

Bureau de la sécurité des transports  
du Canada



Transportation Safety Board  
of Canada

**RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE**  
**A14W0181**



**ENTRÉE DANS DES CONDITIONS DE GIVRAGE FORT ET**  
**ATTERRISSAGE FORCÉ**

**AIR TINDI LTD.**  
**CESSNA 208B, C-FKAY**  
**YELLOWKNIFE (TERRITOIRES DU NORD-OUEST),**  
**18 NM OUEST**  
**20 NOVEMBRE 2014**

**Canada**

Bureau de la sécurité des transports du Canada  
Place du Centre  
200, promenade du Portage, 4<sup>e</sup> étage  
Gatineau QC K1A 1K8  
819-994-3741  
1-800-387-3557  
[www.bst.gc.ca](http://www.bst.gc.ca)  
[communications@bst-tsb.gc.ca](mailto:communications@bst-tsb.gc.ca)

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par  
le Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2016

Rapport d'enquête aéronautique A14W0181

No de cat. TU3-5/14-0181F-PDF  
ISBN 978-0-660-04784-3

Le présent document se trouve sur le site Web du  
Bureau de la sécurité des transports du Canada à l'adresse  
[www.bst.gc.ca](http://www.bst.gc.ca)

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

## Rapport d'enquête aéronautique A14W0181

### **Entrée dans des conditions de givrage fort et atterrissage forcé**

Air Tindi Ltd.

Cessna 208B, C-FKAY

Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest),

18 nm ouest

20 novembre 2014

### *Résumé*

Le Cessna 208B Caravan (immatriculé C-FKAY, numéro de série 208B0470) exploité par Air Tindi Ltd. effectuant le vol Discovery Air DA223 à destination de Fort Simpson (Territoires du Nord-Ouest), a décollé de l'aéroport de Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest) le 20 novembre 2014 à 6 h 42, heure normale des Rocheuses, selon les règles de vol aux instruments. Le vol devait avoir lieu la soirée précédente, mais avait été reporté à cause de la bruine verglaçante à Fort Simpson. Durant la montée à 8000 pieds au-dessus du niveau de la mer, le vol DA223 est entré dans des conditions givrantes et a dû faire demi-tour pour retourner à Yellowknife. Durant le vol de retour vers Yellowknife, le vol DA223 n'a pu maintenir son altitude. À 7 h 21, alors qu'il volait dans la noirceur à environ 18 milles marins à l'ouest de Yellowknife, l'aéronef a heurté la surface glacée du bras nord du Grand lac des Esclaves. L'aéronef a été lourdement endommagé lorsqu'il a percuté un affleurement rocheux, mais aucun des occupants, 1 pilote et 5 passagers, n'a été blessé. Le pilote a établi la communication avec Air Tindi par téléphone satellite, et les passagers et lui ont été rescapés environ 4 heures après l'atterrissage. La radiobalise de repérage d'urgence ne s'est pas déclenchée durant l'atterrissage, mais le pilote l'a activée manuellement.

*This report is also available in English.*



## Table des matières

1.0	Renseignements de base .....	1
1.1	Déroulement du vol .....	1
1.2	Victimes .....	3
1.3	Dommmages à l'aéronef .....	3
1.4	Autres dommages .....	3
1.5	Renseignements sur le personnel.....	4
1.5.1	Généralités.....	4
1.5.2	Formation relative à l'exploitation du Cessna 208B dans des conditions givrantes	4
1.6	Renseignements sur l'aéronef.....	6
1.6.1	Généralités.....	6
1.6.2	Système de suivi des vols par satellite SKYTRAC.....	7
1.6.3	Certification en conditions givrantes.....	7
1.6.4	Masse et centrage .....	9
1.6.5	Effets du givrage et de la masse et du centrage sur la vitesse de décrochage .....	10
1.7	Renseignements météorologiques .....	11
1.7.1	Généralités.....	11
1.7.2	Analyse de surface .....	11
1.7.3	Analyse en altitude .....	11
1.7.4	Effets des eaux libres du Grand lac des Esclaves.....	12
1.7.5	Prévision de zone graphique .....	12
1.7.6	Messages d'observation météorologique régulière pour l'aviation et prévisions d'aérodrome pour Yellowknife .....	13
1.7.7	Messages d'observation météorologique régulière pour l'aviation et prévisions d'aérodrome pour Fort Simpson.....	14
1.7.8	Exposé météorologique prévol au pilote .....	14
1.7.9	Grosses gouttes d'eau surfondues .....	14
1.7.10	Effets du givrage et des grosses gouttes d'eau surfondues sur la performance d'un aéronef .....	15
1.8	Aides à la navigation .....	15
1.9	Communications .....	16
1.10	Renseignements sur l'aérodrome.....	16
1.11	Enregistreurs de bord .....	16
1.12	Renseignements sur l'épave et sur l'impact .....	16
1.13	Renseignements médicaux et pathologiques .....	19
1.14	Incendie .....	19
1.15	Questions relatives à la survie des occupants.....	19
1.16	Essais et recherches .....	21
1.16.1	Rapports du laboratoire du BST.....	21

1.17 Renseignements sur les organismes et sur la gestion .....	21
1.17.1 Air Tindi .....	21
1.18 Renseignements supplémentaires .....	22
1.18.1 Prise de décisions du pilote .....	22
1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces .....	24
<b>2.0 Analyse .....</b>	<b>25</b>
2.1 Généralités.....	25
2.2 Interprétation des conditions météorologiques .....	25
2.3 Masse et centrage .....	26
2.4 Prise de décisions du pilote .....	27
2.5 Contrôle d'exploitation.....	28
2.6 Sécurité des passagers .....	29
2.7 Possibilités de survie.....	29
<b>3.0 Faits établis.....</b>	<b>31</b>
3.1 Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs.....	31
3.2 Faits établis quant aux risques.....	31
3.3 Autres faits établis.....	31
<b>4.0 Mesures de sécurité .....</b>	<b>33</b>
4.1 Mesures de sécurité prises .....	33
4.1.1 Air Tindi Ltd. ....	33
<b>Annexes .....</b>	<b>35</b>
Annexe A - Données SKYTRAC : trajectoire du vol DA223 .....	35
Annexe B - Devis de masse et centrage de C-FKAY .....	36
Annexe C - Prévisions de zone graphique : nuages et conditions météorologiques.....	38
Annexe D - Prévisions de zone graphique : givrage et turbulence.....	39
Annexe E - Messages d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) et prévisions d'aérodrome (TAF) pour Yellowknife (CYZF) .....	40
Annexe F - Données SKYTRAC : moment de la décision (vitesse ascensionnelle comparativement à la trajectoire) .....	41
Annexe H - Lieu de l'événement.....	43

## 1.0 Renseignements de base

### 1.1 Déroutement du vol

Le Cessna 208B (immatriculé C-FKAY, numéro de série 208B0470) exploité par Air Tindi Ltd. effectuait le vol Discovery Air DA223 depuis l'aéroport de Yellowknife (CYZF) (Territoires du Nord-Ouest) à destination de l'aéroport de Fort Simpson (CYFS) (Territoires du Nord-Ouest). Ce vol devait avoir lieu le 19 novembre 2014 à 18 h<sup>1</sup>, mais avait été annulé à cause de conditions de bruine verglaçante à Fort Simpson. Le vol a été reporté au 20 novembre 2014 à 6 h. Ce départ tôt en matinée devait permettre au vol de retour régulier (DA222, de CYFS à CYZF) de décoller de CYFS à 8 h avec un minimum de retard. On a avitaillé l'aéronef avec 2200 livres de carburant, car il était courant de transporter du carburant supplémentaire en prévision du vol de retour.

Le pilote s'est présenté au travail à 5 h pour préparer le vol. Une inspection prévol a été faite, on a retiré les couvertures des ailes, et on n'a constaté aucune contamination sur les ailes. Le pilote a obtenu les renseignements météorologiques par Internet et a communiqué avec le centre d'information de vol de North Bay (Ontario) pour déposer un plan de vol selon les règles de vol aux instruments (IFR). Il a également demandé des rapports sur les conditions givrantes en route; aucun avis météorologiques aux aviateurs (AIRMET) ni<sup>2</sup> compte rendu météorologique de pilote (PIREP) n'avait été publié pour la route prévue au plan de vol. Aucun autre renseignement météorologique n'a été demandé ou offert.

Les passagers se sont présentés à l'aérogare d'Air Tindi à 6 h, et l'embarquement a eu lieu à 6 h 30. Le pilote a fait un exposé sur les mesures de sécurité à l'intention des passagers, qui comprenait de l'information sur l'équipement de sécurité et l'emplacement des sorties. Le pilote a expliqué verbalement le fonctionnement des portes et a invité les passagers à consulter les cartes des mesures de sécurité. Les bagages des passagers ainsi que leurs vêtements d'hiver encombrants ont été rangés dans le conteneur de fret ventral.

Le vol DA223 a décollé de CYZF vers 6 h 42 avec une autorisation IFR pour monter à 8000 pieds au-dessus du niveau de la mer (asl) et à faire route directement vers CYFS. Durant la montée, l'aéronef est entré dans une couche de nuages et, en franchissant les 6000 pieds asl vers 6 h 51, il s'est retrouvé dans des conditions givrantes. L'aéronef a poursuivi sa montée jusqu'à 8000 pieds asl, où le pilote a amorcé le vol en palier et a réglé le régime de croisière. La vitesse anémométrique n'a pas excédé les 120 nœuds de vitesse indiquée (KIAS), et le vol DA223 a

---

<sup>1</sup> Les heures sont exprimées en heure normale des Rocheuses (temps universel coordonné moins 7 heures).

<sup>2</sup> Un AIRMET est un avis météorologique à court terme destiné principalement à avertir les pilotes en vol de conditions météorologiques potentiellement dangereuses qui ne sont pas décrites dans les prévisions de zone graphique (GFA). Un PIREP est un compte rendu par un pilote des conditions météorologiques rencontrées par l'aéronef en vol.

commencé à perdre de l'altitude avec le régime de croisière réglé<sup>3</sup>. À 6 h 59, le pilote a communiqué avec le centre de contrôle régional (CCR) d'Edmonton (Alberta) pour demander une altitude inférieure, étant donné qu'il ne pouvait maintenir les 120 KIAS. Le CCR d'Edmonton a autorisé le vol DA223 à descendre à 6000 pieds asl et à continuer directement vers CYFS. Durant la descente maîtrisée, la vitesse anémométrique a continué de diminuer sous les 120 KIAS, malgré l'application de la puissance maximale continue. À 7 h 6, étant donné un givrage fort, le pilote a demandé au CCR d'Edmonton l'autorisation de retourner à CYZF. Le vol DA223 a ensuite reçu l'autorisation de retourner à CYZF à 3000 pieds asl via le point de cheminement ADRIS<sup>4</sup>. Vers 7 h 10, le pilote a utilisé une fréquence de la compagnie pour informer le centre de contrôle des opérations du système d'Air Tindi que le vol DA223 rentrait à CYZF avec une arrivée prévue dans 30 minutes.

Durant le virage, le pilote a senti par moments un tremblement de la gouverne de profondeur et des mouvements de tangage intempestifs vers l'avant. Il a poursuivi la descente pour maintenir une vitesse de 110 KIAS. Les volets sont demeurés complètement rentrés, car le pilote craignait que tout mouvement réduise davantage l'efficacité de l'empennage horizontal.

À 7 h 16, le CCR d'Edmonton a confié le contrôle du vol DA223 à la tour de contrôle de la circulation aérienne (ATC) de Yellowknife. À 7 h 17, le pilote a informé la tour de Yellowknife que l'aéronef se trouvait dans des conditions de givrage fort et qu'il était incapable de maintenir son altitude. Le vol DA223 a reçu l'autorisation de descendre à 2100 pieds asl (altitude minimale de guidage). À 7 h 19, le pilote a ressenti un fort mouvement de tangage intempestif vers l'avant et a informé l'ATC que le vol DA223 ne pouvait pas maintenir l'altitude de 2100 pieds asl; il a lancé un appel Mayday.

À 7 h 20, alors que l'aéronef se trouvait à 300 pieds au-dessus du niveau du sol (agl), le pilote a constaté des abattées répétées de l'aile et un taux de descente connexe de 1200 pieds par minute à une vitesse de 100 à 110 KIAS. Le pilote a réagi en poussant à fond la manette des gaz, dépassant ainsi les 1865 pieds-livres de couple associés à la puissance maximale continue. Aucun réglage des volets n'a été fait.

Toujours dans la noirceur, le vol DA223 a heurté la surface glacée du Grand lac des Esclaves à 7 h 21, et l'aéronef a poursuivi sa course sur 2300 pieds avant que le nez et le train principal gauche percutent un affleurement rocheux. L'aéronef s'est immobilisé à environ 600 pieds de l'affleurement rocheux et à environ 2900 pieds du point de posé initial (figure 1). Aucun des occupants n'a été blessé, mais l'aéronef a été lourdement endommagé. Aucun incendie ne s'est déclaré après l'impact.

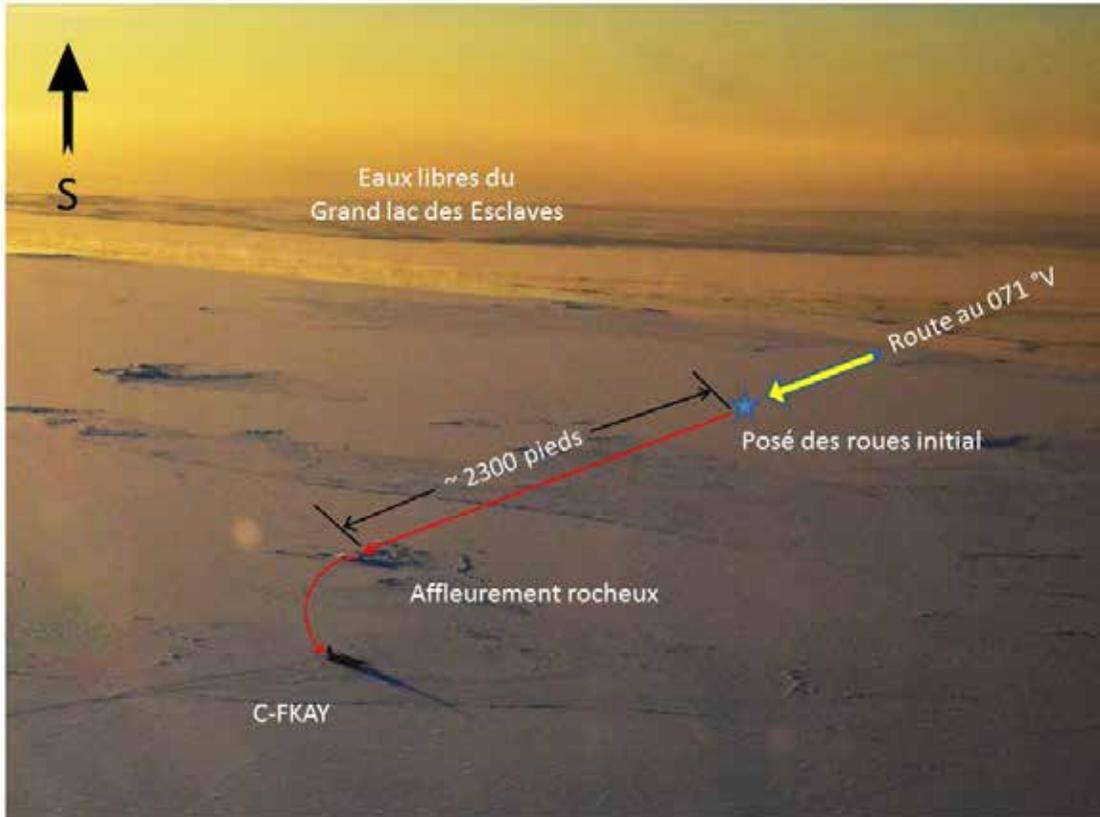
---

<sup>3</sup> La vitesse de croisière normale est de 156 KIAS (vitesse vraie en nœuds [KTAS] de 174) (Cessna Aircraft Company, D1329-23-13PH, révision 23, *Pilots Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual* [4 mai 2007], Tableau 5-17 : Cruise Performance).

