à-d. les ailes) de l'aéronef à d'abondantes chutes de neige mouillée pendant 14 minutes à une température sous le point de congélation a produit des conditions très propices au givrage au sol. La masse de l'aéronef supérieure à la masse maximale autorisée au décollage a exacerbé la situation en faisant croître la vitesse de décrochage de l'aéronef.

Lorsque l'aéronef est sorti de l'effet de sol au décollage, il a subi un décrochage aérodynamique découlant de la contamination des ailes. Après le roulis intempestif vers la gauche, le pilote a réduit l'angle d'attaque de l'aéronef en poussant le manche vers l'avant et en atterrissant droit devant, ce qui a probablement permis à l'aéronef de partiellement sortir du décrochage aérodynamique avant l'impact.

2.2 Givrage au sol

L'aéronef en cause dans l'événement à l'étude, qui était garé dans un hangar chauffé, a été exposé à de fortes chutes de neige à une température sous le point de congélation pendant environ 14 minutes. Cela a créé une situation très propice au givrage au sol.

Lorsque les surfaces de l'aéronef ont atteint une température de 0 °C, l'eau liquide de la couche de précipitations sur les ailes a commencé à geler. À partir de ce moment, la couche de précipitations comprenait des gouttelettes d'eau gelées et des flocons de neige partiellement fondus. Les flocons de neige qui tombaient ont continué d'adhérer à la couche

de précipitations existante. La surface maintenant recouverte de 4 à 5 mm de neige mouillée était très irrégulière et a entraîné une importante dégradation des caractéristiques aérodynamiques de l'aéronef.

Aucune contamination n'avait été vue sur les ailes de l'aéronef avant le décollage. Toutefois, il n'était peut-être pas évident que les ailes étaient contaminées, car il est difficile de déterminer de visu si une aile est mouillée ou si une mince couche de glace se cache sous des gouttelettes d'eau visibles.

Même si aucun liquide de dégivrage n'a été aspergé sur l'aéronef en cause dans l'événement à l'étude, les conditions prévalant ce jour-là (fortes chutes de neige) dépassaient les capacités de tous les types de liquide de dégivrage ou d'antigivrage. L'aéronef en cause dans l'événement à l'étude est sorti d'un hangar chauffé et a été exposé à de fortes chutes de neige pendant 14 minutes à une température sous le point de congélation. Ces conditions étaient très propices à un important givrage au sol.

2.3 **Prise de décision du pilote**

Dans l'événement à l'étude, le pilote était déterminé à effectuer un vol avec sa famille et a décidé de s'en tenir au plan original même si un certain nombre d'indices pouvaient laisser croire qu'il était justifié d'adopter un autre plan d'action. Le matin de l'événement à l'étude, les conversations que le pilote a eues au téléphone avec le contrôleur de la circulation aérienne d'Abbotsford indiquent qu'il était préoccupé par les fortes chutes de neige et les implications potentielles d'un décollage retardé. Le pilote n'a pas modifié son plan même s'il était conscient de ces risques et si l'aéronef avait passé 14 minutes dans de fortes chutes de neige à une température posant des risques importants de givrage au sol. La tendance à s'en tenir au plan a influé sur la prise de décision par le pilote, et il a tenté de décoller aux commandes d'un aéronef dont les surfaces critiques étaient contaminées par de la glace et de la neige.

2.4 **Planification du vol et tâches requises avant le vol**

Le matin de l'événement à l'étude, le pilote a accompli plusieurs tâches liées à l'exploitation et à la gestion de l'entreprise qui ont détourné son attention des tâches nécessaires à la sécurité et à la conformité au *Règlement de l'aviation canadien* du vol en cause. Les renseignements figurant dans le plan de vol exploitation ne correspondaient pas à la route prévue, aux exigences en matière de carburant, ou à la masse et au centrage de l'aéronef.

De plus, comme les passagers ont chargé leurs bagages sans supervision, la masse des bagages n'a pas été confirmée, et les bagages n'ont pas été adéquatement arrimés. Une inspection prévol approfondie n'a pas été effectuée pour s'assurer que l'aéronef avait été chargé adéquatement. Comme le carnet de route n'a pas été examiné, personne n'a remarqué que l'aéronef n'était pas en état de navigabilité au moment de l'événement à l'étude en raison d'une consigne de navigabilité non respectée.

