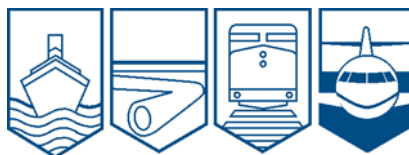


Bureau de la sécurité des transports  
du Canada



Transportation Safety Board  
of Canada

**RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE**  
**A05C0187**



**PERTE DE MAÎTRISE ET COLLISION AVEC LE RELIEF**

**DU CESSNA 208B CARAVAN C-FEXS**  
**EXPLOITÉ PAR MORNINGSTAR AIR EXPRESS INC.**  
**À WINNIPEG (MANITOBA)**  
**LE 6 OCTOBRE 2005**





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

## Rapport d'enquête aéronautique

### Perte de maîtrise et collision avec le relief

du Cessna 208B Caravan C-FEXS  
exploité par Morningstar Air Express Inc.  
à Winnipeg (Manitoba)  
le 6 octobre 2005

Rapport numéro A05C0187

### *Résumé*

Le Cessna 208B Caravan immatriculé C-FEXS (numéro de série 208B0542) exploité par Morningstar Air Express Inc. (indicatif de vol MAL8060) effectue un vol de transport de fret entre Winnipeg (Manitoba) et Thunder Bay (Ontario). Le pilote seul à bord décolle à 5 h 37, heure avancée du Centre. Peu après le décollage, il est autorisé à monter à 9000 pieds au-dessus du niveau de la mer et à procéder directement sur Thunder Bay. Quelques minutes plus tard, l'avion se met en descente. Le pilote demande l'autorisation de revenir immédiatement à l'aéroport international de Winnipeg. L'appareil vire à droite sur un cap sud-ouest, puis la descente se poursuit au-dessous de la couverture radar. Après une descente très prononcée, l'avion s'écrase sur des voies de chemin de fer dans la ville de Winnipeg. Le pilote subit des blessures mortelles; l'avion est détruit par le choc et par le violent incendie qui éclate après l'accident.

*This report is also available in English.*

Ministre des Travaux publics et des Services gouvernementaux Canada 2006  
N° de cat. TU3-5/05-1F  
ISBN 0-662-72898-X

1.0	Renseignements de base .....	1
1.1	Déroulement du vol .....	1
1.2	Victimes .....	1
1.3	Dommmages à l'aéronef .....	1
1.4	Autres dommmages .....	2
1.5	Renseignements sur le personnel.....	2
1.6	Renseignements sur l'aéronef.....	3
1.6.1	Généralités.....	3
1.6.2	Chargement de l'aéronef .....	3
1.7	Renseignements météorologiques .....	6
1.7.1	Généralités.....	6
1.7.2	Conditions prévues .....	6
1.7.3	Conditions observées.....	7
1.7.4	Prévisions de givrage.....	8
1.7.5	Rapports de pilote .....	9
1.7.6	Prévisions préparées après l'accident.....	9
1.7.7	Exposé météorologique du pilote .....	10
1.8	Aides à la navigation .....	10
1.9	Télécommunications .....	11
1.10	Renseignements sur l'aérodrome.....	11
1.11	Enregistreurs de bord .....	11
1.12	Renseignements sur l'épave et sur l'impact .....	12
1.13	Renseignements médicaux et pathologiques .....	13
1.14	Incendie.....	13
1.15	Questions relatives à la survie.....	13
1.16	Essais et recherches .....	13
1.17	Renseignements sur les organismes et sur la gestion .....	14
1.18	Renseignements supplémentaires.....	14
1.18.1	Marchandises dangereuses .....	14
1.18.2	Certification de type canadienne du Cessna 208 .....	14
1.18.3	Utilisation du Cessna 208 dans des conditions givrantes.....	15
1.18.4	Performances de l'avion.....	17
1.18.5	Autres accidents .....	18
2.0	Analyse.....	19
2.1	Conditions météorologiques.....	19
2.2	Préparation de vol .....	19
2.3	Givrage au sol de l'aéronef .....	20
2.4	Chargement de l'aéronef .....	20

2.5	Performances de l'aéronef.....	21
2.6	Examen de l'épave .....	22
2.7	Enregistreurs de bord .....	23
<b>3.0</b>	<b>Conclusions .....</b>	<b>25</b>
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs.....	25
3.2	Faits établis quant aux risques.....	25
3.3	Autres faits établis.....	25
<b>4.0</b>	<b>Mesures de sécurité .....</b>	<b>27</b>
4.1	Mesures prises .....	27
4.1.1	Mesures prises par le Bureau de la sécurité des transports du Canada .....	27
4.1.2	Mesures prises par le National Transportation Safety Board .....	28
4.1.3	Mesures prises par Transports Canada.....	28
4.1.4	Mesures prises par la Federal Aviation Administration .....	29
4.1.5	Mesures prises par Morningstar Air Express Inc. ....	31
4.1.6	Mesures prises par la Cessna Aircraft Company.....	33
4.1.7	Autres mesures prises.....	33
<b>Annexes</b>		
	Annexe A - Calculs de centrage .....	35
	Annexe B - Prévisions de zone graphique pour le trajet .....	37
	Annexe C - Paramètres de givrage .....	41
	Annexe D - Altitude par rapport au taux de montée et au taux de descente .....	43
	Annexe E - Altitude par rapport à la vitesse sol et à la vitesse anémométrique .....	45
	Annexe F - Autres accidents .....	47
	Annexe G - Liste des rapports de laboratoire.....	51
	Annexe H - Sigles et abréviations .....	52

## 1.0 Renseignements de base

### 1.1 Déroutement du vol

La veille de l'accident, l'avion était arrivé à Winnipeg (Manitoba) en provenance de Thunder Bay (Ontario). Il avait passé la nuit dans un hangar chauffé avant d'être remorqué à l'extérieur vers 4 h 10, heure avancée du Centre (HAC)<sup>1</sup>. Le pilote a étudié le dossier météorologique et a fait sa préparation de vol, estimant la durée du vol à deux heures et six minutes. L'avion a été ravitaillé en carburant puis a roulé jusqu'à l'aire de trafic numéro V de l'aéroport international de Winnipeg pour prendre le fret qu'il devait transporter. Une fois le chargement terminé, le pilote a obtenu une autorisation de vol selon les règles de vol aux instruments (IFR)<sup>2</sup> pour se rendre à Thunder Bay. Le pilote a roulé jusqu'à la piste 36, a reçu son autorisation de décollage et a décollé.

