Bureau de la sécurité des transports du Canada

Transportation Safety Board of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE A15C0163

Entrée dans des conditions de givrage, perte de maîtrise et collision avec le relief

Wasaya Airways Limited Partnership
Cessna 208B (C-FKDL)
10 nm au nord de Pickle Lake (Ontario)
11 décembre 2015

Canada

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

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par
le Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2018

Rapport d'enquête aéronautique A15C0163

No de cat TU3-5/15-0163F-1-PDF
ISBN 978-0-660-27930-5

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.

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

Rapport d'enquête aéronautique A15C0163

Entrée dans des conditions de givrage, perte de maîtrise et collision avec le relief

Wasaya Airways Limited Partnership
Cessna 208B (C-FKDL)
10 nm au nord de Pickle Lake (Ontario)
11 décembre 2015

Résumé

Le Cessna 208B Caravan (immatriculé C-FKDL, numéro de série 208B0240) exploité par Wasaya Airways Limited Partnership a décollé de l'aéroport de Pickle Lake (Ontario) le 11 décembre 2015 à 9 h, heure normale de l'Est, pour effectuer le vol WSG127 selon les règles de vol à vue à destination de l'aéroport d'Angling Lake/Wapekeka (Ontario), avec le pilote et des marchandises à bord. À 9 h 8, l'aéronef s'est mis en palier à environ 4600 pieds au-dessus du niveau de la mer. À 9 h 9, il a descendu et a viré à droite d'environ 120°, puis il a percuté le flanc sud-est du mont Tarp à une élévation de 1460 pieds au-dessus du niveau de la mer. Le pilote a été mortellement blessé, et l'aéronef a été détruit. Aucun incendie ne s'est déclaré après l'impact. La radiobalise de repérage d'urgence de 406 MHz s'est déclenchée dès l'impact, mais n'a transmis aucun signal.

This report is also available in English.

Table des matières

1.0 Renseignements de base....1

1.1 Déroulement du vol....1
1.2 Tués et blessés....2
1.3 Dommages à l'aéronef....2
1.4 Autres dommages....2
1.5 Renseignements sur le personnel....3
1.6 Renseignements sur l'aéronef....4

1.6.1 Généralités....4
1.6.2 Système de commande automatique de vol....5
1.6.3 Modification par un système d'augmentation de charge utile....5
1.6.4 Certification en conditions de givrage....6
1.6.5 ICEX II....7
1.6.6 Performance de l'aéronef....8
1.6.7 Radiobalise de repérage d'urgence....12
1.6.8 Système de surveillance par satellite....12

1.7 Renseignements météorologiques....12

1.7.1 Généralités....12
1.7.2 Conditions météorologiques avant le vol....12
1.7.3 Conditions météorologiques constatées en route par un autre Cessna 208B de Wasaya....16
1.7.4 Indicateur des conditions de givrage....17
1.7.5 Conditions météorologiques en altitude à l'aéroport de Pickle Lake....18
1.7.6 Prévisions de la zone graphique Ontario-Québec pour les 9 et 10 décembre 2015 19

1.8 Aides à la navigation....20
1.9 Communications....20
1.10 Renseignements sur l'aérodrome....20
1.11 Enregistreurs de bord....20
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact....22
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques....26
1.14 Incendie....26
1.15 Questions relatives à la survie des occupants....26

1.15.1 Système de retenue des occupants....26
1.15.2 Radiobalise de repérage d'urgence....26
1.15.3 Recherche et sauvetage....28

1.16 Essais et recherche....29

1.16.1 Analyse des données de vol du WSG127....29
1.16.2 Rapports du Laboratoire d'ingénierie du BST....30

1.17 Renseignements sur l'organisme et sur la gestion....30

1.17.1 Wasaya....30
1.17.2 Transports Canada....38

1.18 Renseignements supplémentaires....41

1.18.1 Systèmes d'aide à la décision....41
1.18.2 Risques associés au vol dans des conditions givrantes....42

1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces....42

2.0 Analyse 43

2.1 Introduction 43
2.2 Atténuation des risques et exploitation des Cessna 208B par Wasaya....43
2.3 Autorisation et régulation des vols....45
2.4 Outils d'aide à la décision 48
2.5 Givrage et performance de l'aéronef 49
2.6 Prise de décisions du pilote en vol....52
2.7 Intervalle d'application du produit ICEX II 52
2.8 Formation technique au sol initiale de Wasaya 53
2.9 Documentation de chargement des Cessna 208B à CYPL....54
2.10 Radiobalises de repérage d'urgence et suivi des vols par satellite 54

3.0 Faits établis 56

3.1 Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs....56
3.2 Faits établis quant aux risques....56
3.3 Autres faits établis....57

4.0 Mesures de sécurité....58

4.1 Mesures de sécurité prises 58
4.1.1 Wasaya.... 58
4.1.2 Transports Canada 60

Annexes 62

Annexe A – Masse et centrage du vol WSG127....62
Annexe B – Prévision de zone graphique CN33 valide à 7 h HNE (12 h TUC) le 11 décembre 2015 63
Annexe C – Indicateur des conditions de givrage montrant la probabilité de givre : 11 décembre 2015 à 9 h 8 (14 h 8 TUC)....65
Annexe D – Indicateur des conditions de givrage montrant la gravité du givre : 11 décembre 2015 à 9 h 8 (14 h 8 TUC)....67
Annexe E – Radiosondage à l'aéroport de Pickle Lake (CYPL) : 11 décembre 2015 à 7 h (12 h TUC) 69
Annexe F – Prévision de zone graphique CN33 valide à 7 h HNE (12 h TUC) le 9 décembre 2015 70
Annexe G – Prévision de zone graphique CN33 valide à 7 h HNE (12 h TUC) le 10 décembre 2015 72
Annexe H – Trajectoire de vol enregistrée du vol WSG127....74
Annexe I – Fin de la trajectoire de vol enregistrée du vol WSG127....75
Annexe J – Paramètres de vol du vol WSG127 : durée entière de l'enregistrement....76
Annexe K– Paramètres de vol du vol WSG127 : 2 dernières minutes....77
Annexe L – Formulaire de répartition du chargement des Cessna 208B de Wasaya....78
Annexe M – Formulaire de masse et centrage des Cessna 208B de Wasaya....79
Annexe N – Exemple d'outil d'aide à la décision d'évaluation des risques prévol pour exploitants aériens commerciaux (assujettis à la sous-partie 703 du Règlement de l'aviation canadien) 80
Annexe O – Liste de vérification pour l'exposé à l'équipage de Wasaya 81
Annexe P – Glossaire....82

1.0 Renseignements de base

1.1 Déroulement du vol

Le 11 décembre 2015, le pilote du vol 127 (WSG127) de Wasaya Airways Limited Partnership (Wasaya) s'est présenté au travail au hangar de Wasaya à l'aéroport de Pickle Lake (CYPL) (Ontario) vers 8 h 15[1]. Le vol de taxi aérien devait être le premier de 3 voyages de transport de marchandises à bord du Cessna 208B Caravan (immatriculé C-FKDL, numéro de série 208B0240) prévus depuis CYPL à destination de l'aéroport d'Angling Lake/Wapekeka (CKB6) (Ontario). Le premier vol devait décoller à 9 h.

Le pilote s'est rendu à l'aire de trafic de Wasaya et a effectué une inspection prévol du C-FKDL pendant qu'une équipe au sol chargeait les marchandises à bord de l'aéronef. Un technicien en manutention de carburant d'aéronef de Wasaya a confirmé auprès du pilote que la quantité prévue était de 600 livres[2] de carburant Jet A par aile. L'avitaillement terminé, le technicien a consulté les jauges de carburant dans le poste de pilotage pour vérifier que la répartition était bien de 600 livres par aile.

Le pilote est retourné au hangar, où le chef d'escale lui a fait un exposé sur les vols prévus. Le pilote a été informé que le premier officier qui devait être affecté au vol avait été réaffecté à d'autres tâches afin d'augmenter la charge utile disponible de l'aéronef et d'embarquer une motoneige à bord.

Le pilote a rempli et signé un formulaire d'autorisation de la régulation des vols (FDC) de Wasaya pour le vol WSG127, dont il a déposé une copie, accompagnée des manifestes de marchandises du vol, à l'endroit désigné dans la salle des opérations de l'entreprise. D'après le formulaire FDC pour le vol WSG127, celui-ci devait se dérouler selon les règles de vol à vue (VFR), avec suivi du vol par l'entreprise, à une altitude de 5500 pieds au-dessus du niveau de la mer (ASL). Le temps de vol calculé était de 66 minutes, et la consommation de carburant prévue était de 413 livres.

Le pilote a regagné l'aéronef sur l'aire de trafic. Le chargement et l'avitaillement étaient achevés; le pilote a fait une dernière inspection extérieure du C-FKDL. Avant de monter dans le poste de pilotage, le pilote a fait une inspection de l'extrados.

À 8 h 54, le pilote a démarré le moteur du C-FKDL et a effectué des vérifications au sol pendant quelques minutes. À 8 h 58, le pilote a annoncé sur la fréquence obligatoire (MF) de 122,2 mégahertz (MHz) que le WSG127 circulait au sol en vue d'un départ depuis la piste 09 à CYPL.

Le WSG127 a décollé de la piste 09 à 9 h, et à 9 h 1, le pilote a annoncé sur la fréquence MF que l'aéronef avait pris son envol. L'aéronef a monté vers l'est sur une distance de plusieurs

---

1 Les heures sont exprimées en heure normale de l'Est (temps universel coordonné moins 5 heures).

2 Les unités correspondent à celles des instructions, manuels, documents et rapports officiels qui étaient utilisés par l'équipage ou qui lui avaient été remis.

milles, puis a viré à gauche pour intercepter la route vers CKB6. À environ 3000 pieds ASL, le WSG127 a brièvement descendu d'environ 100 pieds en 10 secondes avant de reprendre sa montée. À 9 h 5, le pilote a annoncé sur la fréquence MF que le WSG127 quittait la zone MF.

Le WSG127 a intercepté la route vers CKB6 et a monté vers le nord jusqu'à ce que le vol atteigne une altitude maximale d'environ 4600 pieds ASL à 9 h 8 min 41 s; à 9 h 8 min 46 s, il a commencé à descendre. À 9 h 9 min 16 s, l'aéronef a effectué un virage serré à droite d'environ 120° alors qu'il franchissait les 4000 pieds ASL en descente. À 9 h 9 min 39 s, la descente a pris fin à environ 2800 pieds, et l'aéronef a monté à environ 3000 pieds ASL avant d'amorcer une nouvelle descente. Vers 9 h 10, le WSG127 a percuté des arbres et le relief à une élévation de 1460 pieds ASL, durant les heures de clarté.

1.2 Tués et blessés

Tableau 1. Tués et blessés

	Équipage	Passagers	Autres	Total
Tués	1	–	–	1
Blessés graves	–	–	–	–
Légèrement blessés ou indemnes	–	–	–	–
Total	1	–	–	1

1.3 Dommages à l'aéronef

L'aéronef a été détruit sous la force de l'impact.

1.4 Autres dommages

Les marchandises ont été détruites sous la force de l'impact. L'impact avec des arbres et le déversement de carburant ont causé des dommages environnementaux mineurs.

1.5 Renseignements sur le personnel

Tableau 2. Renseignements sur le personnel

	Pilote
Licence de pilote	Licence de pilote professionnel
Date d'expiration du certificat médical	1er juin 2016
Heures de vol – total	2990
Heures de vol sur type	245
Heures de vol au cours des 7 derniers jours	22,1
Heures de vol au cours des 30 derniers jours	43
Heures de vol au cours des 90 derniers jours	124
Heures de vol sur type au cours des 90 derniers jours	124
Heures de service avant l'événement	1
Heures hors service avant la période de travail	13

Outre une lacune en matière de temps de formation initiale (décrite à la section 1.17.1.5), les dossiers de formation indiquaient que la qualification du pilote, sa certification et le maintien de ses compétences étaient conformes au manuel d'exploitation de la compagnie (MEC) de Wasaya et à l'article 703.88 du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC). Le pilote possédait les licences et la qualification nécessaires pour effectuer le vol, conformément à la réglementation en vigueur.

Au moment de l'accident, le pilote était titulaire d'une licence de pilote professionnel valide pour avions terrestres monomoteurs et multimoteurs, avec annotation pour le vol aux instruments de groupe 1, valide jusqu'au 1er juin 2016. Le dernier examen médical du pilote avait eu lieu le 28 mai 2015. Le pilote était titulaire d'un certificat médical de catégorie 1 valide jusqu'au 1er juin 2016, avec restriction l'obligeant à porter des verres correcteurs ou des lentilles cornéennes. Le pilote portait des lentilles cornéennes au moment de l'accident.

Le pilote était au service de Wasaya depuis 2013 et avait piloté d'autres types d'aéronefs. L'entreprise lui avait donné la formation initiale et la formation périodique annuelle sur la gestion des ressources de l'équipage et la prise de décisions des pilotes.

En juillet 2015, le pilote avait suivi la formation initiale sur le Cessna 208B et obtenu un certificat de compétence pilote à titre de commandant de bord de Cessna 208B le 28 juillet 2015. Avaient suivi 10 jours d'entraînement en ligne avant qu'il passe au service en ligne. Par la suite, le pilote avait reçu 8 heures d'entraînement sur simulateur Cessna 208 et achevé le cours en ligne produit par Cessna sur l'utilisation du Caravan par temps froid[3]. Le pilote avait réussi le contrôle de compétence pilote sur le Cessna 208B le 13 octobre 2015; ce

[3] Le cours de Cessna sur l'utilisation du Caravan par temps froid comprend : un examen détaillé de la météorologie par temps froid, y compris le givrage; une description exhaustive des circuits dégivreurs du Cessna 208B, de leur fonctionnement et de leurs limites; et des stratégies pour éviter au mieux les conditions givrantes ou en sortir.

contrôle, valide jusqu'au 1er novembre 2016, certifiait le pilote à titre de commandant de bord pour l'exploitation monopilote ou en équipage multiple.

L'horaire de travail du pilote lui accordait suffisamment de temps libre pour qu'il se repose adéquatement. Aucun renseignement sur l'historique de sommeil du pilote n'était disponible.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

Tableau 3. Renseignements sur l'aéronef

Constructeur	Cessna
Type, modèle et immatriculation	208B, Caravan, C-FKDL
Année de construction	1990
Numéro de série	208B0240
Date d'émission du certificat de navigabilité	19 juin 2013
Total d'heures de vol cellule	36 073,8 heures / 58 324 cycles
Type de moteur (nombre de moteurs)	Pratt & Whitney Canada PT6A-114A (1)
Type d'hélice ou de rotor (nombre)	McCauley 3GFR34C703-B (1)
Masse maximale autorisée au décollage	9062 livres*
Type(s) de carburant recommandé(s)	Jet A, Jet A-1, Jet B
Type de carburant utilisé	Jet A

* AeroAcoustics Aircraft Systems, Inc., *Installation Manual for AeroAcoustics Aircraft Systems, Inc. Aircraft Payload Extender Modification for the Cessna Caravan*, certificat de type supplémentaire SA01213SE, supplément au manuel d'utilisation de l'avion, p. 2.

1.6.1 Généralités

Le Cessna Caravan 208B est un aéronef à aile haute avec train d'atterrissage tricycle fixe, propulsé par un seul turbomoteur PT6A-114A de 675 hp. Dans sa configuration de fabrication, sa masse maximale au décollage est de 8750 livres. Il est certifié pour exploitation par un seul pilote, mais il comprend un siège, des commandes de vol et des instruments pour un second pilote.

Le C-FKDL était muni d'une hélice en aluminium McCauley à 3 pales avec mise en drapeau, à vitesse constante et à pas réversible. L'aéronef était certifié pour les vols VFR de jour et de nuit et pour les vols selon les règles de vol aux instruments (IFR), et il était interdit de vol dans des conditions givrantes connues ou prévues. Cette interdiction était indiquée sur une plaquette dans le poste de pilotage bien en vue du pilote (figure 1).

Le C208B peut être aménagé pour transporter 2 membres d'équipage et un maximum de 9 passagers, ou une combinaison de passagers et de marchandises, et il peut être muni d'un conteneur de fret. Le C-FKDL était configuré pour transporter des marchandises et muni d'un conteneur de fret ventral sous son fuselage.

Figure 1. Plaquette dans le poste de pilotage du C-FKDL (Traduction : CET AÉRONEF EST INTERDIT DE VOL DANS DES CONDITIONS GIVRANTES CONNUES OU PRÉVUES)

Des inspections du moteur et de la cellule du C-FKDL avaient été faites le 7 décembre 2015 (après 36 063,0 heures de vol cellule). Après ces inspections, l'aéronef avait accumulé 10,8 heures de vol avant l'accident. Un examen des documents techniques indique que le C-FKDL ne présentait aucun défaut connu ni point d'entretien différé. Le certificat de navigabilité de l'aéronef était valide, et la maintenance de l'aéronef avait lieu selon le calendrier courant approuvé de Wasaya.

D'après le manuel de contrôle de maintenance de l'entreprise [traduction], « les travaux élémentaires ou l'entretien doivent être faits selon les méthodes, pratiques et procédures recommandées par le fabricant[4] ».

1.6.2 Système de commande automatique de vol

Le C-FKDL était muni d'un système de commande de vol King KFC-150 qui comprenait un pilote automatique et un directeur de vol. D'après la section « Environment Conditions » (conditions environnementales) du supplément S1 Cessna au manuel d'utilisation de l'avion du Cessna 208B[5], l'utilisation du pilote automatique est interdite durant l'exploitation dans des conditions givrantes dépassant les conditions définies à la partie 25, annexe C du règlement 14 du *Code of Federal Regulations* (14 CFR) des États-Unis.

1.6.3 Modification par un système d'augmentation de charge utile

Le C-FKDL était doté de dispositifs d'augmentation de charge utile (APE) APE II STC SA00392SE (cloison de décrochage) et APE III STC SA01213SE (essieu) fabriqués par AeroAcoustics Aircraft Systems, Inc., qui faisaient l'objet d'un certificat de type supplémentaire (CTS). Cet équipement permettait d'augmenter à 9062 livres la masse maximale au décollage de l'aéronef. Le CTS précisait que la masse maximale pour voler avec un conteneur de fret dans des conditions givrantes connues était de 8550 livres.

---

4 Wasaya Airways Limited Partnership, *Maintenance Control Manual*, révision 10 (24 décembre 2014), section 2.3, p. 12.

5 *Cessna Model 208B (675 SHP) Pilot Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual Supplement S1*: *Known Icing Equipment*, révision 5 (10 février 2009), p. S1-17.

1.6.4 Certification en conditions de givrage

Les conditions givrantes qui servent à la certification d'aéronefs sont [traduction] :

> définies par les variables de la teneur en eau liquide du nuage, du diamètre moyen effectif des gouttelettes du nuage et de la température de l'air ambiant, et par la relation de ces trois variables entre elles[6].

Le diamètre moyen effectif maximal des gouttelettes pris en compte dans la certification est de 40 micromètres (µm) pour des conditions intermittentes et de 50 µm pour des conditions continues.

La bruine verglaçante consiste en des gouttelettes d'eau liquide surfondue de diamètres variant de 50 à 500 µm[7]. Étant donné la taille et la masse élevées des gouttelettes, la bruine verglaçante est au-delà des conditions dans lesquelles l'aéronef est certifié pour voler.

Beaucoup de Cessna 208B sont munis de circuits dégivreurs, définis dans la partie 23.1419 des *Federal Aviation Regulations* (FAR) des États-Unis, qui permettent de certifier les aéronefs pour exploitation dans des conditions givrantes. Cette certification exige la conformité au supplément S1 au *Cessna Model 208B (675 SHP) Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual* et à diverses consignes de navigabilité[8]. L'équipement facultatif suivant, approuvé par Cessna et la Federal Aviation Administration (FAA), doit être installé et entièrement fonctionnel :

- boudins de dégivrage des bords d'attaque d'aile et de haubans de voilure;
- boudins de dégivrage de bord d'attaque de stabilisateur;
- boudins de dégivrage de bord d'attaque de dérive;
- boudins antigivrage d'hélice;
- panneau antigivrage de pare-brise;
- circuit de chauffage du tube de pression statique/Pitot;
- circuit électrique de secours;
- voyant lumineux du détecteur de givre;
- séparateur inertiel de moteur (équipement obligatoire sur aéronefs standards);
- système avertisseur de décrochage chauffé (équipement compris sur aéronefs standards);
- système d'avertissement de basse vitesse fonctionnel;

---

6 Federal Aviation Administration (FAA), *Code of Federal Regulations* (CFR), règlement 14, partie 25, annexe C.

7 Federal Aviation Administration (FAA), Advisory Circular (AC) 91-74B: Pilot Guide: Flight In Icing Conditions (8 octobre 2015), p. 2.

8 Federal Aviation Administration (FAA), consignes de navigabilité (AD) 96-09-15, 2006-01-11R1 et 2007-10-15.

- équipement additionnel spécifié par la trousse accessoire facultative AK208-6 (boudins de dégivrage du bord d'attaque du bas de jambe du train d'atterrissage principal, boudin de dégivrage de la pointe avant du conteneur de fret).

Dans le cas des Cessna 208B qui sont certifiés pour voler dans des conditions givrantes connues, le supplément au manuel d'utilisation de l'avion de Cessna sur le givrage indique que l'aéronef est certifié pour l'exploitation dans les conditions spécifiées à la partie 25, annexe C du règlement 14 CFR. Le supplément comprend un avertissement qui interdit tout vol au-delà de ces conditions, y compris dans la bruine verglaçante[9].

En mai 2007, Wasaya a déterminé que la consigne de navigabilité 2007-10-15[10] ne s'appliquait pas au C-FKDL, puisque l'aéronef était interdit de vol dans des conditions givrantes connues ou prévues. Le C-FKDL était muni de boudins de dégivrage pneumatiques sur les bords d'attaque des ailes, des haubans de voilure, des stabilisateurs et de la dérive, de boudins antigivrage d'hélice à chauffage électrique, d'un système antigivrage de pare-brise, d'un système avertisseur de décrochage chauffé et d'un circuit de chauffage du tube de pression statique/Pitot. L'aéronef ne comportait aucun boudin de dégivrage de la pointe avant du conteneur de fret ou de jambe du train d'atterrissage principal, ni de système d'avertissement de basse vitesse.

1.6.5 ICEX II

Le composé liquide à base de silicone ICEX II réduit l'adhérence du givre aux surfaces traitées et favorise l'élimination du givre[11]. On utilise le produit ICEX II sur toutes sortes d'aéronefs dotés de boudins, dont le Cessna 208B. Cessna recommande d'appliquer de l'ICEX II dans le cadre des tâches d'entretien d'aéronef [traduction] « toutes les 50 heures de vol sur les boudins de dégivrage de la cellule, et toutes les 15 heures de vol sur les boudins de dégivrage d'hélice[12] ».

Au Canada, la maintenance d'aéronefs exploités commercialement doit respecter un calendrier de maintenance approuvé par Transports Canada (TC)[13]. Avant mai 2006, Wasaya appliquait le produit ICEX II uniquement aux boudins de dégivrage de la cellule sur sa flotte de Caravan, et selon des intervalles maximums de 50 heures entre applications. En mai 2006, Wasaya a révisé l'addenda de son calendrier de maintenance approuvé pour spécifier un intervalle d'application maximal de 100 heures. Aucun document justifiant la prolongation

---

9 *Cessna Model 208B (675 SHP) Pilot Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual Supplement S1: Known Icing Equipment*, révision 5 (10 février 2009), p. S1-16.

10 La consigne de navigabilité 2007-10-15 de la FAA remplace une consigne antérieure et exige l'installation d'un système d'avertissement de basse vitesse fonctionnel à bord des aéronefs qui ne sont pas actuellement interdits de vol dans des conditions givrantes connues ou prévues.

11 Cessna Aircraft Company, *Model 208/208B Maintenance Manual* (1er septembre 2014), section 12-31-00-3 (révision 28).

12 *Ibid*.

13 *Règlement de l'aviation canadien* (RAC), article 605.86.

de cet intervalle n'a été trouvé à Wasaya ou à TC; néanmoins, TC a approuvé la modification du calendrier de maintenance.

Au moment de l'accident, le calendrier de maintenance approuvé de Wasaya pour ses Cessna 208B stipulait l'application du produit ICEX II sur les boudins de dégivrage de la cellule à intervalles maximums de 100 heures durant la saison de givrage[14]. L'entreprise définissait la saison de givrage comme la période du 15 septembre au 15 mai. La tâche était exécutée par les techniciens d'entretien d'aéronefs de Wasaya.

Le produit ICEX II avait été appliqué aux boudins de dégivrage de bord d'attaque du C-FKDL 10,6 heures de vol avant l'accident.

L'addenda au calendrier de maintenance de Wasaya ne comprenait pas la recommandation de Cessna d'appliquer le produit ICEX II aux boudins antigivrage d'hélice à intervalles maximums de 15 heures. Un examen des dossiers de maintenance des Caravan de Wasaya n'a révélé aucune trace d'une application du produit ICEX II aux boudins antigivrage d'hélice des Caravan.

1.6.6 Performance de l'aéronef

1.6.6.1 Masse et centrage

L'aéronef transportait une motoneige, 2 lessiveuses et des denrées; la masse totale des marchandises s'élevait à 2646 livres. La motoneige occupait les zones de fret 1, 2 et 3 de la cabine. Une des lessiveuses se trouvait dans la zone 3, et l'autre chevauchait les zones 4 et 5 derrière la motoneige. La charge était répartie en deçà des limites de masse spécifiées pour chaque zone de fret.

Les enquêteurs ont calculé que la masse du WSG127 au décollage était de 9009 livres, et que le centre de gravité était à 202,75 pouces derrière la ligne de référence (annexe A). La masse et le centre de gravité se trouvaient dans les limites prescrites pour un aéronef interdit de vol dans des conditions givrantes.

---

14 Wasaya Airways Limited Partnership, *Cessna 208B/208 Approved Aircraft Maintenance Schedule No. P1464THU* (révision 11) (29 octobre 2014).

1.6.6.2 Performance en montée

Le CTS du système APE III installé sur le C-FKDL comprenait des données de performance à la montée pour le C208B modifié[15]. Le tableau de croisière ascendante indique que l'aéronef peut monter à un taux d'environ 800 pieds par minute (pi/min) entre 3000 et 4600 pieds ASL à 105 nœuds de vitesse anémométrique indiquée (KIAS)[16].

Pour sa flotte de Cessna 208B, Wasaya spécifiait la vitesse de montée recommandée de 120 KIAS avec la puissance réglée à 1650 pieds-livres de couple et l'hélice tournant à 1750 tr/min[17].

1.6.6.3 Vitesse de décrochage

Le supplément APE III au manuel d'utilisation de l'avion indiquait les vitesses de décrochage en fonction d'une masse maximale au décollage de 9062 livres (figure 2).

---

15 AeroAcoustics Aircraft Systems Inc., Supplemental Type Certificate SA01213SE *Pilot's Operating Handbook*, Supplement, p. 12.

16 Cessna fournit des tables d'étalonnage de la vitesse anémométrique pour le Cessna 208B au poids de 8750 livres, puissance réglée pour le vol en palier. Dans ces conditions, la vitesse indiquée et la vitesse corrigée sont égales dans la plage de 100 à 175 nœuds. (Source : *Cessna Model 208B (675 SHP) Pilot Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual*, révision 23 (4 mai 2007), p. 5-12.)

17 Wasaya Airways Limited Partnership, *Caravan C208 Standard Operating Procedures*, édition originale (février 2008), p. 2-6.

Figure 2. Vitesses de décrochage avec le système APE III (Source : AeroAcoustics Aircraft Systems Inc., Supplemental Type Certificate SA01213SE Pilot's Operating Handbook, Supplement, p. 5) [Traduction]

CONDITIONS :
Manette des gaz – ralenti
Manette de commande carburant – ralenti haut

REMARQUES :
1. La perte d'altitude durant une sortie de décrochage peut atteindre 300 pieds en cas de décrochage avec les ailes à l'horizontale et encore plus en cas de décrochage en virage.
2. Les valeurs KIAS sont approximatives.

MASSE (LB)	BRAQUAGE DES VOLETS	ANGLE D'INCLINAISON							
		0°		30°		45°		60°	
		KIAS	KCAS	KIAS	KCAS	KIAS	KCAS	KIAS	KCAS
9062	RENTRÉS	63	78	68	84	75	93	90	111
	10°	61	71	65	76	73	85	87	101
	20°	55	65	59	70	65	77	78	92
	30°	50	61	53	65	58	72	71	86

Aucun renseignement n'était disponible concernant la vitesse de décrochage pour d'autres masses ou avec un réglage de puissance supérieur au ralenti de vol.