Comme l'événement à l'étude le démontre, si un pilote ne s'assure pas que la planification d'un vol est adéquate et que les tâches requises avant un vol sont bel et bien effectuées, il y a un risque accru que surviennent des erreurs opérationnelles ou techniques pouvant compromettre la sécurité du vol.

2.5 **Chargement de l'aéronef**

Dans l'événement à l'étude, les réservoirs de carburant étaient pleins, il y avait 9 passagers à bord, et la soute à bagages arrière contenait environ 480 livres de bagages. Même si les renseignements figurant sur le plan de vol exploitation indiquaient que les limites de masse et centrage et de centre de gravité de l'aéronef étaient respectées, l'enquête a permis de constater que ces renseignements ne correspondaient pas au chargement réel de l'aéronef. Un examen attentif de la quantité de carburant et du poids des occupants a permis d'établir que la masse de l'aéronef dépassait d'environ 200 livres la masse brute maximale autorisée au décollage. De plus, le centre de gravité de l'aéronef se trouvait près de la limite arrière, ce qui a peut-être rendu l'aéronef plus difficile à maîtriser alors qu'il était sur le point de subir un décrochage aérodynamique. La combinaison de la masse supérieure à la masse brute maximale autorisée au décollage et du centre de gravité près de la limite arrière a fait croître la vitesse de décrochage de l'aéronef et a contribué à l'instabilité de l'aéronef pendant le décollage.

La masse (480 livres) des bagages dans la soute arrière dépassait de 70 livres la masse maximale autorisée dans ce compartiment. Les bagages n'ont pas été pesés avant que les passagers les placent eux-mêmes à bord de l'aéronef. Ils ont été arrimés à l'aide d'un filet qui se trouvait dans l'aéronef lorsqu'il a été importé au Canada. On n'a pu établir si ce filet était un filet d'arrimage approuvé. Pendant la séquence d'impact, le dispositif de retenue de la cargaison utilisé pour arrimer les bagages dans la soute arrière n'a pas fonctionné et certains bagages ont blessé les passagers qui prenaient place à l'arrière de la cabine.

L'événement à l'étude souligne l'importance de s'assurer que les soutes à bagages ne sont pas chargées au-delà de leur capacité, ce qui peut causer la défaillance des dispositifs de retenue de la cargaison, comme les filets d'arrimage. Si la cargaison chargée dépasse les limites de masse et n'est pas adéquatement arrimée, il y a un risque que la cargaison se déplace ou ne soit plus fixée en cas d'accident, ce qui peut blesser les occupants de l'aéronef.

2.6 **Rapports d'intensité des chutes de neige et antigivrage**

Selon le rapport météorologique à l'aviation en vigueur au moment de l'événement à l'étude, l'aéronef a décollé dans des chutes de neige modérées. Toutefois, selon les lignes directrices relatives au délai d'efficacité pour le liquide de dégivrage et d'antigivrage, reconnues à l'échelle internationale, qui ont été établies en fonction d'une meilleure compréhension des risques liés au givrage au sol, les chutes de neige étaient plutôt fortes. Aux fins du calcul du délai d'efficacité, les fortes chutes de neige sont traitées de la même manière que les granules de glace, la pluie verglaçante modérée et forte, la grêle de petit

diamètre et la grêle. Dans ces conditions météorologiques, le délai d'efficacité est de 0 minute pour tous les types de liquides d'antigivrage. En d'autres termes, on considère que le liquide d'antigivrage n'est pas efficace lorsque les chutes de neige sont fortes, et ce, dès qu'il est aspergé. Cela souligne la gravité des fortes chutes de neige dans des conditions de givrage au sol.

En raison des différences dans les définitions de l'intensité des chutes de neige qui sont utilisées dans les rapports météorologiques à l'aviation et les lignes directrices en matière de délai d'efficacité, les pilotes continueront fort probablement de sous-estimer les risques de givrage au sol. Si les pilotes se fient seulement à l'intensité des chutes de neige indiquée dans les messages d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) et les bulletins du service automatique d'information de région terminale (ATIS), ils ne peuvent pas calculer adéquatement les délais d'efficacité du liquide de dégivrage et d'antigivrage, ce qui fait croître les risques d'accident.