Pendant environ une minute, l'avion est monté sur le cap de la piste jusqu'à une altitude de 1300 pieds au-dessus du niveau de la mer (asl), soit 500 pieds au-dessus du sol (agl). Ayant été autorisé à monter à 9000 pieds asl et à procéder directement sur Thunder Bay, le pilote a tourné pour prendre le cap de sa destination. L'avion a poursuivi sa montée et a finalement atteint 2400 pieds asl environ deux minutes et demie après le décollage. L'avion a alors commencé à descendre progressivement à quelque 400 pieds par minute (pi/min) et s'est finalement retrouvé au-dessous de la couverture radar. L'accident s'est produit avant le lever du soleil, à 5 h 43. Le service d'incendie et de soins médicaux d'urgence de Winnipeg a été alerté et des pompiers d'un poste avoisinant sont intervenus.

### 1.2 Victimes

	Équipage	Passagers	Tiers	Total
Tués	1	-	-	1
Blessés graves	-	-	-	-
Blessés légers/indemnes	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1</b>

### 1.3 Dommages à l'aéronef

L'avion a été détruit par le choc et par l'incendie qui a éclaté après l'accident.

<sup>1</sup> Les heures sont exprimées en HAC (temps universel coordonné [UTC] moins cinq heures).

<sup>2</sup> Voir l'Annexe H – Sigles et abréviations.

## 1.4 *Autres dommages*

Plusieurs sections des voies nord et sud de la voie principale de chemin de fer ont subi des dommages liés à l'impact et à l'incendie au point milliaire 1,1 de la subdivision Rivers du Canadien National (CN), près de l'intersection de la rue Donald et de l'avenue Corydon, à Winnipeg.

## 1.5 *Renseignements sur le personnel*

	Commandant de bord
Licence	pilote de ligne
Date d'expiration du certificat médical	1 <sup>er</sup> décembre 2005
Heures de vol totales	4570
Heures de vol sur type	1500
Heures de vol dans les 90 derniers jours	57
Heures de vol sur type dans les 90 derniers jours	57
Heures de service avant l'accident	2
Heures libres avant la prise de service	12

Le pilote avait commencé à voler sur Cessna 208 pour le compte de Morningstar Air Express Inc. (Morningstar) en novembre 2000. Ses vérifications de compétence pilote (PPC) et ses renouvellements de qualification de vol aux instruments ont été examinés. Lors de sa PPC en février 2005, le pilote avait obtenu une évaluation satisfaisante pour l'entrée dans des conditions givrantes. Le pilote avait réussi sa dernière séance de formation sur simulateur en janvier 2005. En avril 2005, il avait suivi avec succès sa dernière formation périodique au sol. Cette formation portait sur les marchandises dangereuses, la contamination des surfaces, le givrage au sol et en vol, les procédures d'urgence, la survie, la gestion des ressources du poste de pilotage, les impacts sans perte de contrôle, les matériaux dangereux en milieu de travail, l'équipement minimal et la sûreté au sein de la compagnie.

Le pilote était titulaire d'une licence de pilote de ligne délivrée le 9 avril 1999 et d'une qualification de vol aux instruments du groupe 3. Sa licence était validée par un certificat médical de catégorie 1. Le carnet de vol du pilote n'a pas été retrouvé. Toutefois, un examen des dossiers de Transports Canada et de ceux de l'exploitant a permis d'établir que le pilote avait effectué quelque 1500 heures de vol sur Cessna 208 et qu'il totalisait environ 4570 heures de vol, dont 19 dans les 30 jours ayant précédé l'accident.

Au jour de l'accident, le pilote était basé à Moncton (Nouveau-Brunswick), mais il avait été relocalisé temporairement à Winnipeg pour remplacer un autre pilote qui était en vacances. Le 2 octobre 2005, le pilote s'était rendu de Moncton à Winnipeg. Le 3 octobre, il avait effectué 4,8 heures de vol au cours d'un aller-retour entre Winnipeg et Thunder Bay. Il avait été en réserve du 4 octobre au 5 octobre jusqu'à 14 h.



D'après les dossiers, le pilote était descendu dans un hôtel de l'endroit et il est entré dans sa chambre d'hôtel pour la dernière fois le 5 octobre 2005 à 13 h 10. Il a fait plusieurs appels téléphoniques, dont le dernier à 19 h 37. Il s'est présenté au travail à l'aéroport international de Winnipeg le 6 octobre vers 3 h 15; il était frais et dispos et de bonne humeur.

## 1.6 Renseignements sur l'aéronef

Constructeur	Cessna Aircraft Company
Type et modèle	208B Caravan (avec nacelle ventrale optionnelle)
Année de construction	1996
Numéro de série	208B0542
Certificat de navigabilité	délivré le 2 décembre 2003
Heures de vol cellule	6724
Moteur	1 moteur Pratt & Whitney Canada PT6A-114A
Hélice	1 hélice McCauley Accessory Division 3GFR34C703/106GA-0
Masse maximale autorisée au décollage	8750 lb (8550 lb dans des conditions givrantes)
Types de carburant recommandés	Jet A, Jet A-1, Jet B
Type de carburant utilisé	Jet A-1

### 1.6.1 Généralités

Les dossiers de maintenance indiquent que l'avion était entretenu conformément aux procédures approuvées décrites dans le manuel de contrôle de maintenance (MCM) de la compagnie. L'avion avait fait l'objet d'une inspection de phase 12 le 6 septembre 2005, 94 heures de vol avant l'accident. Selon l'information recueillie, l'avion ne présentait aucun non-fonctionnement connu avant le vol.

### 1.6.2 Chargement de l'aéronef

L'exploitant utilisait un système approuvé de régulation des vols par les pilotes eux-mêmes. En vertu de ce système, il incombait au pilote de faire les calculs de masse et centrage avant chaque vol. Si cela était possible, le pilote devait laisser une copie du devis de masse et centrage au point de départ<sup>3</sup>. Aucune copie du devis de masse et centrage n'a été trouvée au point de départ, mais un devis de masse et centrage incomplet et endommagé a été trouvé sur les lieux de l'accident pour le vol ayant mené à l'accident. Ce devis ne faisait pas état des calculs de masse et centrage de l'avion au décollage. Le pilote avait rempli les cases de masse et centrage pour la

<sup>3</sup> L'enquête a révélé que les pilotes de Caravan de la compagnie qui étaient basés à Winnipeg ne laissaient généralement pas de copie du devis de masse et centrage au point de départ.

masse de base de l'avion (4842 livres, indice 437<sup>4</sup>), le carburant au décollage (1600 livres, indice 39) et le poids du pilote (120 livres, indice 985). Les nombres 7030, 4842 et 2188 avaient été inscrits dans la case des remarques d'une colonne sans aucune notation arithmétique.