1.6.6.4 Performance du Cessna 208B dans des conditions givrantes

L'accumulation de givre sur la cellule augmente la masse et la traînée aérodynamique d'un aéronef et diminue sa portance. L'accumulation de givre sur une hélice diminue la traction qu'elle produit. Ces changements entraînent une dégradation de la performance de l'aéronef, y compris une vitesse de décrochage plus élevée et un taux de montée plus faible. L'activation des boudins de dégivrage n'élimine pas tout le givre des boudins; le givre résiduel qui demeure sur sa surface après l'activation dégrade la performance de l'aéronef. En outre, l'accumulation ou l'élimination asymétrique de givre sur les surfaces peut entraîner des effets aérodynamiques imprévisibles.

Les risques que pose le givrage en vol étaient indiqués dans des manuels portant sur l'exploitation du WSG127.

Le manuel d'utilisation de l'avion du Cessna 208B contient l'avertissement suivant en caractères gras [traduction] :

> Des conditions environnementales au-delà de celles pour lesquelles l'aéronef est certifié peuvent donner lieu à un fort givrage. L'exploitation dans de la pluie verglaçante, de la bruine verglaçante ou des conditions givrantes mixtes (eau liquide surfondue et cristaux de glace) peut entraîner sur les surfaces protégées une accumulation de givre qui dépasse les capacités du système de

> protection contre le givre ou peut entraîner la formation de givre derrière les surfaces protégées. Il est possible que le givre ne soit pas éliminé par les systèmes de protection contre le givre, et qu'il dégrade gravement la performance et la manœuvrabilité de l'aéronef[18].

D'après le supplément S1 Cessna au manuel d'utilisation de l'avion du C208B [traduction] :

> [l]orsque l'on entre dans des conditions givrantes, on doit immédiatement prendre des mesures pour en sortir avant que la performance de l'aéronef se dégrade au point où une montée, normalement la meilleure option en l'occurrence, pourrait être impossible à cause de l'accumulation de givre résiduel[19].

D'après les procédures d'utilisation normalisées (SOP) de Wasaya [traduction] :

> [s]i l'on entre par inadvertance dans des conditions givrantes, on doit immédiatement débrayer le pilote automatique et piloter manuellement l'aéronef jusqu'au sortir des conditions givrantes. On doit immédiatement sortir de toutes conditions givrantes et se reporter à la section des urgences des SOP[20].

Dans le cas des Cessna 208B qui sont certifiés pour voler dans des conditions givrantes, le supplément au manuel d'utilisation de l'avion prévient que [traduction] « l'exploitation dans des conditions au-delà de celles stipulées à la partie 25, annexe C du règlement 14 CFR est interdite[21] » et spécifie une limite inférieure de vitesse anémométrique, dans des conditions givrantes, de 120 KIAS avec volets rentrés, ou 110 KIAS avec volets rentrés en montée pour sortir des conditions givrantes[22]. S'il est impossible de maintenir ces vitesses anémométriques, ou en cas de réduction de 10 nœuds de la vitesse anémométrique que ne peut contrer une augmentation du régime à la puissance maximale continue, il est alors interdit de poursuivre le vol dans les conditions givrantes[23].

D'après le supplément au manuel d'utilisation de l'avion, l'accumulation de givre sur le Cessna 208B [traduction] « peut entraîner une hausse de 20 KIAS de la vitesse de décrochage » et « le système d'avertissement sonore de décrochage ne fonctionne pas toujours correctement dans toutes les conditions givrantes. On ne doit pas s'y fier pour être averti adéquatement d'un décrochage dans des conditions givrantes[24] ».

---

18 *Cessna Model 208B (675 SHP) Pilot Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual*, révision 23 (4 mai 2007), p. 2-21.

19 *Cessna Model 208B (675 SHP) Pilot Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual Supplement S1: Known Icing Equipment*, révision 5 (10 février 2009), p. S1-3.

20 Wasaya Airways Limited Partnership, *Caravan C208 Standard Operating Procedures*, édition originale (février 2008), p. 212.

21 *Cessna Model 208B (675 SHP) Pilot Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual Supplement S1: Known Icing Equipment*, révision 5 (10 février 2009), p. S1-16.

22 *Ibid.*, p. S1-18.

23 *Ibid.*, p. S1-17.

24 *Ibid.*, p. S1-49.

1.6.7 Radiobalise de repérage d'urgence

Le C-FKDL était muni d'une radiobalise de repérage d'urgence (ELT) Kannad AF-COMPACT de 406 MHz installée dans la queue de l'aéronef. Déclenchée par un impact ou manuellement par l'équipage, elle transmet des signaux sur les fréquences de 406 MHz et 121,5 MHz. La fréquence de 406 MHz est détectée par le système de satellites d'aide à la recherche et sauvetage par satellite Cospas-Sarsat[25], qui transmet la position et l'identification d'un aéronef qui s'est écrasé au Centre canadien de contrôle des missions (CCCM). Le CCCM transmet ensuite ces renseignements à un des 3 centres conjoints de coordination de sauvetage au Canada, selon la position du signal[26].

1.6.8 Système de surveillance par satellite

Le C-FKDL était muni d'un système de suivi des vols par satellite ISAT-100 (numéro de série 1856) fabriqué par SKYTRAC Systems.

1.7 Renseignements météorologiques

1.7.1 Généralités

Le pilote avait utilisé un ordinateur dans la salle des pilotes, à la base de Wasaya à CYPL, pour remplir le formulaire FDC. Cet ordinateur avait une connexion Internet pour obtenir les renseignements météorologiques. On n'a pas pu déterminer quels renseignements météorologiques le pilote avait consultés durant les préparatifs du vol.

1.7.2 Conditions météorologiques avant le vol

1.7.2.1 Généralités

Cette section contient des renseignements météorologiques qui étaient facilement accessibles sur le site Web de la météorologie à l'aviation de NAV CANADA durant les préparatifs du vol WSG127.

1.7.2.2 Départ

Une prévision d'aérodrome (TAF) a été émise pour CYPL à 7 h 38. Pour la période de 8 h à 13 h, cette prévision indiquait : vents de 020° vrai (V) à 8 nœuds, visibilité de plus de 6 milles terrestres (sm), neige faible, couverture nuageuse à partir de 1500 pieds au-dessus du niveau du sol (AGL), avec conditions transitoires de 11 h à 13 h de visibilité supérieure à 6 sm et couverture nuageuse à partir de 1500 pieds AGL.

Le message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) de 8 h pour CYPL indiquait : vents de 040 °V à 13 nœuds, visibilité de 10 sm dans de la neige faible,

---

25 Cospas est l'acronyme russe pour « système spatial pour les recherches des navires en détresse ». Cospas-Sarsat est le système international de satellites pour les recherches et le sauvetage.

26 Les centres conjoints de coordination de sauvetage se trouvent à Halifax (Nouvelle-Écosse), à Trenton (Ontario) et à Victoria (Colombie-Britannique).

couverture nuageuse de stratocumulus à partir de 1000 pieds AGL, température de −5 °C, point de rosée de −7 °C, calage altimétrique de 29,72 pouces de mercure (po Hg).

1.7.2.3 Destination

L'aérodrome CKB6 ne dispose d'aucun programme d'observation météorologique, et aucun METAR ni TAF n'est émis pour lui. L'aéroport le plus proche de CKB6 pour lequel on émet des METAR et des TAF est l'aéroport de Big Trout Lake (CYTL) (Ontario), situé à 11 milles marins (nm) à l'ouest de CKB6.

Une TAF modifiée pour CYTL avait été émise à 6 h 48 (tableau 4).

Tableau 4. TAF modifiée pour CYTL émise à 6 h 48

Période	Prévision
6 h à 9 h	Vents de 360 °V à 7 nœuds, visibilité 2 sm dans de la neige faible et de la brume, couverture nuageuse à partir de 300 pieds AGL
	Conditions transitoires de 6 h à 9 h : visibilité supérieure à 6 sm, aucun temps significatif et couverture nuageuse à partir de 900 pieds AGL
9 h à 15 h	Vents de 360 °V à 7 nœuds, visibilité 2 sm, neige faible, couverture nuageuse à partir de 400 pieds AGL
	Conditions transitoires de 9 h à 15 h : visibilité supérieure à 6 sm, aucun temps significatif et couverture nuageuse à partir de 1000 pieds AGL
	30 % de probabilité, de 9 h à 13 h, de couverture nuageuse à partir de 300 pieds AGL

Le METAR « auto » de 8 h pour CYTL indiquait : vents de 350 °V à 6 nœuds, direction variable de 310 °V à 040 °V, visibilité de 3 sm dans de la brume, couverture nuageuse à partir de 300 pieds AGL, température de −6 °C, point de rosée de −7 °C, calage altimétrique de 29,81 po Hg.

1.7.2.4 Prévision de zone graphique

Les prévisions de zone graphique (GFA) décrivent :

> les conditions météorologiques les plus probables entre la surface et l'altitude de 24 000 pieds pour une zone donnée à une heure donnée (l'heure de validité). La prévision de zone graphique est conçue essentiellement pour répondre aux besoins de l'aviation générale et des transporteurs aériens régionaux[27].

Les GFA sont valides pendant 12 heures et peuvent être modifiées par des renseignements météorologiques significatifs (SIGMET) ou de nouveaux renseignements (AIRMET[28]); elles peuvent être remplacées par des prévisions d'une période de validité plus récente[29].

Le tableau 5 présente les définitions de certains des termes utilisés dans les GFA.

---

27 NAV CANADA : Site Web de la météorologie à l'aviation/Guide de l'utilisateur, section 3.2.7, Prévision de zone graphique (FA graphique), https://flightplanning.navcanada.ca/cgi-bin/CreePage.pl?Page=weather-products&NoSession=&TypeDoc=user-guide&Langue=francais#gfa (dernière consultation le 5 septembre 2017).

28 AIRMET signifie « Renseignements météorologiques à court terme destinés principalement à avertir les pilotes en vol de conditions météorologiques potentiellement dangereuses qui ne sont pas décrites dans les prévisions de zone en vigueur, et qui ne nécessitent pas l'émission de renseignements météorologiques significatifs (SIGMET). » (Source : Transports Canada, *Glossaire à l'intention des pilotes et du personnel des services de la circulation aérienne* [19 juillet 2012].)

29 Transports Canada, TP 14371F (2016-1), *Manuel d'information aéronautique,* section MET 1.3.6.

Tableau 5. Définitions GFA

Abréviation	Terme	Définition
BKN	Fragmenté	De 5 à 7 octas*
XTNSV	Vaste, considérable	Couverture spatiale supérieure à 50 %
PTCHY	Nappes, en bancs	Couverture spatiale de 26 à 50 % inclusivement
LCL	Local	Couverture spatiale inférieure à 25 %
MDT ICG	Givrage modéré	Le taux d'accumulation de la glace est tel que même de courtes périodes d'exposition peuvent devenir dangereuses. On doit alors utiliser un système de dégivrage ou d'antigivrage ou encore changer de route**.
SVR ICG	Givrage fort	Le taux d'accumulation de glace est tel que les systèmes de dégivrage ou d'antigivrage ne parviennent pas à réduire ou à maîtriser le danger. Il faut immédiatement changer de route**.
MXD ICG	Givrage mixte	Mélange de givre blanc et de givre transparent simultanément

* 1 octa de nuages couvre un huitième du ciel.

** Transports Canada, TP 14371F (2016-1), *Manuel d'information aéronautique*, section MET 2.4

L'annexe B montre 2 cartes de la GFA Ontario-Québec valide à 7 h; elles illustrent les conditions suivantes qui étaient prévues pour la région du nord-ouest de l'Ontario :

- Nuages et temps (émise à 6 h 51) : nuages fragmentés à partir de 3000 pieds ASL jusqu'à 6000 pieds ASL; plafond épars par endroits de 600 à 1200 pieds AGL; et visibilité locale de 2 sm dans de la neige faible, de la faible bruine verglaçante et de la brume, et plafonds à 300 pieds AGL.
- Givrage, turbulence et niveau de congélation (émise à 6 h 53) : niveau de congélation à la surface; aucune turbulence modérée ou forte; givrage mixte modéré et en bancs de 3000 à 6000 pieds ASL; et givrage mixte modéré local de la surface jusqu'à 3000 pieds ASL à cause d'une bruine verglaçante.
- Aucun SIGMET ni AIRMET n'a été émis après la GFA.

1.7.2.5 Comptes rendus de pilotes

Les pilotes font périodiquement des comptes rendus des conditions météorologiques, qui sont diffusés ensuite pour utilisation par d'autres pilotes. Le 11 décembre 2015, le premier compte rendu de pilote dans le nord-ouest de l'Ontario a été fait après l'accident.

1.7.2.6 Prédictions météorologiques en route supplémentaires automatisées

Selon la description de NAV CANADA,

> Les produits graphiques tirés du système de Prédictions météorologiques Enroute Supplémentaire [sic] Automatisées (PESA) sont générés par ordinateur directement à partir du traitement des données numériques des

> prévisions. Il n'y a aucune intervention humaine ni modification des produits affichés[30].

Étant donné que ces produits sont générés sur mesure à partir de renseignements fournis par les utilisateurs, ils ne sont ni archivés ni reproductibles de façon rétroactive.

Le produit graphique PESA de prévision de givrage est composé de 2 panneaux indiquant la distribution verticale et horizontale du givre prévu pour la trajectoire de vol proposée. Il n'y a pas de prévision de type ou d'intensité de givrage[31].

1.7.3 Conditions météorologiques constatées en route par un autre Cessna 208B de Wasaya

Un autre Cessna 208B de Wasaya, le C-FKAD, qui effectuait le vol WSG128 selon les règles VFR, a décollé de CYPL à 8 h 48 en direction nord-est. Cet aéronef était interdit de vol dans des conditions givrantes connues ou prévues. Le pilote avait suivi le cours de Cessna sur les opérations par temps froid en novembre 2015.

Durant les préparatifs du vol, le pilote a vérifié les METAR et les TAF pour CYPL et plusieurs autres aéroports du nord-est. Le pilote a examiné la carte GFA Ontario-Québec et a pris note du fait qu'elle prévoyait du givrage local à cause d'une bruine verglaçante. Selon son évaluation des renseignements météorologiques, le pilote a déterminé que le vol pouvait se dérouler selon les règles VFR, que le givrage local prévu était isolé et qu'il y avait une probabilité qu'il se trouve dans des conditions givrantes durant le vol.

Il n'y avait pas de précipitations à CYPL durant les préparatifs du vol. Avant de démarrer le moteur, le pilote a fait une inspection tactile de l'extrados et a constaté qu'il n'y avait pas de contamination.

Après le décollage, le pilote a noté que le ciel à CYPL présentait des nuages déchiquetés, avec des nuages épars de 400 à 700 pieds AGL; il y avait des couches nuageuses déchiquetées et fragmentées au-dessus, une visibilité de 5 à 10 sm et des zones visibles de précipitations. Le pilote a décidé qu'il n'était pas souhaitable de voler sous la base des nuages; il a donc continué à monter pour atteindre une altitude maximale d'environ 4400 pieds ASL.

Durant la montée, l'aéronef volait dans de la brume et a commencé à lentement accumuler une trace de givre sur le pare-brise et les bords d'attaque alors que l'aéronef sortait de la zone MF au nord-est de CYPL. À mesure que se poursuivait la montée, le contact visuel avec la surface était intermittent alors que l'aéronef traversait des nuages; l'aéronef s'est trouvé de façon intermittente dans des conditions météorologiques de vol aux instruments. Le pilote a allumé le panneau antigivrage de pare-brise et les boudins antigivrage d'hélice, et il a

---

30 NAV CANADA : Site Web de météorologie aéronautique/Guide de l'utilisateur, section 3.3, Produits PESA, https://flightplanning.navcanada.ca/cgi-bin/CreePage.pl?Page=asep-products&NoSession=&TypeDoc=user-guide&Langue=francais#asep (dernière consultation le 5 septembre 2017).

31 *Ibid.*, section 3.3.7, « Givrage ».

périodiquement augmenté et réduit la vitesse de l'hélice pour favoriser l'élimination de givre. Les boudins de dégivrage de bord d'attaque n'ont pas été utilisés durant la montée. Le pilote manœuvrait l'aéronef manuellement, le pilote automatique étant débrayé.

Alors que l'aéronef se trouvait à 15 nm au nord-est de CYPL, environ 5 ou 6 minutes après être entré dans des conditions givrantes, le pare-brise était opaque à cause du givre, sauf dans la partie chauffée par le panneau antigivrage de pare-brise. Le pilote sentait la vibration de l'hélice et le givre qui tombait de celle-ci; les bords d'attaque avaient accumulé moins de ¼ pouce de givre, et la vitesse anémométrique avait diminué de 5 à 10 nœuds. Aucun problème de manœuvrabilité n'a été relevé. Le pilote a décidé que la meilleure marche à suivre était de retourner à CYPL. Il a donc fait demi-tour et amorcé une descente, environ 2 minutes après que le WSG127 a annoncé qu'il avait quitté la zone MF.

Peu après avoir fait demi-tour, le pilote de WSG128 a utilisé une fois les boudins de dégivrage de bord d'attaque, alors qu'il y avait accumulation de moins d'un quart d'un pouce de givre. Le pilote a établi le contact visuel avec CYPL à environ 5 nm de l'aéroport, et a réglé les volets à 20° pour atterrir. Durant l'atterrissage, le pare-brise était opaque à cause de l'accumulation de givre, mais la visibilité était bonne à travers le panneau chauffant antigivrage. Il y avait du givre sur l'hélice après l'atterrissage.

1.7.4 Indicateur des conditions de givrage

L'indicateur des conditions de givrage Current Icing Product (CIP), fourni par l'Aviation Weather Center des États-Unis, couvre les 48 États contigus des États-Unis et une bonne partie du Canada. Le CIP comprend [traduction] « des analyses tridimensionnelles générées par ordinateur des renseignements sur la probabilité de conditions givrantes » et « représente la plus récente analyse des régions de givre potentiel[32] ». Les pilotes peuvent s'en servir pour la planification du vol en se rendant sur le site Web de l'Aviation Weather Center des États-Unis. Cet outil consiste en des cartes indiquant la probabilité et la gravité de givrage à diverses altitudes.

Il n'y avait aucune carte CIP archivée pour le 11 décembre 2015. Le National Center for Atmospheric Research des États-Unis a effectué une réanalyse CIP pour le 11 décembre 2015 à 9 h 8 (annexes C et D).

Les cartes CIP de probabilité de givrage montrent une probabilité de givre dans la région de CYPL à partir d'environ 1500 pieds ASL; la probabilité augmente à 60 % entre 2500 et 5000 pieds ASL, puis diminue à 20 % entre 5000 et 6000 pieds ASL.

Les estimations CIP de gravité du givrage [traduction] :

> s'appuient essentiellement sur le taux d'accrétion de givre sur un aéronef; le niveau de gravité est déterminé selon le temps que met une surface portante à accumuler ¼ [pouce de] givre : trace, 1 h; léger, de 15 min à 1 h; modéré, de

---

32 U.S. Aviation Weather Center, « ADDS Icing Help », https://aviationweather.gov/icing/help (dernière consultation le 16 septembre 2017).

> 5 à 15 min; et fort, moins de 5 min. Ces taux sont estimés en fonction de la quantité d'eau liquide surfondue en gouttelettes d'un diamètre nominal de 15 microns [µm]; les estimations sont raffinées selon les comptes rendus de pilotes sur la gravité qu'ils ont constatée dans les parages. Il s'agit de valeurs relatives, et leur utilisation doit tenir compte de la cellule de l'aéronef et du degré de protection antigivrage dont dispose l'aéronef[33].

Les cartes CIP de gravité du givrage (annexe D) illustrent la gravité potentielle du givrage dans la région de CYPL : de trace à légère de 1500 à 2500 pieds ASL, et légère de 2500 à 5000 pieds ASL.

1.7.5 Conditions météorologiques en altitude à l'aéroport de Pickle Lake

Environnement Canada effectue des radiosondages en altitude à CYPL. Les radiosondes sont des instruments météorologiques que l'on envoie dans l'atmosphère au moyen de ballons sondes météorologiques. À mesure que monte le ballon sonde, la radiosonde collecte des données, comme la vitesse et la direction du vent, la température et l'humidité à différentes altitudes. Ces renseignements sont destinés aux météorologues; les pilotes n'y ont pas accès pour la préparation d'un vol ou en vol.

Les renseignements fournis par l'observation de 7 h le 11 décembre 2015 ont été reportés dans un diagramme de Herlofson[34], depuis la surface jusqu'à 18 000 pieds, en utilisant le logiciel RAOB[35] (annexe E).

L'algorithme du sondage de givre indiquait un risque modéré à élevé de conditions givrantes modérées à fortes dans les nuages et de précipitations, depuis la surface jusqu'aux cimes des nuages à près de 5000 pieds ASL. Le tableau 6 montre les types et la probabilité de conditions givrantes, déterminés à partir des données de sondage.

---

33 *Ibid*.

34 Un diagramme de Herlofson est un diagramme météorologique standard dont les coordonnées sont la température et le logarithme de la pression. Il sert à indiquer les vents, la température, le point de rosée et divers indices pour définir la structure verticale de l'atmosphère.

35 Le programme interactif d'analyse de sondages RAOB a été développé par Environmental Research Services à Matamopras (Pennsylvanie).

Tableau 6. Probabilité et type de conditions givrantes à CYPL, 11 décembre 2015, 7 h HNE

Hauteur (pieds ASL)	Température (°C)	Point de rosée (°C)	Type de givre et intensité	Probabilité de givre (%)
1224 (surface)	−4,7	−6,1	Givre blanc modéré	82
2153	−6,9	−8,0	Fort givre transparent	92
4299	−11,9	−12,0	Givre transparent modéré	93
4447	−12,3	−13,2	Trace de givre transparent	68
4902	−8,3	−10,9	Trace de givre blanc	61
4963	−8,3	−13,3	Trace de givre blanc	22

1.7.6 Prévisions de la zone graphique Ontario-Québec pour les 9 et 10 décembre 2015

Au cours des 2 journées précédant l'accident, la région du nord-ouest de l'Ontario avait connu des conditions de plafonds bas et de visibilité réduite, ainsi que de brouillard givrant et de bruine verglaçante.

L'annexe F montre 2 cartes de la GFA Ontario-Québec valides à 7 h, le 9 décembre 2015, indiquant les conditions qui étaient prévues pour la région du nord-ouest de l'Ontario :

- Nuages et temps (émise à 6 h 31) : visibilité locale de 4 sm dans de la neige faible, plafonds épars à partir de 400 pieds AGL, et visibilité locale de ½ sm dans du brouillard givrant.
- Givrage, turbulence et niveau de congélation (émise à 6 h 33) : niveau de congélation à la surface; aucune turbulence modérée ou forte depuis la surface jusqu'au niveau de vol FL 210[36]; givrage mixte modéré entre 2500 et 5000 pieds ASL, avec givrage mixte modéré local depuis la surface jusqu'à 2500 pieds ASL à cause d'une bruine verglaçante.

L'annexe G montre 2 cartes de la GFA Ontario-Québec valides à 7 h, le 10 décembre 2015, indiquant les conditions qui étaient prévues pour la région du nord-ouest de l'Ontario :

- Nuages et temps (émise à 6 h 41) : nuages fragmentés à partir de 3000 pieds ASL jusqu'à 5000 pieds ASL avec visibilité supérieure à 6 sm; visibilité locale de 2 sm dans de la neige faible; plafonds étendus de 300 à 800 pieds AGL avec visibilité locale de ¾ sm dans de la brume et d'une faible bruine verglaçante.
- Givrage, turbulence et niveau de congélation (émise à 6 h 43) : niveau de congélation à la surface; aucune turbulence modérée ou forte; givrage mixte modéré de 3000 à 5000 pieds ASL, avec givrage mixte modéré local depuis la surface jusqu'à 3000 pieds ASL à cause d'une bruine verglaçante.

---

36 FL 210 (21 000 pieds au-dessus du niveau moyen de la mer) est l'altitude, exprimée en centaines de pieds, indiquée sur un altimètre calé à 29,92 po de mercure. Source : Transports Canada, TP 14371, *Manuel d'information aéronautique de Transports Canada* (AIM de TC) (2 avril 2015), Généralités, 5.1 Glossaire de terminologie aéronautique.

1.8 Aides à la navigation

Le vol WSG127 naviguait au moyen d'un appareil GPS (système mondial de positionnement pour navigation satellite) Garmin GTN 750 installé à bord du C-FKDL. On n'a signalé aucun problème et aucune panne relativement à ce système.

1.9 Communications

Le vol WSG127 communiquait avec les services de la circulation aérienne de NAV CANADA par l'intermédiaire de la station d'information de vol (FSS) de Thunder Bay sur la MF de 122,2 MHz de CYPL. On n'a signalé aucun problème lié aux communications vocales sur cette fréquence.

Le pilote du WSG128, qui retournait à CYPL à cause de conditions givrantes, a établi la communication radio avec le WSG127 sur la fréquence 126,7 MHz et a proposé une fréquence différente. Toutefois, il n'a pas pu établir la communication sur la seconde fréquence pour l'informer qu'il retournait à CYPL à cause de conditions givrantes. Le pilote a dû cesser d'essayer de joindre le WSG127, car il devait communiquer avec la FSS de Thunder Bay sur la MF de CYPL et se préparer à atterrir. Il a communiqué avec le coordonnateur des opérations de Wasaya à CYPL pour l'informer des conditions givrantes et de son retour. Le coordonnateur des opérations a par la suite tenté de joindre le WSG127 sur la fréquence de l'entreprise pour lui transmettre le compte rendu de givrage et l'informer que le WSG128 avait fait demi-tour.

Le système de suivi des vols par satellite ISAT-100 installé à bord du C-FKDL permet aux pilotes d'échanger des messages texte avec les préposés au suivi des vols de Wasaya. Aucun message texte n'a toutefois été transmis pendant le vol WSG127. Le système de suivi des vols par satellite ISAT-100 fournit également des messages d'état aux préposés au suivi des vols; à 9 h 10, les préposés au suivi des vols de Wasaya ont reçu un message selon lequel l'état du WSG127 était « moteur arrêté » et « roues au sol ».

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

CYPL est un aéroport agréé exploité par le gouvernement de l'Ontario. Cet aéroport compte 1 piste asphaltée (09/27), qui fait 4921 pieds de long sur 100 pieds de large.

1.11 Enregistreurs de bord

Le C-FKDL était dépourvu d'enregistreur de données de vol et d'enregistreur de conversations de poste de pilotage; ni l'un ni l'autre n'était requis selon la réglementation.

De nombreux rapports d'enquête aéronautique du BST ont mentionné l'incapacité des enquêteurs de déterminer les raisons pour lesquelles un accident s'était produit, du fait de

l'absence de dispositifs d'enregistrement de bord[37]. Les avantages des données de vol enregistrées dans le cadre d'enquêtes sur les accidents d'aéronefs sont bien connus et documentés[38].

En 2013, après son enquête sur un incident de perte de maîtrise et de désintégration en vol survenu au nord-est de Mayo (Yukon) en mars 2011 (Rapport d'enquête aéronautique A11W0048 du BST), le BST a constaté que si une enquête ne dispose pas d'enregistrements des conversations dans le poste de pilotage ou d'enregistrements de données, il peut être impossible de cerner des lacunes de sécurité et d'en faire état en vue de promouvoir la sécurité des transports. Il a constaté en outre que, lorsque se produit un accident, les données de systèmes d'enregistrement des données de vol légers fournissent aux enquêteurs des renseignements utiles qui les aident à cerner des lacunes de sécurité. Par conséquent, le Bureau a recommandé que :

> le ministère des Transports, en collaboration avec l'industrie, élimine les obstacles et élabore des pratiques recommandées en ce qui a trait à la mise en œuvre du suivi des données de vol et à l'installation de systèmes d'enregistrement des données de vol légers par les exploitants commerciaux qui ne sont pas actuellement tenus de munir leurs aéronefs de ces systèmes.
>
> **Recommandation A13-01 du BST**

En réponse à la recommandation A13-01, en 2013, TC a engagé le processus de discussion avec l'industrie dans le cadre d'une évaluation des risques visant à étudier d'autres méthodes de surveillance des données de vol au Canada. À la suite de l'évaluation des risques, TC a décidé de donner suite à la rédaction d'une circulaire d'information en 2015-2016 décrire les pratiques recommandées concernant les programmes de suivi des données de vol (SDV). En janvier 2015, TC allait organiser des programmes de consultation avec des groupes de discussion afin de cerner les obstacles dans le mandat de Transport Canada et de présenter des recommandations sur l'atténuation de ces obstacles concernant l'installation de systèmes légers d'enregistrement des données de vol par les exploitants commerciaux qui ne sont pas actuellement tenus de munir leurs aéronefs de ces systèmes. En novembre 2015, TC allait rédiger un document de travail comprenant des renseignements factuels sur le SDV, ainsi que les avantages, les coûts et les défis liés à l'utilisation accrue du SDV. TC examinera à nouveau l'évaluation des risques du SDV et proposera des options au ministre.

En janvier 2017, TC a indiqué qu'il avait l'intention d'organiser un groupe de discussion au cours de l'année à venir et que le groupe comprendra des représentants du secteur pour évaluer les défis et les avantages de l'installation généralisée d'enregistreurs multifonctions légers dans les petits aéronefs.