3.0 FAITS ÉTABLIS

3.1 Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. L'aéronef en cause dans l'événement à l'étude est sorti d'un hangar chauffé et a été exposé à de fortes chutes de neige pendant 14 minutes à une température sous le point de congélation. Ces conditions étaient très propices à un important givrage au sol.
2. Lorsque l'aéronef est sorti de l'effet de sol au décollage, il a subi un décrochage aérodynamique découlant de la contamination des ailes.
3. La tendance à s'en tenir au plan a influé sur la prise de décision par le pilote, et il a tenté de décoller aux commandes d'un aéronef dont les surfaces critiques étaient contaminées par de la glace et de la neige.
4. Le pilote et le passager assis dans le siège de droite du poste de pilotage ne portaient pas les ceintures-baudriers disponibles. Ils ont donc subi de graves blessures à la tête pendant la séquence d'impact.
5. Pendant la séquence d'impact, le dispositif de retenue de la cargaison utilisé pour arrimer les bagages dans la soute arrière n'a pas fonctionné et certains bagages ont blessé les passagers qui prenaient place à l'arrière de la cabine.

3.2 Faits établis quant aux risques

1. Si un pilote ne s'assure pas que la planification d'un vol est exacte et que les tâches requises avant un vol sont bel et bien effectuées, il y a un risque accru d'erreurs opérationnelles ou techniques pouvant compromettre la sécurité du vol.
2. Si les pilotes se fient seulement à l'intensité des chutes de neige indiquée dans les messages d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) et les bulletins du service automatique d'information de région terminale (ATIS), ils ne peuvent pas calculer adéquatement les délais d'efficacité du liquide de dégivrage et d'antigivrage, ce qui fait croître les risques d'accident.
3. Si la cargaison chargée dépasse les limites de masse et n'est pas adéquatement arrimée, il y a un risque que la cargaison se déplace ou ne soit plus fixée en cas d'accident, ce qui peut blesser les occupants de l'aéronef.

3.3 Autres faits établis

1. L'aéronef n'était pas en état de navigabilité au moment de l'événement à l'étude en raison d'une consigne de navigabilité non respectée.

4.0 MESURES DE SÉCURITÉ

4.1 Mesures de sécurité prises

4.1.1 Island Express Air Inc.

Immédiatement après l'accident, Island Express a volontairement interrompu ses activités, et Transports Canada a suspendu ses certificats d'exploitation jusqu'à ce que l'entreprise se soumette au processus de recertification. L'entreprise a ensuite pris les mesures de sécurité suivantes :

- On a effectué une refonte complète des publications de l'entreprise de manière à inclure des renseignements détaillés à propos du dégivrage et un cours pratique sur l'exploitation hivernale.
- On a bonifié le programme de formation de l'entreprise, y compris la formation offerte aux instructeurs.
- On a augmenté la durée minimum de la formation des pilotes pour tous les aéronefs.
- On a mis en œuvre des carnets de vol électroniques et un nouveau logiciel de planification des vols.
- On a mis en œuvre de nouvelles procédures liées aux plans de vol exploitation et à la remise en service technique pour faire en sorte que les aéronefs soient autorisés à décoller en toute sécurité.
- On a embauché du personnel d'administration et d'entretien supplémentaire pour réduire la charge de travail des employés de l'entreprise.
- On a mis en œuvre un nouvel horaire des équipages de conduite pour réduire la fatigue.
- On a mis en œuvre un système de signalement non punitif ; ce système constituera la base d'un nouveau système de gestion de la sécurité dont le développement est en cours.