<sup>4</sup> ADRIS est le point de cheminement d'approche finale du RNAV (GNSS) (navigation de surface [système mondial de navigation par satellite]) d'approche de la piste 10 à CYZF.

Le pilote a évalué la situation, puis a ordonné l'évacuation des passagers. Les passagers ont tenté d'ouvrir la porte principale de la cabine, mais en vain. Après plusieurs tentatives infructueuses d'évacuation, les passagers ont tiré parti de l'éclairage du poste de pilotage pour évacuer l'aéronef par la porte gauche du poste de pilotage. L'éclairage de la cabine n'avait pas été allumé.

Figure 1. Vue aérienne vers le sud des lieux de l'accident sur le bras nord du Grand lac des Esclaves



## 1.2 Victimes

Aucune blessure n'a été signalée, que ce soit au seul membre d'équipage ou aux 5 passagers. Tous ont été transportés à l'hôpital pour une évaluation médicale avant d'obtenir leur congé.

## 1.3 Dommages à l'aéronef

Les dommages à l'aéronef étaient tels qu'il n'était plus rentable de le réparer (se référer à la section 1.12, Renseignements sur l'épave et sur l'impact).

## 1.4 Autres dommages

Sans objet.

## 1.5 Renseignements sur le personnel

### 1.5.1 Généralités

Tableau 1. Renseignements sur le personnel

Type de licence de pilote	Licence de pilote professionnel – Aéronef
Date d'expiration du certificat médical	1 <sup>er</sup> août 2015
Nombre total d'heures de vol	3500
Heures de vol sur type	1800
Heures de vol : 7 derniers jours	12,0
Heures de vol : 30 derniers jours	52,1
Heures de vol : 90 derniers jours	156,6
Heures de service avant l'événement à l'étude	2,0
Heures de congé avant la période de travail	10,5

Le pilote était entré au service d'Air Tindi le 9 juillet 2012 et avait accumulé environ 3500 heures de vol aux commandes de divers types d'aéronefs, dont les Cessna 150, 172, 182 et 208B, les Piper PA-31 et PA-44, et le Beechcraft 99. Ces heures de vol comprenaient 1800 heures aux commandes du Cessna 208B. Du 23 au 27 juillet 2012, le pilote avait suivi et réussi le cours initial sur le Cessna 208B à Wichita (Kansas). Au mois d'août 2012, le pilote avait achevé toute la formation requise par la compagnie. Il avait réussi une vérification compétence pilote (PPC) le 1<sup>er</sup> septembre 2012, vérification qui portait notamment sur toutes les certifications relatives à l'utilisation du système mondial de positionnement (GPS) et aux vols IFR monopilote pour la compagnie. La plus récente vérification des compétences du pilote sur Cessna 208B avait eu lieu le 21 septembre 2014. Les dossiers indiquent que le pilote possédait les licences et les qualifications nécessaires pour effectuer le vol, conformément aux normes en vigueur.

Un examen de l'horaire de travail et de repos du pilote a permis d'écarter la fatigue comme facteur dans l'événement à l'étude.

### 1.5.2 Formation relative à l'exploitation du Cessna 208B dans des conditions givrantes

Transports Canada (TC) a approuvé le programme de formation d'Air Tindi le 1<sup>er</sup> janvier 2014. Le programme et le matériel de formation sur le givrage en vol sont conformes au paragraphe 723.98(28) des *Normes de service aérien commercial* (NSAC) et au document d'orientation des circulaires d'information de l'Aviation commerciale et d'affaires de TC<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Transports Canada, Circulaires d'information : document d'orientation N742.76(21), N743.98(268), N744.115(31) et N745.124(40) : Programme de formation au sol et en vol concernant le givrage en vol, disponible à l'adresse : [https://www.tc.gc.ca/fra/aviationcivile/normes/commerce-circulaires-ci0130r\\_att-1763.htm](https://www.tc.gc.ca/fra/aviationcivile/normes/commerce-circulaires-ci0130r_att-1763.htm) (dernière consultation le 26 février 2016).

Le pilote a achevé la formation sur le givrage requise pour 2014. Cette formation comprenait des volets sur la contamination des surfaces des aéronefs (21 août 2014), le givrage en vol (30 juillet 2014) et l'exigence annuelle, en vertu du supplément S1 du manuel de vol de l'aéronef (AFM), « équipement pour conditions givrantes connues<sup>6</sup> » pour réussir le cours « Cessna Caravan Cold Weather Operations » [Cessna Caravan – Exploitation par temps froid] (1<sup>er</sup> mars 2014). Ces volets ont été achevés dans le cadre d'un programme de formation assistée par ordinateur (FAO).

Le programme FAO sur le givrage en vol d'Air Tindi comprend des sections qui portent sur la certification, les effets aérodynamiques et la préparation du plan de vol en conditions givrantes. Ce cours, de nature générale, met toutefois en garde contre le givrage de l'empennage horizontal. Il stipule que l'utilisation des volets, qui peut soit réduire ou augmenter la déflexion de l'air sur l'empennage selon la configuration de celui-ci, peut aggraver ou déclencher un décrochage. Les pilotes doivent donc être très prudents lorsqu'ils abaissent les volets s'ils soupçonnent la présence de givre sur l'empennage horizontal. Le cours insiste tout particulièrement sur le décrochage de l'empennage horizontal. Il rappelle notamment aux pilotes que les procédures ne sont pas nécessairement appropriées à toutes les configurations de l'aéronef et qu'ils doivent consulter l'AFM pertinent. Le cours se termine avec le visionnement de la vidéo intitulée *Tailplane Icing* réalisée par le Glenn Research Center de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) des États-Unis. Cette vidéo n'aborde aucune procédure particulière liée à l'exploitation du Cessna 208 dans des conditions givrantes.

Le cours de formation « Cessna Caravan Cold Weather Operations » [Cessna Caravan – Exploitation par temps froid] comprend des modules qui portent sur :

- les influences météorologiques propices à la formation de givre;
- l'équipement embarqué du Caravan pour composer avec le vol dans des conditions givrantes connues;
- la meilleure façon d'éviter les conditions givrantes ou d'en sortir;
- les limites, procédures et autorisations du supplément S1 de l'AFM (équipement pour conditions givrantes connues) pour les modèles Caravan 208 munis de boudins de dégivrage.

À la section qui porte sur les vitesses de décrochage, le supplément S1 de l'AFM met en garde [traduction] : « Si l'on détecte un tremblement avant décrochage ou des oscillations en tangage intempestives, on doit réduire l'assiette en tangage tout en augmentant la puissance au réglage de puissance maximale continue. On doit promptement sortir les volets à 10° pour aider à stabiliser l'aéronef<sup>7</sup>. »

---

<sup>6</sup> Cessna Aircraft Company, FAA Approved D1329-S1-11, *Cessna Model 208B (675 SHP) Aircraft Flight Manual Supplement S1: Known Icing Equipment* (10 février 2009).

<sup>7</sup> *Ibid.*, section 5 : Performance, Stall Speeds, pp. S1-S45.

## 1.6 Renseignements sur l'aéronef

### 1.6.1 Généralités

Tableau 2. Renseignements sur l'aéronef

Constructeur	Cessna
Type, modèle et immatriculation	208B, Caravan II, C-FKAY
Année de construction	1995
Numéro de série	208B0470
Date d'émission du certificat de navigabilité/permis de vol	20 juin 1996
Nombre total d'heures de vol cellule	25 637 heures
Type de moteur (nombre de moteurs)	Pratt & Whitney Canada PT6A-114A (1)
Type d'hélice/de rotor (nombre d'hélices)	McCauley Accessory Division 3GFR34C703B (1)
Masse maximale autorisée au décollage	9062 livres
Type(s) de carburant(s) recommandé(s)	Jet A, Jet A-1, Jet B
Type de carburant utilisé	Jet A

Le Cessna 208B Caravan est un aéronef à aile haute et à train d'atterrissage fixe muni d'un turbopropulseur PT6A-114A fabriqué par Pratt & Whitney Canada. Les dossiers indiquent que l'aéronef en cause était homologué, équipé et entretenu conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures approuvées; il était conforme aux consignes de navigabilité applicables.

L'aéronef n'était pas doté d'un enregistreur de données de vol ou d'un enregistreur de conversations de poste de pilotage et n'était pas tenu d'en avoir selon la réglementation. Air Tindi avait doté sa flotte de C208B d'un dispositif enregistreur d'images pour poste de pilotage Appareo Vision 1000 et d'un système ALERTS de surveillance des données de vol. Ce système avait été retiré du C-FKAY pour entretien 45 jours avant l'événement à l'étude.

À bord de cet aéronef, la porte principale de la cabine se compose de panneaux supérieur et inférieur. Pour évacuer l'aéronef, on doit d'abord déverrouiller la poignée intérieure du panneau supérieur, et ensuite pousser sur la porte vers l'extérieur. Cette manœuvre débloque le verrou du panneau inférieur; on peut alors tourner la poignée du panneau inférieur à la position d'ouverture pour déverrouiller la porte. Les cartes des mesures de sécurité placées à chacun des sièges illustrent cette procédure. On ne peut pas ouvrir le panneau inférieur en premier, car il est conçu pour demeurer verrouillé lorsque le panneau supérieur est fermé.

### 1.6.2 Système de suivi des vols par satellite SKYTRAC

L'aéronef C-FKAY était muni d'un système de suivi des vols basé sur le GPS SKYTRAC<sup>8</sup>. Ce système enregistre des données de vol, dont la position, l'altitude, la vitesse sol, et la trajectoire, toutes les 5 secondes, et les transmet automatiquement au moyen d'une liaison satellite selon un intervalle de 3 minutes (c.-à-d. l'intervalle stipulé aux modalités du contrat de service de la compagnie avec SKYTRAC). La compagnie a accès par le Web à ces données de vol, ainsi qu'aux avis d'urgence. Ce système permet la communication bidirectionnelle vocale et l'envoi de messages par l'intermédiaire de satellites à orbite basse du système Iridium pour le transfert de données.

On a récupéré l'émetteur-récepteur du système, et le laboratoire du BST a pu en extraire les données qui ont permis de créer une image de la trajectoire du vol à l'étude (annexe A).

### 1.6.3 Certification en conditions givrantes

L'aéronef était certifié pour le vol dans des conditions givrantes connues conformément aux exigences de l'article 23.1419<sup>9</sup> des *Federal Aviation Regulations* (FAR) des États-Unis avec équipement optionnel, ce qui comprenait la conformité au supplément S1 de l'AFM et à diverses consignes de navigabilité<sup>10</sup>. L'équipement optionnel nécessaire pour satisfaire aux exigences de certification comprend des boudins de dégivrage pneumatiques sur les ailes, les haubans de voilure, et les bords d'attaque des plans fixes horizontal et vertical, ainsi qu'une hélice, un circuit dégivreur de pare-brise et un circuit anémométrique à chauffage électrique. Pour l'exploitation de nuit, l'équipement doit également comprendre un projecteur de détection de givrage installé sur le bord d'attaque intérieur de l'aile gauche. On installe le panneau antigivrage de pare-brise à chauffage électrique devant le pare-brise du pilote avant le vol lorsqu'il y a possibilité de conditions givrantes.

Il y a des problèmes connus de givrage en vol et des antécédents d'accidents causés par ces problèmes mettant en cause des Cessna 208. C'est pourquoi on a étoffé les exigences pour maintenir la certification pour le vol dans des conditions givrantes connues en y ajoutant des limites, des procédures et de l'équipement additionnels. La Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis a émis diverses consignes de navigabilité<sup>11</sup> pour exiger des changements par l'avionneur. Ceux-ci comprennent des changements à l'AFM faisant état de procédures et limites mieux définies pour veiller à ce que les pilotes maintiennent leur conscience de la

<sup>8</sup> SKYTRAC Systems Ltd., ISAT-100-OPD-SOI, *SKYTRAC ISAT-100 Specifications, Operating Instructions and Install Manual*, Révision 01.048 (8 septembre 2006).

<sup>9</sup> En outre, on doit procéder à des essais du circuit dégivreur afin d'établir que l'aéronef peut fonctionner en toute sécurité dans des conditions atmosphériques de givrage maximal intermittent et de givrage maximal continu telles qu'elles sont décrites dans l'annexe C de la partie 25 des FAR.

<sup>10</sup> Consignes de navigabilité 96-09-15, 2005-07-01, 2006-01-11, 2006-06-06 et 2007-10-15 de la Federal Aviation Administration.

<sup>11</sup> Ibid.

situation et accroître la sécurité du vol dans des conditions givrantes qui ne dépassent pas un faible taux d'accumulation<sup>12</sup>. Ces changements comprennent ce qui suit :

- une directive qui aide à reconnaître l'accumulation de givre et qui explique les limites d'utilisation du pilote automatique;
- une description des conditions atmosphériques qui peuvent entraîner un givrage fort;
- les procédures comprenant les mesures à prendre immédiatement afin de sortir des conditions de givrage fort [traduction] :

ENTRÉE PAR INADVERTANCE DANS DES CONDITIONS DE PLUIE VERGLAÇANTE OU DE BRUINE VERGLAÇANTE OU DE TOUTE AUTRE CONDITION DE GIVRAGE QUI NUIT À LA PERFORMANCE EN ROUTE (VOLETS RENTRÉS)

1. Puissance ..... AUGMENTER  
(à la puissance maximale de décollage, sans dépasser 805° ITT ou 101,6 % Ng)
2. Vitesse anémométrique ..... MAINTENIR 120  
(ou plus) (110 KIAS s'il faut monter pour sortir des conditions givrantes)
3. Interrupteur D'ALLUMAGE ..... ON
4. SÉPARATEUR INERTIEL ..... BYPASS
5. PITOT/STATIQUE, DÉCROCHAGE, PARE-BRISE et DÉGIVREUR HÉLICE ..... ON
6. BOUDINS DÉGIVRAGE ..... FONCTIONNEMENT CYCLIQUE  
(pour obtenir le meilleur dégivrage possible)
7. ATC ..... AVISER  
(et demander un traitement prioritaire pour sortir de ces conditions)<sup>13</sup>

- Exigences relatives à l'équipement, supplément S1 de l'AFM du Cessna, qui prévoient notamment l'installation
  - de boudins de dégivrage additionnels sur le conteneur de fret et les carénages du train d'atterrissage;
  - d'un système d'avertissement de basse vitesse;
  - d'une plaquette qui définit les limites du vol continu dans des conditions givrantes [traduction] :

Interdiction de poursuivre un vol dans des conditions de givrage modéré ou pire. Un ou plusieurs des éléments ci-après définissent les conditions de givrage modéré pour cet aéronef :

<sup>12</sup> On trouvera une description plus détaillée au paragraphe 1.7.10 du présent rapport.

<sup>13</sup> Emergency Procedures, Cessna Aircraft Company, FAA Approved D1329-S1-11, *Cessna Model 208B (675 SHP) Aircraft Flight Manual Supplement S1: Known Icing Equipment* (10 février 2009).