Dans le cadre de sa réévaluation, en mars 2017, de la recommandation A13-01, le BST indique que TC avait l'intention d'organiser le groupe de discussion depuis 2013. D'ici à ce

---

37 Rapports d'enquêtes aéronautiques A01W0261, A02W0173, A03H0002, A05W0137, A05C0187, A06W0139, A07Q0063, A07W0150, A09A0036, A09P0187 et A10P0244 du BST.

38 Rapport d'enquête aéronautique A11W0048 du BST.

que ce groupe de discussion formule des conclusions quant aux défis et aux avantages de l'installation d'enregistreurs multifonctions légers dans les petits aéronefs et à ce que TC indique au BST le plan d'action découlant de ces conclusions, on ignore quand et comment la lacune de sécurité soulevée par la recommandation A13-01 sera corrigée.

Par conséquent, à l'égard de la réponse à la recommandation A13-01, le Bureau estime que son évaluation est impossible.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

Le WSG127 a percuté des arbres et le relief sur le flanc sud-est du mont Tarp (Ontario), dans un secteur boisé aux coordonnées 51°36'31,40" N, 90°9'34,82" O, à une élévation de 1460 pieds ASL. La forêt était principalement composée de conifères de 50 à 60 pieds de haut et d'un diamètre atteignant 14 pouces, et d'arbres feuillus de taille semblable.

L'aéronef a d'abord heurté la cime d'un arbre à environ 60 pieds au-dessus du sol. Il a descendu à un angle d'environ 40° à travers les arbres, sur un cap approximatif de 160° magnétique (M). Il a percuté plusieurs arbres durant sa descente, faisant que plusieurs se sont rompus à environ 20 à 30 pieds au-dessus du sol. La distance entre le premier arbre que l'aéronef a percuté et l'endroit où le nez de l'aéronef s'est immobilisé était de 82 pieds. L'aéronef a percuté le relief ailes à l'horizontale, à un angle de piqué supérieur à 30°.

Le fuselage s'est immobilisé sur un cap approximatif de 198 °M contre et sur des arbres (figure 3).

Tous les dommages causés à l'aéronef étaient attribuables aux forces d'impact. Toutes les gouvernes et tous les principaux composants de la structure ont été trouvés autour de l'épave.

Le volume du poste de pilotage a été considérablement réduit par les forces d'impact, la cloison pare-feu et le tableau de bord ayant été déplacés vers l'arrière, et la cloison du compartiment de marchandises ayant été déplacée vers l'avant.

Figure 3. Vue avant gauche de l'épave

L'antenne de l'ELT s'est rompue de son socle extérieur et a été retrouvée sur le sol du côté gauche du fuselage. Un examen a permis de déterminer que le câble de l'antenne avait été arraché des connecteurs du boîtier de l'ELT et du socle d'antenne à l'intérieur du fuselage.

L'examen de l'épave de la cellule sur les lieux de l'accident a révélé une accumulation de givre d'une épaisseur approximative de 5/16 pouce sur la sonde de température extérieure (figure 4), les antennes (figure 5) et d'autres composants saillants. Il y avait du givre résiduel sur les boudins de dégivrage de la dérive (figure 6), du stabilisateur (figure 7) et de l'aile droite (figure 8), ce qui indique que les boudins avaient été activés après l'accumulation de givre en vol.

Figure 4. Givre sur la sonde de température extérieure

Figure 5. Givre sur une antenne du côté droit de la dérive

Figure 6. Givre sur le côté droit de la dérive

Figure 7. Givre sur le bord d'attaque du stabilisateur gauche

Figure 8. Givre sur le bord d'attaque de la partie extérieure de l'aile droite

L'enquête a permis de déterminer que le moteur produisait de la puissance au moment de l'impact; les aubes de la turbine de puissance et de la turbine de compresseur étaient intactes. L'accouplement du réducteur du 1er étage s'était arraché du support du 1er étage et montrait des signes de rotation. L'axe creux du générateur-démarreur était fracturé et montrait des signes de défaillance en torsion. Le démontage du moteur a permis de déterminer que les turbines de compresseur et de puissance, de même que le carter moteur, montraient des signes de puissance élevée au moment de l'impact. Les dommages à l'hélice étaient caractéristiques d'une hélice entraînée au moment de l'impact.

Les marchandises ont été retrouvées principalement dans le poste de pilotage; certains objets plus légers ont été éjectés de la cabine à travers les parois rompues du fuselage. La motoneige est restée arrimée au plancher par des sangles d'arrimage derrière la cloison du compartiment de fret de droite; toutefois, la structure du plancher de la cabine était déformée et rompue, ce qui a permis le déplacement vers l'avant de la motoneige.

Le panneau de commande du pilote automatique King KFC-150 a été détruit par les forces d'impact. Ce système ne comprend aucune mémoire non volatile. L'enquête n'a pas pu déterminer si le pilote du WSG127 a utilisé le pilote automatique durant le vol.

L'examen de certains composants de l'épave par le Laboratoire d'ingénierie du BST a révélé les faits suivants :

- L'extrémité d'une pale d'hélice s'est rompue en condition de surcharge, et une bosselure semi-cylindrique dans l'extrémité de la pale montrait des signes de transfert de matériau provenant d'un objet en alliage d'acier inoxydable.
- L'aiguille du compte-tours de l'hélice indiquait 1775 tr/min. On a déterminé que 1775 tr/min aurait été une indication valide au moment de la perte de signal de la génératrice tachymétrique dans la séquence d'impact.
- On n'a pas pu déterminer les indications des instruments de vitesse anémométrique et de vitesse verticale.
- Tous les voyants annonciateurs qui ont été examinés étaient sans doute éteints, sauf le voyant annonciateur « FUEL SELECT OFF ». Les filaments de cet annonciateur affichaient les caractéristiques de voyants allumés au moment de l'impact. Cet annonciateur s'est sans doute allumé comme suite à la perturbation et au court-circuitage du câblage de ce circuit dans la séquence d'impact.
- L'indicateur de commandes de vol du siège de gauche fonctionnait normalement, et aucune anomalie n'a été relevée qui aurait empêché l'indication exacte du tangage et du roulis. Soumis à des essais, cet instrument a indiqué avec exactitude les inclinaisons de tangage et de roulis dans une plage de −30° à +30° en tangage et de 60° en roulis de gauche à droite.
- L'indicateur d'assiette du siège de droite fonctionnait probablement au moment de l'impact.
- L'interrupteur « BOOT PRESS » (pression des boudins) sur le tableau de commande du dégivrage avait fonctionné normalement, et il n'y avait aucune indication qu'il n'aurait pas fonctionné normalement au moment de l'événement.

- Aucune anomalie n'a été constatée dans la minuterie du circuit pneumatique de dégivrage, qui commande les solénoïdes de vanne de régulation de dégivrage. Elle fonctionnait probablement au moment de l'événement.
- Les 3 solénoïdes de vanne de régulation de débit de l'éjecteur du circuit de dégivrage fonctionnaient probablement au moment de l'événement. Ces vannes alimentent en air les boudins de dégivrage de bord d'attaque.
- Les 3 manostats pneumatiques du circuit de dégivrage de bord d'attaque se sont activés dans la plage de pression spécifiée.
- Le disjoncteur du système avertisseur de décrochage a été retrouvé à l'état ouvert; l'examen n'a pas permis de déterminer son état avant l'événement ni le moment où son état avait changé.
- Toutes les données de la mémoire du système de suivi des vols par satellite ISAT-100 ont été récupérées par le Laboratoire d'ingénierie du BST. L'enregistrement des données du vol WSG127 du 11 décembre 2015 commence à 9 h 3 min, à un taux d'un point de données toutes les 5 secondes. L'enquête n'a pas permis de déterminer pourquoi l'enregistrement des données a commencé en vol plutôt que durant le décollage. Le dernier point de données a été enregistré à 9 h 9 min 51 s.
- Le GPS Garmin GTN750 n'a enregistré ni plan de vol, ni point de cheminement, ni trajectoire, ni données de déroulement du vol.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Selon l'enquête, rien n'indique que le rendement du pilote était réduit par des facteurs physiologiques.

1.14 Incendie

Il n'y a pas eu d'incendie.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

1.15.1 Système de retenue des occupants

Le pilote occupait le siège de gauche et utilisait le harnais à 4 points composé d'une ceinture abdominale et de bretelles de sécurité fixées à la structure principale de la cellule. Dans toute la séquence de l'écrasement, le pilote est demeuré dans son siège. Le volume du poste de pilotage a été considérablement réduit durant l'accident, ce qui a entraîné des blessures qui n'offraient aucune possibilité de survie.

1.15.2 Radiobalise de repérage d'urgence

Après l'écrasement, aucun signal de l'ELT du C-FKDL n'a été détecté sur les fréquences de 121,5 MHz ou de 406 MHz, ce qui a compliqué la tâche du personnel SAR cherchant l'aéronef. Les données récupérées de l'ELT indiquaient que l'interrupteur du détecteur d'écrasement s'était fermé durant l'écrasement et que l'ELT avait fonctionné jusqu'à ce que

les techniciens SAR l'éteignent. L'ELT a été mise à l'essai et on a constaté son bon fonctionnement.

Des études ont révélé des lacunes dans la conception et l'homologation des ELT. En 1990, une étude menée par la National Aeronautics and Space Administration (NASA) a permis de déterminer [traduction] :

> que 88 % des défaillances [d'ELT] sont liées à un écrasement – interrupteur du détecteur d'écrasement, dommages causés par le feu, dommages causés par un impact et antennes rompues ou déconnectées –, ce qui indique le besoin d'accroître la résistance des ELT et de leurs antennes aux dommages causés durant un écrasement[39].

Une étude canadienne réalisée en 2009 s'est penchée sur les raisons des défaillances d'ELT durant des incidents aéronautiques liées à un impact et à des facteurs humains. Selon l'étude, les dommages causés par un impact étaient à l'origine de 92 % des défaillances recensées dans les événements qui ont été étudiés. Par conséquent, ce rapport a conclu que [traduction] « la meilleure possibilité d'amélioration est de se pencher sur les défaillances d'ELT causées par l'impact d'un écrasement » et désignait la résistance à l'écrasement de l'antenne et de son câble coaxial comme un aspect qui pourrait éventuellement être amélioré[40].

Des études menées plus récemment par le Centre canadien de contrôle des missions et l'Australian Transport Safety Bureau (ATSB) ont conclu que les dommages attribuables à l'impact (c.-à-d. les dommages causés par le feu ou l'impact, les antennes rompues ou déconnectées ainsi que les dommages causés par l'eau) sont à la source de la majorité des cas de non-activation[41,42].

En 2016, à la suite de son enquête sur un impact sans perte de maîtrise à Moosonee (Ontario) en mai 2013[43], le BST a conclu que les normes courantes de conception des ELT n'exigeaient pas de système d'antenne résistant à l'impact. Il a également conclu qu'il y a un risque que les services SAR qui pourraient sauver des vies soient retardés si une antenne ELT est

---

39 B. J. Trudell et R. R. Dreibelbis, *Current Emergency Locator Transmitter (ELT) Deficiencies and Potential Improvements Utilizing TSO-C91a ELTs*, NASA Contractor Report 4330 (Landover [Maryland] : National Aeronautics and Space Administration, 1990), p. 4, https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19910001651.pdf (dernière consultation le 9 septembre 2017).

40 J. Keillor, et coll., *Emergency Locator Transmitter (ELT) Performance in Canada from 2003 to 2008: Statistics and Human Factors Issues*, rapport technique RDDC Toronto TR 2009-101 (Recherche et développement pour la défense Canada, septembre 2009), partie 5.1.1, p. 30, http://cradpdf.drdc.gc.ca/PDFS/unc90/p532159.pdf (dernière consultation le 16 septembre 2017).

41 Centre canadien de contrôle des missions (CCCM) [présentation], 2014 CMCC Stats Report (non daté), Reasons for Non-Activation.

42 Australian Transport Safety Bureau (ATSB), Aviation Research Investigation AR-2012-128, *A review of the effectiveness of emergency locator transmitters in aviation accidents* (21 mai 2013).

43 Rapport d'enquête aéronautique A13H0001 du BST.

endommagée durant un événement. Par conséquent, le Bureau a formulé les recommandations suivantes voulant que :

> l'Organisation de l'aviation civile internationale établisse de rigoureuses normes relatives à la capacité de résister à l'écrasement pour les systèmes ELT qui réduisent la probabilité qu'un système ELT cesse de fonctionner comme suite aux forces d'impact subies durant un événement aéronautique.
>
> **Recommandation A16-02 du BST**
>
> la Radio Technical Commission for Aeronautics établisse de rigoureuses spécifications relatives à la capacité de résister à l'écrasement pour les systèmes ELT qui réduisent la probabilité qu'un système ELT cesse de fonctionner comme suite aux forces d'impact subies durant un événement aéronautique.
>
> **Recommandation A16-03 du BST**
>
> l'Organisation européenne pour l'équipement électronique de l'aviation civile établisse de rigoureuses spécifications relatives à la capacité de résister à l'écrasement pour les systèmes ELT qui réduisent la probabilité qu'un système ELT cesse de fonctionner comme suite aux forces d'impact subies durant un événement aéronautique.
>
> **Recommandation A16-04 du BST**
>
> le ministère des Transports établisse de rigoureuses exigences relatives à la capacité de résister à l'écrasement pour les systèmes ELT qui réduisent la probabilité qu'un système ELT cesse de fonctionner comme suite aux forces d'impact subies durant un événement aéronautique.
>
> **Recommandation A16-05 du BST**

Des travaux collaboratifs internationaux sont en cours pour renforcer les spécifications des ELT relatives aux antennes, au câblage et à la résistance à l'écrasement. En décembre 2016 et en février 2017, le BST a jugé que la réponse à ces recommandations dénotait une intention satisfaisante.

1.15.3 Recherche et sauvetage

Wasaya avait muni sa flotte d'aéronefs de systèmes de suivi des vols par satellite ISAT-100, et les préposés au suivi des vols de Wasaya étaient conscients de l'état anormal du vol WSG127 au cours des minutes qui ont précédé l'accident. L'entreprise a entrepris une recherche du vol WSG127 par moyens de communication vers 9 h 21. À 9 h 50, Wasaya a informé le centre conjoint de coordination de sauvetage à Trenton que le vol était en retard et lui a fourni la dernière position connue du WSG127 transmise par le système de suivi des vols par satellite ISAT-100.

Un vol SAR a repéré visuellement le lieu de l'accident à 13 h 40, mais les conditions météorologiques empêchaient l'accès aérien au site. Les techniciens SAR ont atteint le site distant par voie terrestre à 22 h 50, et trouvé le pilote sans signes vitaux.

1.16 Essais et recherche

1.16.1 Analyse des données de vol du WSG127

Le Laboratoire d'ingénierie du BST a effectué une analyse des renseignements météorologiques et des données du vol WSG127 récupérées du système de suivi des vols par satellite ISAT-100. Les données sur l'heure, la position et l'altitude du GPS ont servi à déterminer la trajectoire de vol de l'aéronef. Ces renseignements ont été combinés à des données géospatiales (annexes H et I).

En outre, les données GPS ont été utilisées pour calculer la vitesse sol, la trajectoire et la vitesse verticale. Les données atmosphériques (vents, température, pression) du radiosondage de 7 h à CYPL ont été utilisées pour estimer la vitesse anémométrique corrigée. Une analyse approfondie a permis d'estimer l'assiette (cap, roulis et tangage) et les accélérations (verticales et longitudinales) de l'aéronef. Ces données et estimations sont représentées dans les annexes J et K.

Au début des données enregistrées, WSG127 montait à un taux d'environ 800 pi/min à une vitesse anémométrique estimée de 104 KCAS (vitesse corrigée en nœuds), vitesse qui a diminué jusqu'à 98 KCAS. À 9 h 3 min 32 s, le WSG127 a amorcé une descente, de 2800 pieds ASL à environ 2700 pieds ASL, et la vitesse anémométrique estimée a augmenté à 120 KCAS. L'aéronef a ensuite recommencé à monter, à un taux approximatif de 600 pi/min, et la vitesse anémométrique estimée a diminué et s'est stabilisée à 110 KCAS.

Ensuite, la montée a été moins rapide, la vitesse verticale moyenne étant de 400 pi/min environ, de 9 h 4 à 9 h 7 min 34 s. La vitesse anémométrique estimée était initialement de 110 KCAS, baissant graduellement jusqu'à 102 KCAS à 9 h 7 min 34 s. De 9 h 7 min 34 s à 9 h 8 min 41 s, au point culminant de la montée, le taux de montée moyen était de 250 pi/min, et la vitesse anémométrique estimée a encore diminué, à 99 KCAS. Dans de telles conditions, on a estimé que l'angle d'attaque devait être relativement élevé en configuration volets rentrés.

À partir d'environ 9 h 8, il y a eu 2 oscillations dans la vitesse anémométrique estimée, en 45 secondes environ. Elles sont survenues durant de brèves augmentations du taux de montée et elles ont fait baisser la vitesse anémométrique estimée jusqu'à 98 KCAS.

Vers 9 h 8 min 45 s, la montée a cessé et l'aéronef a amorcé une lente descente. On n'a pas pu déterminer si le pilote avait effectué cette manœuvre intentionnellement. La descente a été douce pendant environ 15 secondes, puis elle s'est accentuée subitement pour atteindre 7000 pi/min, et la vitesse anémométrique estimée a augmenté à environ 140 KCAS (annexe K, événement 1). D'après l'analyse, l'aéronef a roulé vers la droite (inclinaison d'environ 45°) et a piqué du nez, pour atteindre un angle de piqué d'environ 25°, et la route-sol de l'aéronef a viré abruptement sur environ 120° à droite.

La descente rapide après l'événement 1 a été arrêtée à environ 2700 pieds par une manœuvre de remontée d'environ 1,5 *g*. La brève montée vers 2800 pieds qui a suivi cette manœuvre a

mené à l'événement 2 (annexe K, 2 dernières minutes), durant lequel la vitesse anémométrique a diminué rapidement, d'environ 140 KCAS à 60 ou 70 KCAS.

Presque aussitôt, l'aéronef a commencé à descendre rapidement, dépassant les 6000 pi/min, avant que l'enregistrement des données prenne fin à 9 h 9 min 51 s, alors que la vitesse anémométrique estimée avait augmenté à 90 KCAS. L'analyse de l'événement 2 indique un mouvement de roulis et de lacet à droite, et un angle de piqué supérieur à 30°. Contrairement à l'événement 1, l'événement 2 n'a compris aucun grand virage abrupt.

L'importante et rapide diminution de la vitesse anémométrique qui a mené à l'événement 2 indique une forte augmentation de la traînée aérodynamique, comparativement à un aéronef non contaminé en configuration de volets rentrés. Une traînée de la cellule supérieure à la normale serait également caractéristique de la performance de montée plutôt médiocre plus tôt durant le vol.

1.16.2 Rapports du Laboratoire d'ingénierie du BST

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

- LP288/2015 NVM [Non-Volatile Memory] Recovery – ISAT 100 [récupération de la mémoire rémanente du système ISAT 100]
- LP289/2015 – NVM Recovery – GPS [récupération de mémoire rémanente – GPS]
- LP008/2016 Instruments and Annunciator Panel Analysis [analyse des instruments et du tableau annonciateur]
- LP025/2016 Broken Blade Tip Examination [examen de l'extrémité rompue d'une pale]
- LP027/2016 Circuit Breaker Analysis [analyse de disjoncteur]
- LP089/2016 De-Icer Timer and Solenoids Analysis [analyse de la minuterie et des solénoïdes du circuit de dégivrage]
- LP090/2016 Pressure Switches Analysis [analyse des manostats]
- LP094/2016 Instruments Analysis [analyse des instruments]
- LP155/2016 GPS Data Analysis [analyse des données GPS]

1.17 Renseignements sur l'organisme et sur la gestion

1.17.1 Wasaya

Wasaya est basée à l'aéroport de Thunder Bay (CYQT) à Thunder Bay (Ontario). L'entreprise mène ses activités en vertu d'un certificat d'exploitation aérienne émis par TC qui autorise les types de services indiqués sur le certificat. Wasaya exploite une flotte d'aéronefs à voilure fixe assujettis aux sous-parties 705, 704 et 703 du RAC. Elle offre un service régulier de transport de passagers, des vols nolisés et le transport de marchandises dans le nord-ouest de l'Ontario. L'entreprise a sa principale base d'exploitation à CYQT et des bases secondaires à CYPL, à l'aéroport de Red Lake (CYRL) et à l'aéroport de Sioux Lookout (CYXL). Le tableau 7 présente la composition de sa flotte au 11 décembre 2015.

Tableau 7. Composition de la flotte de Wasaya au 11 décembre 2015

Type d'aéronef	Nombre d'aéronefs	Sous-partie du RAC
Beechcraft 1900D	7	704
Cessna 208B	5	703
Hawker Siddeley HS748	3	705
Pilatus PC12/45	3	703
De Havilland DHC-8-100	1	705

Le directeur, Exploitation de Wasaya est le gestionnaire des opérations de l'entreprise et est responsable des opérations aériennes et des normes d'exploitation pour tous les aéronefs qu'exploite l'entreprise[44]. Le chef pilote, le chef du personnel de cabine, le chef du centre de contrôle des opérations du système (SOCC), les chefs d'escale de toutes les bases et le superviseur, Marchandises dangereuses relèvent tous du directeur, Exploitation.

Wasaya tient à jour les renseignements sur l'emplacement des aéronefs de l'entreprise à sa base principale et à ses bases secondaires, et peut communiquer avec les vols par radio ou par messages texte au moyen du système de suivi des vols par satellite ISAT-100.

1.17.1.1 Contrôle d'exploitation

Le contrôle d'exploitation « désigne l'exercice du droit de formuler, d'exécuter et de modifier le plan de vol d'exploitation d'un vol donné[45] ». Wasaya emploie un système de contrôle d'exploitation de type C dont est responsable le directeur, Exploitation. Dans un système de type C, le contrôle d'exploitation d'un vol est délégué au commandant de bord (CdB), mais le directeur, Exploitation demeure responsable de la conduite quotidienne des opérations aériennes[46].

Le système de suivi des vols de Wasaya surveille les opérations continuellement par l'intermédiaire du SOCC et des chefs d'escale; ainsi, l'entreprise peut modifier ou annuler des vols ou prendre d'autres décisions opérationnelles.

En outre, chaque matin à 8 h 10, Wasaya tient une téléconférence pour passer en revue les opérations du jour précédent et les opérations prévues le jour même. Y sont abordés, entre autres facteurs, les conditions météorologiques actuelles et prévues, l'état des aérodromes, la navigabilité de la flotte, les charges prévues de passagers et de marchandises, et tout problème potentiel au cours des 48 heures à venir. La téléconférence sert à déterminer si les vols prévus doivent être effectués, retardés ou annulés. Les chefs d'escale et le SOCC font

---

44 Wasaya Airways Limited Partnership, *Company Operations Manual*, révision 2 (19 décembre 2014), section 1.3.2.

45 Transports Canada, *Règlement de l'aviation canadien* (RAC), norme 725.20 : Système de contrôle d'exploitation, Généralités.

46 Wasaya Airways Limited Partnership, *Company Operations Manual*, révision 2 (19 décembre 2014), section 2.1.1, p. 2.1-1.

ensuite des révisions au plan opérationnel quotidien, à l'échelle locale ou à l'échelle du système.

La participation à la téléconférence sur les opérations de Wasaya tenue le 11 décembre 2015 était normale, soit environ 20 participants des bases, du SOCC, des services de marchandises et de passagers, du service de maintenance, du système de gestion de la sécurité (SGS) et de la direction des opérations. La téléconférence s'est déroulée de la même façon que les précédentes. On a discuté des conditions météorologiques et on a jugé qu'elles étaient semblables à celles des 2 jours précédents, avec de la neige et des plafonds bas dans la zone des opérations.

1.17.1.1.1 Autorisation de vol

Tous les vols de Wasaya doivent être autorisés par les gestionnaires de service, à qui cette autorité est déléguée par le directeur, Exploitation[47]. À CYPL, les vols étaient autorisés par le chef d'escale, qui affectait les aéronefs et les membres d'équipage aux vols de transport de passagers et de marchandises. Le chef d'escale affichait les détails des vols sur des panneaux muraux et à des écrans d'ordinateur dans les bureaux à CYPL pour indiquer les vols autorisés.

1.17.1.1.2 Régulation des vols par les pilotes

Conformément au système de contrôle d'exploitation de type C, tous les vols de Wasaya sont autorégulés et autorisés à décoller par le CdB.

Wasaya fournit aux pilotes les renseignements opérationnels qui leur permettent de prendre les décisions de régulation et d'autorisation du décollage. Des ordinateurs sont fournis pour obtenir des renseignements météorologiques et des avis aux navigants et remplir les documents de planification des vols. D'autres ressources sont disponibles pour aider à la prise de décisions des pilotes : les manuels de l'entreprise et des aéronefs, les coordonnateurs des opérations des bases, les chefs d'escale, les pilotes instructeurs et le chef pilote. La décision définitive d'autorisation du décollage d'un vol revient au pilote. Si un vol n'est pas autorisé à décoller, le coordonnateur des opérations de la base en est informé pour que l'horaire des vols prévus puisse être révisé.

Le CdB a doit établir le plan de vol exploitation, qui doit comprendre le formulaire FDC, un formulaire de masse et centrage et un manifeste. La signature sur le formulaire FDC signifie que le CdB a approuvé le plan de vol exploitation, que le calcul de masse et centrage a été fait, et que la masse et le centre de gravité sont dans les limites[48, 49]. Les CdB doivent transporter l'original du plan de vol exploitation à bord et en déposer une copie au point de départ.

---

47 *Ibid.*, section 2.2, p. 2.2-1.

48 *Ibid.*, section 2.3.5.1, p. 2.3-3.

49 *Ibid.*, section 2.6.2, p. 2.6-1.

Le FDC stipule [traduction] « les conditions dans lesquelles on doit effectuer un vol ou une série de vols[50] ». D'après le FDC du WSG127, ce vol allait se dérouler selon les règles de vol à vue (VFR) à une altitude de 5500 pieds ASL[51] et être suivi par l'entreprise. Le pilote avait signé le formulaire, qui a été retrouvé sur les lieux de l'accident. Une copie de ce formulaire avait été déposée auprès du coordonnateur des opérations à CYPL.

Une copie du manifeste de marchandises du WSG127 a été retrouvée sur les lieux de l'accident, et une autre copie avait été déposée auprès du coordonnateur des opérations à CYPL.

1.17.1.2 Contrôle de masse et centrage

Le MEC de Wasaya indique : [traduction] « Le formulaire de contrôle du chargement doit être rempli pour chaque vol, à moins que le pilote charge lui-même l'aéronef ou en supervise le chargement[52]. » L'annexe L montre le formulaire de contrôle du chargement fourni aux préposés à la planification du chargement et aux équipes de chargement pour leurs tâches, qui est appelé « formulaire de répartition du chargement » dans le présent document.

La procédure de chargement d'aéronef de Wasaya se déroule normalement de la manière suivante. Le service de marchandises détermine les marchandises à charger pour un vol et prépare un manifeste. L'arrimeur de la base vérifie le manifeste de marchandises, inspecte les marchandises et dresse un plan de chargement qui stipule comment on doit charger les marchandises à bord de l'aéronef. L'arrimeur utilise ensuite une règle à calcul ou une feuille de calcul de masse et centrage pour confirmer que les marchandises peuvent être chargées en respectant les limites de masse et centrage. Si le plan de chargement dépasse les limites, l'arrimeur le révise pour corriger la situation. Le plan de chargement est indiqué sur le formulaire de répartition du chargement, qui sert ensuite au chargement des marchandises à bord de l'aéronef. Le formulaire de répartition du chargement est remis au pilote afin qu'il puisse remplir le formulaire de masse et centrage[53].

Après l'accident, Wasaya a déterminé que les équipes de chargement à sa base à CYRL utilisaient correctement les formulaires de répartition de chargement pour les vols de tous les types d'aéronefs, mais qu'à CYPL, on remplissait les formulaires de répartition de chargement pour des vols d'aéronefs de types autres que le Caravan. Ainsi, au moment de l'accident, les équipes à CYPL qui chargeaient les Caravan n'utilisaient pas le formulaire de répartition du chargement (annexe L), et aucun tel formulaire n'a été retrouvé pour le vol WSG127.

---

50 *Ibid.*, section 2.3.5.2, p. 2.3-3.

51 Les conditions météorologiques prévues et réelles à CYPL à 8 h indiquaient un plafond couvert à 1500 pieds AGL et à 1000 pieds AGL, respectivement.

52 Wasaya Airways Limited Partnership, *Company Operations Manual*, révision 2 (19 décembre 2014), section 2.3.5.7, p. 2.3-4.

53 *Ibid.*, section 2.6.1, p. 2.6-1.