4.1.2 Transports Canada

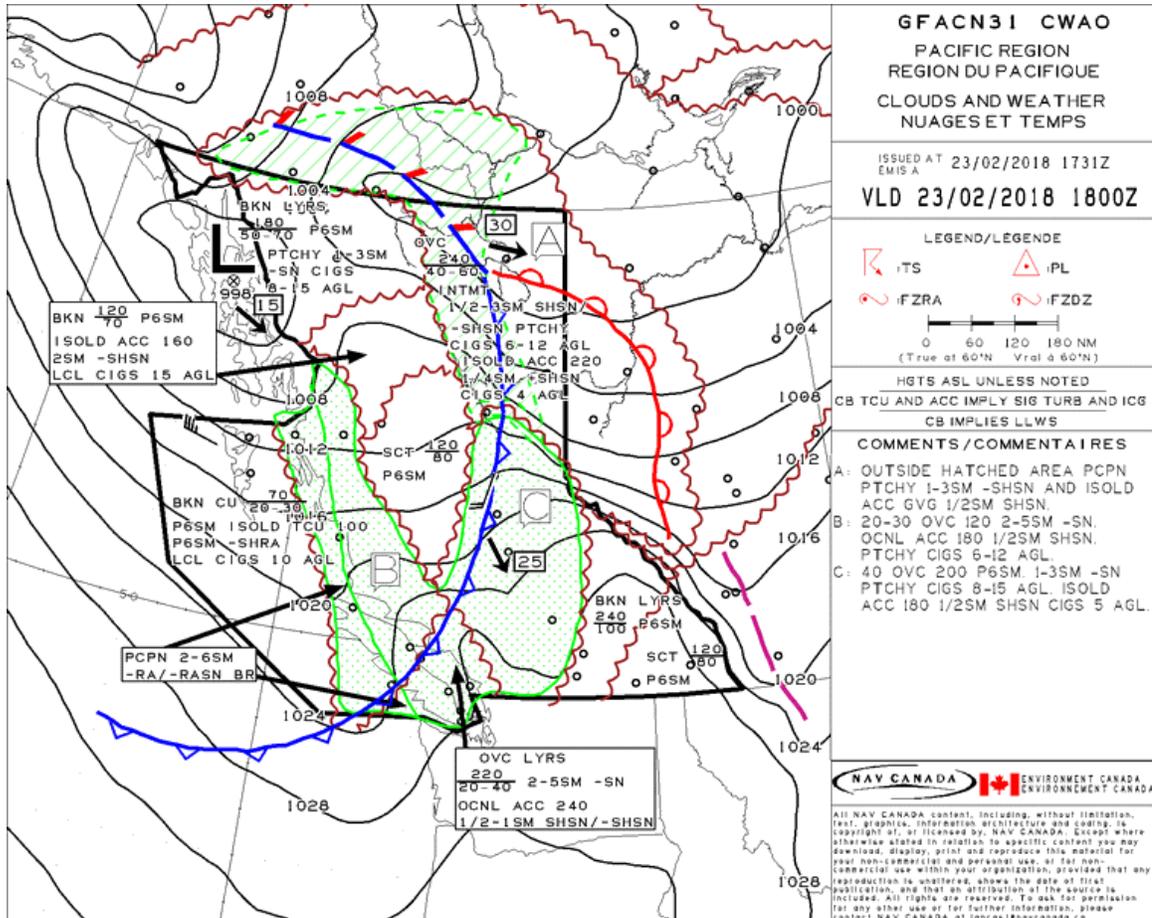
Transports Canada a soumis des équipages de conduite d'Island Express à 3 premiers vols de vérification compétence pilote pour valider le caractère exhaustif et l'efficacité des programmes de formation de l'entreprise. Cette vérification comprenait un vol de contrôle d'un pilote vérificateur agréé de la compagnie.

Le présent rapport conclut l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 3 juillet 2019. Il a été officiellement publié le 14 août 2019.

Visitez le site Web du Bureau de la sécurité des transports du Canada (www.bst.gc.ca) pour obtenir de plus amples renseignements sur le BST, ses services et ses produits. Vous y trouverez également la Liste de surveillance, qui énumère les 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.