1. En vol en palier à puissance constante, diminution de 20 KIAS de la vitesse anémométrique .
2. Augmentation de 400 pi/lb du couple moteur nécessaire pour maintenir la vitesse anémométrique.
3. Impossibilité de maintenir une vitesse de 120 KIAS en vol en palier.
4. Accumulation de givre de ¼ pouce sur les haubans de voilure<sup>14</sup>.

Selon la section Limitations [limites] du supplément S1, les volets doivent être sortis au moins à 10° durant toutes les phases de vol lorsque la vitesse anémométrique est inférieure à 110 KIAS. On peut déroger à cette exigence lorsque l'on suit les procédures publiées de l'AFM en exploitant l'aéronef avec du liquide dégivrants/antigivre appliqué au sol.

#### 1.6.4 Masse et centrage

La masse maximale certifiée au décollage du Cessna 208B est de 8750 livres. Air Tindi exploitait C-FKAY avec le conteneur de fret Aircraft Payload Extender III (APE III) fabriqué par AeroAcoustics Aircraft Systems Inc., installé conformément au certificat de type supplémentaire (CTS) SA01213SE. Ce conteneur portait à 9062 livres la masse maximale au décollage, et à 9000 livres la masse maximale à l'atterrissage. Les limites avant du centre de gravité (CG) étaient les mêmes, sauf pour un prolongement, de 199,15 pouces pour 8750 livres, à 200,23 pouces pour 9062 livres. La limite arrière du CG demeurait la même. La masse maximale pour un vol dans des conditions givrantes connues avec le conteneur de fret installé était la même, soit 8550 livres. Le pilote n'a pas observé la restriction de masse et de centrage dans des conditions givrantes lorsqu'il a chargé l'aéronef.

Dans le cas du vol à l'étude, c'est le préposé d'aire de trafic, aidé du pilote, qui a chargé le fret et les bagages, principalement dans la partie avant du conteneur de fret, afin de réduire le risque de contact queue-sol au débarquement des passagers. On a placé le fret sensible à la température dans la soute à bagages de la cabine. De plus, on a avitaillé l'aéronef avec 2200 livres de carburant au lieu des 1800 livres normalement prévues. Le manifeste de marchandises et de passagers n'indiquait pas ce changement ni l'absence d'un passager qui ne s'est pas présenté pour ce vol reporté. Les bagages et le fret avaient été pesés la veille.

La totalité du poids des passagers était en fait un mélange de poids réels et standards, et on a établi quels sièges les passagers occupaient dans le cadre d'entrevues menées après l'événement à l'étude. À son départ, l'aéronef avait une masse au décollage de 8892 livres, soit 342 livres de plus que la masse maximale certifiée au décollage pour un vol dans des conditions givrantes connues.

---

<sup>14</sup> Cessna Aircraft Company, numéro de dossier FAA-2006-26498, *Cessna Model 208B (675 SHP) Aircraft Flight Manual Supplement S1: Known Icing Equipment* – Modification 39-15056 (entrée en vigueur le 21 juin 2007; modifications exigées par la CN 2007-10-15 de la FAA qui remplace la CN 2006-06-06 : Modification 39-14514).

Le CG n'a pas été calculé avant le départ du vol DA223. On a effectué un calcul après l'accident au moyen des poids du manifeste corrigés et du carburant additionnel. On a calculé un index de -13,5 au moyen de l'outil de calcul SeeGee<sup>15</sup>, valeur qui a été confirmée manuellement. Lorsque l'on a tracé la masse de l'aéronef et l'index de charge pour déterminer les limites du CG, le résultat dépassait la limite avant permise (annexe B).

#### 1.6.5 Effets du givrage et de la masse et du centrage sur la vitesse de décrochage

Une masse trop élevée et un CG situé au-delà de la limite avant exigent une plus grande force de stabilisation pour contrer le moment de tangage accru de l'aile; ainsi, le pilote appliquerait cette force par une commande de cabré. La limite avant du CG permet un braquage profondeur suffisant de la gouverne de profondeur à vitesse anémométrique minimale, où le braquage profondeur complet vers le haut est nécessaire pour obtenir un grand angle d'attaque. À mesure que l'aéronef ralentit, cette décélération exige un angle d'attaque plus grand pour maintenir une portance suffisante pour le vol. Il y a des limites à l'augmentation de l'angle d'attaque si l'on veut éviter un décrochage. Si l'on maintient un angle d'attaque constant tout près de l'angle d'attaque critique ou de décrochage, la seule façon d'accroître la portance est d'accroître la vitesse.

D'après les données de vols d'essai de Textron Aviation :

- Un aéronef ayant un CG trop vers l'avant et une masse trop élevée manifeste un moment de tangage avant plus prononcé.
- L'empennage horizontal doit générer une force suffisamment grande pour équilibrer ce moment de tangage.
- Le givre réduit la portance de l'empennage horizontal.
- Avec un CG trop avant et une masse élevée, un aéronef ne peut obtenir l'angle d'attaque qu'il aurait obtenu avec un CG et une masse à l'intérieur de son enveloppe, ce qui accroît la vitesse de décrochage.

Par conséquent, en résumé :

- Un CG trop avant accroît la vitesse de décrochage.
- Une masse trop élevée accroît la vitesse de décrochage.
- La présence de givre sur la queue de l'aéronef accroît la vitesse de décrochage.
- La présence de givre sur les ailes réduit le coefficient de portance, si bien que la vitesse de décrochage augmente.
- La présence de givre sur l'aéronef accroît également la traînée aérodynamique, ce qui réduit la performance de montée.

---

<sup>15</sup> L'outil de calcul de centre de gravité SeeGee a été spécialement conçu par CAVU International conformément à la spécification TZ1B du Cessna 208B d'Air Tindi.

## 1.7 Renseignements météorologiques

### 1.7.1 Généralités

Après l'accident, le BST a demandé une analyse des conditions météorologiques dans la région de Yellowknife au moment de l'événement à l'étude. Les présentes parties du rapport sont fondées sur l'analyse réalisée par Environnement Canada<sup>16</sup>.

### 1.7.2 Analyse de surface

À 5 h, le 20 novembre 2014, les secteurs ouest des Territoires du Nord-Ouest (T.N.-O.) étaient sous l'influence d'un creux barométrique qui s'étendait tout juste depuis l'est de Norman Wells (T.N.-O.), jusqu'à un centre de basse pression près de Hay River (T.N.-O.), puis vers le sud et sur le nord-ouest de l'Alberta jusqu'aux environs de High Level et Peace River (Alberta) (annexe C). Dans la région du Grand lac des Esclaves, les températures de surface oscillaient de  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$  à Fort Reliance (T.N.-O.), à l'extrémité est du bras est du Grand lac des Esclaves, à  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  à Inner Whalebacks Island, près de la confluence du bras est et du bassin principal du Grand lac des Esclaves. Des températures plus élevées ont été enregistrées dans le nord-est de la Colombie-Britannique (C.-B.) et dans des secteurs du nord de l'Alberta; Fort St. John (C.-B.) affichait la température la plus élevée, soit  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Il y avait des vents de surface de 5 à 10 nœuds soufflant du sud-est, à l'est du creux barométrique, et inférieurs à 10 nœuds soufflant du nord-ouest, à l'ouest de ce creux.

### 1.7.3 Analyse en altitude

Les cartes en altitude pour les niveaux pression standards de basse altitude de 850 hectopascals (hPa) et 700 hPa<sup>17</sup> donnent une image plus complète de la structure thermique des couches inférieures de l'atmosphère. À 5 h, le 20 novembre 2014, l'isotherme  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  au niveau de 850 hPa représentait une couche au-dessus du point de congélation qui s'étendait vers le nord, du centre est de l'Alberta jusqu'au sud-ouest des Territoires du Nord-Ouest, puis vers le sud jusqu'au nord-est de la Colombie-Britannique. La zone au niveau de 850 hPa où les températures étaient supérieures à  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  s'étendait vers le nord, depuis l'extrémité est du lac Athabasca dans le nord de la Saskatchewan, à travers les secteurs est du bras est du Grand lac des Esclaves, jusqu'à la partie est du Grand lac de l'Ours.

La zone au niveau de 700 hPa où les températures étaient supérieures à  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  s'étendait de l'ouest du lac Athabasca vers le nord, presque jusqu'à Yellowknife, et aux limites sud-ouest du Grand lac de l'Ours pour se prolonger vers le sud, presque jusqu'à Fort Simpson, puis vers

<sup>16</sup> Environnement Canada, Analyse météorologique : 20 novembre 2014, Grand lac des Esclaves/Yellowknife (T.N.-O.) [pour] l'enquête du BST : A14W0181, Service météorologique du Canada, Direction de la surveillance météorologique et environnementale, 27 novembre 2014 au 6 janvier 2015 (6 janvier 2015).

<sup>17</sup> Les hauteurs des niveaux 850 hPa et 700 hPa dans l'atmosphère standard sont de 4781 pieds asl et de 9882 pieds asl, respectivement.

l'ouest dans le Yukon. C'est cette zone qui présentait la plus grande probabilité de givrage fort en présence de suffisamment d'eau surfondue.

#### 1.7.4 Effets des eaux libres du Grand lac des Esclaves

D'après l'analyse des glaces du Grand lac des Esclaves, faite à partir d'images RADARSAT<sup>18</sup> prises à 8 h 1 le 20 novembre 2014, le lac était relativement libre de glaces. Ces eaux libres auraient agi comme importante source de vapeur d'eau étant donné les systèmes météorologiques qui passaient au-dessus du lac; dans des conditions propices, elles auraient entraîné des chutes de neige ou de bruine verglaçante plus importantes en aval du lac.

L'apport d'air chaud additionnel devant un front occlus en altitude (TROWAL) qui approchait, jumelé à la chaleur et à l'humidité provenant des eaux libres du Grand lac des Esclaves, ont contré l'effet de balayage de la neige tombante et ont favorisé la formation de gouttelettes de bruine verglaçante.

#### 1.7.5 Prévision de zone graphique

Les prévisions de zone graphique (GFA) sont émises 4 fois par jour et leur période de validité est de 12 heures. Chaque prévision comprend 6 cartes : 2 cartes valides au début de la période de prévision, 2 cartes valides 6 heures plus tard et les 2 autres valides 12 heures après le début de la période de prévision. Deux cartes sont émises pour chaque période indiquée : 1 carte représente les nuages et les conditions météorologiques, et l'autre représente le givrage, la turbulence et le niveau de congélation.

Les modifications aux prévisions de zone sont émises sous forme d'AIRMET. Aucune modification AIRMET n'a été faite aux GFA avant le départ de l'aéronef.

Avant le départ, le pilote a examiné les nuages et les conditions météorologiques, ainsi que le givrage, la turbulence et le niveau de congélation qu'indiquait la carte GFACN35<sup>19</sup>, émise à 4 h 31 le 20 novembre 2014 et valide pendant 12 heures à compter de 5 h (annexe C et annexe D). L'enquête a révélé que, de façon générale, les pilotes de la compagnie doutaient de la fiabilité des prévisions de conditions givrantes des GFA, étant donné le nombre limité de sites d'observations météorologiques et de sondages atmosphériques dans le Nord pour fournir ces données. Selon l'ensemble des pilotes, il arrive souvent que les GFA prévoient des conditions givrantes qui ne se concrétisent pas par la suite durant les vols.

Les nuages et les conditions météorologiques sur la route de l'aéronef montraient que le secteur du vol était influencé par une zone de basse pression au-dessus de la partie ouest du Grand lac des Esclaves, et comprenait un front occlus se prolongeant au nord-ouest. Outre les nuages et

---

<sup>18</sup> RADARSAT est le satellite de télédétection de l'Agence spatiale canadienne qui utilise un radar à synthèse d'ouverture.

<sup>19</sup> GFACN35 signifie la prévision de zone graphique (GFA) pour la région du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest.

les conditions météorologiques du front occlus, les prévisions faisaient état de plafonds de 2000 à 4000 pieds asl, de sommets atteignant 18 000 pieds et d'une visibilité intermittente allant de 1 à 4 milles terrestres (sm) dans de la neige faible. Des plafonds fragmentés de 400 à 1000 pieds agl étaient également attendus. De plus, les prévisions faisaient état de nuages altocumulus castellanus isolés avec des sommets atteignant 20 000 pieds asl, et de visibilités locales de ½ sm dans des averses de neige. Le pilote a traversé des couches de nuages entrecoupées d'éclaircies durant la montée, mais il a ensuite été incapable de repérer des éclaircies durant la descente. Selon les prévisions, ce système devait se déplacer vers le sud-est à environ 15 nœuds.

La carte de givrage et de turbulence présentait une zone de givrage modéré mixte et épars le long du front occlus de 2000 à 14 000 pieds asl. Les prévisions faisaient état de conditions de givrage blanc modéré de 2500 à 4000 pieds asl dans la zone à l'est et au sud de Yellowknife.

#### 1.7.6 *Messages d'observation météorologique régulière pour l'aviation et prévisions d'aérodrome pour Yellowknife*

CYZF se situe sur la rive est du bras nord du Grand lac des Esclaves, à environ 7 sm au nord du rivage. Les messages d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) pour CYZF sont accessibles 24 heures sur 24. La ville de Yellowknife se situe juste au sud-est de l'aéroport, entre ce dernier et la baie de Yellowknife. Avant 7 h le 20 novembre 2014, les bases des nuages observées à CYZF étaient stables entre 1000 et 1300 pieds agl; la visibilité demeurait maximale à 15 sm dans de la neige faible; la température était stable à près de -11 °C; et les vents avaient diminué graduellement, passant du 130 °vrai (V) soufflant à 17 nœuds à 3 h, au 100 °V soufflant à 12 nœuds à 7 h.

Après 7 h, on a observé une bruine verglaçante continue de 7 h 24 à 10 h 44. À 7 h 53, la visibilité avait diminué à moins de 3 sm dans de la faible bruine verglaçante et de la faible neige; la visibilité minimale observée était de 1 sm à 10 h 8. Le plafond a graduellement augmenté à 2300 pieds agl à 10 h, puis est rapidement descendu à 500 pieds agl à 10 h 8 avant que la situation ne s'améliore de nouveau une fois la période de bruine verglaçante terminée. Durant ces transitions, la température est demeurée stable à -11 °C, la direction du vent est graduellement passée au 070 °V, et sa vitesse est demeurée stable à près de 11 nœuds.

Les prévisions d'aérodrome (TAF) pour Yellowknife sont émises selon l'horaire indiqué dans le *Supplément de vol – Canada* (à 0 h UTC, 6 h UTC, 12 h UTC, et 18 h UTC), et elles sont valides pendant 24 heures (c.-à-d., une TAF émise à 0 h UTC est valide à partir du moment où elle est émise jusqu'à 0 h UTC le lendemain). La TAF est valide dans un rayon de 5 milles marins (nm) autour de l'aérodrome. Les TAF et METAR pour Yellowknife sont présentés en ordre chronologique par heure d'émission à l'annexe E.

La TAF pour Yellowknife émise à 4 h 42 le 20 novembre était identique à la précédente, sauf qu'elle prévoyait une visibilité maximale dans de la neige faible comme principale visibilité et condition météorologique dominante. De 5 h à 17 h, les prévisions faisaient état de vents soufflant du 120 °V à 15 nœuds, d'une visibilité supérieure à 6 sm dans de la neige faible, et d'un ciel couvert à 1000 pieds agl. Entre 5 h et 8 h, la prévision de visibilité était de 3 sm temporairement dans de la neige faible et un plafond avec nuages fragmentés à 800 pieds agl.