Un formulaire de masse et centrage doit être rempli pour chaque vol avant le départ. L'original du document est utilisé par l'équipage de conduite, et une copie du document doit être déposée au point de départ[54]. L'annexe M montre le formulaire de masse et centrage de Wasaya (qui porte également le nom « formulaire de contrôle du chargement ») que l'entreprise fournit à ses pilotes de Caravan. Quoique ce formulaire soit utile pour calculer la masse de l'aéronef, il ne comprend aucune case pour noter son centre de gravité. De plus, quoique le formulaire comprenne les masses maximales au roulage, au décollage et à l'atterrissage, il ne comprend pas la masse maximale pour les aéronefs certifiés pour voler dans des conditions givrantes.

Wasaya donne des directives à ses pilotes pour les calculs de masse et centrage. Pour les aéronefs autres que le Cessna 208B, le MEC exige l'utilisation pour ces calculs de formulaires de masse et centrage ou de règles de calcul propres à chaque type d'aéronef. Dans le cas du Cessna 208B, le MEC ne spécifiait pas la méthode que devaient suivre les pilotes pour calculer la masse et le centrage; d'après le MEC, l'aéronef [traduction] :

> est chargé conformément aux procédures du fabricant décrites dans le manuel de vol et selon lesquelles le chargement doit être réparti en fonction des lignes de chargement sur les parois intérieures de la cabine[55].

Comme pour ses autres types d'aéronefs, Wasaya fournissait à ses pilotes de Caravan les règles de calcul et feuilles de calcul propres au Cessna 208B pour qu'ils calculent la masse et le centrage.

Aucun formulaire de masse et centrage (annexe M) rempli par le pilote du WSG127 n'a été retrouvé, ni au lieu de l'accident ni à la salle des opérations de Wasaya à CYPL. Le pilote avait régulièrement piloté le C-FKDL durant la période de 9 jours du 2 au 10 décembre 2015, et les dossiers pour ces vols comprenaient tous un formulaire de masse et centrage de Wasaya signé par le pilote.

1.17.1.3 Système de gestion de la sécurité

1.17.1.3.1 Généralités

D'après la réglementation, Wasaya était tenue d'établir et de gérer un SGS pour ses opérations assujetties à la sous-partie 705 du RAC et pour son organisme de maintenance agréé[56]. L'entreprise avait auparavant établi un SGS et en était à la phase de maintien de la mise en œuvre du SGS. Le SGS à Wasaya s'appliquait à l'ensemble de l'entreprise[57]. La portée de l'enquête sur le SGS de Wasaya était limitée aux éléments touchant l'installation d'équipement sur les Caravan et les opérations en conditions givrantes.

---

54 *Ibid.*, section 2.3.5.3, p. 2.3-3.

55 *Ibid.*, section 2.6.2, p. 2.6-1.

56 *Règlement de l'aviation canadienne*, alinéa 107.01(1)b).

57 Wasaya Airways Limited Partnership, *Safety Management System Procedures Manual*, révision 8 (15 mai 2015), p. 9.

1.17.1.3.2 Évaluation des risques liés au vol dans des conditions givrantes connues ou prévues

Le 16 janvier 2015, dans le cadre de son SGS, Wasaya a mené une évaluation des risques[58] liés à [traduction] « l'installation d'un système de dégivrage pneumatique complet sur le C208B qui permettrait le vol dans des conditions givrantes connues ou prévues ». Les dangers relevés comprenaient les suivants :

- un aéronef pourrait être exploité au-delà de ses capacités du fait d'une accumulation de givre;
- l'exploitation d'une flotte de configuration mixte pourrait faire que des Caravan soient autorisés à décoller dans des conditions givrantes connues ou prévues sans qu'il soit équipé pour ces conditions;
- les pilotes actuels de Cessna 208B n'avaient pas auparavant volé dans des conditions givrantes connues ou prévues.

On avait évalué le niveau de risque initial comme étant modéré. Cependant, le logiciel de base de données SGS qu'utilisait Wasaya en janvier 2015 n'a pas conservé les catégories de probabilité ou de gravité qui avaient été utilisées pour déterminer que les risques étaient « modérés ». D'après la matrice de risque, la combinaison probable de catégories donnant la cote « risques modérés » serait soit « faible probabilité » et « gravité modérée », soit « probabilité possible » et « gravité mineure ».

L'évaluation des risques proposait des stratégies de contrôle des risques par rapport aux points suivants :

- revue du manuel d'utilisation de l'avion et du supplément S1 au manuel de vol *Known Icing Equipment* approuvé par la FAA et conformité à ceux-ci;
- révision du programme de formation pour y ajouter de nouvelles exigences;
- modification des SOP avant les vols de Cessna 208B dans des conditions givrantes connues ou prévues;
- consultation avec les chefs d'escale concernant les capacités et limites des aéronefs dans des conditions givrantes;
- exposé aux techniciens d'entretien d'aéronef des bases sur les nouvelles exigences de maintenance;
- maintien des pratiques courantes relatives à l'installation et à l'entretien des boudins de dégivrage.

On a évalué le niveau de risque après atténuation comme étant modéré et acceptable.

Les mesures à court terme proposées consistaient à examiner l'équipement installé requis pour voler dans des conditions givrantes connues et à évaluer les changements nécessaires aux SOP. Les mesures à long terme proposées consistaient à modifier les SOP et à évaluer le fonctionnement de l'équipement nouvellement installé. La date proposée de l'examen de suivi de la mise en œuvre était le 27 mai 2015.

---

58 Wasaya SMS Risk Assessment Worksheet, 16 janvier 2015.

En mai 2015, la base de données SGS de Wasaya ne générait pas automatiquement des rappels de suivi.

1.17.1.3.3 Suivi de l'évaluation des risques de janvier 2015

Le 26 septembre 2015, Wasaya a achevé l'installation d'équipement sur le C-FHWA, un de ses 5 Cessna 208B, en vue de sa certification pour voler dans des conditions givrantes connues. L'entreprise a utilisé cet aéronef dans le cadre d'un essai pour déterminer si l'installation de cet équipement améliorerait la capacité de mener des passagers et des marchandises à destination.

Au moment de l'accident, la période d'essai venait de commencer, et l'entreprise n'avait pas encore étudié la possibilité d'installer cet équipement sur ses 4 autres Cessna 208B, qui étaient toujours interdits de vol dans des conditions givrantes connues ou prévues.

Dans le cadre de ses stratégies de contrôle des risques, Wasaya a fourni à ses pilotes de Caravan l'accès au cours de Cessna sur les opérations par temps froid ainsi qu'au manuel d'utilisation de l'avion du Cessna 208B et au supplément S1 au manuel de vol *Known Icing Equipment*. Le cours de Cessna sur les opérations par temps froid permet de se conformer à une spécification de formation stipulée dans le supplément S1[59].

Le 11 décembre 2015, les SOP C208 de Wasaya n'avaient pas encore été modifiées pour tenir compte de la certification du C-FHWA pour voler dans des conditions givrantes connues.

1.17.1.4 Opérations menées avec les Cessna 208B de Wasaya du 9 au 11 décembre 2015

Les enquêteurs ont examiné les dossiers de Wasaya sur les opérations menées avec ses Cessna 208B durant la période du 9 au 11 décembre 2015, durant laquelle 2 Caravan étaient utilisés à partir de la base secondaire CYRL et 3 autres Caravan, à partir de la base secondaire CYPL. De ces 5 aéronefs, C-FHWA, basé à CYPL, était le seul certifié pour voler dans des conditions givrantes connues.

Durant cette période, les 3 Caravan et leurs équipages à la base secondaire CYPL ont effectué 31 vols dans la zone d'opérations au nord. Le tableau 8 présente un sommaire de ces vols.

---

59 *Cessna Model 208B (675 SHP) Pilot Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual Supplement S1*: *Known Icing Equipment*, révision 5 (10 février 2009), p. S1-13.

Tableau 8. Opérations menées avec les Cessna 208B de Wasaya à Pickle Lake (CYPL) du 9 au 11 décembre 2015

Date	9 décembre 2015	10 décembre 2015	11 décembre 2015
Départs de CYPL	4	4	4
Nombre total de vols	12	13	6
Période d'exploitation (heure normale de l'Est)	De 8 h 17 à 15 h 41	De 11 h à 18 h 4	De 8 h 21 à 11 h 50
Altitude maximale enregistrée (pieds ASL)	De 800 à 6500 VFR De 5500 à 8500 IFR	De 850 à 6200 VFR De 6500 à 8500 IFR	De 4450 à 8100
VFR/IFR	Les deux	Les deux	VFR
Commentaires	Vols IFR effectués par le C-FHWA	Vols IFR effectués par le C-FHWA La masse au départ de C-FHWA était de 9062 livres à la 5e étape de la journée.	C-FKAD (WSG128) est retourné à CYPL après être entré dans des conditions givrantes; sa masse au départ était de 9062 livres. La masse au départ de C-FHWA était de 8813 livres à la 2e étape de la journée.

Également durant cette période, les 2 Caravan à la base secondaire CYRL ont effectué 34 vols dans la zone d'opérations au nord. Le tableau 9 présente un sommaire de ces vols.

Tableau 9. Opérations menées avec les Cessna 208B de Wasaya à Red Lake (CYRL) du 9 au 11 décembre 2015

Date	9 décembre 2015	10 décembre 2015	11 décembre 2015
Départs de CYRL	6	3	7
Nombre total de vols	11	5	18
Période d'exploitation (heure normale de l'Est)	De 9 h 38 à 15 h 21	De 9 h 35 à 11 h 46	De 8 h 56 à 18 h 52
Altitude maximale enregistrée (pieds ASL)	De 1550 à 2600	De 1700 à 1900	De 1300 à 2350
VFR/IFR	VFR	VFR	VFR
Commentaires		Un des vols partis de CYRL a rencontré du mauvais temps en route et est retourné à CYRL depuis 25 nm au nord.	

1.17.1.5 Formation technique au sol initiale des pilotes de Cessna 208B de Wasaya

Au chapitre de la formation initiale, Wasaya exige un minimum de 20 heures de formation technique au sol sur les Cessna 208[60]. Le certificat de formation du pilote du WSG127 indiquait 16 heures de formation, réparties sur 2 jours consécutifs.

Les enquêteurs ont examiné les dossiers de formation d'un autre pilote qui avait suivi le même cours que le pilote du WSG127, en juillet 2015. Le certificat de formation du second pilote indiquait 20 heures de formation technique au sol.

Les enquêteurs ont également examiné les dossiers de formation des pilotes qui ont suivi le cours de formation initiale suivant, en août 2015. Les certificats de formation de ces 4 pilotes indiquaient tous que la formation technique au sol avait duré 20 heures.

Après l'accident, Wasaya a déterminé que les instructeurs pilotes qui donnaient cette formation n'étaient pas au courant de la durée minimale de 20 heures, et qu'ils ne donnaient que 16 heures de cours parce que deux journées de 8 heures étaient prévues pour la formation.

1.17.2 Transports Canada

1.17.2.1 Supervision de Wasaya

Transports Canada, Aviation civile (TCAC) supervise les exploitants aériens pour vérifier qu'ils respectent les exigences réglementaires et qu'ils « disposent de systèmes efficaces afin de veiller à satisfaire en permanence aux exigences réglementaires[61] ». Le programme de surveillance de TCAC « comprend des évaluations, des inspections de validation de programme (IVP) et des inspections du processus[62] ».

Ce programme comporte 2 niveaux de surveillance :

- Les évaluations et les IVP sont des activités de surveillance à l'échelle des systèmes dans le cadre desquelles « [l]es constatations de non-conformité se font à l'échelle des systèmes et visent à ce que les entreprises corrigent leurs systèmes de façon à rétablir leur conformité et à la maintenir[63] ».
- Les inspections de processus sont des activités de surveillance à l'échelle du processus dans le cadre desquelles TCAC fait des constatations soit de conformité (auquel cas le processus d'inspection prend fin) ou de non-conformité. Une inspection de processus peut mener à la mise en œuvre d'une activité de surveillance à l'échelle des systèmes[64].

---

60 Wasaya Airways Limited Partnership, *Training Manual*, modification 1 (1er décembre 2011), section 5.1, p. 5-1.

61 Transports Canada, Circulaire d'information (CI) SUR 004 : Programme de surveillance de l'Aviation civile, (19 novembre 2015), paragraphe 3.0(1).

62 *Ibid.*

63 *Ibid.*, paragraphe 4.1(2).

64 *Ibid.*, paragraphe 4.1(3).

Si TCAC détermine qu'une surveillance additionnelle d'un exploitant est justifiée, il peut mettre en place un programme de surveillance accrue (SA). La SA vise 2 buts :

> (a) l'entreprise doit concevoir et mettre en place des mesures pour faire face aux cas de non-conformité, en veillant au respect des règlements durant et après la durée de la SA;
>
> (b) TCAC doit examiner en profondeur les systèmes de l'entreprise, en se livrant à des activités de surveillance accrue de la réglementation, pour confirmer la capacité de l'entreprise à se conformer aux règlements applicables[65].

La portée de l'examen par les enquêteurs de la surveillance de Wasaya par TCAC était limitée aux évaluations, aux IVP, aux inspections de processus et à la SA, de mars 2013 au 11 décembre 2015.

1.17.2.1.1 Mars 2013 : Évaluation

Du 4 au 12 mars 2013, une équipe de 11 inspecteurs de TCAC a fait une évaluation de Wasaya et a constaté la non-conformité de l'exploitant à plusieurs attentes d'évaluation. L'équipe a relevé 2 constatations majeures (concernant l'examen par la direction, et la formation et les compétences) et 4 constatations modérées (concernant le plan de sécurité, la documentation [2 constatations] et l'assurance de la qualité). Le 17 juin 2013, Wasaya a présenté à TCAC un plan de mesures correctives (PMC) qui décrivait comment l'entreprise allait rétablir sa conformité à la réglementation.

1.17.2.1.2 Octobre 2013 : Inspection de processus

Les 24 et 25 octobre 2013, TCAC a effectué une inspection de processus à Wasaya pour s'assurer que le PMC dressé par l'entreprise comme suite à l'évaluation de mars 2013 satisfaisait aux exigences réglementaires et que l'entreprise y adhérait, conformément à ses procédures documentées. L'inspection de processus a donné lieu à 3 constatations (concernant le contrôle des documents, la politique de sécurité, et la formation et les compétences) que Wasaya ne satisfaisait pas aux exigences réglementaires. L'entreprise a par la suite dressé un PMC qui lui permettrait de rétablir sa conformité et, le 31 décembre 2013, a présenté ce plan à TCAC.

1.17.2.1.3 Janvier à juin 2014 : Surveillance accrue

Le 7 janvier 2014, TCAC a informé Wasaya qu'elle était soumise à une SA, parce que les mesures correctives adoptées après l'évaluation de mars 2013 n'avaient pas été mises en œuvre ou n'étaient pas efficaces. L'entreprise a dû présenter une analyse des écarts qui montrait l'état actuel de ses PMC relatifs à l'évaluation de mars 2013 et à l'inspection de processus d'octobre 2013. Elle a également dû élaborer et mettre en œuvre des mesures pour corriger des non-conformités et appliquer des mesures correctives restées en suspens.

---

65 Transports Canada, Instruction visant le personnel SI SUR-002, Programme de surveillance accrue (2 décembre 2013), paragraphe 5.0(1).

Du 7 janvier au 30 avril 2014, le gestionnaire de la SA de TCAC s'est rendu aux installations de Wasaya à 10 reprises et a assisté à 4 réunions sur le SGS de l'entreprise pour vérifier sur place les mesures correctives de l'entreprise.

Le 9 mai 2014, TCAC a informé Wasaya que l'évaluation de mars 2013 était close. Les constatations issues de cette évaluation avaient été prises en compte et corrigées au moyen du PMC de l'entreprise, et TCAC avait jugé que les mesures correctives étaient acceptables et qu'elles avaient été mises en œuvre et achevées.

1.17.2.1.4 Juin 2014 : Inspection de validation de programme

À la fin de la période de SA, TCAC a mené une inspection de validation de programme (IVP), du 23 juin au 3 juillet 2014, pour vérifier que Wasaya avait rétabli sa conformité et avait mis en place des systèmes pour assurer sa conformité continue aux exigences réglementaires. Le 11 août 2014, TCAC a informé Wasaya que l'IVP avait relevé 2 constatations modérées de non-conformité (concernant la documentation, et la formation et les compétences). Le 25 septembre 2014, Wasaya a présenté un PMC à TCAC décrivant les mesures qu'allait prendre l'entreprise pour rétablir sa conformité à la réglementation.

1.17.2.1.5 Mai 2015 : Fin de la surveillance accrue

Le 14 mai 2015, TCAC a informé Wasaya que le PMC de l'entreprise avait pris en compte et corrigé les constatations issues de l'IVP de juin 2014; que TCAC jugeait que ces mesures correctives étaient acceptables et qu'elles avaient été mises en œuvre et achevées; et que la SA entamée en janvier 2014 était close.

1.17.2.2 Politiques et procédures relatives aux calendriers de maintenance d'aéronefs

TC fournit à son personnel de l'orientation sur les politiques et les procédures relatives à l'élaboration et à l'approbation de calendriers de maintenance d'aéronefs. Ces procédures visent tous les types d'aéronefs, y compris les aéronefs utilisés commercialement[66].

TC doit approuver toutes les modifications apportées au calendrier relatives à une prolongation d'intervalle entre les tâches de maintenance[67]. Chaque demande de modification doit comprendre une justification[68]. Lorsque le personnel de TC examine une demande de modification, il suit une procédure qui compare cette modification à la base du programme de maintenance[69] et qui affirme que « les recommandations du titulaire de certificat de type sont généralement préférées »[70] comme base.

---

66 Transports Canada, TP 13094F, Aviation civile – Approbation des calendriers de maintenance – *Manuel de politiques et procédures* (juin 2006), chapitre 1, article 3.1.2, p. 1.

67 *Ibid*., chapitre 2, article 5.5, p. 3.

68 *Ibid*., chapitre 3, article 13.3, p. 10.

69 *Ibid*., chapitre 3, article 11.1, p. 9.

70 *Ibid*., chapitre 3, article 12.1, p. 9.

Lorsque TC approuve un calendrier de maintenance ou une modification, la procédure veut que le ministère renvoie le document original au demandeur et en conserve des copies pour le dossier de l'aéronef et de l'exploitant[71].

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Systèmes d'aide à la décision

Le BST a enquêté sur des événements antérieurs concernant les systèmes de régulation des vols par les pilotes et a établi les faits suivants quant aux risques :

> Le manque de procédures et d'outils pour aider les pilotes à décider d'entreprendre un vol augmente leurs risques de décoller dans des conditions pires que celles auxquelles peut résister l'aéronef[72].

> Le système de régulation des vols par le pilote repose sur une bonne évaluation des dangers opérationnels par le pilote […]. À moins que les pilotes ne disposent de bons outils d'aide à la décision, il se pourrait que des vols soient autorisés à décoller alors que les moyens de défense sont insuffisants[73].

> Si le pilote planifie son vol et l'autorise lui-même sans contre-vérification de la conformité à la réglementation en vigueur, des écarts risquent de continuer à passer inaperçus, ce qui réduit la sécurité du vol[74].

Un système d'aide à la décision [traduction] :

> est un système contrôlé par un ou des décideurs qui aide à la prise de décisions en fournissant un ensemble organisé d'outils conçus pour structurer des aspects d'une situation de prise de décision et pour améliorer l'efficacité ultime des résultats des décisions[75].

Ces systèmes peuvent être des systèmes informatisés complexes ou de simples formulaires papier.

L'annexe N montre un exemple d'un simple formulaire d'aide à la décision dans l'évaluation des risques pour un taxi aérien. Un exploitant canadien a commencé à utiliser ce formulaire en 2015; ses équipages doivent remplir la liste de vérification d'évaluation des risques avant chaque départ. Y font exception les vols d'entraînement, les tests en vol de pilotes et les vols d'essai d'aéronef. Le gestionnaire des opérations et le chef pilote doivent tous deux

---

71 *Ibid.*, chapitre 3, article 14.2, p. 11.

72 Rapport d'enquête aéronautique A12C0005 du BST, fait établi quant aux risques nº 3.

73 Rapport d'enquête aéronautique A07C0001 du BST, fait établi quant aux risques nº 5.

74 Rapport d'enquête aéronautique A13Q0098 du BST, fait établi quant aux risques nº 10.

75 G. M. Marakas, *Decision Support Systems in the 21st Century* (Prentice-Hall, 1998).

approuver le vol lorsque la note d'évaluation des risques est supérieure à 25. La liste de vérification d'évaluation des risques est ensuite conservée avec les autres documents de régulation de vol.

Le plan de vol exploitation qu'avait dressé le pilote du WSG127 ne comprenait aucun moyen explicite pour cerner les dangers potentiels et consigner les moyens pris pour les atténuer, et rien ne l'exigeait. Il y avait bien sur le site Web du SGS de l'entreprise une liste de vérification pour l'exposé à l'équipage (annexe O); toutefois, son utilisation n'était pas exigée. Aucun des plans de vol exploitation examinés durant l'enquête ne comprenait une copie de cette liste de vérification, ce qui indique que les pilotes de Caravan à Wasaya ne l'utilisaient pas.

Durant ses téléconférences quotidiennes sur les opérations, Wasaya n'utilisait aucun outil d'aide à la décision pour cerner et atténuer systématiquement les risques, et elle n'était pas tenue de le faire.

1.18.2 Risques associés au vol dans des conditions givrantes

L'accumulation de givre en vol peut considérablement dégrader la performance d'un aéronef et mener à une perte de maîtrise. Depuis 2000, le BST a relevé au moins 23 autres événements où des aéronefs de moins de 10 000 kg sont entrés dans des conditions givrantes et il y a eu dégradation de la performance ou perte de maîtrise[76]. Plusieurs de ces vols ont pu atterrir sans blessures ni dommages à l'aéronef. Toutefois, certains événements se sont soldés par des pertes de vie et la destruction d'aéronefs.

1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces

Sans objet.

---

[76] Rapports d'enquêtes aéronautiques du BST A00W0079, A01W0304, A04O0103, A05C0187, A05P0018, A07W0003, A08W0237, A12C0005 et A14W0181. Événements de catégorie 5 du BST A01C0010, A01W0127, A03P0313, A05P0018, A05C0217, A05C0225, A06O0076, A07P0045, A07W0063, A08W0220, A10O0243, A11O0234, A13C0004 et A14W0002.

2.0 Analyse

2.1 Introduction

Dans l'événement à l'étude, l'aéronef ne présentait aucune anomalie connue, et tous les dommages ont été attribués aux forces d'impact. Par conséquent, l'analyse portera sur la gestion des risques par Wasaya et ses pilotes, la performance de l'aéronef dans des conditions givrantes, l'entretien et le chargement de l'aéronef, la formation du pilote et la résistance à l'impact de la radiobalise de repérage d'urgence (ELT).

2.2 Atténuation des risques et exploitation des Cessna 208B par Wasaya

En janvier 2015, Wasaya a mené une évaluation des risques concernant la certification de ses Cessna 208B pour qu'ils puissent voler dans des conditions givrantes connues ou prévues. Cette évaluation a cerné plusieurs dangers, comme le manque d'expérience des pilotes dans ces opérations, l'exploitation d'une flotte de configuration mixte et le dépassement des capacités de l'aéronef en cas d'accumulation de givre. L'évaluation des risques proposait diverses stratégies d'atténuation et un plan de mise en œuvre, et elle concluait que le niveau de risque après atténuation serait acceptable.

Deux stratégies d'atténuation ont été mises en place. La première consistait en une nouvelle formation obligatoire (le cours de Cessna sur les opérations par temps froid), que l'entreprise a fournie à ses pilotes de Caravan à l'automne 2015. La seconde consistait à mettre le supplément S1 au manuel d'utilisation de l'avion à la disposition de ses pilotes de Cessna 208B. D'autres stratégies d'atténuation avaient été proposées, mais n'ont pas été entièrement mises en œuvre.

La conformité des pilotes aux exigences du supplément S1 était une autre stratégie proposée comme suite à l'évaluation des risques. Cependant, l'enquête a permis de déterminer que certains pilotes de Caravan à Wasaya n'observaient pas toujours certaines des limites stipulées dans le supplément S1, dans le manuel d'utilisation de l'avion du Cessna 208B et dans le certificat de type supplémentaire (CTS) du système d'augmentation de charge utile (APE) III. De nombreux vols ont été effectués dans des conditions givrantes prévues par des aéronefs qui étaient interdits de vol dans ces conditions, y compris les 2 vols le jour de l'accident. En outre, l'enquête a permis de relever 2 occasions où le seul Caravan de Wasaya certifié pour le givre (C-FHWA) a décollé dans des conditions givrantes prévues alors que sa masse était supérieure à 8550 livres. Ces deux questions seront examinées plus loin dans le présent rapport. Le fait que ces non-conformités ont été relevées est un signe de formation et de supervision inefficaces des pilotes.

Une autre stratégie d'atténuation proposée après l'évaluation des risques consistait en la modification des procédures d'utilisation normalisées (SOP) des Cessna 208B avant que l'entreprise ne commence à effectuer des vols dans des conditions givrantes connues ou prévues. Toutefois, au 11 décembre 2015, les SOP n'avaient toujours pas été modifiées selon la proposition, et leur version originale restait en vigueur.

Encore une autre stratégie d'atténuation proposée consistait à maintenir les pratiques courantes relatives à l'installation et à l'entretien des boudins de dégivrage. Cependant, comme il sera discuté à la section 2.7, les pratiques courantes de l'entreprise présentaient des lacunes non repérées dans le traitement des boudins de la cellule et de l'hélice avec le liquide ICEX II.

L'évaluation des risques de janvier 2015 avait conclu que le niveau de risque après les mesures d'atténuation était modéré et acceptable, mais toutes les stratégies d'atténuation n'avaient pas été mises en œuvre lorsque l'accident est survenu, en décembre 2015, et l'entreprise courait des risques plus élevés qu'elle ne le croyait.

Un suivi inexistant ou inefficace par Wasaya explique probablement le fait que certaines stratégies d'atténuation n'ont pas été mises en œuvre. À la date prévue du suivi, en mai 2015, la base de données du système de gestion de la sécurité (SGS) de l'entreprise n'a pas automatiquement généré de rappel de suivi. C'est probablement la raison pour laquelle aucun suivi n'a eu lieu.

De plus, de 2013 à 2015, Wasaya a eu de la difficulté à mettre en place les plans de mesures correctives qu'elle avait élaborés en réponse aux constatations de non-conformité à la réglementation relevées par Transports Canada, Aviation civile (TCAC). Par conséquent, l'entreprise faisait l'objet d'une surveillance accrue durant une partie de cette période. Le fait qu'en 2015, l'entreprise n'a pas entièrement mis en œuvre son propre plan interne d'atténuation des risques est aussi signe de problème persistant relativement aux mesures de suivi.

En décembre 2015, Wasaya avait modifié le premier de ses Caravan, C-FHWA, en y ajoutant de l'équipement afin qu'il soit certifié pour voler dans des conditions givrantes prévues ou connues. L'entreprise collectait des renseignements pour déterminer si l'aéronef certifié procurait les avantages attendus; les 4 autres aéronefs étaient toujours interdits de vol dans ces conditions.

Ainsi, Wasaya n'avait pas mis en œuvre toutes les stratégies d'atténuation proposées après l'évaluation de janvier 2015 des risques relatifs à l'utilisation des Cessna 208B dans des conditions givrantes connues ou prévues. Par conséquent, l'entreprise était toujours exposée à des dangers non atténués que l'évaluation des risques avait cernés.

Les enquêteurs ont examiné les renseignements météorologiques pour la période du 9 au 11 décembre 2015; le personnel et les pilotes de Wasaya auraient eu facilement accès à ces renseignements durant les préparatifs du matin en vue des opérations quotidiennes.

Au cours de cette période, les prévisions de zone graphique (GFA) indiquaient que la région nord-ouest de l'Ontario, où Wasaya menait ses activités, connaîtrait périodiquement du brouillard givrant, de la bruine verglaçante, de la brume, de la neige, une visibilité réduite et des plafonds de nuages bas. Ces conditions variaient d'un jour à l'autre, et les prévisions faisaient état d'une couverture spatiale principalement locale ou en bancs, alors que pour d'autres parties de la région, on prévoyait une bonne visibilité et des plafonds de nuages à 3000 pieds au-dessus du niveau de la mer (ASL). On a relevé une exception : le 10 décembre,

les prévisions faisaient état d'une couverture étendue de plafonds de 300 à 800 pieds au-dessus du niveau du sol (AGL).

Les GFA indiquaient que des conditions givrantes significatives étaient prévues dans cette région durant toute cette période. Pour chacune de ces journées, les GFA prévoyaient du givrage mixte modéré à partir d'environ 3000 à 5000 pieds ASL à l'échelle de la région, et une couverture spatiale locale de givrage mixte modéré depuis la surface jusqu'à environ 3000 pieds ASL à cause d'une bruine verglaçante.