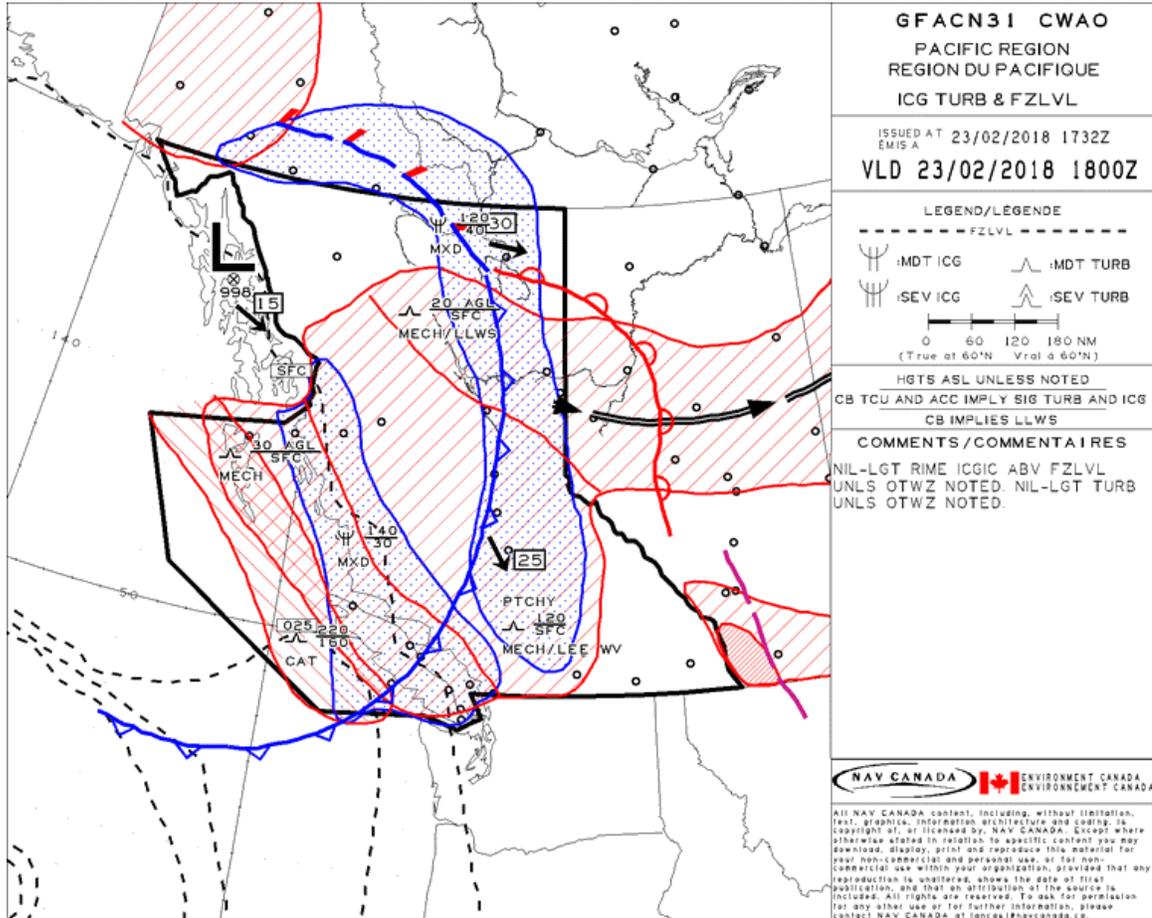
ANNEXES

Annexe A – Carte de prévision de zone graphique Nuages et temps valide à 18 h UTC le 23 février 2018