Les prévisions faisaient état d'une visibilité dominante maximale, sans précipitation ni obstacle à la visibilité, sauf des réductions temporaires à 3 sm dans de la neige faible et de la brume. De 8 h à 17 h, les prévisions faisaient état de vents du 120 °V soufflant à 12 nœuds, avec rafales jusqu'à 22 nœuds, et d'une visibilité dominante de 3 sm dans de la neige faible. Il y avait 30 % de probabilité de réductions temporaires de la visibilité à 1 sm dans de la neige faible. Les prévisions faisaient état d'un plafond à 800 pieds agl, avec 30 % de probabilité de réductions temporaires à 400 pieds agl.

Les prévisions ne faisaient état d'aucune bruine verglaçante : étant donné qu'il faut atteindre un seuil minimal de probabilité de 30 % pour ajouter un événement météorologique comme de la bruine verglaçante dans une TAF; en émettant cette TAF, le prévisionniste s'attendait donc de toute évidence à une probabilité de bruine verglaçante inférieure à 30 % à CYZF.

#### *1.7.7 Messages d'observation météorologique régulière pour l'aviation et prévisions d'aérodrome pour Fort Simpson*

CYFS se trouve tout près du fleuve Mackenzie, à environ 194 nm à l'ouest de Yellowknife. Les METAR pour Fort Simpson sont accessibles 24 heures sur 24.

Après 16 h, le 19 novembre 2014, les observations à Fort Simpson faisaient état de légère bruine verglaçante avec visibilité maximale de 15 sm, et d'un plafond à 3000 pieds agl (nuages épars à 1000 pieds agl). À 17 h 38, la bruine verglaçante s'était transformée en faible neige en grains. La visibilité a diminué brièvement à 12 sm, et le plafond est descendu d'abord à 1100 pieds agl, puis à 20 h, il était à 800 pieds agl. Durant cette période, les vents étaient variables du 110 au 130 °V et soufflaient à 5 nœuds.

#### *1.7.8 Exposé météorologique prévol au pilote*

Environ 1 heure avant l'embarquement des passagers, le pilote a obtenu des informations météorologiques : il s'agissait de METAR, de TAF et de GFA du site Web de prévisions et observations de NAV CANADA. Il n'y avait ni AIRMET, ni renseignements météorologiques significatifs (SIGMET), ni PIREP pour la trajectoire de vol prévue. Le pilote a déterminé qu'il entrerait dans des conditions givrantes de 2500 à 4000 pieds asl, mais comme l'altitude de vol prévue était de 8000 pieds asl, il a conclu que les conditions étaient propices au vol. La GFA ne faisait pas état de conditions givrantes à CYFS, l'aéroport de destination. Le pilote n'a toutefois pas remarqué que les prévisions pour la zone à l'ouest de Yellowknife faisaient état de givrage mixte, modéré et épars, de 2000 pieds jusqu'à 14 000 pieds asl (annexe D).

Lorsqu'il a déposé son plan de vol, le pilote a demandé au spécialiste de l'information de vol si des PIREP d'autres pilotes faisaient état de conditions givrantes, et on lui a répondu que non.

#### *1.7.9 Grosses gouttes d'eau surfondues*

La taille des gouttelettes d'eau dans les nuages est un facteur important pour déterminer l'ampleur du givrage. Plus un nuage contient d'eau et plus les gouttelettes sont grosses, plus grandes sont les chances qu'elles percutent l'aéronef et donc gèlent à sa surface rigide. Les

gouttelettes de nuage – de moins de 30 microns ( $\mu\text{m}$ ) de diamètre – sont moins susceptibles de percuter la surface d'un aéronef parce qu'elles sont plus légères et ont tendance à suivre le flux d'air autour de l'aéronef. Les grosses gouttes, comme celles de la bruine verglaçante (100 à 500  $\mu\text{m}$ ) ou de la pluie verglaçante (500 à 3000  $\mu\text{m}$ ), sont plus susceptibles de percuter l'aéronef en raison de leur force d'inertie supérieure<sup>20</sup>.

#### 1.7.10 Effets du givrage et des grosses gouttes d'eau surfondues sur la performance d'un aéronef

L'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) définit l'intensité du givrage en fonction de l'effet de l'accumulation de givre sur l'aéronef. Les définitions ci-dessous proviennent du *Manuel des normes et procédures des prévisions météorologiques pour l'aviation* (MANAIR) publié par Environnement Canada :

Givrage faible (LGT) : Au cours d'un long vol (d'une durée dépassant une heure) sans équipement de dégivrage, le taux d'accumulation de givre faible est tel qu'il peut causer des problèmes. L'utilisation occasionnelle de dispositifs de dégivrage ou d'antigivrage permet de prévenir ou de supprimer l'accumulation de glace. Des problèmes sont ainsi évités grâce à ce type d'équipement.

Givrage modéré (MDT) : Le taux d'accumulation de givre modéré au cours d'un vol, même pendant de courtes périodes, peut être dangereux. Dans ces conditions, il faut utiliser de l'équipement de dégivrage ou d'antigivrage ou éviter les zones présentant des risques.

Givrage fort (SEV) : Le taux d'accumulation de givre fort est tel que l'utilisation d'équipement de dégivrage ou d'antigivrage ne permet pas de réduire ou de parer complètement le danger. Il faut absolument éviter les zones de givrage fort<sup>21</sup>.

Si l'on permet l'accumulation de givre sur un aéronef en vol, la masse de l'aéronef augmente et sa capacité de générer de la portance diminue. Aussi peu que 0,8 mm de givre sur l'extrados de l'aile accroît sa traînée et réduit jusqu'à 25 % la portance de l'aéronef<sup>22</sup>.

## 1.8 Aides à la navigation

Le vol DA223 utilisait le système mondial de navigation par satellite (GNSS) aux fins de navigation. On n'a signalé aucun problème ni aucune panne relativement à ce système.

<sup>20</sup> Environnement Canada, « Étudier le givrage pour voler en sécurité » *Bulletin Science et environnement*, numéro 16 (janvier/février 2000).

<sup>21</sup> Environnement Canada, *MANAIR : Manuel des normes et procédures des prévisions météorologiques pour l'aviation*, septième édition (novembre 2013), paragraphe 4.9.2.1 Givrage (ICG).

<sup>22</sup> Federal Aviation Administration (FAA), FAA-H-8083-25A, *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge* (mis à jour le 24 octobre 2014).

## 1.9 *Communications*

Les communications du vol DA223 avec les Services de la circulation aérienne de NAV CANADA se sont déroulées sans difficulté avec l'ATC de Yellowknife et le CCR d'Edmonton durant tout le vol.

L'aéronef était muni d'un système de suivi des vols SKYTRAC qui permet la communication bidirectionnelle vocale et l'envoi de messages par l'intermédiaire de satellites du système Iridium (paragraphe 1.6.2 du présent rapport). Le pilote a réussi à joindre le préposé au suivi des vols d'Air Tindi après l'accident.

Les passagers ont essayé d'utiliser leur téléphone cellulaire; 1 des téléphones indiquait un accès au service, mais aucun appel n'a pu être placé, car l'abonnement était expiré. Aucun service téléphonique d'urgence (9-1-1) n'est offert dans la région de Yellowknife. Là où le service 9-1-1 est offert, on peut l'utiliser sans abonnement à un service de téléphonie mobile valide.

## 1.10 *Renseignements sur l'aérodrome*

L'atterrissage forcé a eu lieu sur la surface glacée du Grand lac des Esclaves. Le pilote ne disposait d'aucune aide visuelle pour atterrir. Les lieux de l'accident se trouvaient à environ 18 nm à l'ouest de Yellowknife (annexe A).

## 1.11 *Enregistreurs de bord*

L'aéronef n'était pas doté d'un enregistreur de données de vol ou d'un enregistreur de conversations de poste de pilotage et n'était pas tenu d'en avoir selon la réglementation.

L'aéronef était muni d'un système de suivi des vols GPS SKYTRAC qui enregistrait l'information de vol à intervalles de 5 secondes. On a récupéré l'émetteur-récepteur du système, et le laboratoire du BST a pu en extraire les données (annexe F et annexe G).

## 1.12 *Renseignements sur l'épave et sur l'impact*

Le posé initial a eu lieu sur la surface glacée couverte de neige du Grand lac des Esclaves, sur une route au 075 °V, à environ 1600 pieds au nord des eaux libres. L'aéronef a poursuivi sa course, et ses roues ont touché le sol à 3 reprises avant que l'aéronef ne s'immobilise. À environ 2350 pieds du point de contact initial, l'aéronef a percuté un affleurement rocheux, ce qui a causé la séparation du train d'atterrissage avant et du train d'atterrissage principal gauche de la cellule. Le conteneur de fret ventral a été endommagé et a dégorgé une partie de son contenu. L'aéronef a glissé sur son flanc gauche et s'est immobilisé en reposant sur le conteneur de fret et l'aile gauche, à quelque 600 pieds au-delà de l'affleurement rocheux. L'endroit était cerné de nombreux affleurements rocheux qui devenaient plus gros et plus nombreux à l'approche du rivage le long de la trajectoire de vol originale prolongée (annexe H).

L'aile gauche, le train principal gauche, le train avant, et l'hélice de l'aéronef (photo 1) ont été lourdement endommagés. Le pare-brise de droite était fracassé, et le reste de l'ensemble du train avant s'est trouvé embouti dans le côté droit du poste de pilotage. On a constaté que les volets étaient complètement rentrés, conformément à la position du levier. La structure de l'aile gauche était endommagée et presque tout le carburant qui se trouvait dans le réservoir s'est déversé. Le carburant dans le réservoir de l'aile droite s'est lui aussi déversé par intercommunication. Le carburant est demeuré sur la surface glacée pour former une gadoue sous la neige fraîche. Aucun incendie ne s'est déclaré après l'accident.

Photo 1. C-FKAY une fois immobilisé sur le bras nord du Grand lac des Esclaves



On a constaté du givre mixte<sup>23</sup> pouvant atteindre 1,5 pouce d'épaisseur sur les surfaces non protégées de l'aéronef (photo 2 et photo 3). Il y avait du givre résiduel sur les surfaces protégées. On a également relevé la présence de givre derrière les surfaces protégées, sur l'intrados des ailes. Les pare-brise étaient obstrués par l'accumulation de givre, sauf pour une

<sup>23</sup> Le Glenn Research Center de la NASA définit le givre mixte comme étant [traduction] « Le type de givre qui semble transparent près de la ligne de stagnation et qui change en givre blanc près des bordures. Il survient dans des conditions entre celles favorables à la formation de givre transparent pur et de givre blanc pur. Tout comme les accumulations de givre transparent, celles de givre mixte peuvent énormément perturber le flux d'air et entraîner des problèmes de manœuvrabilité et de performance. » (National Aeronautics and Space Administration [NASA] Glenn Research Center [en ligne], Aircraft Icing: *On-Line Courses & Resources, Glossary*, <http://aircrafticing.grc.nasa.gov/resources/glossary.html#M> [dernière consultation le 13 juillet 2015]).

petite surface protégée par le panneau antigivrage de pare-brise à chauffage électrique. La casserole d'hélice et le radôme étaient couverts de givre mixte qui s'étendait vers l'arrière, jusqu'au milieu environ des composants.

**Photo 2.** Les traits gras rouges encadrent le givre accumulé durant le vol sur le radôme de l'aile droite et des crêtes de glace derrière les boudins de dégivrage sur le bord d'attaque de l'aile

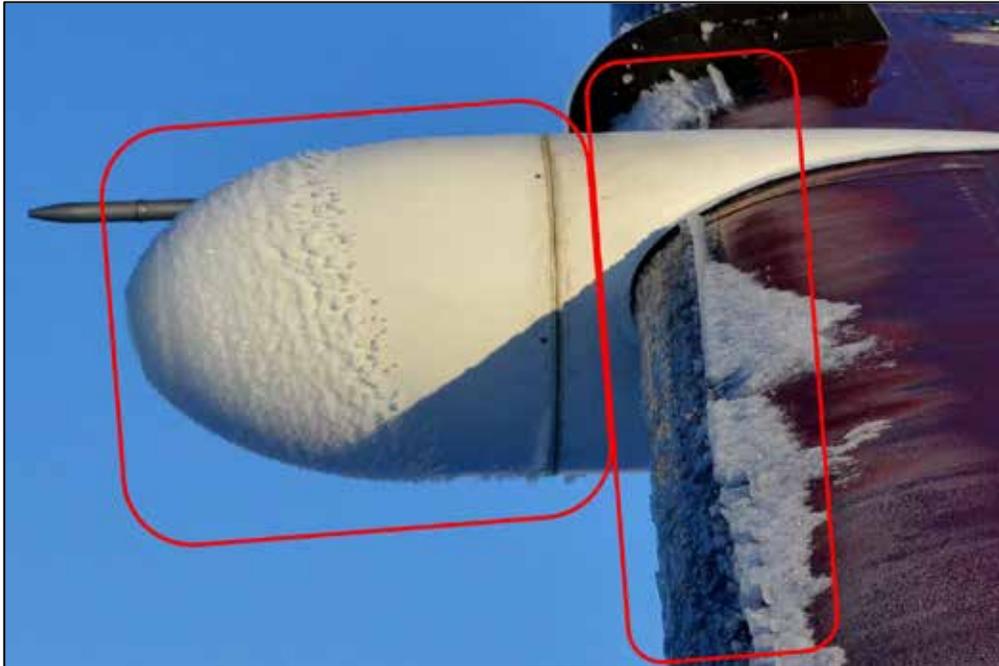


Photo 3. Accumulation de givre sur la partie extérieure du stabilisateur horizontal droit, et sous le boudin de dégivrage et derrière celui-ci



### *1.13 Renseignements médicaux et pathologiques*

Sans objet.

### *1.14 Incendie*

Sans objet.

### *1.15 Questions relatives à la survie des occupants*

Avant de quitter CYZF, le pilote avait fait l'exposé verbal requis sur les mesures de sécurité à l'intention des passagers portant notamment sur les bagages de cabine, le port de la ceinture de sécurité, l'emplacement de la trousse de survie, et l'emplacement et le fonctionnement de la sortie de secours. L'aéronef était muni de cartes des mesures de sécurité adéquates.

L'aéronef était également muni d'une trousse de survie pour 12 personnes en cas d'urgence. Conformément aux exigences du paragraphe 602.61(1) du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC) pour utiliser un aéronef au-dessus de la surface de la terre; cette trousse comprenait de l'équipement de survie adéquat pour assurer la survie de chaque personne à bord compte tenu de l'emplacement géographique, de la saison, et des variations climatiques saisonnières prévues. Cette trousse doit comprendre le nécessaire pour

1. allumer un feu,
2. fournir un abri,
3. fournir de l'eau ou purifier l'eau,
4. émettre des signaux de détresse visuels.

Air Tindi avait choisi le compartiment arrière du conteneur de fret ventral comme lieu de rangement de la trousse de survie. Par suite de l'affaissement du train et des dommages ainsi causés à l'aéronef, il était difficile d'atteindre la trousse et il a été impossible de la retirer du conteneur. On a dû couper la trousse pour la vider, mais une partie de son contenu n'a pu être récupérée.

Le membre d'équipage et les passagers ont utilisé de l'équipement de cabine et la bâche du moteur pour construire un abri pare-vent de fortune et se protéger jusqu'à un certain point contre la bruine verglaçante qui était apparue. Les bagages personnels ainsi que les vêtements d'hiver, rangés eux aussi dans le conteneur ventral, étaient également inaccessibles. Des couvertures aluminisées de la trousse de survie ont permis aux survivants de se tenir au chaud. Le pilote et les passagers sont restés autour de l'aéronef jusqu'après le lever du soleil<sup>24</sup> quand, étant donné les conditions froides et humides, ils ont décidé de se rendre sur une île voisine. Avant ce déplacement, le pilote a tenté d'établir la communication au moyen de la radio très haute fréquence de l'aéronef, mais sans succès. Une fois arrivés sur l'île, le pilote et les passagers ont allumé un feu.