Selon les dossiers techniques du C-FEXS, l'avion avait une masse de base de 4844 livres et un indice de 436,83. L'enquête a révélé une erreur dans le calcul de la masse de base consignée pour l'avion. Lors du remplacement d'une batterie au plomb par une batterie cadmium-nickel plus légère, la différence de masse entre les deux batteries avait été ajoutée à la masse de base de l'avion alors qu'elle aurait dû être soustraite. La masse de base réelle de l'avion était de 4837 livres, ce qui donnait un indice de 438,18.

À l'arrêt du moteur la veille, au terme du vol entre Thunder Bay et Winnipeg, il restait 1225 livres de carburant dans l'avion. Avant le vol ayant mené à l'accident, 242 litres de carburant Jet A-1 ont été versés dans l'avion, ce qui a augmenté la masse du carburant de l'avion sur l'aire de trafic à 1677 livres. Un point fixe a été fait, et l'avion a roulé de l'aire de trafic numéro II à l'aire de trafic numéro V pour y prendre son chargement, puis il a roulé jusqu'à la piste 36 en vue du décollage. Selon les estimations, l'avion a dû brûler environ 70 livres de carburant pendant les manœuvres au sol. La masse du carburant au décollage a été estimée à quelque 1607 livres.

Le fret n'a pas pu être pesé pendant l'enquête en raison des dommages liés à l'impact et à l'incendie. Le manifeste remis au pilote indiquait que la masse du fret s'élevait à 2288 livres. Cette masse avait été obtenue en ajoutant la masse du fret provenant de Winnipeg (570 livres) à la masse du fret provenant de Toronto en Ontario (1718 livres). La masse du fret de Winnipeg avait été calculée en soustrayant le poids à vide (tare) du conteneur de la masse totale du conteneur et du fret. Toutefois, un poids à vide incorrect de 300 livres avait été utilisé alors que le poids à vide indiqué sur le conteneur utilisé pour le fret de Winnipeg était de 308 livres, ce qui veut dire que la masse du fret de Winnipeg était de 562 livres.

La masse du fret provenant de Toronto avait également été calculée en soustrayant le poids à vide du conteneur de la masse totale. Toutefois, pendant l'enquête, la compagnie de transport de fret a constaté que le poids à vide de 674 livres indiqué sur le conteneur utilisé pour le fret de Toronto était incorrect et que, en plus, il s'était produit une erreur de calcul lorsque le poids à vide avait été soustrait de la masse totale. Le conteneur utilisé pour le fret de Toronto a été pesé, et son poids réel était de 470 livres. En conséquence, la masse réelle du fret de Toronto s'élevait à 1912 livres, d'où une masse totale du fret de 2474 livres.

La masse maximale autorisée au décollage du Caravan est de 8750 livres. La masse maximale pour le vol dans des conditions givrantes connues avec la nacelle ventrale est fixée à 8550 livres. Pour le vol ayant mené à l'accident, la masse au décollage calculée avec la masse corrigée de l'avion, du carburant et du fret s'élevait à 9038 livres, soit 288 livres de plus que la masse maximale autorisée au décollage et 488 livres de plus que la masse maximale autorisée pour le vol dans des conditions givrantes connues.

La cabine du Caravan est un compartiment ouvert situé derrière les sièges du poste de pilotage. Le poste de pilotage et la cabine sont séparés par une cloison et des filets de retenue du fret. La cabine est divisée en six zones, la zone 1 se trouvant à l'extrémité avant de la cabine et la zone 6

---

<sup>4</sup> Les indices permettent de simplifier les calculs de centrage.

à l'extrémité arrière. Chaque zone est assujettie à une masse maximale de chargement qui varie selon que le fret dans chaque zone est arrimé avec des sangles ou qu'il n'est pas arrimé et est protégé par des cloisons. Quand le fret n'est pas arrimé, la masse maximale d'une zone est basée sur une densité maximale du fret de 7,9 livres par pied cube multipliée par le volume de la zone. L'avion était également équipé d'une nacelle ventrale pour le transport de fret. La nacelle était divisée en quatre compartiments. Le compartiment A se trouvait à l'extrémité avant de la nacelle, et le compartiment D à son extrémité arrière. Une masse maximale de chargement était fixée pour chaque compartiment.

L'exploitant aérien utilisait la méthode de chargement en vrac, et le personnel de chargement avait été avisé de placer les articles les plus lourds dans la partie avant de la cabine pour le vol ayant mené à l'accident. Tout le fret avait été placé dans la cabine et dans la nacelle ventrale de l'avion, mais il n'était pas arrimé. La masse totale du fret était connue, mais la masse réelle du fret placé dans chaque zone avait été estimée. L'avion a été chargé peu avant le décollage, et le fret a été placé dans les zones 1 à 5 de la cabine. Un filet a été installé derrière le fret, entre les zones 5 et 6. La zone 6 a été laissée vide. Plusieurs articles dont la masse avait été estimée à 200 livres n'ont pu être chargés en avant du filet et ont été placés dans les compartiments B et C de la nacelle ventrale.

Le manuel de vol du Cessna 208B indique que : [Traduction] « des précautions doivent être prises afin de protéger les limites avant et arrière du centre de gravité . . . Un moyen de protéger la limite arrière du centre de gravité consiste à délimiter une zone d'avertissement signalant un emplacement arrière du centre de gravité entre 38,33 % de la corde aérodynamique moyenne (MAC) et la position maximale arrière permise pour le centre de gravité, à savoir 40,33 % de la MAC. Cette zone d'avertissement se matérialise par un ombrage sur l'enveloppe du moment du centre de gravité et les limites du centre de gravité. **Cette zone ombrée ne devrait être utilisée que s'il est possible d'établir la position exacte du centre de gravité.** » (Le caractère gras figure dans le manuel de vol.)