L'enquête s'est également penchée sur les opérations menées avec les Cessna 208B de Wasaya du 9 au 11 décembre 2015. Durant cette période, l'entreprise a effectué 31 vols avec les 3 Caravan basés à l'aéroport de Pickle Lake (CYPL), et 34 vols avec les 2 Caravan basés à l'aéroport de Red Lake (CYRL). Chaque jour, la période d'exploitation a respecté les périodes de validité des GFA indiquées ci-dessus. Les vols à partir de CYRL ont été effectués exclusivement selon les règles de vol à vue (VFR); pour ce qui est des vols à partir de CYPL, ils ont été effectués selon les règles VFR et les règles de vol aux instruments (IFR) dans le cas du C-FHWA, et selon les règles VFR dans le cas des 2 autres aéronefs. Les altitudes d'exploitation maximales enregistrées des vols VFR à partir de CYRL variaient de 1300 à 2600 pieds ASL. Pour les vols à partir de CYPL, elles variaient de 800 à 8100 pieds ASL. Les altitudes pour les vols IFR ont varié de 5500 à 8500 pieds ASL. Deux des 65 vols en question sont retournés à leur base à peine 15 minutes après leur départ.

L'utilisation intensive des Cessna 208B durant cette période de conditions givrantes prévues indique que Wasaya jugeait acceptables les risques associés à ces activités, comme l'avait conclu son évaluation des risques. Cependant, les stratégies d'atténuation proposées n'avaient pas été entièrement mises en œuvre, et l'entreprise était toujours exposée à certains des dangers cernés par son évaluation des risques. L'entreprise exploitait une flotte à la configuration mixte : 1 aéronef était certifié pour voler dans des conditions givrantes; les 4 autres ne l'étaient pas. Étant donné le givre prévu et le nombre de vols effectués, il était probable qu'un ou plusieurs vols entreraient dans des conditions givrantes qui pourraient dépasser les capacités de l'aéronef. Le pilote du vol qui est retourné à CYPL s'attendait à une probabilité de givre. Il est probable que d'autres pilotes avaient des attentes semblables.

Il y avait donc une norme de l'entreprise permettant d'autoriser le départ de vols de Cessna 208B dans des conditions givrantes prévues, même si 4 des 5 Cessna 208B de Wasaya étaient interdits de vol dans ces conditions.

2.3 Autorisation et régulation des vols

Pour faciliter le contrôle de ses opérations quotidiennes, Wasaya tenait chaque jour une téléconférence pour passer en revue les vols prévus le jour même ainsi que d'autres facteurs opérationnels. Ces discussions aidaient l'entreprise à prendre des décisions opérationnelles.

Les participants à la téléconférence et le déroulement de celle-ci, le 11 décembre 2015, étaient semblables à ceux des jours précédents. On y a passé en revue les conditions météorologiques prévues, qui étaient très semblables à celles des 2 jours précédents. Les prévisions météorologiques sont un des nombreux facteurs opérationnels qui ont été

abordés. Les vols de Caravan prévus ce jour-là étaient très semblables à ceux effectués au cours des 2 jours précédents. L'entreprise n'a utilisé ni outil particulier ni liste de vérification particulière pour évaluer les risques des opérations quotidiennes, et elle n'était pas tenue de le faire. Les renseignements auxquels avaient accès les participants à la téléconférence indiquaient probablement que les opérations pouvaient se dérouler à peu de choses près comme au cours des 2 jours précédents.

Wasaya employait un processus à 2 étapes pour réguler les vols. Un vol devait d'abord être autorisé par l'entreprise, puis la décision de décoller devait être prise par le commandant de bord (CdB). L'autorisation était déléguée aux gestionnaires de service, qui avisaient selon les pilotes et les aéronefs disponibles, les chargements de passagers et de marchandises et d'autres facteurs. Ils dressaient ensuite le plan opérationnel quotidien, qu'ils affichaient pour montrer les vols autorisés.

Le chef d'escale à CYPL avait dressé le plan opérationnel du Caravan au cours des 2 jours précédents, et le plan pour le 11 décembre 2015 était très semblable. Le chef d'escale n'a probablement perçu aucun changement au risque par rapport à ce qui avait été acceptable auparavant.

Dans le cadre de la régulation des vols par les pilotes, il incombait ensuite au pilote du WSG127 de réguler le vol. Le pilote devait donc évaluer les conditions météorologiques, les conditions à l'aéroport, les capacités et limites de l'aéronef et la charge à bord de l'aéronef d'après le cadre d'orientation opérationnel défini par la réglementation, le manuel d'exploitation de la compagnie et les SOP. Les SOP des Caravan de Wasaya étaient une importante ressource à laquelle avait accès le pilote; toutefois, elles n'avaient pas encore été mises à jour à cause du suivi inefficace de l'évaluation des risques du SGS de l'entreprise. Par conséquent, d'importants renseignements sur les procédures à suivre par les pilotes de Caravan de l'entreprise dans des conditions givrantes n'étaient pas disponibles.

Le pilote du WSG127 avait piloté le C-FKDL à plusieurs reprises au cours de la semaine précédant l'accident et il savait presque certainement que cet aéronef était interdit de vol dans des conditions givrantes prévues ou connues. Cette restriction était indiquée sur une plaquette installée bien en vue dans le poste de pilotage.

Le pilote a fait la planification du vol à un ordinateur connecté à Internet, le même que d'autres pilotes utilisaient pour consulter les prévisions météorologiques. Quoique rien n'indique quels renseignements météorologiques le pilote a consultés, il est fort probable qu'il ait vérifié les conditions météorologiques. Il est probable que le pilote a consulté le message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) et la prévision d'aérodrome (TAF) pour CYPL et l'aéroport de Big Trout Lake (CYTL), de même que la GFA pour la région Ontario–Québec, et qu'il était au courant des prévisions de givrage mixte modéré.

D'autres renseignements sur le givrage étaient disponibles. Le service de prédictions météorologiques en route supplémentaires automatisées (PESA) de NAV CANADA peut illustrer l'ampleur horizontale et verticale prévue du givrage, mais on ne sait pas si le pilote a consulté ce service. De plus, l'indicateur des conditions de givrage Current Icing

Product (CIP) des États-Unis prédisait une probabilité de 60 % de givrage léger dans la région de CYPL. Toutefois, comme il s'agit d'un produit américain, le pilote ne l'a probablement pas consulté.

Le pilote a examiné les renseignements météorologiques dans le contexte d'une norme d'exploitation de l'entreprise qui acceptait le risque de givrage prévu par les GFA. Le pilote avait effectué des vols les 2 jours précédents avec des prévisions semblables, tout comme ses pairs, et les conditions prévues le 11 décembre 2015 étaient très semblables. Il est probable que le pilote ait jugé comme acceptable le risque que posaient les prévisions météorologiques.

Le pilote devait également évaluer la charge pour satisfaire à l'exigence imposée par l'entreprise de calculer la masse et le centrage de ce vol. Cependant, certaines parties de la charge chevauchaient plusieurs zones, et aucun formulaire de répartition du chargement n'était disponible. Comme nous l'expliquerons ci-dessous, à la section 2.9, le pilote aurait eu de la difficulté à estimer la répartition du chargement et à calculer le centre de gravité. Quoique l'enquête ait permis de déterminer que le centre de gravité était en deçà de la limite, le pilote ne pouvait probablement pas en être certain. Le pilote a probablement estimé que le centre de gravité était acceptable en fonction de son expérience précédente.

Il était possible de calculer la masse du WSG127 à partir du manifeste de marchandises, et l'enquête a permis de déterminer que sa masse au décollage était de 9009 livres. Le pilote était probablement conscient que la masse était inférieure à la masse maximale au décollage permise avec la modification APE III.

Si le C-FKDL avait été certifié pour le vol dans des conditions givrantes prévues, la masse maximale du WSG127 aurait été de 8550 livres. Cette masse inférieure aurait réduit la portance requise, l'angle d'attaque et la vitesse de décrochage. Étant donné sa masse plus élevée, le WSG127 devait produire plus de portance à un angle d'attaque plus accentué, et sa vitesse de décrochage était plus élevée. La masse au décollage élevée du WSG127 a aggravé la dégradation de performance lorsque le vol est entré dans des conditions givrantes.

Le pilote du WSG127 a signé le plan de vol exploitation et a autorisé le départ du vol. Sa signature sur le formulaire d'autorisation de la régulation des vols (FDC) indique que le pilote estimait sans doute que le vol pouvait se dérouler en toute sécurité comme prévu et que la masse et le centre de gravité de l'aéronef étaient en deçà des limites. L'acceptation par le pilote des risques accrus que posaient la masse de l'aéronef et les conditions météorologiques est probablement attribuable à une formation inefficace et à la norme établie dans l'entreprise d'accepter de telles opérations.

Quoique l'aéronef ait été interdit de vol dans des conditions givrantes connues ou prévues, le WSG127 a été autorisé à décoller dans des conditions givrantes prévues.

Le CdB est le dernier rempart de tout système de régulation des vols par les pilotes, et on s'attend à ce qu'il respecte toutes les règles, procédures et limites. Dans le cas à l'étude, le pilote a autorisé le vol et a piloté un aéronef qui était interdit de vol dans des conditions givrantes prévues, avec des conséquences catastrophiques. Cet accident s'est produit dans le

contexte d'une norme établie dans l'entreprise, selon laquelle de tels vols étaient autorisés et les pilotes de Caravan décollaient couramment dans des conditions givrantes prévues.

Les procédures et pratiques du système de régulation des vols par les pilotes de type C qu'employait Wasaya au moment de l'événement ne garantissaient pas que les risques opérationnels soient gérés à un niveau acceptable. Comme le montre l'événement à l'étude, en l'absence de processus efficaces de gestion des risques, des aéronefs pourraient continuer d'être autorisés à décoller dans des conditions givrantes prévues ou connues qui dépassent leurs capacités, augmentant le risque de performance dégradée ou de perte de maîtrise de l'aéronef.

2.4 Outils d'aide à la décision

Des systèmes de régulation des vols par les pilotes sont couramment utilisés par des exploitants aériens partout au Canada, et Wasaya en employait un pour tous ses vols, y compris le WSG127. Dans un tel système, il incombe au CdB de prendre les décisions concernant tous les aspects du vol, y compris le repérage des dangers et la gestion des risques.

Wasaya fournissait des indications opérationnelles détaillées dans le MEC et les SOP sur les décisions incombant aux pilotes. Toutefois, un système de régulation des vols par les pilotes compte entièrement sur la connaissance qu'ont les pilotes des exigences de la réglementation et de l'entreprise et sur le fait qu'ils les observent.

Des systèmes d'aide à la décision étaient largement utilisés à Wasaya. Les plans opérationnels quotidiens de chacune des bases étaient utilisés par les gestionnaires pour s'adapter à des situations changeantes. La téléconférence quotidienne sur les opérations servait à prendre des décisions opérationnelles. Les outils d'aide à la décision auxquels avaient accès les pilotes comprenaient des feuilles de calcul ou des règles de calcul de centre de gravité, le formulaire de contrôle du chargement (formulaire de masse et centrage), et le formulaire FDC. Toutefois, à CYPL, les pilotes de Caravan n'avaient pas accès à un formulaire de répartition du chargement, parce que les équipes de chargement n'en utilisaient pas.

De plus, l'entreprise n'utilisait aucun outil structuré d'aide aux décisions de gestion des risques (p. ex. : formulaires, listes de vérification) pour aider les gestionnaires des opérations et les pilotes à cerner et à atténuer les dangers, et elle n'était pas tenue de le faire. Quoiqu'il y avait sur le site Web du SGS de l'entreprise une liste de vérification pour l'exposé à l'équipage, son utilisation n'était pas exigée. L'enquête a permis de déterminer que les pilotes de Caravan de Wasaya n'utilisaient pas ce formulaire, signe que son existence n'était pas bien connue. Même si les pilotes avaient utilisé ce formulaire, il convenait mieux pour les aider à achever les tâches avant vol que pour cerner ou atténuer les dangers.

La disponibilité d'outils adéquats d'aide aux décisions de gestion des risques n'aurait peut-être rien changé au vol WSG127. Toutefois, de tels outils pourraient améliorer la gestion des risques dans la régulation des vols par les pilotes dans un éventail de situations que des pilotes affrontent chaque jour au Canada.

L'absence d'évaluation structurée des risques dans le cadre des processus de contrôle opérationnel comme l'autorisation des vols, les téléconférences quotidiennes sur les opérations ou la régulation des vols accroît la probabilité qu'un vol soit autorisé ou régulé en présence de risques qui soit n'ont pas été détectés, soit n'ont pas été évalués et atténués adéquatement.

Dans les systèmes de régulation des vols par les pilotes, c'est aux pilotes qu'il incombe d'évaluer correctement les dangers opérationnels. Si les pilotes qui effectuent des vols dans le cadre de la régulation des vols par les pilotes n'ont pas d'outils adéquats pour évaluer les risques opérationnels avant qu'ils autorisent le départ d'un vol, il y a une probabilité accrue que des dangers ne soient pas détectés ou ne soient pas atténués convenablement.

2.5 Givrage et performance de l'aéronef

L'accumulation de givre sur les cellules et hélices est un facteur connu de dégradation de la performance d'un aéronef. Pour les Cessna 208B, ce danger est abordé dans les procédures d'utilisation du fabricant et de Wasaya, lesquelles stipulent qu'il faut agir immédiatement pour sortir de toutes conditions givrantes.

Dans le cas du WSG127, la masse de l'aéronef au décollage était de 9009 livres. À une pareille masse, d'après les tableaux de performance de l'aéronef, celui-ci aurait dû pouvoir monter à un taux d'environ 800 pieds par minute (pi/min) à 105 nœuds de vitesse indiquée (KIAS)[77].

Le taux de montée initial, au début des données enregistrées, était d'environ 800 pi/min, comme prévu, mais la vitesse anémométrique a diminué jusqu'à une vitesse corrigée (KCAS) de 98 nœuds avant que le vol descende. Elle a ensuite augmenté à 120 KCAS avant que le vol recommence à monter à 110 KCAS et à 600 pi/min. Cette performance dégradée indique que le WSG127 était aux prises avec une traînée aérodynamique accrue dès 9 h 3. À ce stade, le vol se déroulait probablement dans des conditions givrantes.

Lorsqu'un Cessna 208B muni d'un conteneur de fret est exploité dans des conditions givrantes, la masse maximale de l'aéronef est réduite à 8550 livres, et sa vitesse minimale dans des conditions givrantes est de 120 KIAS, soit la vitesse de montée que recommande Wasaya. Même si le C-FKDL avait été équipé et certifié pour le vol dans des conditions givrantes, sa masse était supérieure et sa vitesse de montée était inférieure aux valeurs prescrites.

N'étant pas doté de la panoplie complète des systèmes de protection contre le givre, le C-FKDL était plus vulnérable en conditions givrantes qu'un Cessna 208B certifié pour le vol dans de telles conditions. Étant donné la masse de l'aéronef au moment de l'événement, son angle d'attaque pourrait avoir été plus prononcé, ce qui aurait entraîné une accumulation de

---

[77] Cette analyse utilise à la fois la vitesse anémométrique indiquée exprimée en nœuds (KIAS) et la vitesse anémométrique corrigée (KCAS). Dans le cas du Cessna 208B, les deux vitesses sont égales sur la plage de 100 à 175 nœuds, à 8750 livres et avec la puissance réglée pour le vol en palier.

givre sur l'intrados de l'aile derrière les boudins de dégivrage du bord d'attaque. Une telle accumulation de givre aurait intensifié la dégradation de la performance de l'aéronef.

L'analyse du radiosondage de 7 h à CYPL indiquait une forte probabilité de givre transparent de modéré à fort aux altitudes que franchissait le WSG127 en montée, et des zones locales de bruine verglaçante étaient prévues. Comme l'indique le manuel d'utilisation de l'avion du Cessna 208B, le vol dans de la bruine verglaçante peut donner lieu à du givre que les systèmes de protection contre le givre sont incapables d'éliminer, ce qui dégrade gravement la performance. Bien que ce soit impossible à déterminer avec certitude, il est fort probable que le WSG127 ait traversé une zone de bruine verglaçante durant la montée.

À mesure que se poursuivait la montée, son taux a diminué à environ 400 pi/min, puis à environ 250 pi/min près du sommet de la montée. En outre, la vitesse anémométrique estimée a diminué de 110 KCAS à 98 KCAS à peine.

La performance du WSG127 était considérablement inférieure à la performance attendue et s'est dégradée progressivement, ce qui est caractéristique d'une traînée de la cellule supérieure à la normale et d'une traction réduite de l'hélice. Une performance aussi dégradée est caractéristique d'une accumulation de givre sur la cellule et l'hélice, et il est probable que la traînée ait augmenté à mesure que le givre s'accumulait sur l'aéronef durant la montée.

D'après le tableau de performance, la vitesse de décrochage du C-FKDL à une masse de 9062 livres avec les volets rentrés, les ailes à l'horizontale et au ralenti de vol est de 78 KCAS. Le moteur et l'hélice étaient probablement réglés à la puissance de montée que recommande l'entreprise, et aucun renseignement n'était disponible sur la vitesse de décrochage avec une puissance supérieure au ralenti de vol. Comme la vitesse de décrochage du Cessna 208B peut augmenter de 20 nœuds en présence d'une accumulation de givre, la vitesse de décrochage sans moteur du C-FKDL aurait pu monter jusqu'à 98 KCAS.

Après qu'il a atteint le point culminant de sa montée, l'aéronef a amorcé une lente descente juste avant l'événement 1 (annexe K). On n'a pas pu déterminer si l'événement 1 avait commencé alors que l'aéronef volait avec les ailes à l'horizontale ou au début d'un virage amorcé par le pilote.

Une manœuvre de virage aurait augmenté la portance requise de l'une des ailes, ce qui aurait du même coup augmenté la vitesse de décrochage de cette aile. Étant donné la faible vitesse anémométrique estimée à ce moment, ainsi que l'augmentation combinée de la vitesse de décrochage et de la traînée aérodynamique attribuable à l'accumulation de givre, la marge disponible au-dessus de la vitesse de décrochage aurait été considérablement réduite.

L'écart soudain par rapport à la trajectoire de vol, à l'événement 1, est caractéristique d'un aéronef qui entre dans des conditions de décrochage à une vitesse anémométrique plus élevée que prévu à cause de la contamination de la cellule par le givre. Le décrochage et l'écart soudain qui a suivi ont peut-être été aggravés par une asymétrie entre l'aile gauche et l'aile droite provoquée par du givre. Le changement rapide d'assiette et de trajectoire de

l'aéronef, ainsi que sa descente de plus en plus prononcée, indique que l'événement 1 était probablement un décrochage aérodynamique et le début d'une vrille.

Après l'événement 1, l'aéronef est descendu à un taux atteignant 7000 pi/min, et sa vitesse anémométrique estimée a rapidement atteint environ 140 KCAS. L'aéronef a ensuite amorcé une nouvelle montée, ce qui indique que le pilote a temporairement repris la maîtrise de l'aéronef et qu'il sortait du décrochage.

Toutefois, durant la reprise, la vitesse anémométrique estimée a rapidement diminué, et il y a eu des forces d'accélération lorsque le pilote a cabré l'aéronef pour arrêter sa descente. Cette rapide diminution de vitesse anémométrique est caractéristique de la forte traînée aérodynamique d'un aéronef lourdement contaminé par une accumulation de givre.

La basse vitesse anémométrique estimée, le changement rapide d'assiette de l'aéronef et sa descente de plus en plus prononcée durant l'événement 2 (annexe K) indiquent qu'il y a probablement eu un second décrochage aérodynamique, survenu à une altitude à laquelle aucune sortie n'était possible. Le léger changement de trajectoire durant l'événement 2 indique qu'il n'y a probablement pas eu de vrille.

La performance constatée du WSG127 est celle à laquelle on pourrait s'attendre en cas d'exploitation dans des conditions givrantes dépassant les capacités de l'aéronef, ce qui a mené à une perte de maîtrise dans des circonstances qui ne permettaient aucune reprise. La performance du WSG127 s'est considérablement dégradée à cause de l'accumulation de givre, jusqu'à entraîner un décrochage aérodynamique, une perte de maîtrise et la collision avec le relief.

Dans le cas du WSG128, qui est retourné à CYPL après être entré dans des conditions givrantes, sa masse au décollage était de 9062 livres. Cet aéronef était également interdit de vol dans des conditions givrantes connues ou prévues, car il n'était pas muni de tous les systèmes de protection contre le givre nécessaires pour ce type d'aéronef. Ce vol est entré dans des conditions de givrage durant sa montée, et sa vitesse anémométrique a baissé de 5 à 10 nœuds par suite de l'accumulation de givre. Aucun problème de manœuvrabilité n'a été relevé, quoique la performance était dégradée et la visibilité était réduite par le givre sur le pare-brise.

Si des aéronefs qui ne sont pas certifiés pour voler dans des conditions givrantes connues ou prévues sont autorisés à décoller dans de telles conditions et y entrent, il y a un risque accru de dégradation de la performance ou de perte de maîtrise.

Le 11 décembre 2015, un troisième Caravan de Wasaya, C-FHWA, qui était certifié pour le vol dans des conditions givrantes, a décollé dans des conditions givrantes prévues pour effectuer la deuxième étape de la journée. Sa masse était de 8813 livres. Le jour précédent, alors que des conditions givrantes étaient également prévues, le C-FHWA avait effectué un vol alors que sa masse au décollage était de 9062 livres.

Si des aéronefs qui sont certifiés pour voler dans des conditions givrantes connues ou prévues sont autorisés à décoller dans de telles conditions et y entrent alors que leur masse est supérieure au maximum permis, il y a un risque accru de perte de maîtrise.

2.6 Prise de décisions du pilote en vol

Comme il est mentionné à la section 2.5, le WSG127 volait probablement dans des conditions givrantes dès 9 h 3, et l'aéronef a continué d'accumuler du givre, de façon intermittente ou continue, jusqu'à l'événement 1, vers 9 h 9. De même, le WSG128, qui est retourné à CYPL, a traversé des conditions givrantes pendant 5 à 6 minutes. Le pilote du WSG128 a utilisé les systèmes de dégivrage et antigivrage dont était muni l'aéronef.

Le givre résiduel sur le C-FKDL après l'écrasement indique que le pilote du WSG127 a utilisé les boudins de dégivrage de bord d'attaque au moins une fois à un moment donné durant le vol; toutefois, les dommages causés par l'impact ont empêché les enquêteurs de déterminer quels autres systèmes avaient été utilisés. Il est très probable que le pilote aurait activé l'antigivrage d'hélice.

Le fait que ces deux vols se sont poursuivis dans du givre pendant au moins 5 minutes constitue un grave écart par rapport aux directives des SOP de Wasaya, selon lesquelles [traduction] « on doit immédiatement sortir de toutes conditions givrantes ». Puisque ces 2 pilotes ont poursuivi aussi longtemps leurs vols dans du givre, il est probable que la norme établie dans l'entreprise selon laquelle les pilotes de Caravan décidaient de décoller dans des conditions givrantes prévues permettait également de poursuivre un vol en entrant dans des conditions givrantes au lieu d'en sortir immédiatement comme le stipulaient les SOP. Le pilote du WSG127 a poursuivi le vol dans des conditions givrantes pendant environ 6 minutes, ce qui a progressivement dégradé la performance de l'aéronef.

Le fait que le pilote du WSG128 a lui aussi agi de la sorte indique une formation inefficace et l'existence d'une norme établie dans l'entreprise selon laquelle on acceptait de poursuivre un vol dans des conditions givrantes. Si l'on poursuit des vols dans des conditions givrantes connues à bord d'aéronefs qui ne sont pas certifiés pour voler dans de telles conditions, il y a un risque accru de dégradation de la performance et de perte de maîtrise de l'aéronef.

2.7 Intervalle d'application du produit ICEX II

Le produit ICEX II peut servir à retarder l'adhérence du givre sur les surfaces traitées et accroître l'élimination de givre accumulé. L'enquête a permis de relever 2 occasions où l'addenda au calendrier de maintenance approuvé de Wasaya pour le Cessna 208B ne suivait pas la recommandation de l'avionneur sur l'application du produit ICEX II. Des écarts par rapport aux recommandations du fabricant sont permis si la justification en est soumise à Transports Canada (TC) et que le ministère donne son approbation.

D'une part, Cessna recommandait d'appliquer périodiquement ce liquide sur les boudins antigivrage d'hélice à un intervalle maximal de 15 heures de vol; cependant, cet intervalle ne figurait pas à l'addenda au calendrier de maintenance de Wasaya. Les boudins antigivrage d'hélice des Caravan de l'entreprise ne recevaient aucune application du produit ICEX II.

Comme le produit ICEX II aide à retarder l'adhérence du givre et accroît l'élimination du givre de la surface des boudins, il va de soi que l'absence de ce produit sur les boudins d'hélice pourrait accroître la gravité de l'accumulation de givre et ainsi réduire la traction de l'hélice. Il est donc probable que le vol WSG127 ait subi une dégradation de la performance de l'hélice dans des conditions givrantes du fait que ses pales n'étaient pas traitées au produit ICEX II.

D'autre part, Wasaya stipulait dans son calendrier de maintenance approuvé qu'elle appliquerait le produit ICEX II aux boudins de bord d'attaque des Cessna 208B à intervalles de 100 heures durant la saison de givrage. Cette exigence d'entretien s'appliquait à tous les Caravan de l'entreprise, qu'ils soient certifiés pour voler ou interdits de vol dans des conditions givrantes connues ou prévues.

Or, cet intervalle d'entretien s'écartait de la recommandation d'entretien du manuel de maintenance Cessna, qui stipulait un intervalle maximal de 50 heures de vol. Wasaya avait prolongé cet intervalle à 100 heures en 2006. Quoique TC ait approuvé cette prolongation, les dossiers de Wasaya ou de TC ne comprenaient aucun élément qui permette de déterminer quelle était la justification de l'augmentation.

Puisque les boudins de dégivrage de bord d'attaque du C-FKDL avaient été traités au produit ICEX II 10,6 heures de vol plus tôt et que le vol à l'étude s'est déroulé dans l'intervalle maximal de 50 heures recommandé par l'avionneur, l'intervalle d'application plus long du produit ICEX II n'a pas été un facteur dans cet accident.

Toutefois, l'intervalle prolongé entre les applications fait en sorte que l'on utilise les aéronefs au-delà de l'intervalle de 50 heures recommandé par l'avionneur. Des intervalles d'application plus longs que ceux stipulés par l'avionneur réduisent la capacité des boudins de dégivrage de bord d'attaque d'éliminer le givre. Par conséquent, il y a plus de givre résiduel sur les boudins après leur activation, et la performance de l'aéronef s'en trouve dégradée.

L'addenda au calendrier de maintenance approuvé de Wasaya pour le Cessna 208B ne suivait pas la recommandation de l'avionneur concernant l'application du produit ICEX II. Par conséquent, l'entreprise était exposée à un risque accru lié à l'accumulation de givre sur les boudins de dégivrage de bord d'attaque et les boudins antigivrage d'hélice de sa flotte de Cessna 208B.

Si les exploitants dépassent les intervalles d'application du produit ICEX II recommandés par les avionneurs, il y a un risque accru de performance dégradée ou de perte de maîtrise d'un aéronef par suite d'une plus grande accumulation de givre sur les boudins de dégivrage de bord d'attaque et les boudins antigivrage d'hélice.

2.8 Formation technique au sol initiale de Wasaya

D'après le manuel de formation de Wasaya, l'entreprise doit donner 20 heures de formation technique au sol dans le cadre de la formation initiale des pilotes sur le Caravan. Cependant,

l'entreprise ne prévoyait que 2 jours pour donner cette formation. Il était donc peu probable que l'on puisse donner les 20 heures de formation requises.

Selon son dossier de formation, le pilote du WSG127 n'avait reçu que 16 heures de formation, alors que les dossiers d'autres pilotes qui ont suivi le même cours indiquaient qu'ils avaient reçu 20 heures. Il est probable que la durée de 16 heures inscrite représente bien la formation donnée au pilote du WSG127. Il est également probable que les autres pilotes qui ont suivi cette formation aient reçu moins que les 20 heures requises. Si les pilotes ne reçoivent pas la formation minimale requise, il y a un risque accru qu'ils n'aient pas toutes les connaissances techniques voulues pour exploiter un aéronef en toute sécurité.

2.9 Documentation de chargement des Cessna 208B à CYPL

Les pratiques des équipes de chargement de Wasaya à CYPL ne comprenaient pas la tâche de remplir le formulaire de répartition du chargement avant les vols des Caravan. Pourtant, d'après la politique de l'entreprise, ces formulaires devaient être remplis. Les pilotes de Caravan pouvaient calculer la masse de l'aéronef à partir des manifestes de marchandises. Toutefois, sans renseignement sur la répartition du chargement, ils auraient été incapables de calculer exactement le centre de gravité pour un vol. Il est probable que de nombreux vols de Caravan aient décollé de CYPL sans détermination exacte du centre de gravité.