Le pilote est ensuite retourné jusqu'à l'aéronef et a réussi à joindre le préposé au suivi des vols d'Air Tindi à l'aide du téléphone satellite de l'aéronef.

Les Services de la circulation aérienne de NAV CANADA avaient mis en œuvre les procédures en situation d'urgence dès la réception du message Mayday du vol DA223. La Gendarmerie royale du Canada et le service de sauvetage et lutte contre les incendies d'aéronef de l'aéroport de Yellowknife ont dépêché des véhicules terrestres au point d'accès le plus proche du bras nord du Grand lac des Esclaves. Seuls des véhicules hors route chenillés et des motoneiges pouvaient atteindre les lieux de l'accident. Les équipes de sauvetage au sol ont rejoint les survivants vers 11 h 30 (4 heures après l'atterrissage forcé).

Air Tindi a mis en œuvre son plan d'intervention d'urgence vers 7 h 30, lorsque les services de la circulation aérienne ont informé la compagnie de l'événement. Un sauvetage aérien a été amorcé, mais les aéronefs sont demeurés cloués au sol à CYZF lorsqu'une bruine verglaçante est apparue. Deux hélicoptères ont été dépêchés vers 11 h 21, lorsque le temps s'est dégagé, et ils sont arrivés sur les lieux de l'accident à 11 h 30, au même moment que les véhicules de sauvetage au sol. Tous les survivants ont été transportés par hélicoptère vers CYZF, où ils sont arrivés à 12 h 6. Le membre d'équipage et les passagers ont été transportés à l'hôpital pour une évaluation médicale avant d'obtenir leur congé.

---

<sup>24</sup> À cette date et à cet endroit, le crépuscule civil a eu lieu à 8 h 12, et le lever du soleil à 9 h 9 (environ 1 heure et 45 minutes après l'atterrissage forcé du vol DA223 sur le lac).

## 1.16 *Essais et recherches*

### 1.16.1 *Rapports du laboratoire du BST*

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

- LP250/2014 – NVM [non-volatile memory] Recovery – Global Positioning System (GNS530W) [récupération de la mémoire rémanente – système mondial de positionnement (GNS530W)]
- LP251/2014 – NVM [non-volatile memory] Recovery – SKYTRAC Satellite Tracking Transceiver (iSat-100) [récupération de la mémoire rémanente – émetteur-récepteur du système de suivi des vols SKYTRAC (iSat-100)]

## 1.17 *Renseignements sur les organismes et sur la gestion*

### 1.17.1 *Air Tindi*

#### 1.17.1.1 *Généralités*

La société Air Tindi Ltd. est établie à Yellowknife et exploite une flotte d'aéronefs à voilure fixe assujettie aux sous-parties 702, 703, 704, et 705 du RAC. Les vols réguliers assurés par des appareils Cessna 208B desservant les collectivités environnantes sont effectués en conformité avec la sous-partie 703 du RAC. La compagnie est autorisée, aux termes de la spécification d'exploitation numéro 1, à exploiter des aéronefs monomoteurs pour le transport de passagers en mode IFR, et de jour et de nuit selon les règles de vol à vue.

En tant qu'exploitant assujetti à la sous-partie 705 du RAC, Air Tindi devait, aux termes de l'article 107.01 du RAC, mettre en œuvre un système de gestion de la sécurité (SGS). La compagnie a étendu son SGS à ses activités assujetties aux sous-parties 702, 703, et 704 du RAC, et a décidé de se conformer aux exigences du RAC en matière de SGS selon un plan de mise en œuvre progressive.

TC a effectué une inspection de validation de programme portant sur le SGS d'Air Tindi en mai 2013. Les constatations faites portaient sur le contrôle de la documentation et des dossiers, ainsi que sur des manquements relatifs à l'évaluation de l'efficacité des plans de mesures correctives. Jugés entièrement satisfaisants, les plans de mesures correctives présentés par Air Tindi avaient été acceptés en mai 2014.

En octobre 2014, TC a fait un suivi dans le cadre d'une inspection de processus des activités d'Air Tindi assujetties à la sous-partie 705 du RAC, dont la surveillance des activités en vol quotidiennes des de Havilland DHC-7 de la compagnie. Aucune constatation n'avait été faite; les inspecteurs ont observé des normes élevées de coordination des équipages.

Après l'événement à l'étude, TC a mené une autre inspection de processus en décembre 2014 qui portait principalement sur le contrôle d'exploitation des activités assujetties à la sous-partie 703 du RAC, y compris les opérations aériennes et la formation au pilotage. On a

examiné les qualifications des pilotes, leurs dossiers et les programmes de formation. Aucune constatation n'a été consignée.

#### *1.17.1.2 Contrôle d'exploitation*

Air Tindi utilise un système de contrôle d'exploitation de type C aux termes duquel les pilotes assurent eux-mêmes la régulation des vols assujettis aux sous-parties 702, 703, et 704 du RAC. Ce système surpasse l'exigence réglementaire minimale à l'égard des activités assujetties aux sous-parties 702 ou 703, pour lesquelles un système de type D est suffisant. Le gestionnaire des opérations délègue au commandant de bord (CdB) le contrôle d'exploitation d'un vol, mais il demeure responsable des activités quotidiennes. Ce système comprend le suivi des vols pour surveiller la progression d'un vol et, au cas où un vol serait en retard ou porté manquant, la notification de la direction de la compagnie et des autorités de recherche et de sauvetage. Il n'existe aucune exigence réglementaire sur la mise en place d'un programme d'assurance de la qualité des opérations aériennes, et Air Tindi n'en avait pas.

Le CdB doit préparer les documents appropriés, entre autres le plan de vol exploitation, et les déposer avant le départ. Un plan de vol de NAV CANADA et un plan de vol exploitation (PVE) de la compagnie pour le vol à l'étude avaient été mis au dossier, conformément aux exigences du manuel d'exploitation de la compagnie. Toutefois, l'information de masse et centrage a été omise du PVE.

Le CdB est uniquement responsable de la surveillance du vol, mais il a accès au suivi des vols de la compagnie. La progression du vol est surveillée du début jusqu'à la fin par un préposé au suivi des vols qualifié en poste et qui peut répondre aux demandes d'information à propos du vol, qui comprend l'information météorologique, mais aucune analyse de celle-ci. Ce système de régulation a permis aux équipes de recherche et sauvetage de déterminer l'emplacement des lieux de l'accident.

Le départ du vol DA223 a eu lieu avant l'ouverture du bureau de régulation et d'établissement des horaires des vols. Le pilote a fait tous les préparatifs et établi le plan de vol lui-même; il ne disposait d'aucun soutien opérationnel.

### *1.18 Renseignements supplémentaires*

#### *1.18.1 Prise de décisions du pilote*

Une conscience situationnelle exacte donne aux pilotes les bases pour bien utiliser un aéronef, leur permet de prendre les bonnes mesures et de prédire les événements possibles ainsi que de se préparer à réagir rapidement en cas d'urgence. La conscience situationnelle fait appel à la

perception des éléments dans l'environnement à l'intérieur d'un volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification, et la projection de leur état dans un avenir prochain<sup>25</sup>.

Il s'agit d'analyser l'information pertinente à l'environnement, l'aéronef, et aux capacités personnelles et de les combiner aux objectifs de la mission pour bien comprendre la situation. La conscience situationnelle s'appuie sur ce modèle mental et permet alors de prendre les mesures qui s'imposent. Il est vital, pour prendre les bonnes décisions, que l'information soit exacte et pertinente, qu'on l'interprète correctement et que l'on en comprenne toutes les incidences.

Les pilotes maintiennent la conscience situationnelle grâce à 3 processus distincts. D'abord, le pilote doit percevoir l'information dans son environnement. Ensuite, le pilote doit établir la pertinence de l'information à sa capacité de réaliser les objectifs opérationnels. Enfin, le pilote doit utiliser l'information pour projeter les états et événements futurs. Ce processus permet au pilote d'être prévoyant et prêt en cas d'urgence. Chacun des 3 processus comprend des étapes de traitement de l'information, étapes au cours desquelles des lacunes peuvent survenir et donner des évaluations incomplètes ou insuffisantes de la situation.

Dans la trousse éducative de TC intitulée *Prise de décisions du pilote – PDP*, on peut lire :

Nous avons naturellement tendance à ne pas mettre à profit tous les renseignements dont nous disposons dans une situation donnée. De préférence, fondant nos attentes sur certains indices, nous utilisons ceux-ci pour confirmer rapidement notre évaluation de la situation et prendre des mesures qui nous paraissent judicieuses.

Pire, une fois notre évaluation terminée, nous tenons à ne pas la changer, et ce, même en présence d'éléments probants.

La formation et l'expérience influent sur nos choix vu que nous sommes prédisposés à utiliser des plans et procédures qui ont donné des résultats dans le passé. Notre perception des pratiques dominantes d'autres pilotes de notre entourage exerce une forte influence sur nos choix. De même, la réglementation conçue pour promouvoir la sécurité restreint souvent le nombre de solutions de rechange par le fait qu'elle prescrit ou interdit certaines mesures.

Une fois que nous avons adopté un plan, nous avons fortement tendance à ne pas y déroger ou à ne pas le modifier, même en présence de ce qui serait objectivement des éléments convaincants qui montrent le caractère inopportun de la stratégie. Si le plan a donné auparavant de bons résultats, il est fort probable que nous persisterons à le mettre en application<sup>26</sup>.

<sup>25</sup> M.R. Endsley, « Design and evaluation for situation awareness enhancement », dans : *Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting* (Santa Monica, Californie : 1988), Volume 1, pp. 97-101.

<sup>26</sup> Transports Canada, TP 13897F, *Prise de décisions du pilote – PDP*, Module 2 : Processus de prise de décisions (original : février 2002), diapositive 11, 4. Facteurs, Utilisation des mauvais indices.

Avec l'expérience, on adopte des raccourcis pour améliorer les gains d'efficacité que nous percevons. La plupart du temps, ils portent leurs fruits; or, les lacunes se manifestent dans les circonstances où l'on se fie à de l'information insuffisante qui mène à une mauvaise compréhension de la situation réelle. Lorsque les pilotes deviennent compétents et connaissent bien le fonctionnement d'un aéronef, l'expérience acquise au fil des missions réussies, comme le chargement de l'aéronef et les calculs de masse et centrage, peut mener à des procédures improvisées.

### *1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces*

Sans objet.

## 2.0 Analyse

### 2.1 Généralités

L'aéronef en cause dans l'événement a été exploité dans des conditions qui dépassaient ses limites maximales certifiées pour le vol dans des conditions givrantes connues et pour le vol dans des conditions givrantes au taux d'accumulation supérieur à celui de givrage faible. Les systèmes de dégivrage et d'antigivrage de l'aéronef étaient tous en bon état et fonctionnaient durant le vol à l'étude. L'analyse portera sur la préparation du vol, les décisions prises durant le vol dans des conditions de givrage fort, et les questions concernant les possibilités de survie.

Le vol DA223 s'est déroulé dans des conditions de givrage fort et mixte, notamment

- l'inversion de température associée au front occlus (TROWAL);
- l'exposition à des conditions givrantes pendant 30 minutes;
- l'accumulation de givre et de crêtes de glace au-delà des surfaces protégées;
- l'accumulation de givre sur l'intrados des ailes et sur le stabilisateur horizontal;
- l'incapacité de maintenir l'altitude malgré l'application de la puissance maximale continue;
- des mouvements de roulis et de tangage intempestifs;
- un rendement insuffisant des systèmes de dégivrage et d'antigivrage dans ces conditions.

### 2.2 Interprétation des conditions météorologiques

Le pilote avait accès à l'information météorologique pour Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest) et Fort Simpson (Territoires du Nord-Ouest) qui comprenait les messages d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR), les prévisions d'aérodrome (TAF) et les prévisions de zone graphique (GFA). Les METAR et TAF portent uniquement sur les environs immédiats d'un aéroport et ne comprennent pas les conditions givrantes en vol. Les METAR et TAF que le pilote a consultés n'indiquaient ni bruine verglaçante ni pluie verglaçante avant le départ.

La GFA que le pilote a consultée faisait état de conditions givrantes en vol mixte modéré, de 2000 à 14 000 pieds au-dessus du niveau de la mer (asl) pour la route prévue au plan de vol. Toutefois, le pilote a mal interprété la GFA et a conclu que les conditions de givrage blanc étaient modérées de 2500 à 4000 pieds, comme le montrait la GFA pour la zone à l'est de Yellowknife. De plus, les pilotes de la compagnie étaient d'avis que les GFA pour la région étaient trop conservatrices et que l'on pouvait douter de leur exactitude relativement aux conditions givrantes prévues. Cette opinion a mené le pilote à minimiser l'importance de l'information disponible et à manquer de vigilance dans son utilisation de celle-ci.

Ce manque de vigilance a donné lieu à une analyse incomplète des conditions météorologiques qui a mené à une idée imprécise de l'endroit où régnaient ces conditions givrantes. En

particulier, le pilote a cru qu'en montant, l'aéronef sortirait des conditions givrantes à 4000 pieds asl, alors que les prévisions faisaient état de telles conditions jusqu'à 14 000 pieds asl.

L'effet des eaux libres du Grand lac des Esclaves, jumelé à l'inversion de température associée au front occlus, aurait dû suffire pour indiquer qu'il s'agissait là d'une zone à forte probabilité de givrage. Bien que le pilote ait suivi la formation du programme de formation approuvé, elle s'est avérée inefficace pour l'aider à reconnaître et à interpréter correctement les conditions météorologiques en route dont faisait état la GFA.

Les opérations aériennes dans des conditions givrantes exigent un examen attentif de toute l'information météorologique disponible. Le fait de ne pas avoir utilisé toute l'information en route a amené le pilote à sous-estimer l'ampleur et la durée des conditions givrantes dans lesquelles il allait se trouver.

### 2.3 *Masse et centrage*

Le pilote a chargé l'aéronef au-delà des limites prescrites dans le manuel de vol de l'aéronef (AFM), car il n'avait pas d'idée juste des limites du vol dans des conditions givrantes connues. Le pilote estimait que l'exactitude de la GFA était insuffisante pour prédire l'endroit et le moment où il entrerait dans des conditions givrantes, et il s'est fié uniquement aux comptes rendus d'autres pilotes. Par conséquent, il n'a pas envisagé de réduire la masse en fonction des conditions givrantes connues ce matin-là, et il a chargé l'aéronef en conséquence.

D'après les procédures normales, le pilote devait faire les calculs de masse et centrage pour tous les passagers, leurs bagages, le fret, et le carburant à bord avant le vol. Le pilote est responsable du chargement correct et de la bonne distribution du poids afin de respecter toutes les limites indiquées dans l'AFM. La compagnie utilise un plan de vol exploitation (PVE), qui comprend toute l'information pertinente nécessaire pour faire les calculs de masse et centrage, et que le pilote doit préparer ou accepter. Le PVE pour le vol à l'étude était incomplet, et le pilote avait l'habitude de se fier uniquement à son expérience pour charger l'aéronef. Les poids du carburant, des passagers et du fret consignés ne reflétaient pas les poids réels. Une masse au décollage de 8738 livres avait été consignée, au lieu de la masse réelle de 8892 livres. Le centre de gravité (CG) au décollage n'avait pas été calculé.