L'enquête n'a pas permis d'établir avec précision la position du centre de gravité de l'avion, puisque le fret chargé dans chaque zone n'avait pas été pesé séparément. Toutefois, des calculs ont montré que, en cas de chargement à l'intérieur des limites de masse de chaque zone ou compartiment, le centre de gravité devrait vraisemblablement se trouver dans une plage allant de 36,2 à 40,1 % de la MAC. La partie comprise entre 38,33 et 40,1 % de la MAC se trouverait alors dans la zone d'avertissement ombrée indiquée par extrapolation dans le graphique des limites de centrage (voir l'Annexe A – Calculs de centrage).

Des essais de chargement en vrac ont été effectués dans le cadre de l'enquête. Il a été établi que, sauf si le fret de chaque zone était pesé, il se pouvait que la densité du fret dépasse 7,9 livres par pied cube sans que l'on s'en rende compte, de sorte que la masse de la zone pouvait dépasser la masse maximale de la zone pour le fret non arrimé.

## 1.7 Renseignements météorologiques

### 1.7.1 Généralités

Le jour de l'accident, le sud du Manitoba était sous l'influence d'un important système dépressionnaire et d'une onde frontale occluse se trouvant au-dessus du lac Supérieur à 4 h. Ce système s'était déplacé vers l'est et avait traversé la région de Winnipeg la veille de l'accident et avait amené la première importante chute de neige de la saison. Dans le sillage de ce système, des vents forts, des stratocumulus donnant un plafond fragmenté à couvert et de la faible neige étaient présents sur le sud du Manitoba. Des conditions météorologiques de vol aux instruments (IMC) prévalaient sur le sud du Manitoba, le nord-ouest de l'Ontario et le nord du Minnesota.

### 1.7.2 Conditions prévues

Une prévision d'aérodrome (TAF) pour Winnipeg a été émise à 0 h 38 le jour de l'accident et a été modifiée à 3 h 44 et 5 h 4 pour tenir compte des changements à la visibilité et au plafond. La version modifiée de la TAF émise à 5 h 4 et couvrant la période comprise entre 5 h et 9 h faisait état des conditions suivantes : vent du 360° à 15 nœuds avec rafales à 25 nœuds, visibilité supérieure à six milles terrestres (sm) dans de la faible neige, nuages épars à 800 pieds agl, plafond de nuages fragmentés à 3000 pieds agl et ciel couvert à 7000 pieds agl; visibilité de 3 sm dans de la faible neige par endroit avec plafond de nuages fragmentés à 600 pieds.

Les prévisions de zone graphique (GFA) sont publiées quatre fois par jour et couvrent une période de 12 heures. Chaque publication se compose d'un ensemble de six cartes : deux cartes valides au début de la période de prévision, deux cartes valides 6 heures après le début de la période de prévision et deux dernières cartes valides 12 heures après le début de la période de prévision. Deux cartes sont publiées pour chaque moment précis de la période couverte; la première illustre les nuages et le temps, alors que la deuxième précise le givrage, la turbulence et le niveau de congélation. Des modifications aux prévisions de zone sont publiées sous la forme d'AIRMET. Des GFA valides à 1 h et 7 h pour la région des Prairies, ce qui incluait Winnipeg et ses environs, avaient été publiées respectivement à 0 h 31 et 0 h 41 (voir l'Annexe B – Prévisions de zone graphique pour le trajet). Aucun AIRMET modifiant ces GFA n'avait été publié.

La carte des nuages et du temps valide à 1 h décrivait un système dépressionnaire ayant une pression centrale de 1009 millibars sur le nord-ouest du Minnesota. Pour le sud-est du Manitoba, dont la région de Winnipeg, les prévisions annonçaient un couvert nuageux avec un plafond de 1500 pieds asl et des couches nuageuses culminant à 22 000 pieds asl, une visibilité de 1 à 3 sm dans de la neige faible à modérée, la visibilité pouvant chuter par endroit à ½ sm dans de la neige modérée et de la poudrière. Les prévisions annonçaient un plafond de 500 à 1000 pieds agl dans de vastes zones, et par endroit un plafond à 200 pieds agl. Pour l'extrême sud-est du Manitoba, les prévisions annonçaient des chutes isolées de granules de glace.

La carte du givrage et de la turbulence valide à 1 h faisait état d'un système dépressionnaire sur le nord du Minnesota accompagné d'un courant-jet à basse altitude avec des vents du nord-est à 60 nœuds au nord du creux situé au-dessus du Manitoba, à proximité du lieu de l'accident; la

carte annonçait également de la turbulence mécanique d'intensité moyenne à forte de la surface à 4000 pieds agl. La carte faisait état d'un niveau de congélation à la surface à proximité de Winnipeg, niveau qui devait monter à 2500 pieds asl au sud-est. Elle faisait également état de givre mixte modéré du niveau de congélation jusqu'à 20 000 pieds asl sur la majeure partie du sud du Manitoba, y compris la région de Winnipeg. De plus, cette carte annonçait par endroit dans la pointe située à l'extrême sud-est du Manitoba, du givre mixte important du niveau de congélation jusqu'à 18 000 pieds asl.

La carte des nuages et du temps valide à 7 h décrivait un système dépressionnaire qui se déplaçait du nord-est vers l'Ontario. Pour le sud-est du Manitoba, y compris la région de Winnipeg, les prévisions annonçaient un couvert nuageux avec un plafond de 1500 pieds asl et des couches nuageuses culminant à 18 000 pieds asl ainsi qu'une visibilité de 1 à 3 sm dans de la faible neige; dans de vastes zones, un plafond de 400 à 1000 pieds agl ainsi que des nuages de convection épars culminant à 18 000 pieds asl; une visibilité de 3/4 sm dans de la faible neige et de la poudrière par endroit. Des conditions météorologiques de vol à vue (VMC) étaient prévues pour le sud-ouest du Manitoba, juste à l'ouest de Winnipeg.

La carte du givrage et de la turbulence valide à 7 h décrivait de la turbulence mécanique modérée de la surface jusqu'à 3000 pieds agl sur le sud-est du Manitoba, y compris la région de Winnipeg. Cette carte faisait état de givre mixte modéré dans les nuages entre le niveau de congélation et 16 000 pieds asl sur le sud-est du Manitoba, la bordure ouest du givre prévu se situant juste à l'est de Winnipeg.