Aucun formulaire de répartition du chargement pour le WSG127 n'a été retrouvé, ni au lieu de l'accident ni à la salle des opérations de l'entreprise. Des calculs effectués après l'accident ont révélé que le WSG127 était chargé en deçà des limites stipulées de masse au décollage et de centre de gravité. Par conséquent, l'absence de calcul du centre de gravité n'a pas été un facteur dans l'accident à l'étude.

Étant donné l'absence d'un formulaire de répartition du chargement et le fait que les marchandises chargées à bord du WSG127 chevauchaient plusieurs zones de fret, le pilote aurait eu de la difficulté à estimer la répartition du chargement et à calculer le centre de gravité. Si l'on ne fournit pas aux pilotes les renseignements dont ils ont besoin pour calculer exactement le centre de gravité de l'aéronef, ils risquent de décoller avec le centre de gravité de l'aéronef au-delà des limites prescrites, ce qui peut mener à une perte de maîtrise.

2.10 Radiobalises de repérage d'urgence et suivi des vols par satellite

L'ELT à bord du WSG127 était probablement en bon état de service au moment de l'événement; toutefois, aucun signal utile n'a été détecté sur les fréquences de 121,5 MHz ou de 406 MHz à cause des dommages causés par l'impact à l'antenne et à ses raccords. Par conséquent, le personnel de recherche et sauvetage (SAR) ne connaissait pas la position exacte du lieu de l'accident et n'avait aucun signal sur lequel s'aligner au moyen de l'équipement embarqué. Ainsi, la recherche du lieu de l'accident a dû commencer à partir de la dernière position connue de l'aéronef.

Le BST a enquêté sur plusieurs autres événements où aucun signal d'ELT n'avait été transmis à cause de problèmes de résistance à l'impact des antennes d'ELT. D'autres études ont montré qu'une forte proportion de toutes les défaillances d'ELT est attribuable aux

dommages liés à un impact. La fréquence des défaillances d'ELT indique que les normes actuelles de conception et de certification n'assurent pas un degré acceptable de résistance à l'impact.

Il est fort probable que des aéronefs munis de systèmes ELT conformes à la norme de conception courante continueront de figurer dans des événements où les services SAR qui pourraient sauver des vies sont retardés à cause de dommages aux systèmes ELT. Les chances de survie après un accident s'en trouveraient ainsi réduites. La réponse d'intervenants internationaux aux recommandations du BST concernant cette lacune de sécurité dénote une intention satisfaisante. Cependant, la lacune persistera jusqu'à ce que les normes de conception soient améliorées et qu'une nouvelle génération d'ELT entre en service.

Si les antennes et les raccords des ELT ne sont pas suffisamment robustes pour résister aux forces d'impact, les opérations SAR susceptibles de sauver des vies peuvent être entravées du fait de l'absence d'un signal utile.

Dans l'événement à l'étude, l'aéronef était muni d'un système de suivi des vols par satellite, tout comme les autres aéronefs de l'entreprise. L'utilisation par Wasaya d'un système de suivi des vols par satellite a permis un signalement rapide de l'état anormal du WSG127 et a fourni la dernière position connue exacte pour les opérations SAR.

3.0 Faits établis

3.1 Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. Quoique l'aéronef ait été interdit de vol dans des conditions givrantes connues ou prévues, le vol 127 (WSG127) de Wasaya Airways Limited Partnership (Wasaya) a été autorisé à décoller dans des conditions givrantes prévues.

2. La masse au décollage élevée du WSG127 a aggravé la dégradation de performance lorsque le vol est entré dans des conditions givrantes.

3. Le pilote du WSG127 a poursuivi le vol dans des conditions givrantes pendant environ 6 minutes, ce qui a progressivement dégradé la performance de l'aéronef.

4. La performance du WSG127 s'est considérablement dégradée à cause de l'accumulation de givre, jusqu'à entraîner un décrochage aérodynamique, une perte de maîtrise et la collision avec le relief.

5. Les procédures et pratiques du système de régulation des vols par les pilotes de type C qu'employait Wasaya au moment de l'événement ne garantissaient pas que les risques opérationnels soient gérés à un niveau acceptable.

6. Wasaya n'avait pas mis en œuvre toutes les stratégies d'atténuation proposées après l'évaluation de janvier 2015 des risques relatifs à l'utilisation des Cessna 208B dans des conditions givrantes connues ou prévues. Par conséquent, l'entreprise était toujours exposée à des dangers non atténués que l'évaluation des risques avait cernés.

7. Il y avait une norme de l'entreprise permettant d'autoriser le départ de vols de Cessna 208B dans des conditions givrantes prévues, même si 4 des 5 Cessna 208B de Wasaya étaient interdits de vol dans ces conditions.

3.2 Faits établis quant aux risques

1. En l'absence de processus efficaces de gestion des risques, des aéronefs pourraient continuer d'être autorisés à décoller dans des conditions givrantes prévues ou connues qui dépassent leurs capacités, augmentant le risque de performance dégradée ou de perte de maîtrise de l'aéronef.

2. Si les pilotes qui effectuent des vols dans le cadre de la régulation des vols par les pilotes n'ont pas d'outils adéquats pour évaluer les risques opérationnels avant qu'ils autorisent le départ d'un vol, il y a une probabilité accrue que les dangers ne soient pas détectés ou ne soient pas atténués convenablement.

3. Si des aéronefs qui ne sont pas certifiés pour voler dans des conditions givrantes connues ou prévues sont autorisés à décoller dans de telles conditions et y entrent, il y a un risque accru de dégradation de la performance ou de perte de maîtrise.

4. Si des aéronefs qui sont certifiés pour voler dans des conditions givrantes connues ou prévues sont autorisés à décoller dans de telles conditions et y entrent alors que leur masse est supérieure au maximum permis, il y a un risque accru de perte de maîtrise.

5. Si l'on poursuit des vols dans des conditions givrantes connues à bord d'aéronefs qui ne sont pas certifiés pour voler dans de telles conditions, il y a un risque accru de dégradation de la performance et de perte de maîtrise de l'aéronef.

6. Si les exploitants dépassent les intervalles d'application du produit ICEX II recommandés par les avionneurs, il y a un risque accru de performance dégradée ou de perte de maîtrise d'un aéronef par suite d'une plus grande accumulation de givre sur les boudins de dégivrage de bord d'attaque et les boudins antigivrage d'hélice.

7. Si les pilotes ne reçoivent pas la formation minimale requise, il y a un risque accru qu'ils n'aient pas toutes les connaissances techniques voulues pour exploiter un aéronef en toute sécurité.

8. Si l'on ne fournit pas aux pilotes les renseignements dont ils ont besoin pour calculer exactement le centre de gravité de l'aéronef, ils risquent de décoller avec le centre de gravité de l'aéronef au-delà des limites prescrites, ce qui peut mener à une perte de maîtrise.

9. Si les antennes et les raccords des radiobalises de repérage d'urgence ne sont pas suffisamment robustes pour résister aux forces d'impact, les opérations de recherche et sauvetage susceptibles de sauver des vies peuvent être entravées du fait de l'absence d'un signal utile.

3.3 Autres faits établis

1. L'utilisation par Wasaya d'un système de suivi des vols par satellite a permis un signalement rapide de l'état anormal du WSG127 et a fourni la dernière position connue exacte pour les opérations de recherche et sauvetage.

2. L'enquête n'a pas pu déterminer si le pilote du WSG127 a utilisé le pilote automatique durant le vol à l'étude.

4.0 Mesures de sécurité

4.1 Mesures de sécurité prises

4.1.1 Wasaya

Après cet accident, Wasaya Airways Limited Partnership (Wasaya) a lancé 2 enquêtes sur son système de gestion de la sécurité (SGS). La première a été entamée comme suite à la perte du vol 127 (WSG127), et la seconde, en raison du retour de l'autre vol d'un Caravan à l'aéroport de Pickle Lake (CYPL). Les mesures qui ont été prises à l'issue de ces 2 enquêtes menées par l'entreprise dans le cadre de son SGS sont abordées ci-dessous.

4.1.1.1 Vols effectués par un seul pilote

Immédiatement après l'accident, Wasaya a mis un terme aux opérations monopilotes sur les Cessna 208B. Après un examen de ses opérations, l'entreprise a fourni à tous les pilotes de Caravan des précisions sur ses procédures dans les opérations monopilotes. Le 11 janvier 2016, l'entreprise a repris les opérations monopilotes, après avoir modifié les limites de régulation des vols relatives aux conditions météorologiques.

4.1.1.2 Conditions météorologiques minimales pour vols de jour selon les règles de vol à vue

Le 11 janvier 2016, Wasaya a rehaussé les conditions météorologiques minimales pour tous les vols selon les règles de vol à vue (VFR) assujettis à la spécification d'exploitation 004, à partir d'un plafond à 300 pieds au-dessus du niveau du sol (AGL) et d'une visibilité de 1 mille terrestre (sm)[78], selon une échelle mobile (tableau 10).

Tableau 10. Conditions météorologiques minimales rehaussées de régulation des vols VFR

Hauteur du plafond (pieds AGL)	Visibilité minimale (sm)
300	3
400	2
500	1½
600	1

4.1.1.3 Plan de vol exploitation

Le 14 février 2016, l'entreprise a révisé son formulaire de masse et centrage (« contrôle du chargement ») pour les Cessna 208B afin qu'il comprenne une case pour noter le centre de gravité calculé.

---

78 Wasaya Airways Limited Partnership, *Company Operations Manual*, révision 2 (19 décembre 2014), section 3.4.2.

Le même jour, elle a ajouté une étape au processus d'approbation du plan de vol exploitation. Désormais, les coordonnateurs des opérations des bases ou le préposé au suivi des vols du centre de contrôle des opérations du système (SOCC) devaient vérifier que le plan de vol exploitation et ses documents afférents étaient complets avant d'autoriser le départ d'un vol. Cette étape a ensuite été révisée comme suit : une fois que le formulaire d'autorisation de la régulation des vols (FDC) est rempli, on le transmet au SOCC avant le départ. Après avoir vérifié le contenu du formulaire FDC et s'être assuré qu'il porte la signature du commandant de bord, le SOCC conserve ce document pour la durée du vol.

4.1.1.4 Utilisation du formulaire de répartition du chargement des Cessna 208B

Après l'accident, l'entreprise a constaté que les équipes de chargement à CYPL ne fournissaient pas de formulaire de répartition du chargement rempli aux pilotes de Cessna 208B. Wasaya a rétabli l'utilisation de ce formulaire au printemps 2016; toutefois, un suivi effectué par l'entreprise le 16 décembre 2016 a permis de déterminer que les équipes de chargement à CYPL n'utilisaient toujours pas les formulaires de répartition du chargement pour les vols de Cessna 208B.

Le 7 mars 2017, le directeur, Exploitation de Wasaya a adressé un message au personnel pour dissiper la confusion à l'égard des circonstances dans lesquelles on devait remplir un formulaire de répartition du chargement pour les vols de Caravan. D'après ce message, les arrimeurs devaient remplir ce formulaire pour tout chargement à bord d'un Caravan qui n'avait pas été supervisé par le commandant de bord. Cette mesure valait pour tous les vols de Caravan au départ de CYPL et de l'aéroport de Red Lake (CYRL).

En avril 2017, un exposé sur la conformité à cette directive a été fait au personnel navigant, au personnel au sol et au personnel d'exploitation à CYPL. Des audits de suivi effectués par le directeur, Exploitation ont permis de confirmer que le formulaire était utilisé pour les vols dont le commandant de bord n'avait pas supervisé le chargement.

4.1.1.5 Formation des pilotes

L'entreprise a accru, de 2 jours à 3 jours, le temps accordé pour la formation technique au sol initiale sur le Cessna 208B.

4.1.1.6 Suivi des entrées par inadvertance de Cessna 208B dans des conditions givrantes

L'enquête menée par l'entreprise dans le cadre de son SGS a permis de déterminer que plus de renseignements étaient nécessaires; on a donc proposé de mettre au point un moyen par lequel les pilotes de Cessna 208B pourraient signaler l'entrée par inadvertance dans des conditions givrantes. Au 25 avril 2017, le SGS avait reçu 2 rapports d'entrée par inadvertance dans des conditions givrantes : dans un cas, le vol est retourné à son point de départ; dans l'autre, le vol a évité la zone de givre et s'est poursuivi jusqu'à sa destination.

4.1.1.7 Application du produit ICEX II

Wasaya a révisé l'addenda à son calendrier de maintenance des Cessna 208B en ajoutant l'application du produit ICEX II aux boudins antigivrage d'hélice à un intervalle maximal de

15 heures, et en réduisant à 50 heures l'intervalle maximal d'application du même produit aux boudins de dégivrage de bord d'attaque.

4.1.2 Transports Canada

Transports Canada, Aviation civile (TCAC) a effectué une inspection des processus de Wasaya, du 22 décembre 2015 au 4 janvier 2016. TCAC a informé l'entreprise que cette inspection avait confirmé la conformité du processus de régulation des Cessna 208 de l'entreprise. Par contre, TCAC a déterminé que le programme pour les opérations dans des conditions de givrage au sol de Wasaya n'était pas efficace et ne satisfaisait pas aux exigences réglementaires. Le 4 mars 2016, Wasaya a présenté à TCAC un plan de mesures correctives décrivant la façon dont l'entreprise rétablirait sa conformité à la réglementation. TCAC a achevé son suivi le 23 décembre 2016. Le plan de mesures correctives de Wasaya a été accepté, et l'inspection de processus a pris fin.

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 2 août 2017. Le rapport a été publié en premier lieu le 28 septembre 2017.

Correction

Le quatrième paragraphe de la section 1.15.2, *Radiobalise de repérage d'urgence* a été modifié afin de préciser que les dommages attribuables à l'impact sont à la source de la majorité des cas de non-activation. Aussi, une nouvelle référence (Australian Transport Safety Bureau (ATSB), Aviation Research Investigation AR-2012-128, *A review of the effectiveness of emergency locator transmitters in aviation accidents* (21 mai 2013)) a été ajoutée comme note de bas de page n° 42. Les notes de bas de page subséquentes ont été renumérotées en conséquence.

La version originale du rapport indiquait qu'une « étude menée plus récemment par le Centre canadien de contrôle des missions pour SARSAT a déterminé que les ELT ne s'étaient pas activés dans 38 % des accidents d'aéronefs au Canada dans lesquels l'aéronef avait été lourdement endommagé ».

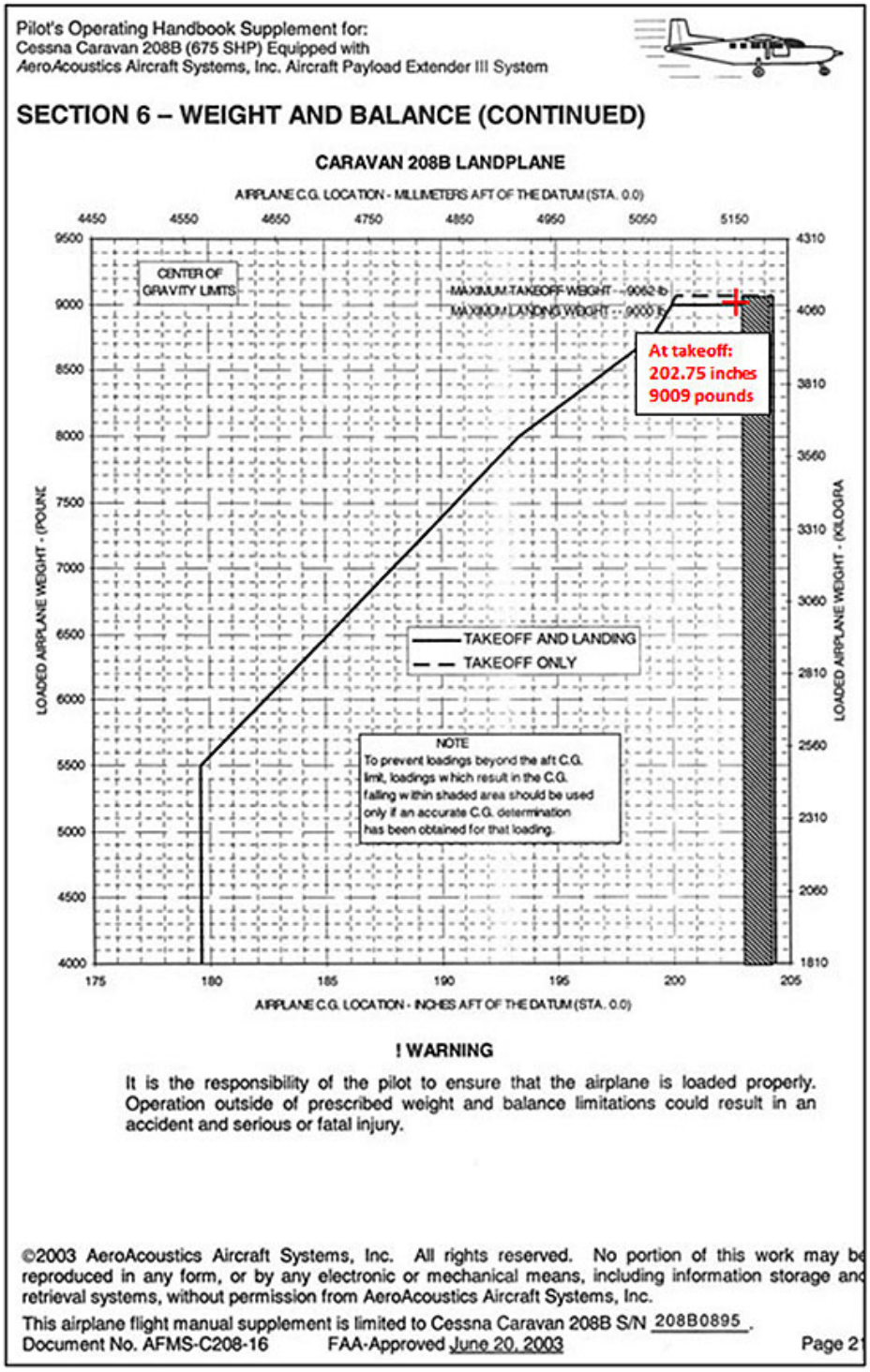
Ce paragraphe se lit maintenant ainsi : « Des études menées plus récemment par le Centre canadien de contrôle des missions et l'Australian Transport Safety Bureau (ATSB) ont conclu que les dommages attribuables à l'impact (c.-à-d. les dommages causés par le feu ou l'impact, les antennes rompues ou déconnectées ainsi que les dommages causés par l'eau) sont à la source de la majorité des cas de non-activation ».

Le Bureau a autorisé la présente correction le 3 octobre 2018 et la version corrigée du rapport a été publiée le 22 octobre 2018.

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.

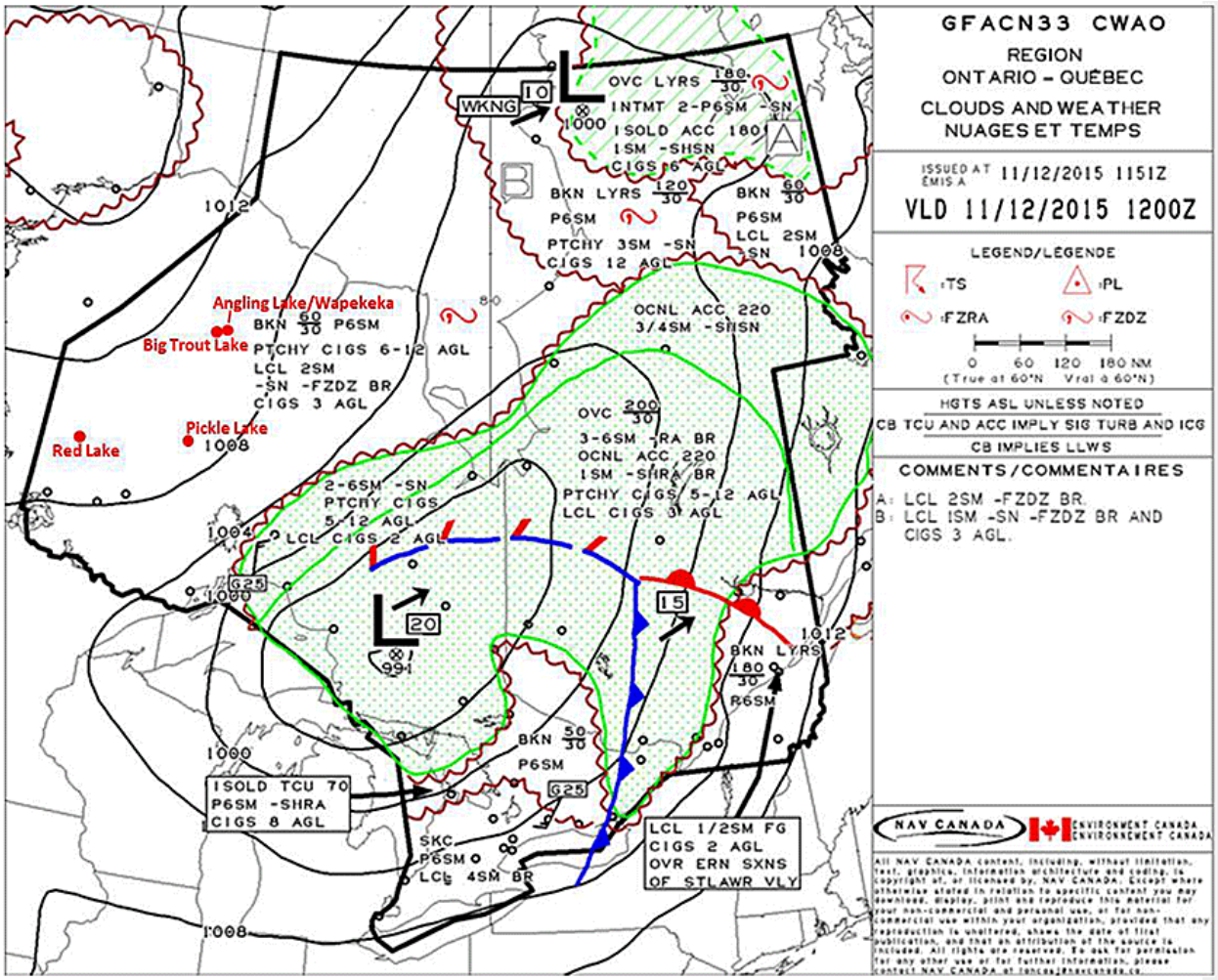
Annexes

Annexe A – Masse et centrage du vol WSG127

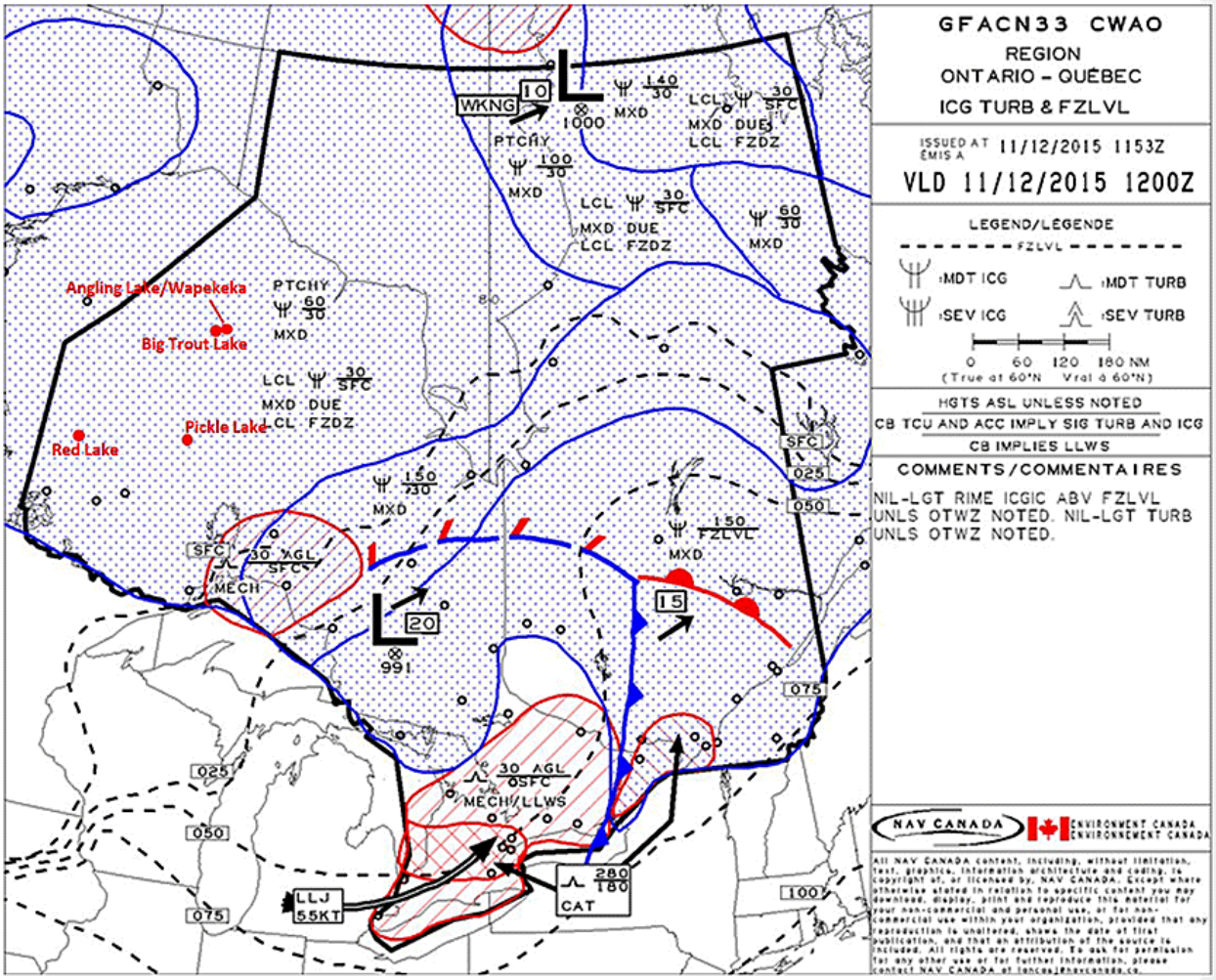


Source : AeroAcoustic Aircraft Systems, Inc., *Pilot's Operating Handbook* (POH), Supplement for Cessna Caravan 208B, Document AFMS-C208-16 (20 juin 2013), section 6 : Weight and Balance, p. 21, avec annotations du BST.

Annexe B – Prévision de zone graphique CN33 valide à 7 h HNE (12 h TUC) le 11 décembre 2015



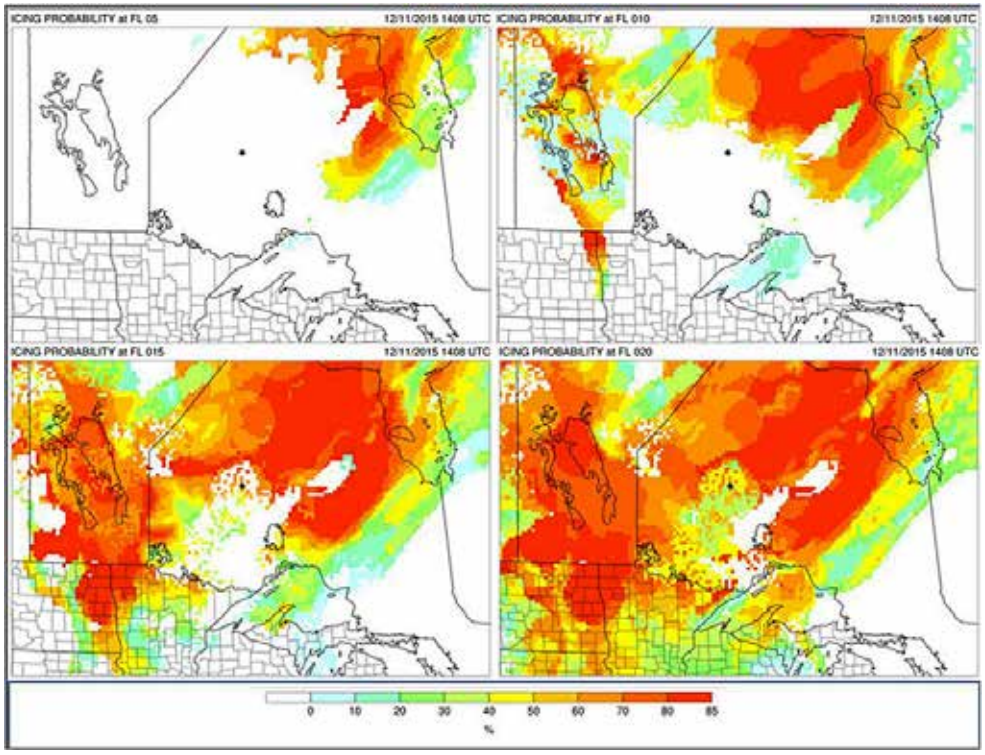
Source : NAV CANADA et Environnement Canada.