La certification du Cessna 208B pour le vol dans des conditions givrantes connues limite à 8550 livres la masse brute maximale au décollage. Cette limite fait en sorte que la performance de l'aéronef satisfait aux exigences du paragraphe 23.1419 des *Federal Aviation Regulations* (FAR) des États-Unis. En raison d'accidents antérieurs, de nombreuses consignes de navigabilité ont été émises en vue de sensibiliser davantage les pilotes aux risques liés au vol dans des conditions givrantes. Le pilote n'avait pas tenu compte des conditions givrantes lorsqu'il a fait les calculs de masse parce qu'elles ne figuraient pas dans un compte rendu de pilote (bien qu'une GFA en faisait état). Par conséquent, l'aéronef a décollé alors qu'il excédait de 342 livres la masse maximale certifiée pour des conditions givrantes connues. Un accroissement de la masse entraîne une augmentation de la vitesse de décrochage et une baisse de la performance en montée.

Pour que l'aéronef affiche la performance prévue lors de sa conception, il faut maintenir le CG dans les limites prescrites. Le pilote ignorait la masse et le centrage réels de l'aéronef avant le départ et les effets qu'ils auraient sur la manœuvrabilité de l'aéronef. Le CG trop avant n'a fait qu'empirer la situation en augmentant l'angle d'attaque et la vitesse de décrochage, ce qui a réduit davantage la marge de sécurité. Le CG en dehors des limites n'a fait qu'empirer la performance réduite causée par les conditions de givrage fort; il en est résulté des vitesses de décrochage encore plus élevées pour l'aile et l'empennage horizontal.

Une connaissance insuffisante des limites de l'aéronef dans des conditions givrantes, ainsi que des calculs de masse et centrage incomplets au départ ont fait en sorte que l'aéronef était trop lourd pour voler dans les conditions givrantes prévues.

Le pilote a augmenté le réglage de puissance au maximum possible, mais n'a constaté qu'un changement négligeable de la vitesse ou du taux de descente. En route, le vol DA223 a décroché de façon répétée, et le pilote a dû constamment rétablir le vol, comme l'indiquent les taux de descente prononcés et momentanés avant le posé des roues.

La décision du pilote de ne pas compléter le devis de masse et centrage est en fait un raccourci fondé sur son expérience antérieure et ses connaissances. Les procédures de la compagnie stipulent que le devis de masse et centrage doit être complété avant le vol, mais aucune supervision ne renforçait cette pratique. De même, on avait généralement tendance à charger le fret vers l'avant pour réduire le risque de choc queue-sol durant le débarquement des passagers. L'embarquement des passagers et le chargement du fret à bord d'un aéronef exigent un certain soin si l'on veut maintenir le CG à l'intérieur des limites opérationnelles de l'aéronef. Le CG de l'aéronef était au-delà des limites, ce qui a augmenté la vitesse de décrochage et réduit la performance de montée de l'aéronef.

## 2.4 *Prise de décisions du pilote*

Le pilote était au courant de l'exigence de Cessna selon laquelle, durant le vol, il faut immédiatement sortir de conditions givrantes lorsque le taux d'accumulation est supérieur à celui d'un givrage faible. Il a poursuivi le vol et a tenté de sortir des conditions givrantes en prenant de l'altitude, en croyant qu'il se trouverait ainsi en dehors des altitudes prévues des conditions givrantes. Le temps passé dans des conditions de givrage modéré et fort a eu un effet négatif sur la performance de l'aéronef. À partir des données SKYTRAC et de la constatation initiale de la présence de conditions givrantes à 6000 pieds, on a déterminé que l'aéronef a maintenu sa trajectoire pendant une quinzaine de minutes avant que le pilote décide de retourner à l'aéroport de Yellowknife (CYZF). Le temps de vol total dans des conditions givrantes a été de 30 minutes, et le vol a pris fin sur le Grand lac des Esclaves (annexe H).

Le pilote a mal interprété l'information météorologique, ce qui l'a mené à plusieurs erreurs de jugement qui ont nui à l'exactitude de sa conscience situationnelle. Entre autres, le pilote s'attendait à ce que :

- le vol se déroule à des altitudes où il serait possible d'éviter le givrage ou de monter rapidement à une altitude où il n'y en aurait pas;

- la performance de l'aéronef soit normale malgré le givrage;
- la performance de l'aéronef soit conforme à un calcul adéquat de masse et centrage.

Une conscience situationnelle inexacte a mené le pilote à décider de poursuivre le vol dans des conditions givrantes excédant les capacités de l'aéronef. L'ampleur des conditions givrantes dans lesquelles il s'est trouvé et la durée du vol dans celles-ci ont réduit la performance aérodynamique de l'aéronef au point où le pilote n'a pu empêcher sa descente.

D'après le cours de formation sur l'exploitation par temps froid propre aux aéronefs Cessna, les pilotes doivent toujours régler les volets à 10° lorsque la vitesse anémométrique diminue à moins de 120 nœuds ou dès qu'ils ressentent un tremblement ou des oscillations en tangage intempestives. Durant le vol à l'étude, après que la vitesse anémométrique ait chuté à moins de 120 nœuds de vitesse indiquée (KIAS), les volets sont demeurés rentrés pour éviter la possibilité d'un décrochage de l'empennage horizontal. C'était peut-être la bonne chose à faire avec d'autres types d'aéronefs mentionnés durant le programme de formation sur le givrage en vol d'Air Tindi, mais c'était contraire aux instructions de Cessna. Le pilote avait suivi les 2 formations sur le givrage en vol, celle propre aux Cessna et celle plus générale d'Air Tindi, ce qui a donné lieu à une transposition des connaissances acquises quant à la sélection de la position des volets durant l'exploitation du Cessna 208B dans des conditions givrantes.

Les limites de performance du Cessna 208B ont été dépassées au chapitre de la masse, du CG, et de la durée de l'exposition à un givrage à un taux d'accumulation supérieur à celui de givrage faible. Tous ces facteurs ont mené à une situation où le pilote a dû réduire l'altitude au profit de la vitesse anémométrique afin de prévenir un décrochage et une perte de maîtrise totale (annexe G).

Les effets de l'accumulation de givre étaient tels que le pilote n'a pu réduire le taux de descente, se soldant en un atterrissage forcé sur la surface du Grand lac des Esclaves et à la collision avec le relief.

## 2.5 *Contrôle d'exploitation*

Aux termes d'un système de contrôle d'exploitation de type C avec autorégulation des vols par les pilotes, le gestionnaire des opérations délègue aux pilotes le contrôle d'exploitation de leurs propres vols. Le gestionnaire des opérations demeure toutefois responsable de la sûreté générale des activités. Les pilotes de Cessna 208B, qui effectuent seuls leurs vols, doivent accomplir eux-mêmes toutes les tâches de régulation requises. Le départ tôt en matinée du vol DA223 a eu lieu avant l'ouverture du bureau de régulation et d'établissement des horaires des vols; le pilote n'a bénéficié d'aucune possibilité d'aide ou de soutien à la régulation du vol.

Il n'existe aucune exigence réglementaire sur la mise en place d'un programme d'assurance de la qualité des opérations aériennes (AQOA), et Air Tindi n'en avait pas. Sans AQOA ni supervision régulière et étroite des activités d'autorégulation des vols, la prise de raccourcis risque de passer inaperçue, ce qui peut donner lieu à des pratiques dangereuses. Ceci risque

davantage d'être le cas dans l'exploitation monopilote, qui ne comprend aucun contrôle inhérent comme on en trouve dans un environnement multipilote.

Le système de type C d'autorégulation des vols par les pilotes en place à Air Tindi ne comprenait ni supervision de l'assurance qualité ni système de soutien suffisant. Ces circonstances ont permis l'autorégulation du vol dans des conditions défavorables à la sûreté du vol.

## 2.6 *Sécurité des passagers*

Avant le vol, le pilote avait fait un exposé sur les mesures de sécurité à l'intention des passagers qui satisfaisait aux exigences réglementaires. Le pilote n'a pas déterminé si son exposé était réellement efficace, et il n'était pas tenu de le faire. Il a supposé que tous les passagers avaient compris les instructions de l'exposé.

Or, lorsque les passagers ont dû ouvrir sans aide la porte de la cabine dans une situation d'urgence, ils en ont été incapables, quoiqu'elle était toujours fonctionnelle. L'accident est survenu dans la noirceur, et l'absence d'éclairage d'urgence dans la cabine a probablement été un facteur dans l'incapacité des passagers d'ouvrir la porte.

Si les exposés à l'intention des passagers sur le fonctionnement des portes de la cabine sont inefficaces, l'évacuation des passagers en cas d'accident risque d'être compromise, ce qui pourrait réduire les chances de survie.

En cas d'accident offrant des chances de survie dans un endroit isolé, l'accès à l'équipement de survie est primordial. Les exploitants rangent cet équipement dans des endroits qui sont pratiques pour leurs activités, mais peut-être sous-estiment-ils l'importance de choisir un endroit facile d'accès. Incapables d'accéder à l'équipement de survie, le membre d'équipage et les passagers se sont trouvés momentanément exposés non seulement aux éléments, mais aussi à des risques. Grâce à leurs aptitudes à la survie, ils ont pu surmonter l'inaccessibilité de cet équipement et de leurs vêtements d'hiver habituels, qui étaient rangés eux aussi dans le conteneur de fret ventral.

Si l'on range l'équipement de survie dans un endroit qui risque d'être inaccessible après un accident, comme un conteneur ventral, la survie risque d'être compromise en cas de retard des interventions de recherche et sauvetage.

## 2.7 *Possibilités de survie*

Les qualités d'aviateur du pilote et les mesures qu'il a prises après qu'il ait reconnu la situation ont empêché le décrochage de l'aéronef. Il a réussi à maintenir une vitesse anémométrique minimale malgré la perte d'altitude. Le pilote a tenté de maintenir les ailes de l'aéronef à l'horizontale et a réussi à reprendre la maîtrise de l'aéronef après plusieurs abattées de l'aile. Le pilote avait la maîtrise de l'aéronef et celui-ci était à l'horizontale lorsqu'il a percuté la glace, ce qui a réduit au minimum les dommages structuraux et a accru les chances de survie des occupants.

Le fait d'avoir reconnu que l'aéronef n'atteindrait pas CYZF et l'émission d'un message Mayday avant l'impact ont permis la mise en œuvre des interventions de recherche et sauvetage avant l'accident.

Air Tindi utilise un système de suivi des vols qui assure le suivi et les communications par satellite, ce qui a permis de déterminer le lieu précis de l'accident malgré son éloignement. Les communications vocales par satellite ont elles aussi été essentielles pour réduire le stress du personnel de recherche et sauvetage qui connaissait ainsi l'état dans lequel se trouvaient les occupants. En outre, le pilote a pu rassurer les passagers en confirmant que les interventions de recherche et sauvetage étaient en cours.

Les aptitudes à la survie du membre d'équipage et des passagers étaient essentielles dans une situation qui n'offrait qu'un accès limité à l'équipement de survie à bord de l'aéronef.

## 3.0 *Faits établis*

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

1. Le fait de ne pas avoir utilisé toute l'information en route a amené le pilote à sous-estimer l'ampleur et la durée des conditions givrantes dans lesquelles il allait se trouver.
2. Une connaissance insuffisante des limites de l'aéronef dans des conditions givrantes, ainsi que des calculs de masse et centrage incomplets au départ ont fait en sorte que l'aéronef était trop lourd pour voler dans les conditions givrantes prévues. Le centre de gravité de l'aéronef était au-delà des limites, ce qui a augmenté la vitesse de décrochage et réduit la performance de montée de l'aéronef.
3. Le pilote s'attendait à ce que le vol se déroule à des altitudes où il serait possible d'éviter le givrage ou de monter rapidement à une altitude où il n'y en aurait pas, de sorte qu'il a décidé de poursuivre le vol dans des conditions givrantes excédant les capacités de l'aéronef.
4. L'ampleur des conditions givrantes et la durée du vol dans celles-ci ont réduit la performance aérodynamique de l'aéronef au point où le pilote n'a pu empêcher sa descente.
5. L'incapacité d'interrompre la descente de l'aéronef a mené à l'atterrissage forcé sur la surface du Grand lac des Esclaves et à la collision avec le relief.
6. Le système de type C d'autorégulation des vols par les pilotes en place à Air Tindi ne comprenait ni supervision de l'assurance qualité ni système de soutien suffisant. Ces circonstances ont permis l'autorégulation du vol dans des conditions défavorables à la sûreté du vol.

### 3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. Si les exposés à l'intention des passagers sur le fonctionnement des portes de la cabine sont inefficaces, l'évacuation des passagers en cas d'accident risque d'être compromise, ce qui pourrait réduire les chances de survie.
2. Si l'on range l'équipement de survie dans un endroit qui risque d'être inaccessible après un accident, comme un conteneur ventral, la survie risque d'être compromise en cas de retard des interventions de recherche et sauvetage.

### 3.3 *Autres faits établis*

1. Le pilote avait la maîtrise de l'aéronef et celui-ci était à l'horizontale lorsqu'il a percuté la glace, ce qui a réduit au minimum les dommages structuraux et a accru les chances de survie des occupants.

2. Les aptitudes à la survie du membre d'équipage et des passagers étaient essentielles dans une situation qui n'offrait qu'un accès limité à l'équipement de survie à bord de l'aéronef.

## 4.0 Mesures de sécurité

### 4.1 Mesures de sécurité prises

#### 4.1.1 Air Tindi Ltd.

Immédiatement après l'accident à l'étude, la compagnie a interrompu toutes les activités de ses Cessna 208B. En attendant le rétablissement des activités des Cessna 208B, la compagnie a utilisé des aéronefs multipilotes pour assurer le service aérien régulier vers Fort Simpson (Territoires du Nord-Ouest).

La compagnie a mené une enquête de système de gestion de la sécurité sur l'accident pour en déterminer les causes profondes et les facteurs contributifs. Elle a pris les mesures suivantes :

- Reprise partielle des activités de la flotte de Cessna 208B par suite de la mise en œuvre des mesures suivantes :
  - Exigence d'approbation quotidienne de l'exploitation : le directeur des opérations aériennes doit consulter l'ensemble des bulletins météorologiques, prévisions météorologiques, cartes, et comptes rendus météorologiques de pilote (PIREP), et autoriser les vols en conséquence.
  - Amélioration de la formation : on a développé un cours exhaustif de formation pour commandant de bord de C208, et tout nouveau commandant de bord doit réussir ce cours dans le cadre de son expérience préparatoire en vol. Le cours comprend l'examen d'incidents, l'analyse et l'interprétation des conditions météorologiques, les procédures d'autorégulation des vols par les pilotes, la sortie de conditions givrantes, et le nouveau contenu de l'exposé sur les mesures de sécurité à l'intention des passagers.
  - Amélioration de l'exposé sur les mesures de sécurité à l'intention des passagers relatives au fonctionnement de la porte de cabine.
  - Relocalisation de l'équipement de survie du conteneur de fret ventral à la soute à bagages de la cabine principale.
- Reprise intégrale des activités de la flotte de Cessna 208B après la mise en œuvre des mesures suivantes :
  - Approbation, par le directeur des opérations aériennes, de tous les vols dans des conditions givrantes prévues.
  - Limitation des masses maximales au décollage du Cessna 208B aux masses maximales publiées pour toute la durée la saison annuelle de givrage (du 15 octobre au 15 décembre), et ce, pour tous les vols.
  - Diffusion d'un bulletin sur la procédure de sortie des conditions givrantes à l'intention de tous les pilotes de Cessna 208.
  - Publication de tous les éléments ci-dessus dans le manuel d'exploitation de la compagnie.