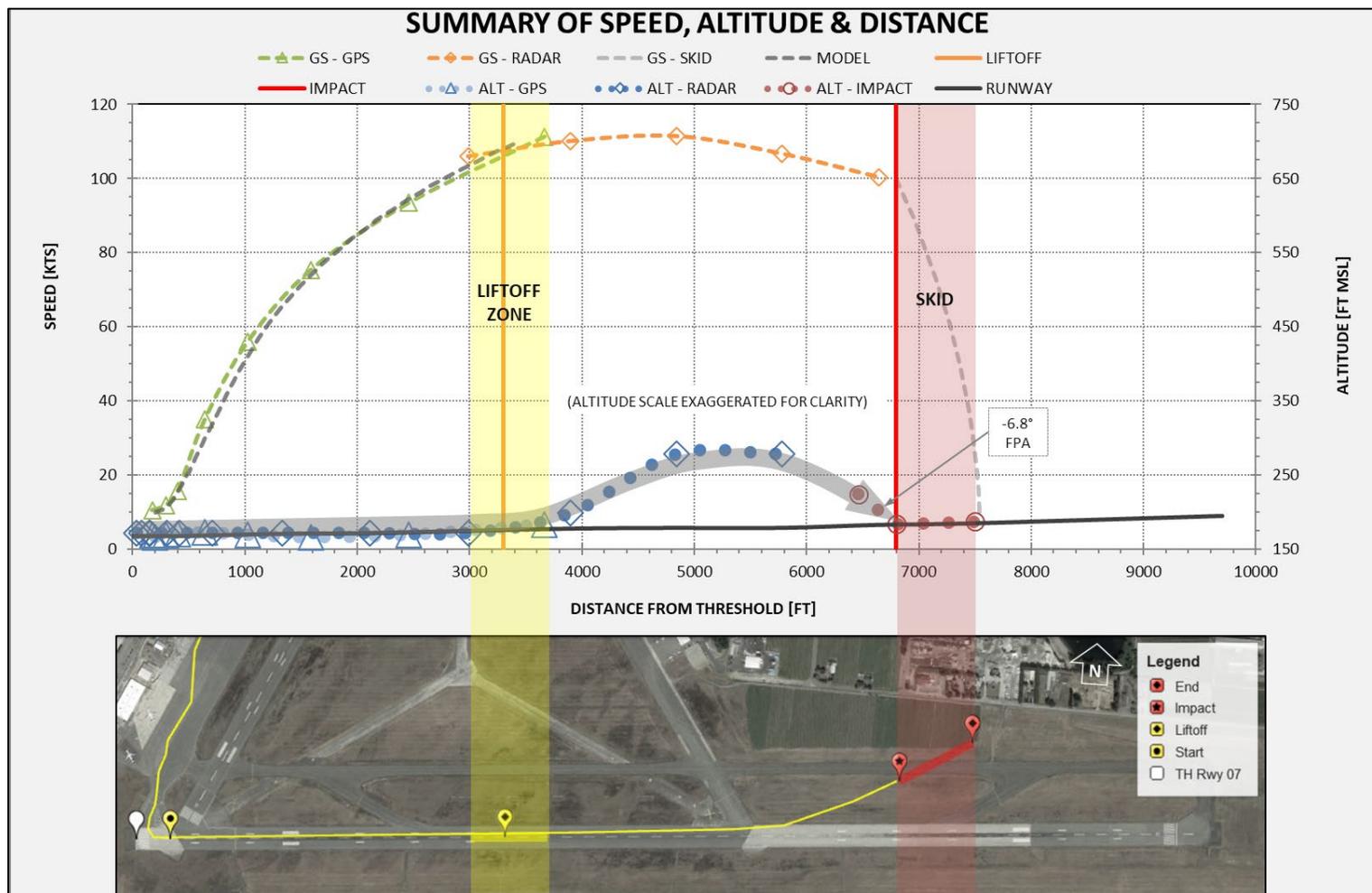
Source : NAV CANADA

Annexe B – Carte de prévision de zone graphique Givrage, turbulence et niveau de congélation valide à 18 h UTC le 23 février 2018



Source : NAV CANADA

Annexe C – Reconstitution de la trajectoire de l’aéronef en cause dans l’événement à l’étude [anglais seulement]

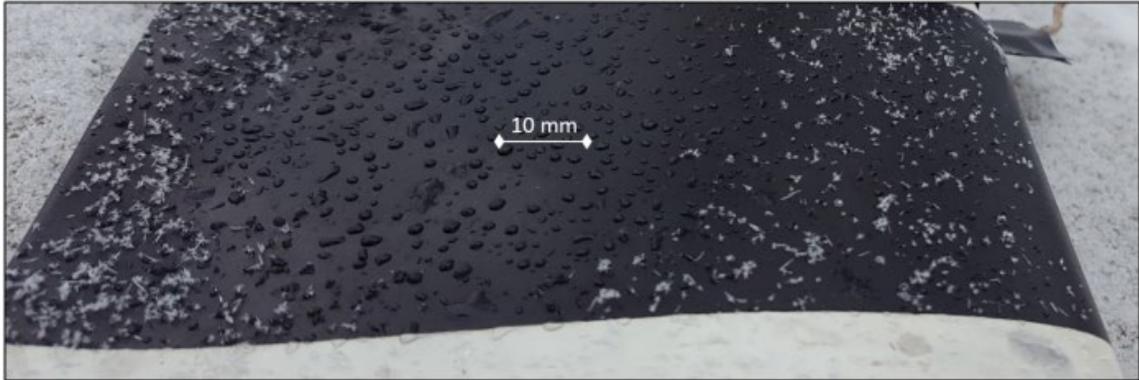


Disponible en anglais seulement.