Des messages renfermant des renseignements météorologiques significatifs (SIGMET) donnent des avertissements à court terme sur certains phénomènes météorologiques potentiellement dangereux, dont le givrage. Le jour de l'accident, aucun SIGMET n'a été publié pour la région de Winnipeg.

### 1.7.3 Conditions observées

Une observation météorologique spéciale (SPECI) faite à Winnipeg à 5 h 31 faisait état des conditions suivantes : vent du 360° à 15 nœuds avec rafales à 20 nœuds, visibilité de 4 sm dans de la faible neige et de la brume, plafond de nuages fragmentés à 1000 pieds agl et ciel couvert à 5300 pieds agl. Le message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) de 6 h faisait état des conditions suivantes : vent du 360° à 15 nœuds, visibilité de 6 sm dans de la faible neige et de la brume, nuages épars à 700 pieds agl, nuages fragmentés à 1700 pieds agl, ciel couvert à 5500 pieds agl, température de -1 °C, point de rosée de -1 °C, calage altimétrique de 30,26 pouces de mercure), remarques : 4 octas de stratus fractus, 2 octas de stratocumulus et 2 octas de stratocumulus. Le METAR de 7 h faisait état des conditions suivantes : vent du 360° à 13 nœuds, visibilité de 15 sm dans de la faible neige, nuages fragmentés à 800 pieds agl, nuages fragmentés à 4000 pieds agl, température de -1 °C, point de rosée de 1 °C, calage altimétrique de 30,27 pouces de mercure; remarques : 5 octas de stratus fractus et 2 octas de stratocumulus.

Un aéronef qui a décollé de Winnipeg deux minutes avant le C-FEXS était équipé d'un enregistreur de données de vol (FDR) qui a été analysé par le Laboratoire technique du BST. Le FDR révèle que la température en vol à 1800 pieds asl était de -2 °C et que, à 2400 pieds asl, elle était de -3 °C.

#### 1.7.4 Prévisions de givrage

L'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) définit l'intensité du givrage en fonction de l'accrétion de la glace sur l'aéronef. Les définitions qui suivent sont tirées du *Manuel des normes et procédures des prévisions météorologiques pour l'aviation* (MANAIR) d'Environnement Canada :

- Givrage léger - Le taux d'accrétion de la glace est tel qu'un certain danger peut exister si on n'utilise pas de système de dégivrage lors d'un vol de plus d'une heure. L'emploi intermittent d'un système antigivrage ou de dégivrage élimine ou empêche l'accumulation de glace. En utilisant un tel système, on peut voler sans problème.
- Givrage modéré - Le taux d'accrétion de la glace est tel que même de courtes périodes d'exposition peuvent devenir dangereuses. On doit alors utiliser un système antigivrage ou de dégivrage, ou encore changer de route.
- Givrage fort - Le taux d'accrétion de la glace est tel que les systèmes de dégivrage ou antigivrage ne parviennent pas à réduire le danger. Il faut immédiatement changer de route.

En météorologie, les prévisionnistes canadiens répartissent le givrage dans les catégories nul, traces, léger, modéré et fort quand ils élaborent leurs prévisions; pour ce faire, ils se basent sur des estimations subjectives de la façon dont les conditions vont affecter le comportement des aéronefs, selon les définitions qui précèdent. La National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) utilise un programme appelé Current Icing Potential (CIP)/Forecast Icing Potential (FIP) (risque de givrage actuel/risque de givrage prévu), lequel est capable de prévoir les traces de givrage au-dessus du sud du Canada. Parmi les facteurs dont tiennent compte les prévisionnistes, on trouve la température, l'activité convective, le contenu des nuages en eau sous forme liquide ainsi que la taille des gouttes d'eau. Pour produire les prévisions sur les nuages, on évalue des renseignements provenant de la détection en altitude, de radars météorologiques, d'imagerie satellitaire, d'observations météorologiques de surface, de rapports de pilote et de modèles informatisés.

Différents types d'aéronef peuvent avoir des degrés de tolérance très variables dans des conditions givrantes; les effets pouvant être minimes sur certains et très importants sur d'autres, même s'ils sont confrontés aux mêmes conditions givrantes. Ces différences peuvent s'expliquer par la diversité des profils aérodynamiques, de la puissance, de la traînée, de la vitesse et de l'altitude d'exploitation des aéronefs et par d'autres considérations. Les aéronefs capables de voler à vitesse élevée peuvent réduire ou éviter l'accumulation de glace dans la plage de températures critiques située juste au-dessous de 0 °C, laquelle prévalait dans la région de Winnipeg au moment de l'accident, en évoluant à des vitesses où la compression et la friction font augmenter la température du revêtement de l'aéronef au-dessus du point de congélation. Le Cessna 208 évolue à des vitesses relativement faibles par rapport à la plupart des autres avions turbopropulsés, là où les effets de la friction et de la compression sont réduits. Les prévisionnistes ne tiennent pas compte du type d'aéronef lorsqu'ils préparent les prévisions de givrage.

Les accumulations de glace les plus importantes sur un aéronef se produisent généralement à des températures situées juste au-dessous du point de congélation; les risques de givrage diminuent à des températures plus basses.

### 1.7.5 *Rapports de pilote*

Un examen des dossiers du contrôle de la circulation aérienne (ATC) a révélé la présence de plusieurs autres aéronefs au départ et à l'arrivée de l'aéroport international de Winnipeg au moment de l'accident. Aucun autre incident ni problème de contrôle n'a été signalé par ces aéronefs. D'après les dossiers de NAV CANADA, cinq rapports de pilote (PIREP) ont été reçus par NAV CANADA dans l'heure qui a suivi l'accident. Les PIREP provenaient de divers types d'aéronef, dont un petit appareil (Piper PA-31 Navajo) et un avion lourd (Boeing 727). Ces PIREP indiquaient que les pilotes avaient rencontré du givrage allant de nul à léger dans des nuages dont le sommet était situé entre 5000 et 6000 pieds asl. Un Beechcraft Baron ayant décollé de la piste 36 de l'aéroport de Winnipeg à 6 h 15 a rencontré des conditions de givrage léger en montée et en croisière en direction de Fort Frances (Ontario). Tous les PIREP ont été faits par des appareils à aile cantilever (non haubannée), avec un train d'atterrissage rentrant et sans nacelle ventrale et qui évoluaient à des vitesses supérieures à celle du Cessna 208.