- Ayant constaté une lacune au chapitre du soutien opérationnel pour les commandants de bord de Cessna 208, la compagnie a apporté des changements à ses procédures et a créé un pupitre pour les services aériens réguliers. Les services qu'offre ce pupitre comprennent :
  - l'affectation des équipages (s'assurer que l'on adhère aux procédures relatives au commandant de bord, au vol et au temps de service);
  - la surveillance des vols (s'assurer que l'aéronef arrive à destination);
  - la responsabilité du vol, d'une perspective du contrôle d'exploitation;
  - un exposé météorologique et un dossier de renseignements météorologiques pour le commandant de bord;
  - la liste de passagers (s'assurer de la correspondance entre la liste fournie et les passagers qui montent à bord de l'aéronef);
  - le manifeste de marchandises (s'assurer de la correspondance entre le manifeste fourni et le fret que l'on charge à bord de l'aéronef);
  - les commandes de carburant;
  - de l'aide pour préparer le plan de vol (examen conjoint avec le pilote et approbation);
  - de l'aide pour calculer la masse et le centrage (s'assurer de ne pas dépasser les limites maximales de masse durant la saison de givrage, etc.);
  - l'embarquement des passagers (accompagner les passagers jusqu'à l'aéronef).

Air Tindi a modifié ses cours de formation sur la contamination des surfaces et pour commandants de bord de Caravan afin d'atténuer toute transposition des connaissances entre les formations.

On a constaté que le plan d'intervention d'urgence d'Air Tindi était désuet. La compagnie a donc dressé un nouveau plan d'intervention d'urgence qui englobe chacun de ses services. La compagnie donne une formation et mène des exercices pour s'assurer que les employés connaissent bien le manuel.

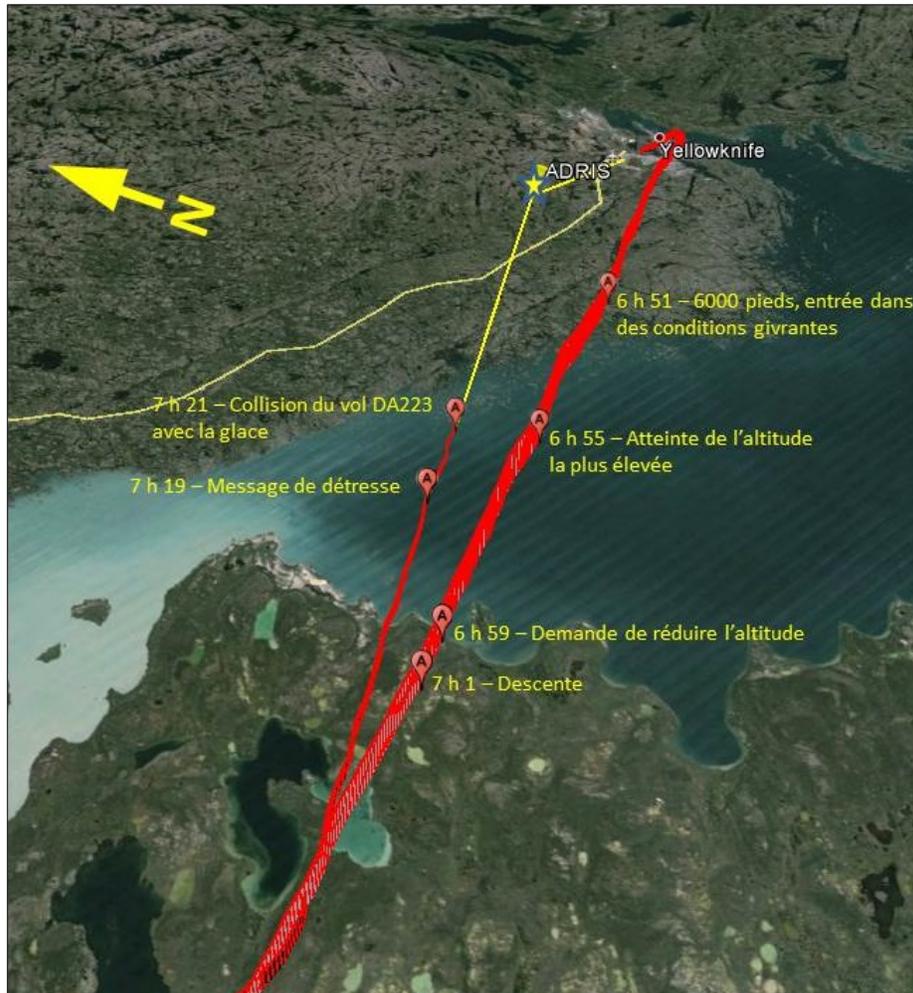
La liste de vérification en cas d'urgence incluse dans le guide *Cessna 208B Quick Reference Handbook* (QRH) a été modifiée pour comprendre l'activation du mode d'urgence du service SKYTRAC.

*Le présent rapport conclut l'enquête du Bureau de la sécurité des transports sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 9 mars 2016. Le rapport a été officiellement publié le 24 mars 2016.*

*Visitez le site Web du Bureau de la sécurité des transports ([www.bst-tsb.gc.ca](http://www.bst-tsb.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 – Données SKYTRAC : trajectoire du vol DA223

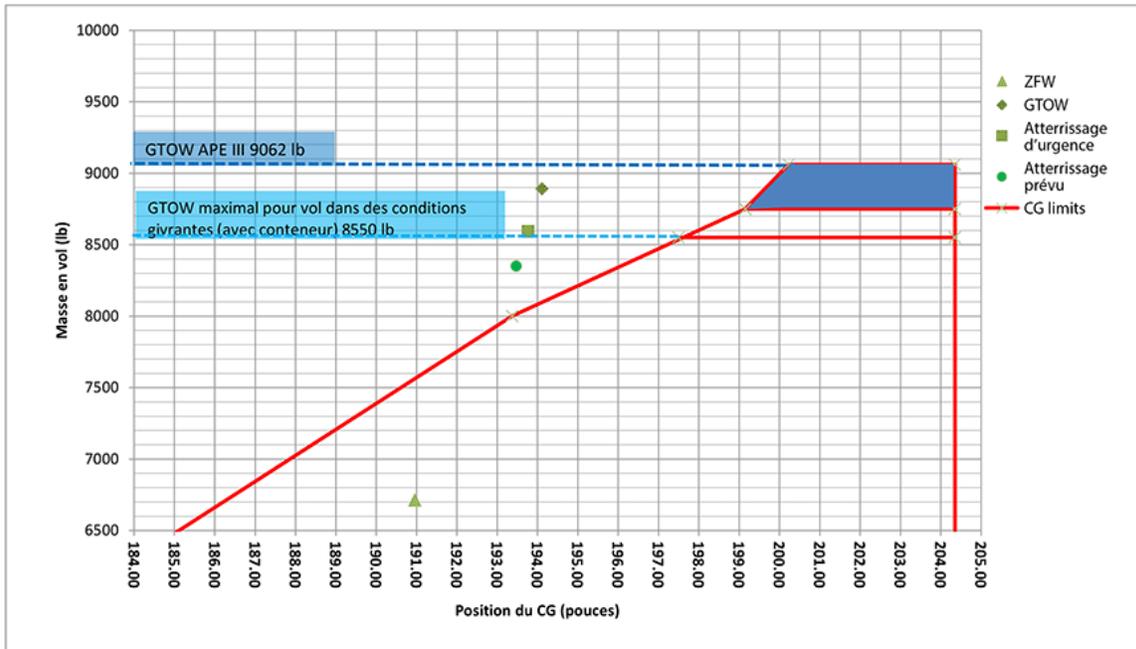


Source : Google Earth, avec annotations du BST

## Annexe B – Devis de masse et centrage de C-FKAY

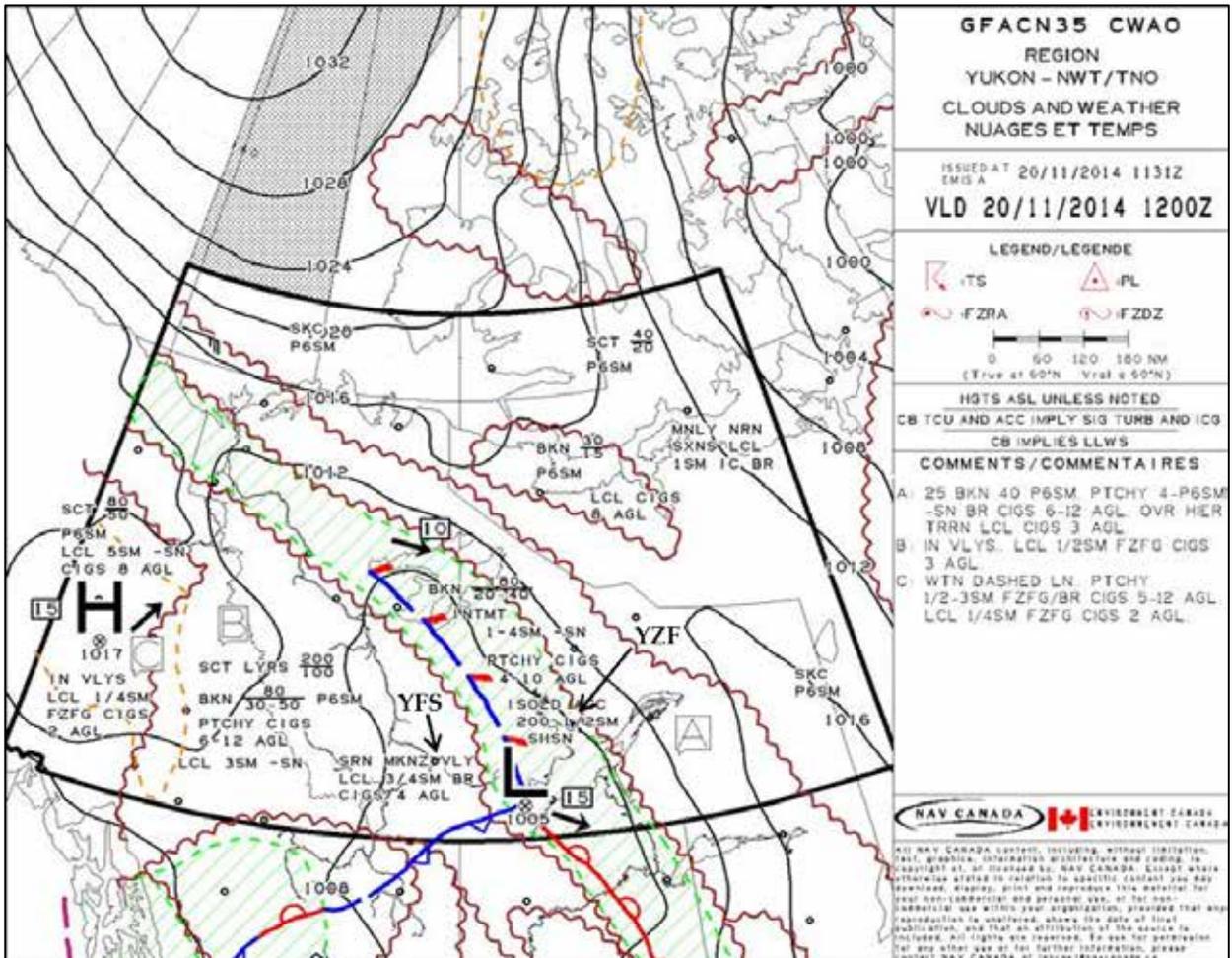
<b>Cessna 208B avec ensemble Aircraft Payload Extender III (certificat de type supplémentaire SA1213SE)</b>				
Aéronef C-FKAY		Masse (lb)	Bras (po)	Moment
				98747
Modification n° 4 configuration « A »		5206,3	189,67	2,90
Pilote	1	200	142,00	28400,00
Passagers rangée 1	2	354	173,90	61560,60
Passagers rangée 2	1	165	209,90	34633,50
Passagers rangée 3	2	365	245,90	89753,50
Fret conteneur A	Max. 230	150	132,40	19860,00
Fret conteneur B	Max. 310	175	182,10	31867,50
Fret conteneur C	Max. 270	0	233,40	0,00
Fret conteneur D	Max. 280	0	287,60	0,00
Fret cabine (zone 6)		23	344,00	7912,00
Équipement de survie		74	275,00	20350,00
<b>SANS CARBURANT (ZFW)</b>		<b>6712,3</b>	<b>190,96</b>	<b>1281810,00</b>
Réservoir principal		2200	203,80	448360,00
<b>MASSE AU ROULAGE</b>		<b>8912,3</b>	<b>194,13</b>	<b>1730170,00</b>
Carburant de roulage		20	203,80	4076,00
<b>Masse au décollage (GTOW)</b>		<b>8892,3</b>	<b>194,11</b>	<b>1726094,00</b>
Carburant consommé *		300	203,80	61140,00
<b>ATTERRISSAGE</b>		<b>8592,3</b>	<b>193,77</b>	<b>1664954,00</b>
* 37 minutes à 362 lb/h = 223 lb (consommation de 300 à cause du réglage soutenu de puissance élevée)				
Carburant consommé **		543	203,80	110660,00

			3,40
<b>ATTERRISSAGE (prévu)</b>	8349,3	193,48	16154
**De YZF à YFS : 1,5 heure à 362 lb/h			30,60

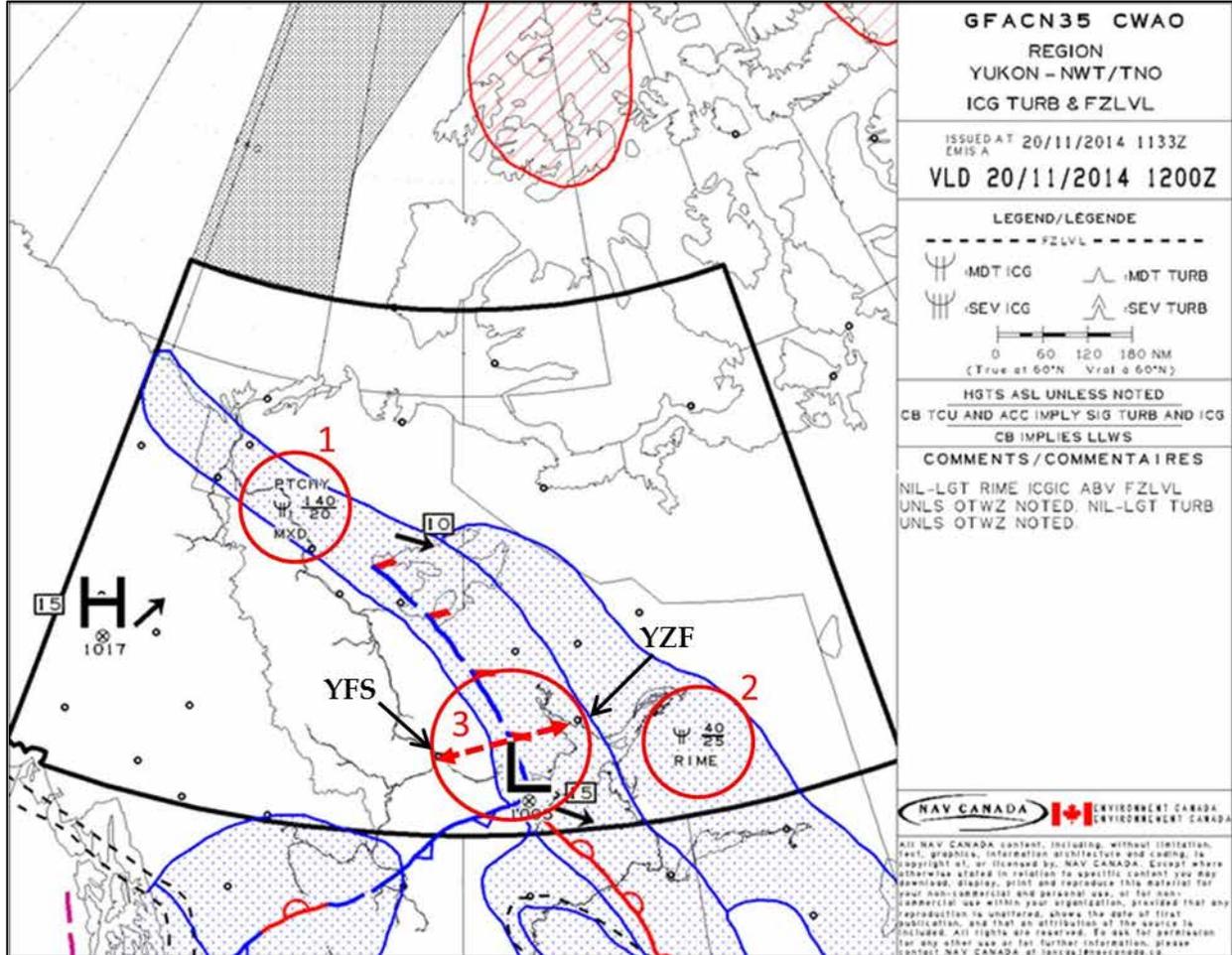


Source des données : Plan de vol du vol DA223

## Annexe C – Prévisions de zone graphique : nuages et conditions météorologiques



Annexe D – Prévisions de zone graphique : givrage et turbulence



- 1 Symbole de givrage mixte, modéré et épars prévu de 2000 à 14 000 pieds asl
- 2 Symbole de givrage blanc modéré prévu de 2500 à 4000 pieds asl
- 3 Trajectoire du vol