Remarque : La courbe « Model » correspond aux performances prévues au décollage en fonction du manuel de vol de l’aéronef, du chargement de l’aéronef et des conditions environnementales. (Source : BST)

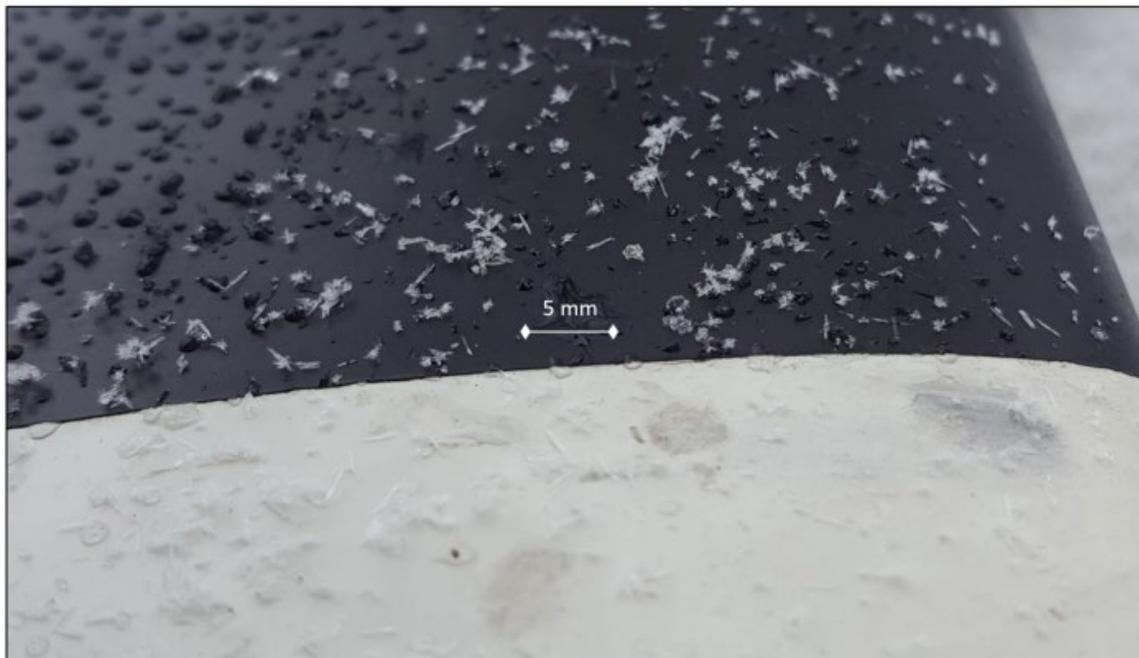
Annexe D – Essai de refroidissement

Figure D1. Essai de refroidissement montrant des flocons fondus et des cristaux de glace