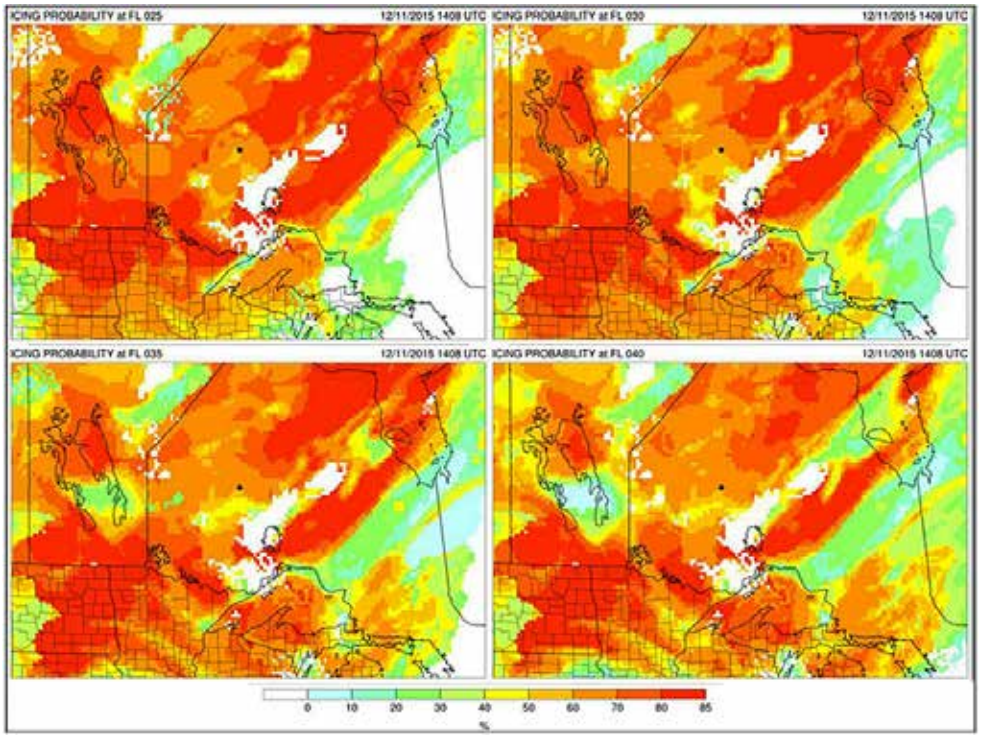
Source : NAV CANADA et Environnement Canada.

Annexe C – Indicateur des conditions de givrage montrant la probabilité de givre : 11 décembre 2015 à 9 h 8 (14 h 8 TUC)

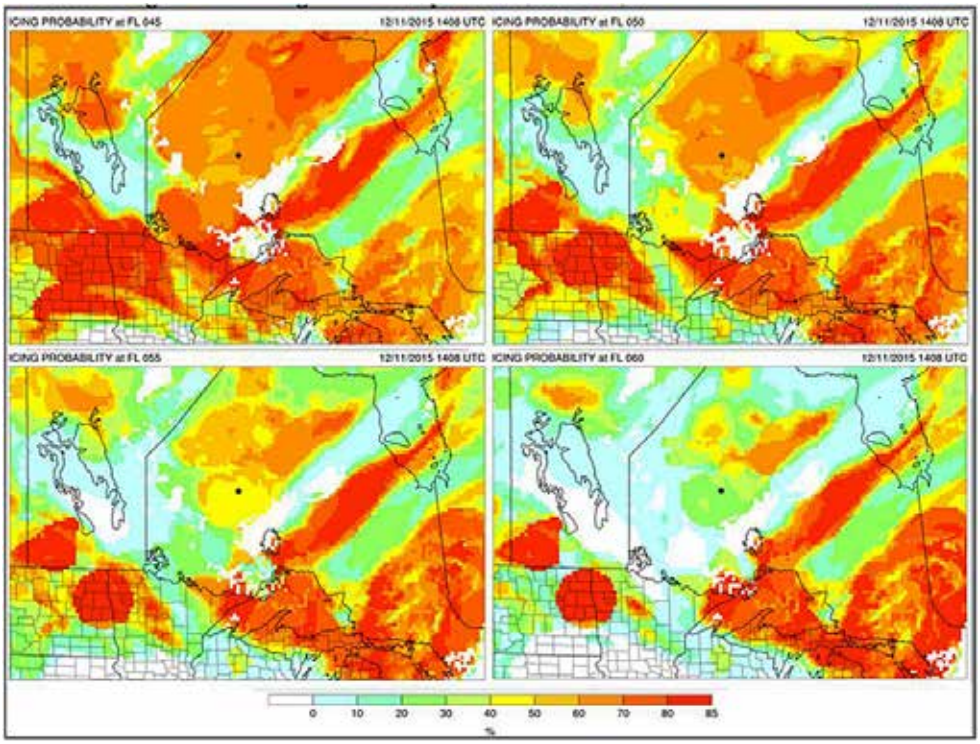
Remarque : Les points noirs représentent CYPL.



Source : National Center for Atmospheric Research des États-Unis.



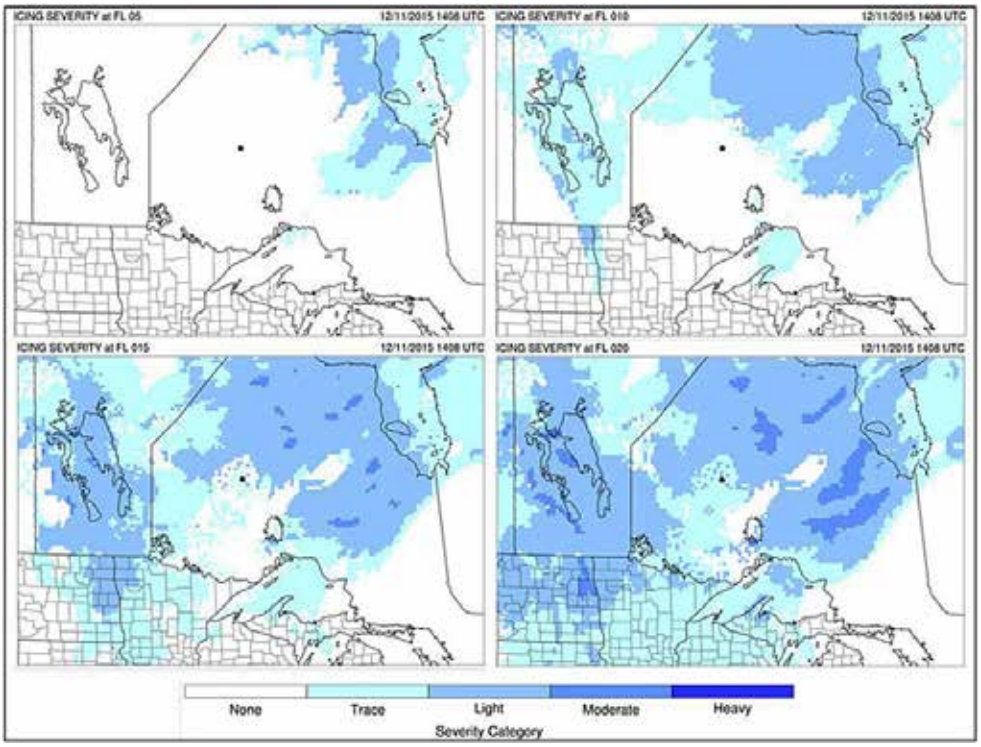
Source : National Center forAtmospheric Research des États-Unis.



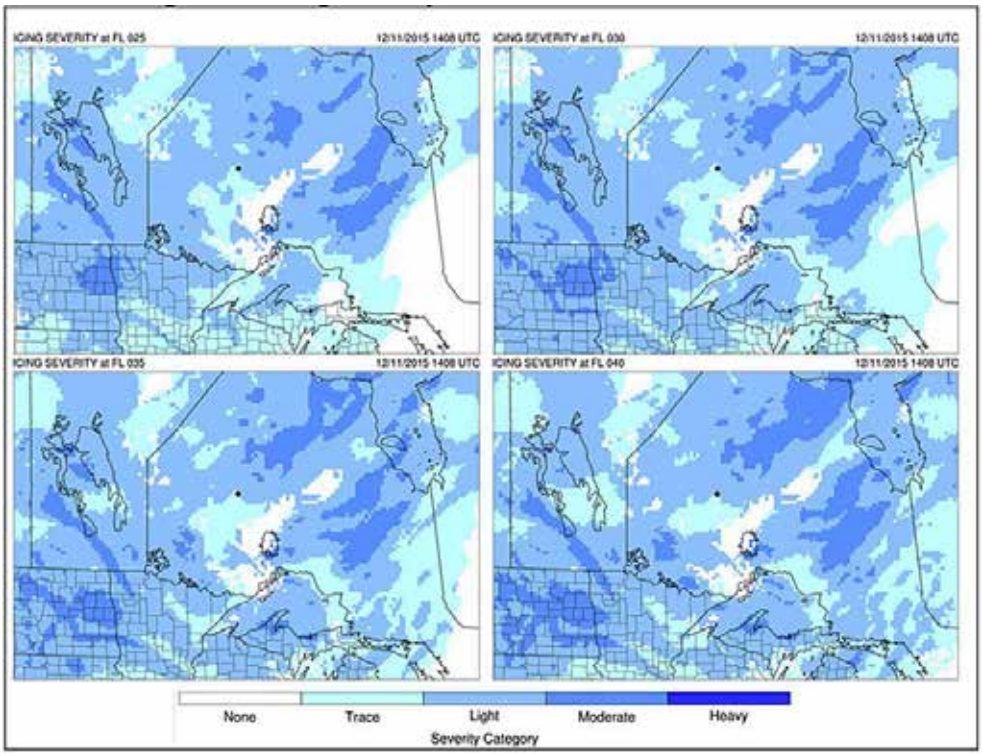
Source : National Center forAtmospheric Research des États-Unis.

Annexe D – Indicateur des conditions de givrage montrant la gravité du givre : 11 décembre 2015 à 9 h 8 (14 h 8 TUC)

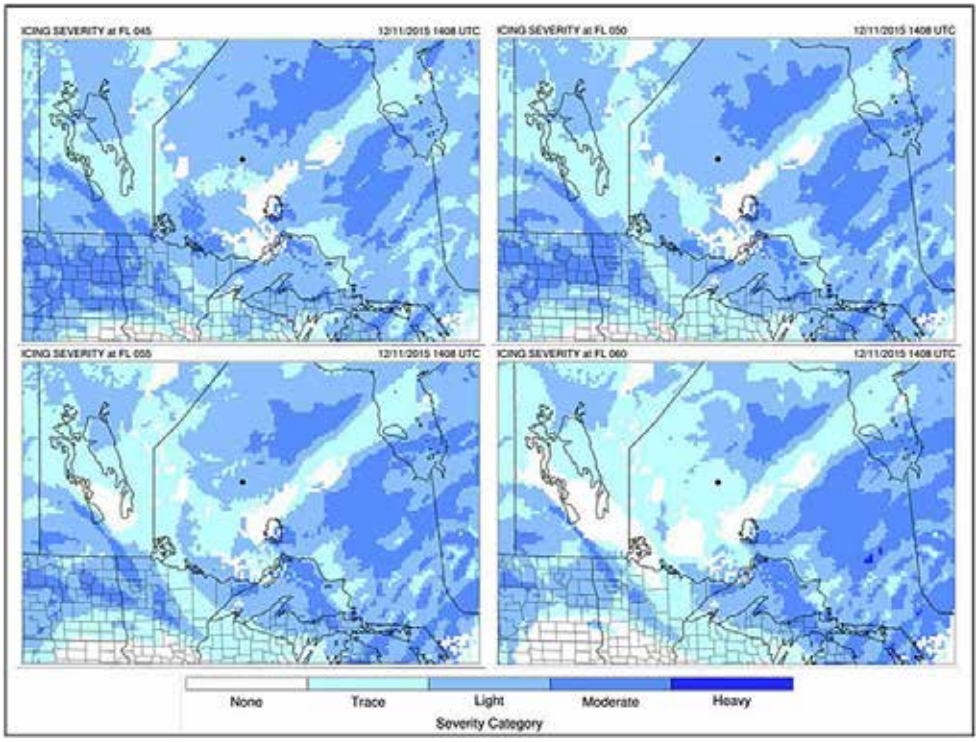
Remarque : Les points noirs représentent CYPL.



Source : National Center for Atmospheric Research des États-Unis.

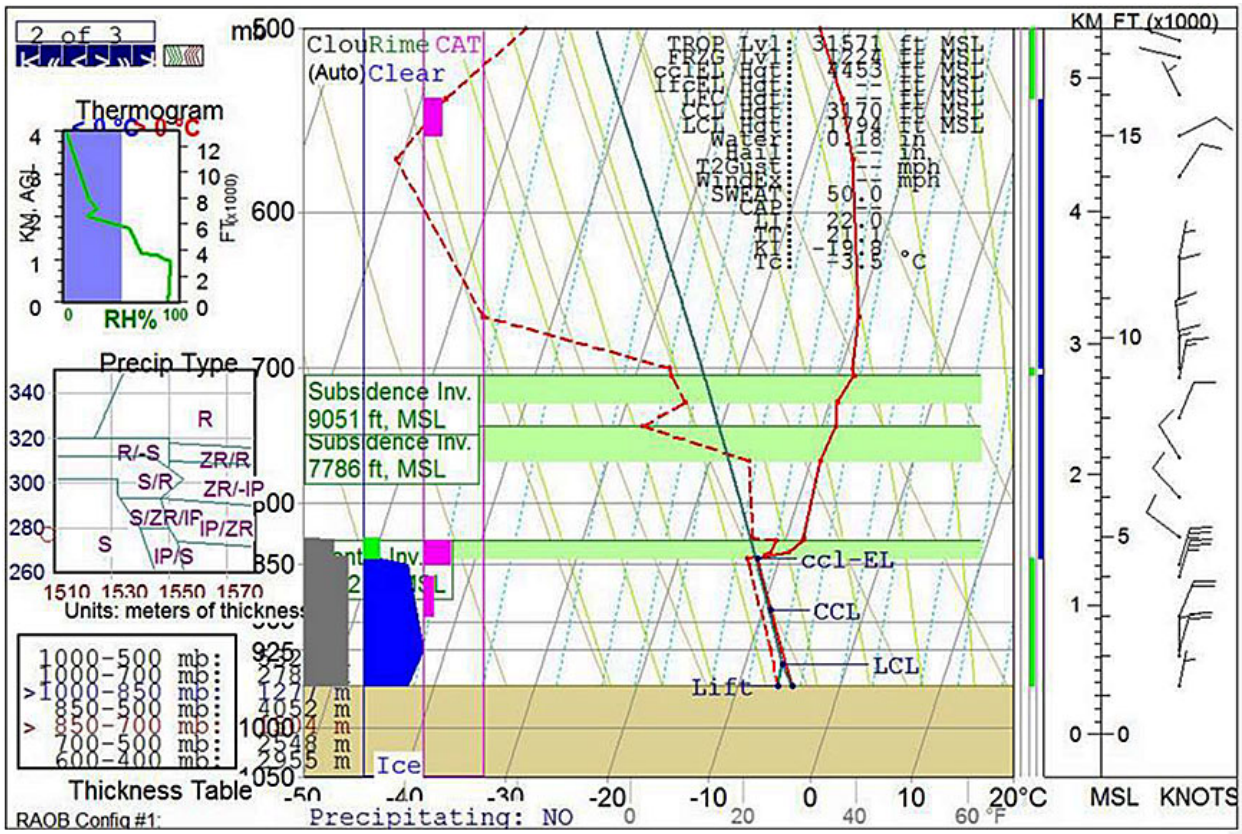


Source : National Center forAtmospheric Research des États-Unis.



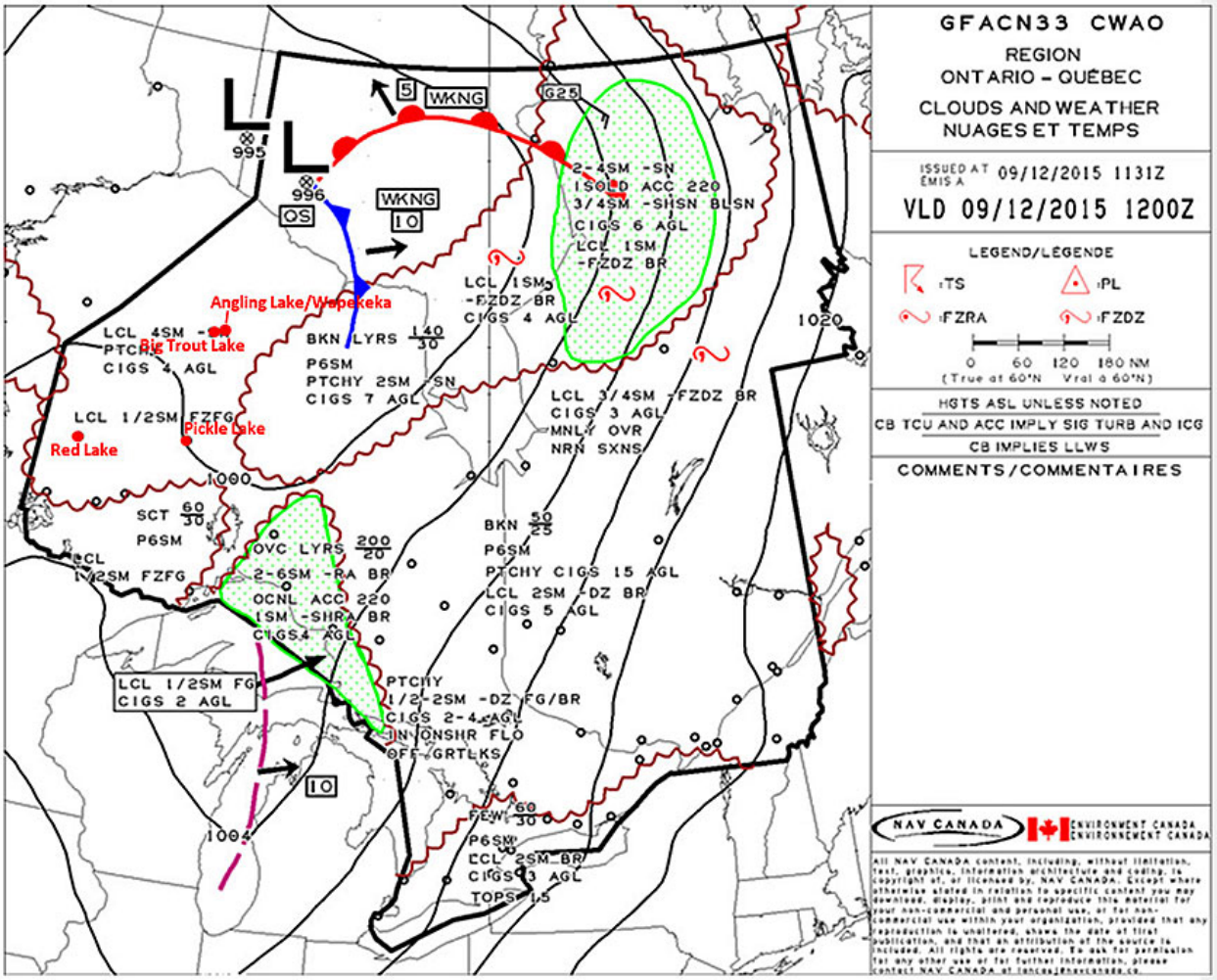
Source : National Center forAtmospheric Research des États-Unis.

Annexe E – Radiosondage à l'aéroport de Pickle Lake (CYPL) : 11 décembre 2015 à 7 h (12 h TUC)

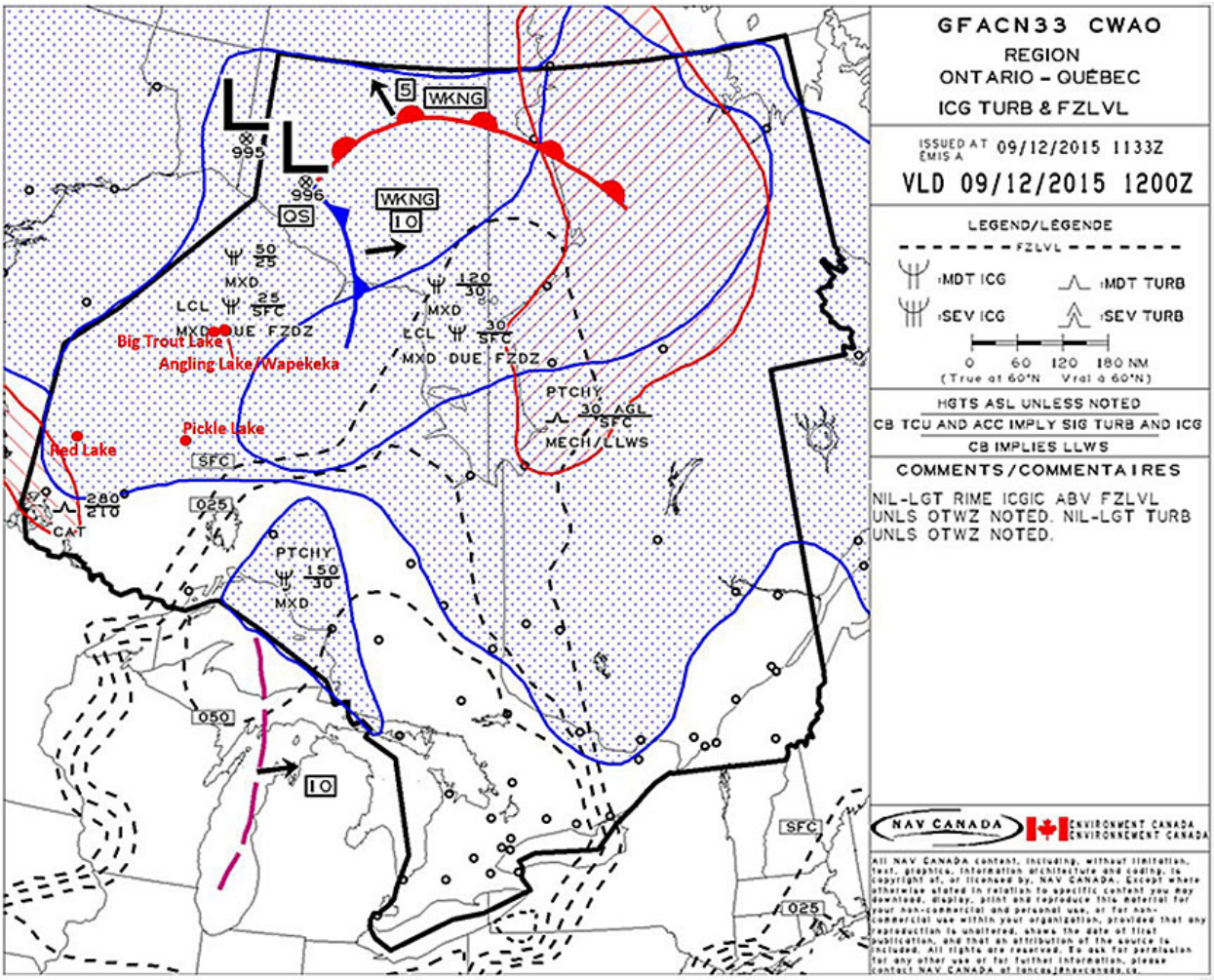


Source : National Transportation Safety Board des États-Unis.

Annexe F – Prévision de zone graphique CN33 valide à 7 h HNE (12 h TUC) le 9 décembre 2015

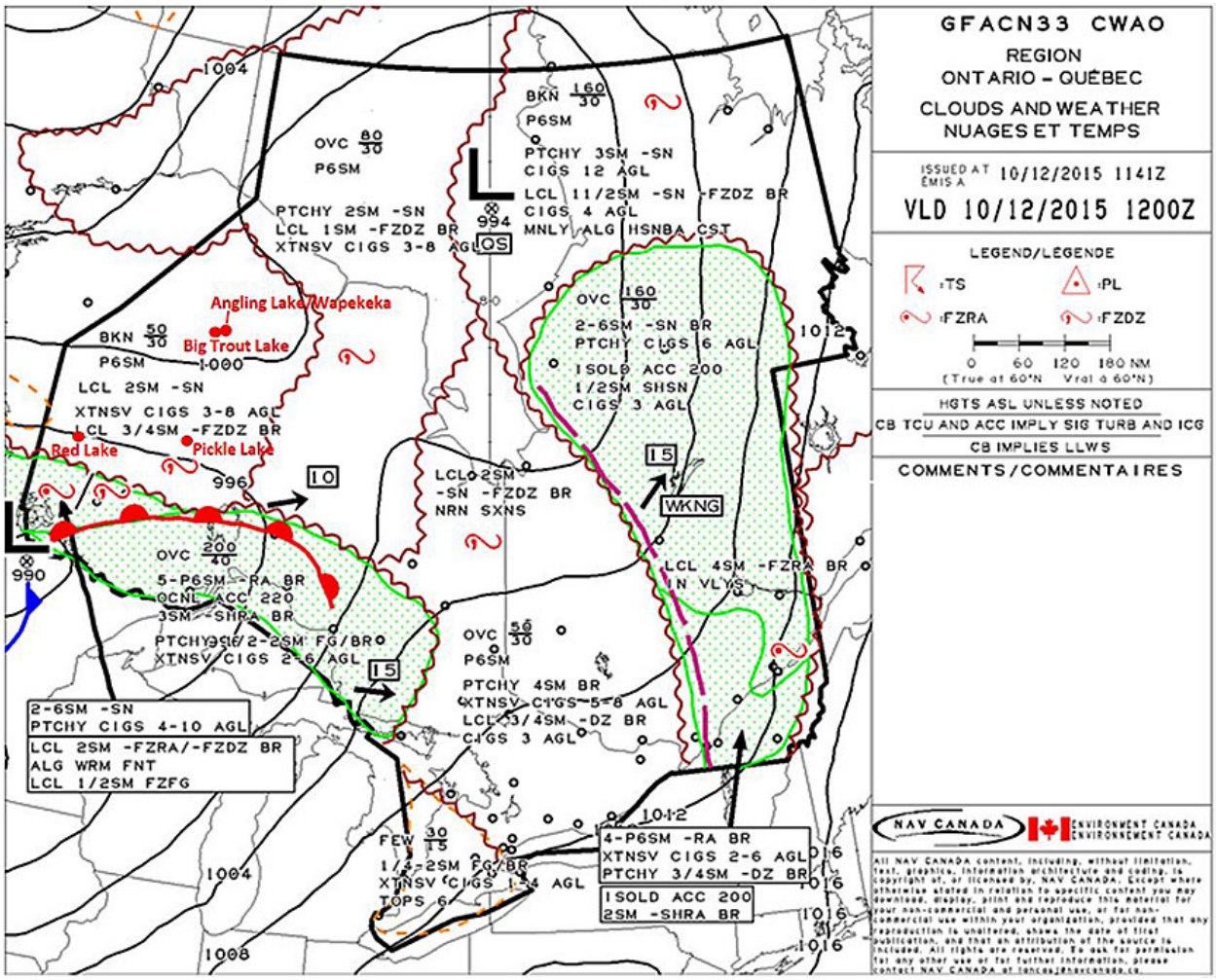


Source : NAV CANADA et Environnement Canada.