### 1.7.6 *Prévisions préparées après l'accident*

Plusieurs prévisions après l'accident ont été demandées, ce qui a permis d'examiner rétrospectivement les données météorologiques disponibles afin de déterminer les conditions météorologiques qui prévalaient au moment de l'accident. Une analyse météorologique effectuée par Environnement Canada après l'accident indique que la seule turbulence importante se serait trouvée dans les niveaux inférieurs et aurait été une turbulence mécanique allant de légère à modérée. L'image satellite et les données météorologiques de surface indiquaient une importante présence de stratocumulus donnant un plafond fragmenté ou un couvert nuageux sur la région. Cette couche humide et instable d'un point de vue convectif, qui se trouvait entre 2000 et 6000 pieds asl et à l'intérieur de laquelle la température de l'air se situait entre -3 °C et -10 °C, était propice au givrage. Une étude météorologique a été préparée par le National Transportation Safety Board (NTSB) des États-Unis pour le représentant accrédité du NTSB participant à l'enquête du BST. Cette analyse a conclu que, à 5 h, il y avait une importante masse d'air donnant des conditions givrantes sur Winnipeg et à l'est, les probabilités de givrage de la cellule étant supérieures à 70 %. D'après les estimations, il est peu probable que des gouttelettes d'eau surfondue<sup>5</sup> aient été présentes dans la masse d'air sur Winnipeg et sur la route que devait suivre l'avion pour se rendre à Thunder Bay.

---

<sup>5</sup> La taille des gouttes ou des gouttelettes d'eau dans un nuage est importante pour connaître l'importance du givrage, car plus un nuage contient d'eau et plus les gouttes sont grosses, plus grandes sont les chances qu'elles percutent l'avion et gèlent à sa surface. Les petites gouttelettes d'un nuage – de moins de 30 microns (30 millièmes de mètre) de diamètre – ont moins de chance de toucher à l'avion parce qu'elles sont légères et ont tendance à suivre l'écoulement de l'air. Les grosses gouttes comme la bruine verglaçante (100 à 500 microns) ou la pluie verglaçante (500 à 3000 microns) ont plus de chance de toucher l'aéronef à cause de leur force d'inertie. Référence : Bulletin Science et Environnement de janvier/février 2000 publié par Environnement Canada.

### 1.7.7 *Exposé météorologique du pilote*

En vertu d'une entente conclue entre Morningstar et NAV CANADA, le centre d'information de vol (FIC) de Winnipeg transmet par télécopieur au FBO (exploitant de services aéronautiques d'aéroport) auquel ont recours les pilotes de Morningstar, un dossier météorologique, et ce, du lundi au vendredi. Ce dossier est composé de deux parties : la première donne l'information textuelle (les METAR ou observations météorologiques, les TAF, les NOTAM ainsi que l'information sur les vents en altitude sur la route entre Winnipeg et Thunder Bay); la seconde donne l'information graphique (soit les GFA de la région des Prairies). L'enquête a révélé que l'entente avait été modifiée de façon non officielle à un moment donné, de sorte que les dossiers télécopiés au FBO du mardi au vendredi ne contenaient plus l'information graphique.

Le jour de l'accident, le dossier météorologique a été télécopié au FBO à 2 h 30. Seule l'information textuelle a été télécopiée. Le pilote a donc reçu l'information suivante :

- les METAR de 2 h pour Winnipeg et les aéroports le long de la route jusqu'à Thunder Bay;
- les TAF pour Winnipeg et les aéroports le long de la route jusqu'à Thunder Bay;
- les NOTAM pour Winnipeg et les aéroports le long de la route jusqu'à Thunder Bay;
- les vents en altitude pour Winnipeg et pour des points le long de la route jusqu'à Thunder Bay.

À 4 h 10, le pilote a téléphoné au FIC pour obtenir un exposé sur les conditions givrantes et a indiqué que les cartes GFA n'avaient pas été télécopiées. Le pilote n'a mentionné ni le trajet qu'il allait suivre ni le type d'aéronef, et la personne qui a fait l'exposé ne lui a pas demandé ces renseignements. L'exposé comprenait de l'information sur les cartes de turbulence et de givrage valides pour Winnipeg à 1 h et 7 h, y compris le givrage prévu dans la région de Winnipeg et dans l'est du Manitoba.

Le pilote a reçu le message India du Service automatique d'information de région terminale (ATIS) de Winnipeg avant de demander son autorisation IFR à 5 h 30. Le message India de l'ATIS donnait le METAR de 5 h qui faisait état des conditions suivantes : vent du 350° à 16 nœuds, visibilité de 3 sm dans de la faible neige et de la brume, plafond fragmenté à 700 pieds agl, plafond fragmenté à 1600 (pieds agl), ciel couvert à 6200 pieds agl, température de 0 °C, point de rosée de 0 °C, calage altimétrique de 30,24 pouces de mercure. Le message India de l'ATIS indiquait également que toutes les pistes étaient dégagées et humides.

## 1.8 *Aides à la navigation*

Un examen du niveau opérationnel de NAV CANADA au moment de l'accident a montré que toutes les aides à la navigation étaient utilisables au moment de l'accident et qu'aucune alarme ne s'était déclenchée.

Le jour de l'accident, la couverture radar de NAV CANADA couvrait l'aéroport international de Winnipeg et toute la trajectoire de vol du C-FEXS. À l'endroit de l'accident, le plancher de la couverture radar se situait à quelque 700 pieds agl.



## 1.9 *Télécommunications*

Les communications du pilote sur la fréquence sol, la fréquence des autorisations, la fréquence de la tour et la fréquence des départs de Winnipeg ont été examinées, et aucun défaut de fonctionnement de l'équipement n'a été relevé. Après le décollage, le pilote a fait les cinq transmissions radio suivantes :

- 5 h 37 min 52 – Le pilote appelle les départs après le décollage, comme le lui a demandé la tour de Winnipeg;
- 5 h 38 min 6 – Le pilote appelle les départs pour accuser réception de l'autorisation de monter à 9000 pieds asl et de procéder directement sur Thunder Bay;
- 5 h 41 min 7 – Le pilote appelle les départs pour demander à revenir immédiatement à l'aéroport (le contrôleur des départs lui demande de répéter le message);
- 5 h 41 min 15 – le pilote répète sa demande de retour immédiat à l'aéroport pour cause de givrage de l'avion (le contrôleur des départs demande au pilote du vol MAL8060 de tourner à droite cap 250 degrés et de maintenir 2500 pieds asl si cela est possible);
- 5 h 41 min 29 : Le pilote fait un accusé de réception partiel de l'autorisation, mais le message est coupé.