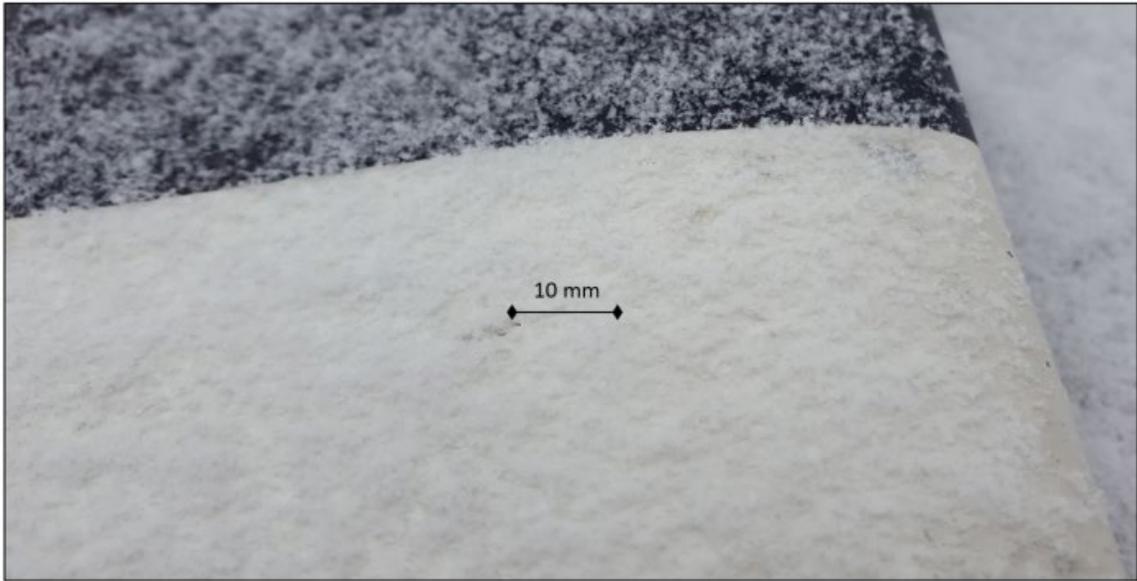
(Source : BST)

Figure D2. Essai de refroidissement (vue rapprochée)



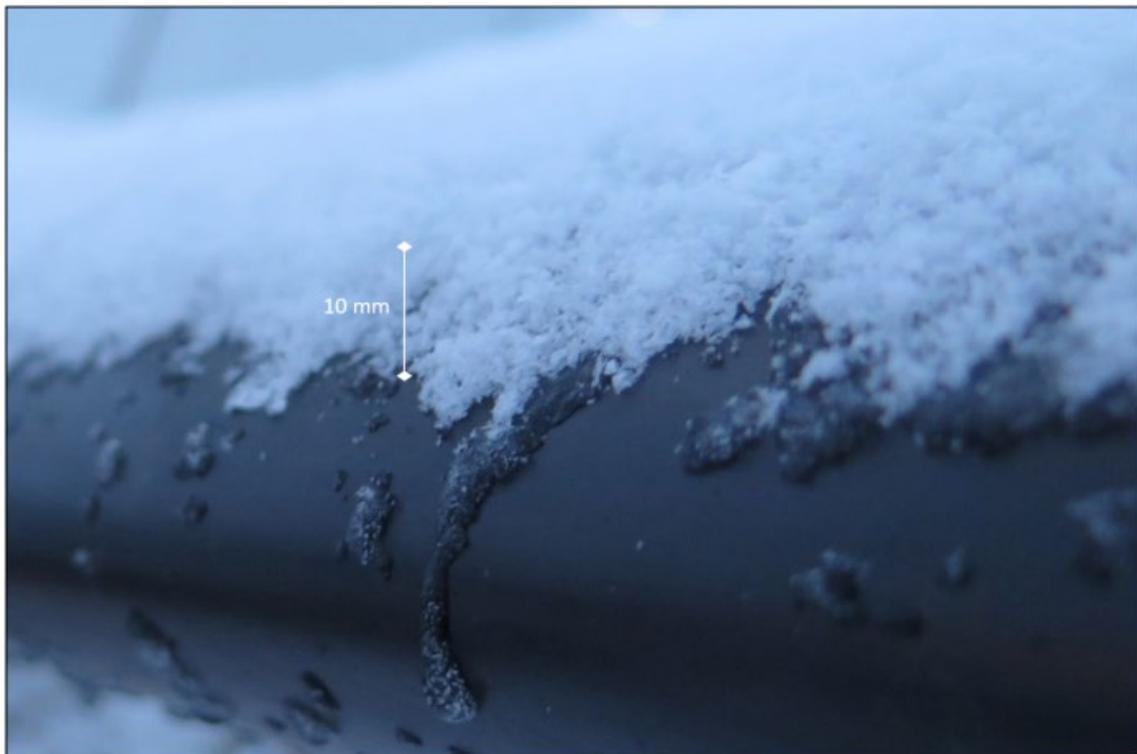
(Source : BST)

Figure D3. Essai de refroidissement après des chutes de neige supplémentaires



(Source : BST)

Figure D4. Épave de l'aéronef en cause montrant le phénomène de fonte et regel environ 8 heures après l'événement à l'étude



(Source : BST)