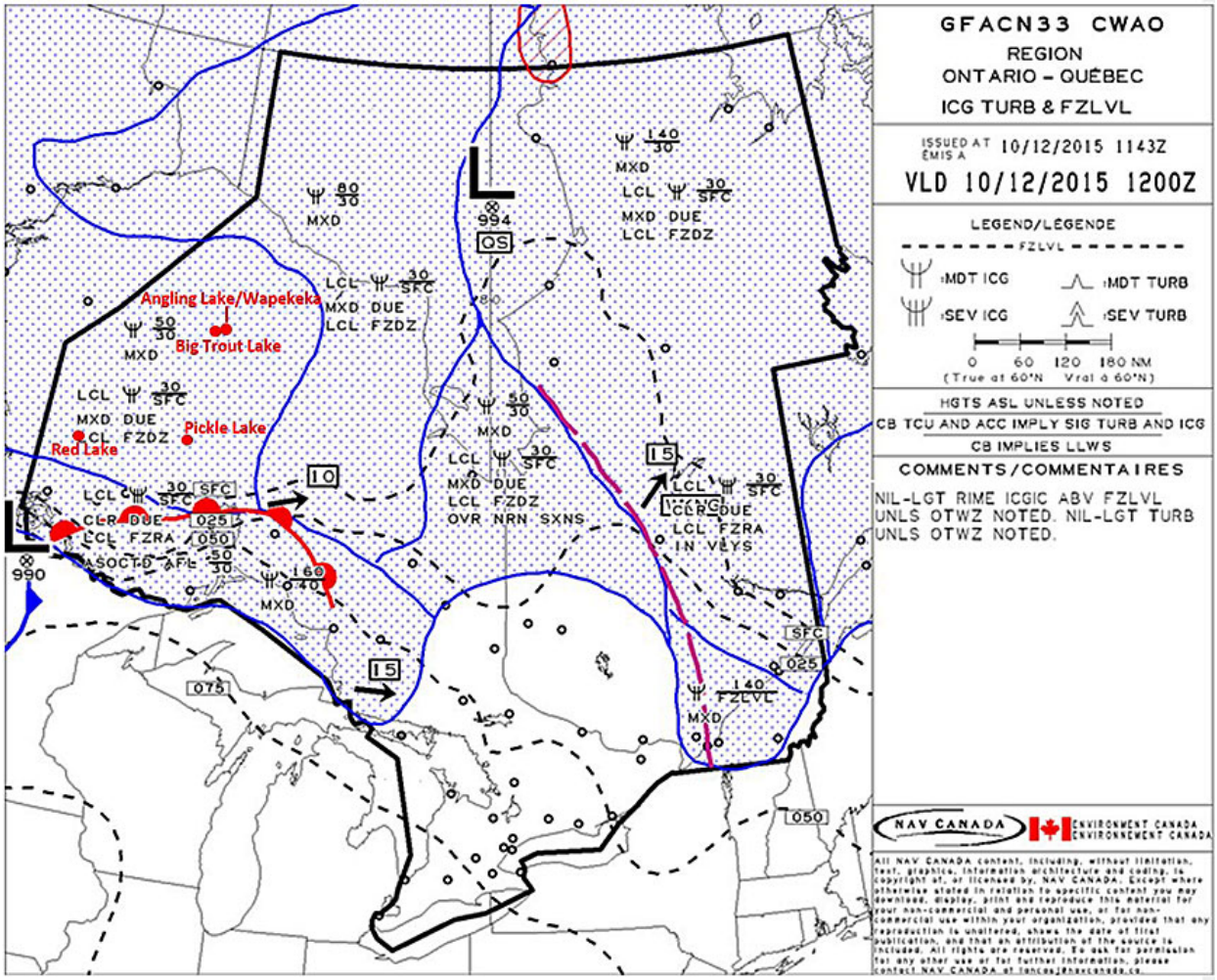


Source : NAV CANADA et Environnement Canada.

Annexe G – Prévision de zone graphique CN33 valide à 7 h HNE (12 h TUC) le 10 décembre 2015

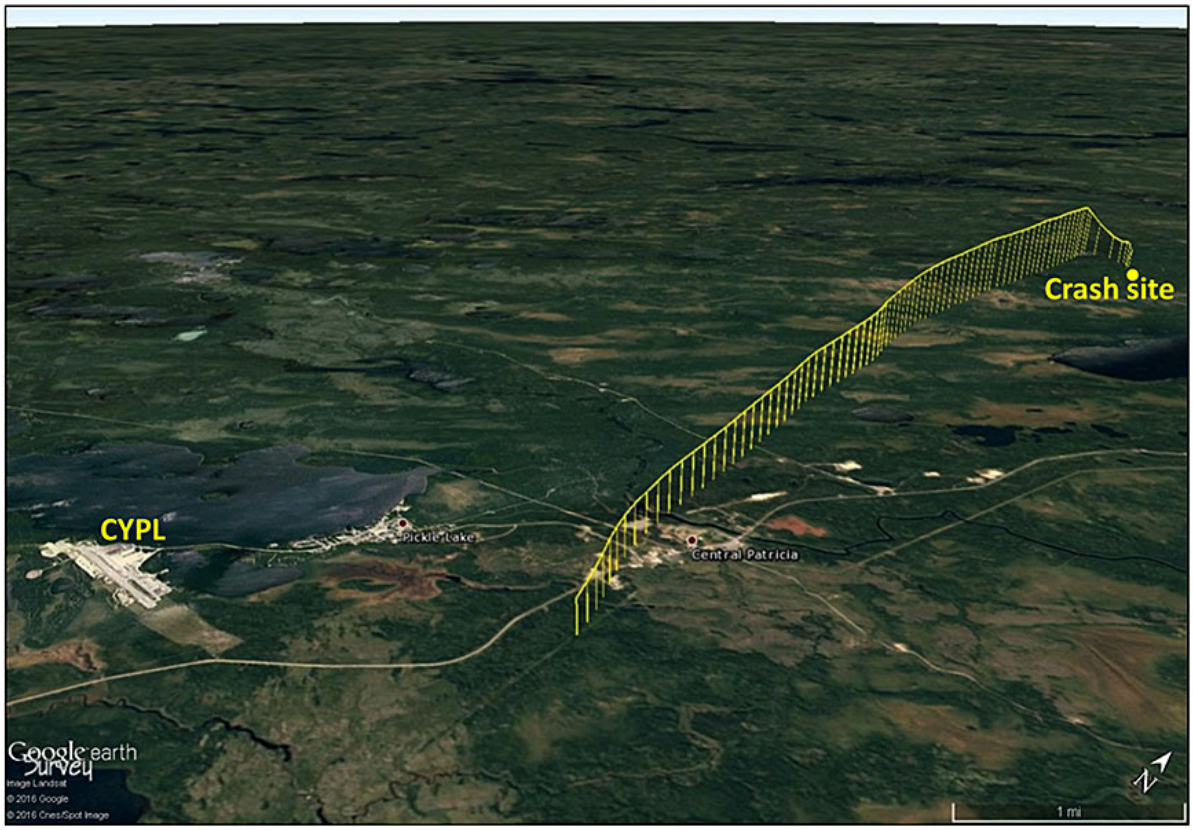


Source : NAV CANADA et Environnement Canada.



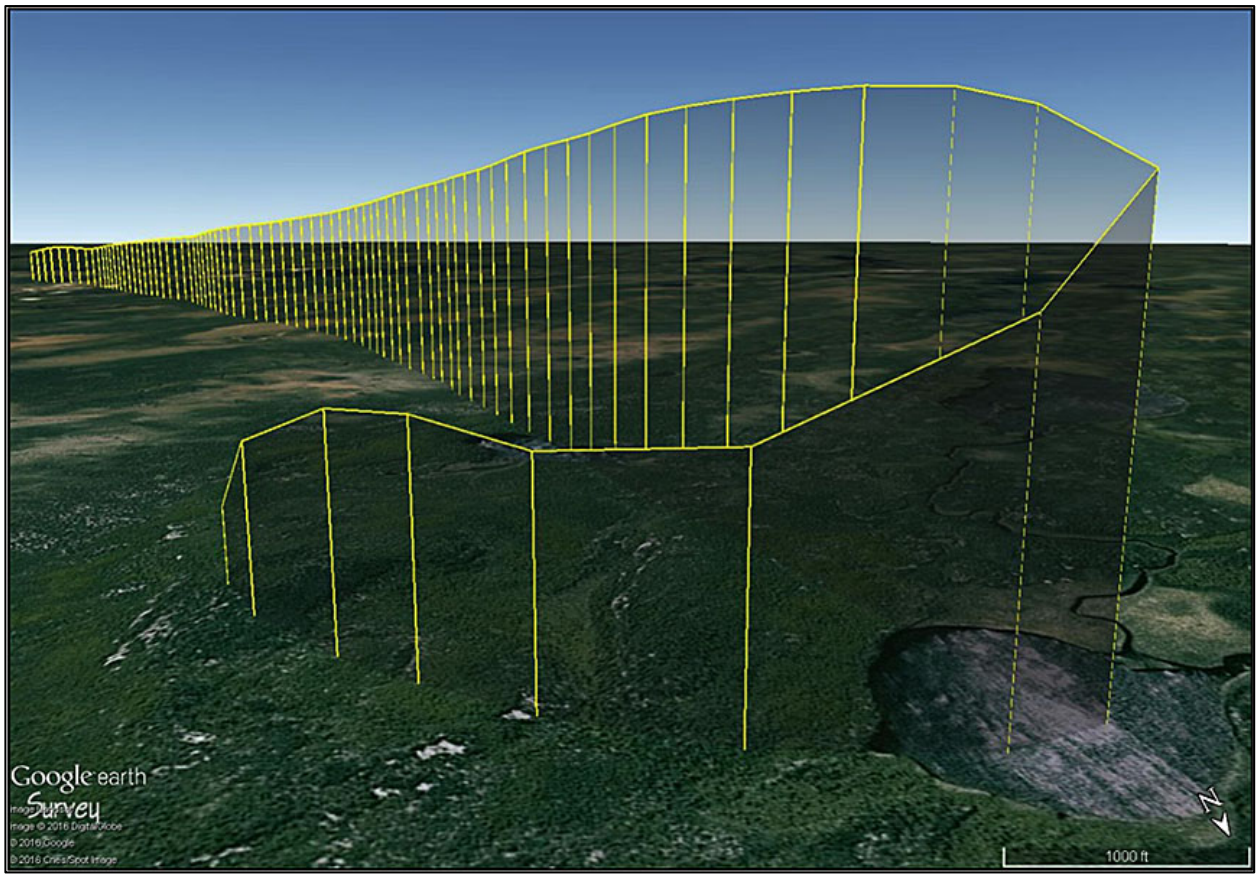
Source : NAV CANADA et Environnement Canada.

Annexe H – Trajectoire de vol enregistrée du vol WSG127



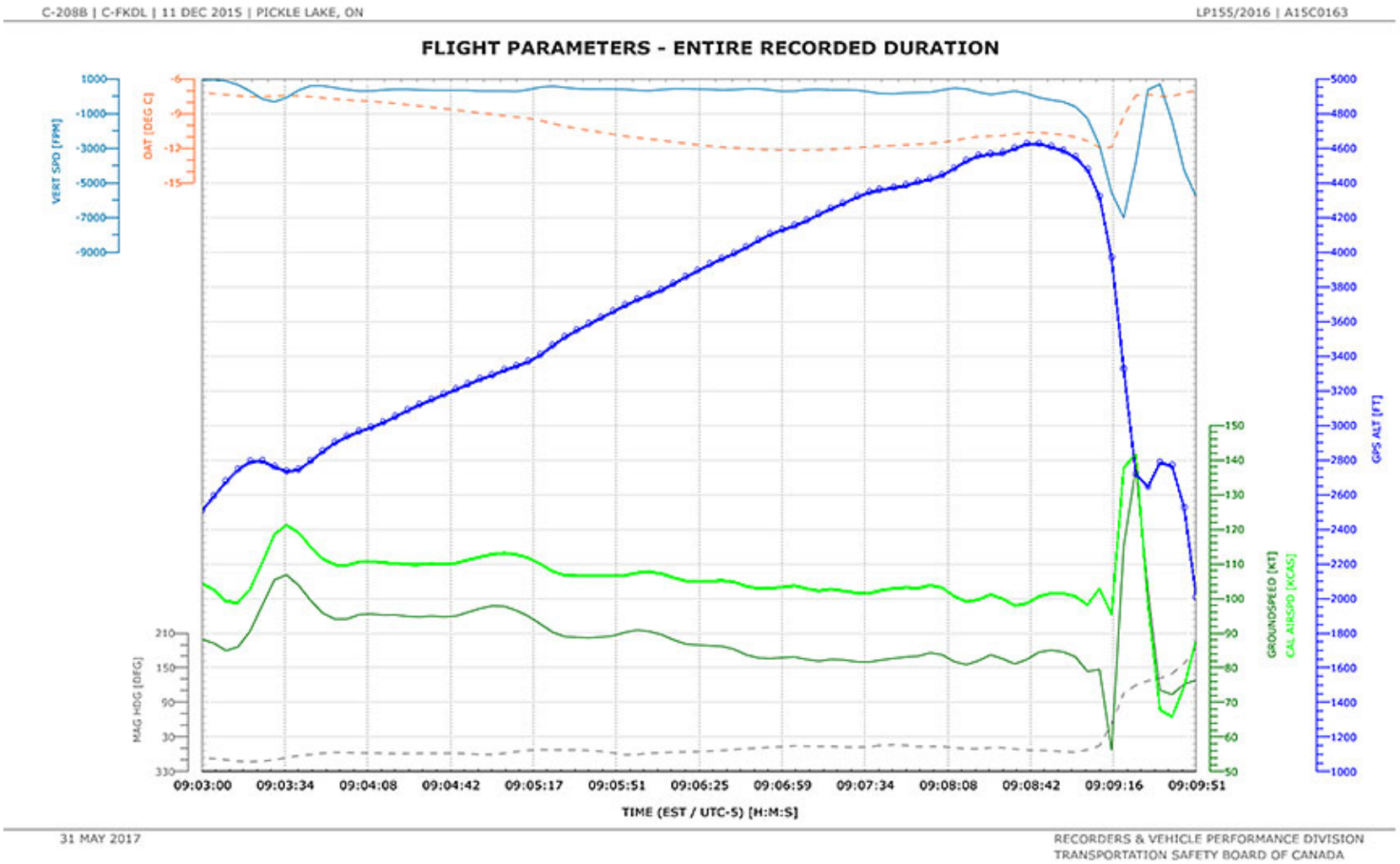
Source : Google Earth, avec annotations du BST, provenant des données du système de suivi des vols par satellite ISAT-100.

Annexe I – Fin de la trajectoire de vol enregistrée du vol WSG127

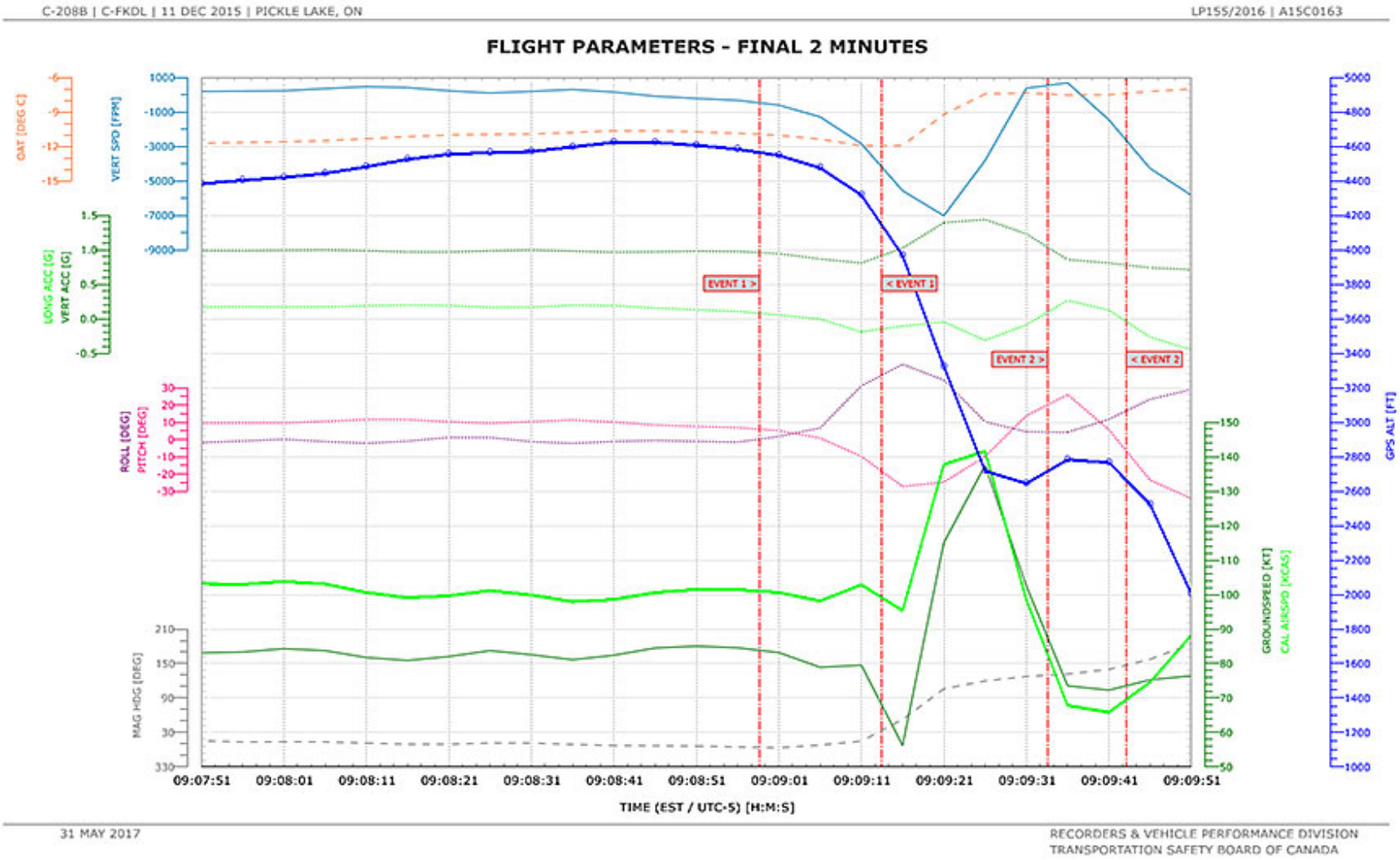


Source : Google Earth, avec annotations du BST, provenant des données du système de suivi des vols par satellite ISAT-100.

Annexe J – Paramètres de vol du vol WSG127 : durée entière de l'enregistrement

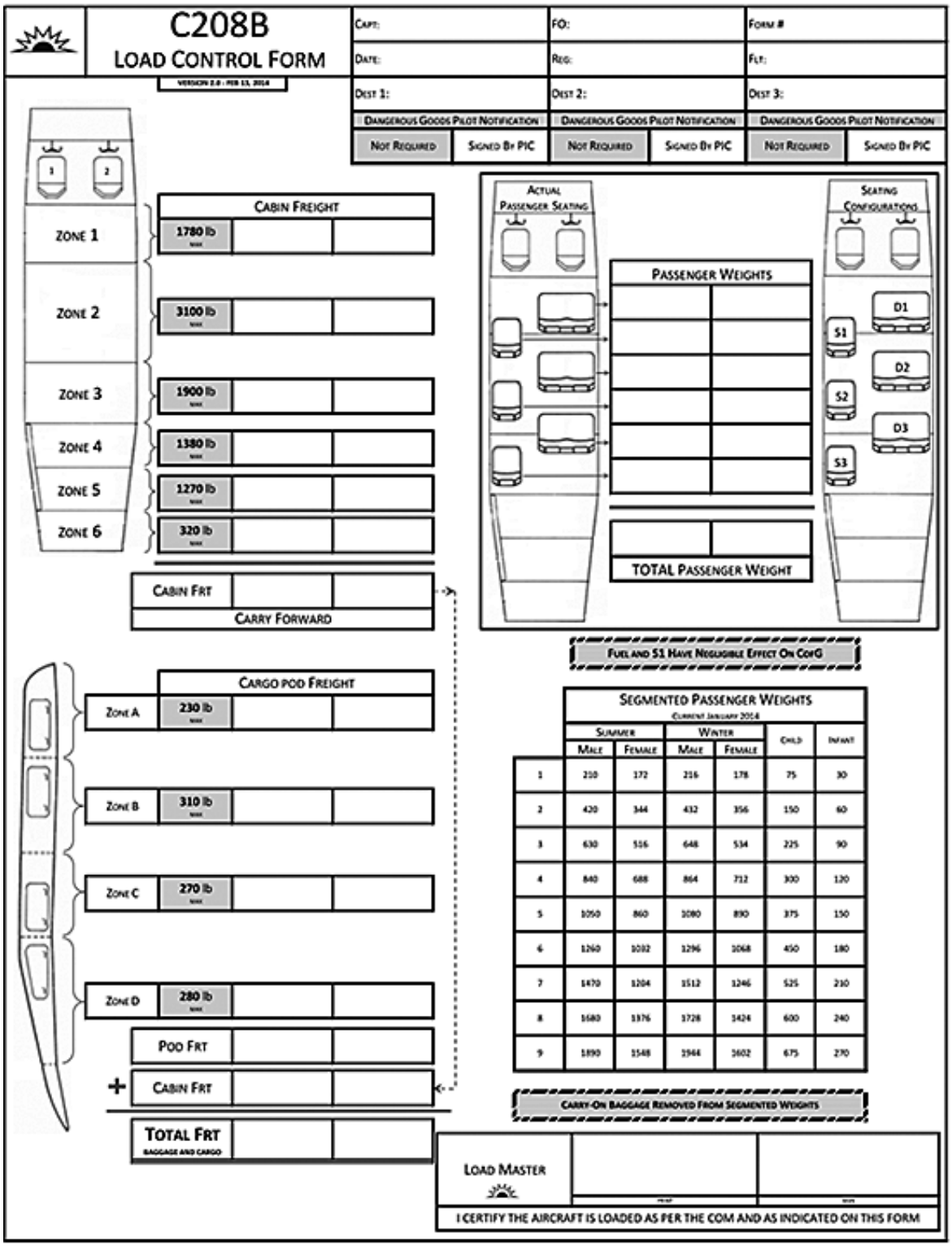


Annexe K– Paramètres de vol du vol WSG127 : 2 dernières minutes



.

Annexe L – Formulaire de répartition du chargement des Cessna 208B de Wasaya



Remarque : Ce formulaire et celui figurant à l'annexe M (formulaire de masse et centrage) étaient tous deux appelés « load control form » (formulaire de contrôle du chargement).
Source : Wasaya Airways Limited Partnership

Annexe M – Formulaire de masse et centrage des Cessna 208B de Wasaya

WASAYA AIRWAYS LP

CESSNA C-208B CARAVAN LOAD CONTROL

			DATE		A/C TYPE		A/C REG.		CREW			
FROM / TO												
BASIC WT												
PERSONS ON BOARD WT.												
BAGGAGE & CARGO WT. (A)												
FUEL TANK EQUIP WT (B)												
WT. OFF SEATS (C)												
SURVIVAL EQUIPMENT (D)												
TOTAL OF A, B, C, D												
FUEL @ TAKE OFF WT.												
GROSS RAMP WT.												
GROSS TAKE OFF WT.												
FUEL BURN - OFF WT.												
LANDING WT.												
THE AIRCRAFT CARGO AND WEIGHT HAVE BEEN CHECKED AND ARE WITHIN LIMITS												

LOAD CONTROL INSTRUCTIONS (C - 208B)

1. FUEL TANK EQUIPMENT	250 LBS
2 SEATS	25 LBS EACH
3. SURVIVAL EQUIPMENT	50 LBS
4. OIL INCLUDED IN BASIC WEIGHT	
5. TOTAL BAGGAGE & CARGO WEIGHT MUST INCLUDE A, B, C, & D PRIOR TO LOG BOOK ENTRY	
6. PERSONS ONBOARD WIGHT INCLUDES CREW	
	C -208B
MAX. RAMP WEIGHT	9097 LBS
MAX. TAKEOFF WEIGHT	9062 LBS
MAX. LANDING WEIGHT	9000 LBS

AVERAGE PASSENGER WEIGHTS

SUMMER (MAR 15 - DEC 14)		WINTER (DEC 15 - MAR 14)
200 lbs	MALES (12 yrs & Up)	206 lbs
165 lbs	FEMALES (12 yrs & Up)	171 lbs
75 lbs	CHILDREN (2 yrs & Up)	75 lbs
30 lbs	** INFANTS** (0 less than 2 yrs)	30 lbs

* A group of large males, such as a football team, are to be accounted for separately at not less than 215 lbs. each.*

**** Add in where infants exceed 10% of adults****

NOTE: Where no carry - on baggage is permitted or involved, the weights for males & females may be reduces by 13 lbs.

Effective Date: April 16. 2009

Remarque : Ce formulaire et celui figurant à l'annexe L (formulaire de répartition du chargement) étaient tous deux appelés « load control form » (formulaire de contrôle du chargement).
Source : Wasaya Airways Limited Partnership

Annexe N – Exemple d'outil d'aide à la décision d'évaluation des risques prévol pour exploitants aériens commerciaux (assujettis à la sous-partie 703 du Règlement de l'aviation canadien*)*

Exemplar Air Taxi Risk Assessment Tool ***(0 = Low Risk 5 = High Risk)***

Captain		First Officer		Date	

Departure		Destination		Risk Value	Flight Value

	Pilot Qualifications and Experience		
1	Captain with less than 100 hours on type	4	
2	First Officer with less than 100 hours on type	4	
3	Single Pilot Flight	5	
4	Captain with less than 25 hours in last 90 days	3	
5	First Officer with less than 25 hours in last 90 days	3	
6	Duty day greater than 12 hours without rest period	4	
7	Flight time greater than 8 hours in the duty day	3	
8	Crew prone rest 8/9/10 hours prior to the duty day	5/4/3	
		Total Factor Score - Section 1	

	Operating Environment		
9	Best Approach is non precision and at night or weather below VFR	3	
10	Best approach is a circling approach and at night or weather below VFR	4	
11	No published approach and at night or weather below VFR	4	
12	Mountainous airport requiring specific arrival/departure procedure and wx below MSA	5	
13	Control Tower not available - Mandatory Frequency / Uncontrolled Airport	2/3	
14	Elevation of airport greater than 5000' MSL	3	
15	Wet runway/ Contaminated runway	2/3	
16	Winter operation	3	
17	Twilight operation	2	
18	Night operation	3	
19	Stopping distance greater than 80% of available runway	5	
20	Flight with less than 3 hours notice	3	
21	International operation	2	
22	No weather reporting at destination	5	
23	Thunderstorms at departure or destination	4	
24	Severe turbulence forecast or reported along route of flight	5	
25	Ceiling and visibility at destination less than 500' and 1SM	3	
26	Heavy rain at departure or destination	5	
27	Frozen precipitation at departure or destination	3	
28	Icing forecast or reported (moderate - severe)	5	
29	Surface winds greater than 30 knots	4	
30	Crosswind greater than 20 knots	4	
31	Runway breaking action less than good	5	
		Total Factor Score - Section 2	

	Equipment		
32	Special flight permit operation	3	
33	Differed (Items related to safety of flight)	2	
34	Special flight limitations based on AFM equipment limitations	2	
		Total Factor Score - Section 3	

Total	

Flight risk assessment of 25 or greater requires Management approval

Signature Pilot in Command _____ Signature First Officer _____

Source : Un exploitant de taxi aérien canadien.

Annexe O – Liste de vérification pour l'exposé à l'équipage de Wasaya

CREW BRIEFING CHECKLIST

FLIGHT NUMBER:		DATE:	
CREW:		FLIGHT DISPATCHER:	

BRIEFING ITEM	COMPLETE		NOTES
	YES	NO	
WEATHER:			
* METAR/TAF			
* SIGMET/AIRMET			
* FD'S			
* GFA CLOUDS/WEATHER			
* GFA ICING/TURBULENCE			
NOTAM:			
* DEPARTURE			
* DESTINATION(S)			
* ALTERNATE(S)			
* RUNWAY CONDITIONS			
MEL STATUS:			
* MEL NUMBER			
* AFM SUPPLEMENT			
OFP:			
* PLANNED FUEL			
* ALTERNATE(S)			
* ALTITUDE			
* FLIGHT TIME			
* FILED?			
CREW REQUESTS:			

Source : Wasaya Airways Limited Partnership

Annexe P – Glossaire

AGL	au-dessus du niveau du sol
AIRMET	renseignements météorologiques à court terme destinés principalement à avertir les pilotes en vol de conditions météorologiques potentiellement dangereuses qui ne sont pas décrites dans les prévisions de zone en vigueur, et qui ne nécessitent pas l'émission de SIGMET
APE	système d'augmentation de charge utile
ASL	au-dessus du niveau de la mer
CdB	commandant de bord
CIP	indicateur des conditions de givrage Current Icing Product
CKB6	aéroport d'Angling Lake / Wapekeka
CYPL	aéroport de Pickle Lake
CYQT	aéroport de Thunder Bay
CYRL	aéroport de Red Lake
CYTL	aéroport de Big Trout Lake
CYXL	aéroport de Sioux Lookout
ELT	radiobalise de repérage d'urgence
FAA	Federal Aviation Administration
FDC	autorisation de la régulation des vols
GFA	prévision de zone graphique
GPS	système mondial de positionnement

IFR	règles de vol aux instruments
IVP	inspection de validation de programme
KCAS	vitesse corrigée, en nœuds
KIAS	vitesse indiquée, en nœuds
M	magnétique
MEC	manuel d'exploitation de la compagnie
METAR	message d'observation météorologique régulière pour l'aviation
MF	fréquence obligatoire
MHz	mégahertz
nm	mille marin
PESA	Prédictions météorologiques En route Supplémentaires Automatisées
pi/min	pieds par minute
PMC	plan de mesures correctives
po Hg	pouces de mercure
POH	manuel d'utilisation de l'avion de l'aéronef
RAC	*Règlement de l'aviation canadien*
SA	surveillance accrue
SAR	recherche et sauvetage
SDV	suivi des données de vol

SGS	système de gestion de la sécurité
SIGMET	renseignements météorologiques significatifs
sm	mille terrestre
SOCC	centre de contrôle des opérations du système
SOP	procédures d'utilisation normalisées
CTS	certificat de type supplémentaire
TAF	prévision d'aérodrome
TC	Transports Canada
TCAC	Transports Canada, Aviation civile
V	vrai
VFR	règles de vol à vue