## 1.10 *Renseignements sur l'aérodrome*

L'aéroport international de Winnipeg est exploité par la Winnipeg Airports Authority Inc. À la date de l'accident, l'aérodrome possédait trois pistes : la 13/31, la 18/36 et la 07/25. Toutes ces pistes étaient en dur et convenaient au Cessna 208. L'altitude de l'aérodrome est de 783 pieds asl. L'aérodrome est équipé d'une installation de dégivrage centrale comprenant une aire de trafic éclairée et un système de récupération des liquides utilisés. À cette installation de dégivrage, ce sont les exploitants d'aéronefs qui sont responsables de l'application du liquide de dégivrage sur leurs appareils.

## 1.11 *Enregistreurs de bord*

L'avion n'était pas équipé d'un FDR ni d'un enregistreur de la parole dans le poste de pilotage (CVR), et il n'était pas tenu de l'être en vertu de la réglementation. Il était équipé d'un enregistreur analyseur de puissance (PAR) qui enregistre un certain nombre de paramètres moteur et de paramètres de l'aéronef. Ces données sont stockées dans des puces de mémoire sur une carte de circuit imprimé, et la mémoire est conservée grâce à une petite pile dans le dispositif. Le PAR a été lourdement endommagé dans l'accident, mais il a été récupéré et envoyé au Laboratoire technique du BST qui a établi que la pile s'était détachée de la carte du circuit imprimé. Les éléments endommagés ont été remplacés pour avoir accès au contenu des puces de mémoire, et l'alimentation électrique a été restaurée. Malheureusement, l'information enregistrée par le PAR avait été perdue.

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

L'avion a percuté le sol en piqué prononcé sur le dos, l'aile gauche basse, au cap magnétique 255°. Les ailes se sont détachées du fuselage à l'impact et ont été retrouvées des côtés nord et sud des voies de chemin de fer du CN, à un angle de 45° par rapport aux voies. La partie avant de l'avion s'est encastré dans le ballast des voies de chemin de fer. L'empennage, la nacelle ventrale et le train d'atterrissage principal se sont détachés et ont été retrouvés à une vingtaine de pieds en avant du cratère principal creusé par l'avion. Les éléments de fret les plus légers et divers documents jonchaient le sol en avant de l'épave jusqu'à une clôture située à une trentaine de pieds de la voie nord. La partie avant du fuselage, avec le poste de pilotage, était comprimée et réduite à moins de la moitié de sa longueur normale. Les trois pales de l'hélice se sont détachées du moyeu et présentaient toutes des dommages sur le bord d'attaque avec une torsion en direction du petit pas, signe qu'elles étaient entraînées par le moteur au moment de l'impact.

Le circuit des commandes de vol a été examiné dans la mesure du possible. La continuité des câbles et des biellettes à va-et-vient de ce circuit a été confirmé, et toutes les fractures ont été attribuées à une surcharge. Un examen du circuit des volets a montré que les volets étaient rentrés à l'impact. La position figée des portes du séparateur inertiel du moteur indique que les portes étaient probablement en position normale à l'impact. Aucune trace de glace n'a été observée sur l'épave. Toutefois, il se peut que la glace ait disparu sous le choc, au cours de l'incendie qui a suivi l'accident ou lors des opérations de lutte contre l'incendie.

Le moteur a été envoyé à l'usine de Pratt & Whitney à Saint-Hubert (Québec) pour y être examiné sous la supervision du BST. Les dommages internes relevés sur le moteur indiquent que le moteur fournissait une puissance élevée à l'impact. Tous les dommages relevés sur le moteur ont été attribués aux forces d'impact. L'examen des dossiers de la surveillance des tendances du moteur que faisait régulièrement l'exploitant n'a révélé aucun signe de diminution des performances du moteur avant l'accident.

Les signes de puissance élevée observés pendant le démontage du moteur ont été confirmés par l'analyse des instruments moteur effectuée par le Laboratoire technique du BST. Les résultats de l'examen des instruments moteur ont montré que le moteur produisait sa pleine puissance au moment de l'impact. À noter que la vitesse du générateur de gaz (Ng) était supérieure à 100 % et que la température inter-turbines (ITT) était d'environ 600 °C. Si l'entrée d'air du compresseur du moteur avait commencé à accumuler de la glace au point où il y aurait eu réduction de l'écoulement d'air, la valeur de Ng aurait été beaucoup plus basse et celle de l'ITT beaucoup plus élevée.

Le Cessna 208 est équipé de quatre vannes de dégivrage électriques qui commandent les boudins pneumatiques installés sur les jambes du train d'atterrissage et la nacelle ventrale, sur les stabilisateurs et la dérive, sur les parties intérieure et extérieure de l'aile et sur les haubans de l'aile. Les quatre vannes de dégivrage ont été examinées par le Laboratoire technique du BST. Il est apparu que les composants internes de la vanne de dégivrage de l'intérieur de l'aile ne se trouvaient pas à leur position normale de fonctionnement et que leur position différait de celle des composants des trois autres vannes. Ce déplacement interne dans la vanne pourrait vouloir dire que les boudins en étaient au cycle de gonflage sur la partie intérieure de l'aile au

moment de l'impact. Il n'a toutefois pas été possible d'en arriver à une conclusion définitive, compte tenu de l'absence de marques d'impact internes. Aucune anomalie préexistante ayant pu nuire à un fonctionnement normal n'a été relevée.

Le panneau annonciateur de l'avion a été envoyé au Laboratoire technique du BST pour établir si les ampoules des voyants étaient allumées au moment de l'impact. Seuls deux voyants ont été récupérés intacts dans le panneau. Ils appartenaient à l'indicateur « *Voltage Low* » (basse tension). L'examen a établi que cet indicateur était éteint à l'impact.