*Annexe E – Messages d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) et prévisions d'aérodrome (TAF) pour Yellowknife (CYZF)*

METAR CYZF 201100Z 12012KT 15SM -SN OVC011 M11/M12 A2971 RMK SC8 SLP080=  
METAR CYZF 201200Z 11009KT 15SM -SN OVC013 M11/M12 A2969 RMK SC8 SLP074=  
METAR CYZF 201300Z 10011KT 15SM -SN OVC012 M10/M12 A2967 RMK SC8 SLP068=  
METAR CYZF 201400Z 10012KT 12SM -SN OVC012 M10/M12 A2965 RMK SC8 SLP060=  
SPECI CYZF 201424Z 09011KT 6SM -FZDZ -SN FEW008 OVC012 M10/M12 A2964  
RMK SF1ST8 SF TR SLP058=  
SPECI CYZF 201453Z 10011KT 2SM -FZDZ -SN BR FEW008 OVC013 M11/M12 A2963  
RMK SF1ST7 SLP055=  
METAR CYZF 201500Z 10011KT 1 3/4SM -FZDZ -SN BR FEW008 OVC014 M11/M12 A2963  
RMK SF1ST7 SLP055=

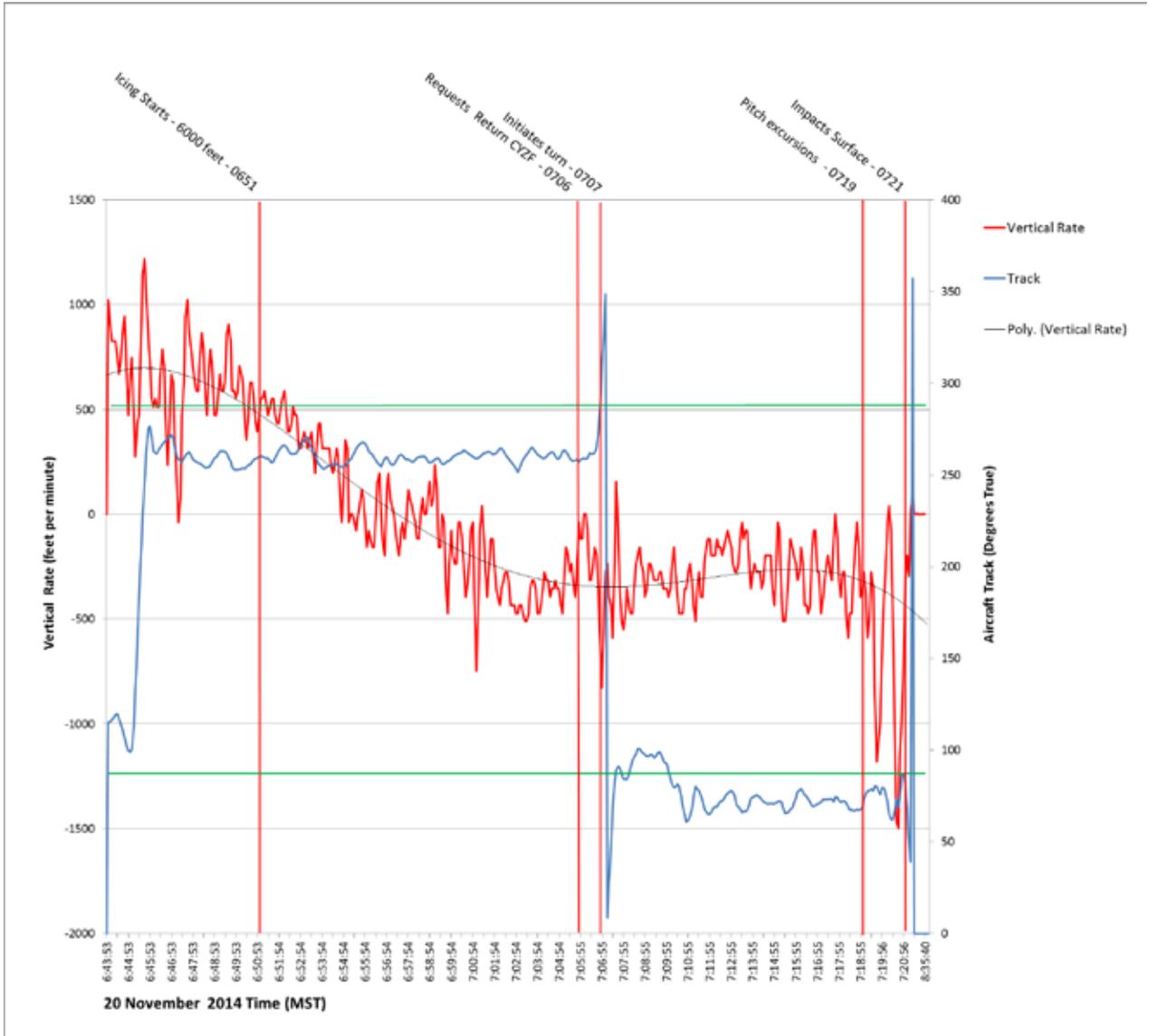
TAF CYZF 200541Z 2006/2106 12012G22KT P6SM SCT006 OVC012 TEMPO  
2006/2015 3SM -SN BR BKN006 OVC012  
FM201500 12012G22KT 3SM -SN OVC008 PROB30 2015/2024 1SM -SN  
OVC004  
FM210000 08010G20KT 6SM -SN SCT008 BKN020  
RMK NXT FCST BY 201200Z=

TAF CYZF 201142Z 2012/2112 12015KT P6SM -SN OVC010 TEMPO 2012/2015  
3SM -SN BKN008  
FM201500 12012G22KT 3SM -SN OVC008 PROB30 2015/2024 1SM -SN  
OVC004  
FM210000 08012KT 6SM -SN SCT008 BKN020  
FM210600 06010KT P6SM BKN025  
RMK NXT FCST BY 201800Z=

TAF AMD CYZF 201444Z 2014/2112 09012KT P6SM -SN OVC012 TEMPO  
2014/2017 2SM -FZDZ -SN OVC008  
FM201700 09012KT 5SM -SN OVC012 TEMPO 2017/2024 2SM -SN OVC006  
PROB30 2017/2022 1SM -SHSN OVC004  
FM210000 08012KT 6SM -SN SCT008 BKN020  
FM210600 06010KT P6SM BKN025  
RMK NXT FCST BY 201800Z=

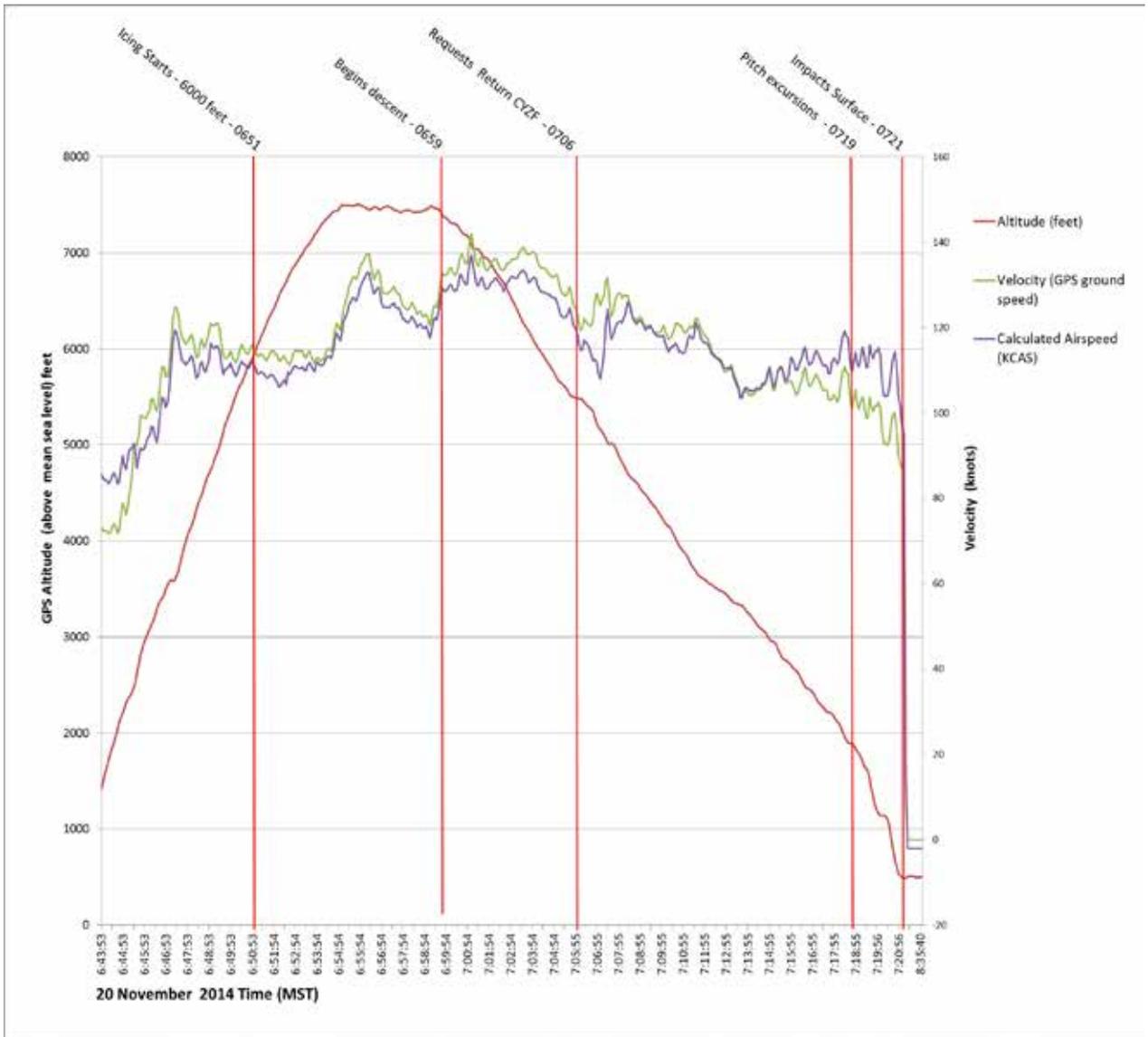
Remarque : Les heures sont exprimées en temps universel coordonné (Z) (heure normale des Rocheuses plus 7 heures).

*Annexe F – Données SKYTRAC : moment de la décision (vitesse ascensionnelle comparativement à la trajectoire)*

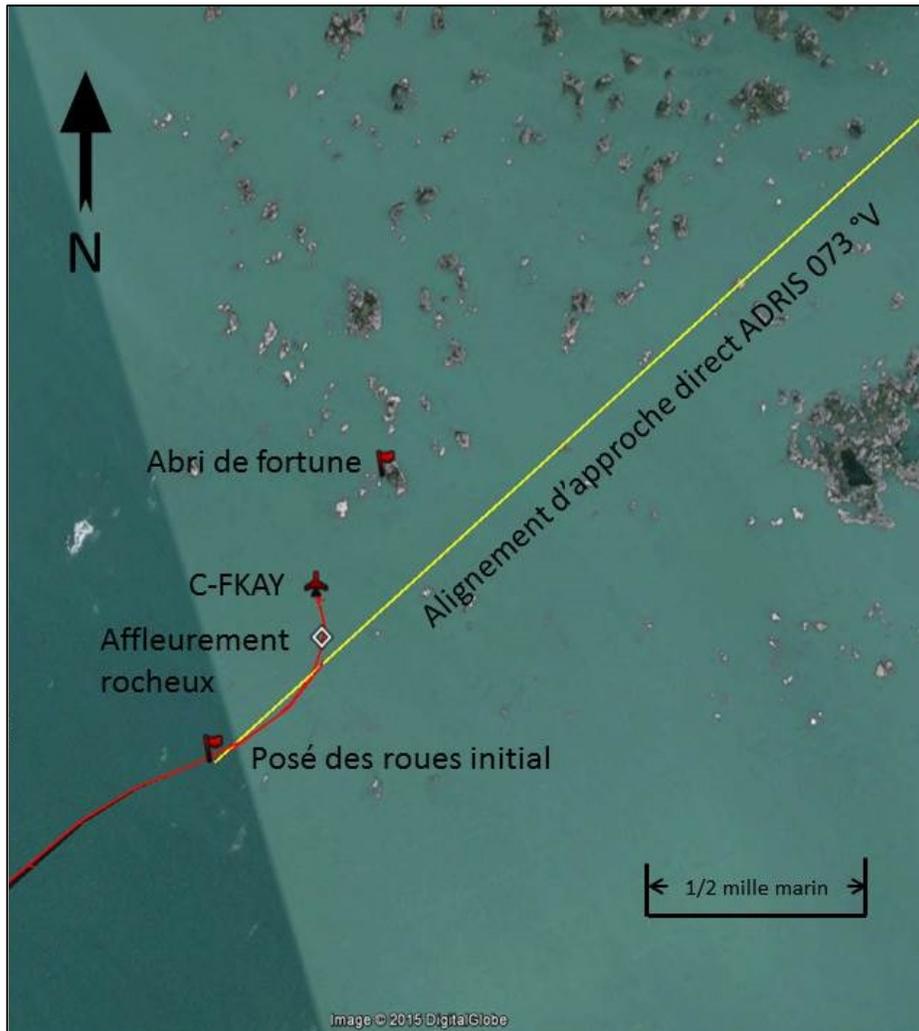


Source des données : Données SKYTRAC du vol DA223 d'Air Tindi

Annexe G – Données SKYTRAC : altitude comparativement à la vitesse anémométrique



Annexe H – Lieu de l'événement



Source : Google Earth, avec annotations du BST