### 1.13 *Renseignements médicaux et pathologiques*

L'examen des renseignements médicaux concernant le pilote n'a rien révélé d'anormal. Les constatations de l'autopsie indiquent que le décès est dû à un traumatisme contondant. Les résultats de l'analyse toxicologique visant à déceler la présence d'alcool ou de drogues courantes se sont révélés négatifs.

### 1.14 *Incendie*

Après que l'avion a percuté le sol, un incendie a éclaté et a consumé près de 50 % de l'épave de l'avion et du fret. Des pompiers du service d'incendie et de soins médicaux d'urgence de Winnipeg ont été dépêchés sur les lieux et ont circonscrit l'incendie.

### 1.15 *Questions relatives à la survie*

Les forces d'impact dépassaient les limites de conception des sièges et des systèmes de retenue de l'avion, et l'espace de la cabine a été compromis par l'écrasement du fuselage. L'accident n'offrait aucune chance de survie.

### 1.16 *Essais et recherches*

Les enquêteurs se sont rendus à Memphis au Tennessee aux États-Unis où ils ont effectué des vols dans un simulateur de vol homologué de niveau D qui se trouve dans l'école de pilotage dont se sert l'exploitant aérien pour dispenser la formation périodique à ses pilotes. De par leur certification, les simulateurs de niveau D sont censés reproduire les performances d'un aéronef au point où ils peuvent servir à effectuer des PPC. Toutefois, il n'est pas garanti que ces simulateurs vont reproduire les performances exactes de l'aéronef dans toutes les conditions.

Le simulateur a été réglé pour simuler un vol au départ de Winnipeg, les vols incorporant diverses combinaisons de masse de l'avion et de conditions météorologiques. Dans les scénarios de vol faisant appel à une masse au décollage de 8809<sup>6</sup> livres et à des conditions de givrage modéré débutant à 1000 pieds agl, il a été impossible de revenir se poser à Winnipeg. Dans les scénarios de vol se déroulant à 120 nœuds, il a été possible de garder la maîtrise de l'avion, mais

---

<sup>6</sup> Les scénarios de vol ont été utilisés tôt dans l'enquête, avant qu'une estimation plus précise de la masse au décollage de l'avion, à savoir 9038 livres, ait été faite. Cela veut donc dire que les scénarios de vol avec une masse de 8809 livres sont des scénarios prudents.

tous les atterrissages ont eu lieu en dehors de l'aéroport. Tous les scénarios de vol se déroulant à 105 nœuds se sont terminés soit par une perte de maîtrise de l'avion, soit par un atterrissage en dehors de l'aéroport.

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

Morningstar est un exploitant aérien agréé par Transports Canada qui est basé à Edmonton (Alberta). Morningstar était autorisé à transporter du fret sur les vols IFR sur Boeing 727 et Cessna 208. Le C-FEXS était utilisé exclusivement en vertu d'un contrat de transport de fret entre Winnipeg et Thunder Bay. Morningstar avait un programme approuvé d'utilisation de liquide de dégivrage de type I et de liquide d'antigivrage de type IV. Ce programme comportait des tableaux de durée d'efficacité qui spécifiaient une durée d'efficacité de 11 à 18 minutes pour le liquide de type I et de 15 à 60 minutes pour le liquide de type IV, selon la météo et la concentration du liquide. Les liquides et le matériel d'application nécessaire étaient à portée de la main avant le vol qui a mené à l'accident.

Les pilotes étaient encouragés à utiliser les installations de dégivrage quand cela s'imposait. Rien n'indique que les pilotes au service de l'exploitant aérien aient été soumis à des pressions visant à les empêcher de se servir de liquide de dégivrage ou d'antigivrage afin de réduire les dépenses ou les inconvénients. Rien n'indique que des pressions aient été exercées sur les pilotes au service de l'exploitant pour qu'ils décollent dans de mauvaises conditions météorologiques ou acceptent de décoller avec un appareil en surcharge ou ayant un mauvais centrage.

### *1.18 Renseignements supplémentaires*

#### *1.18.1 Marchandises dangereuses*

L'avion transportait six flacons de matériel biologique contenant des substances potentiellement infectieuses. Après l'intervention initiale du service d'incendie et de soins médicaux d'urgence de Winnipeg, des employés de la province du Manitoba ont récupéré le matériel et ont pris les mesures nécessaires à cet égard. Le matériel biologique a été jugé relativement à bas risque, et rien n'indique qu'une partie du matériel se serait répandu sur le sol ou dans l'atmosphère.

#### *1.18.2 Certification de type canadienne du Cessna 208*

Le Cessna 208 est un avion monoplan à aile haute haubannée et à train d'atterrissage fixe. Il est certifié pour une exploitation monopilote dans des conditions IMC. De nombreux Cessna 208 ont été équipés d'une nacelle ventrale pour pouvoir transporter un volume de fret plus important. Le Cessna 208 a reçu une certification de type canadienne en 1984, laquelle se fondait sur sa certification délivrée par la Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis. La demande de certification formulée par l'avionneur à la FAA renfermait les résultats d'essais en vol, y compris d'essais en vol dans des conditions givrantes réelles et simulées. La certification de type canadienne de l'avion a été délivrée après que les responsables de Transports Canada eurent procédé à une familiarisation d'une journée sur un spécimen de l'avion. Le processus de certification de Transports Canada n'a compris aucun essai en vol ni aucune évaluation des

performances de l'avion dans des conditions givrantes. Depuis que le Cessna 208 a reçu sa certification originale, des essais en vol de différentes séries du Cessna 208 ont été effectués pour en évaluer les performances dans des conditions givrantes.

Le Cessna 208 a été certifié de manière à se conformer aux exigences de protection contre le givrage de la partie 23.1419 des *Federal Aviation Regulations* (FAR 23.1419) des États-Unis lorsque l'équipement de protection contre le givrage est installé conformément à la liste d'équipement de l'avion. Les détails relatifs à l'équipement et aux procédures concernant l'approbation donnée à l'avion de voler dans des conditions givrantes se trouvent à la révision 7 du supplément S1 du manuel de vol de l'avion. C'est cette révision 7, promulguée en juin 2005, qui était en vigueur au moment de l'accident. Le C-FEXS était équipé de l'ensemble de protection contre le givrage prévu pour le Cessna 208. Cet ensemble comprend notamment les boudins servant au dégivrage pneumatique des ailes, des haubans d'aile, des jambes du train d'atterrissage principal, du cône avant de la nacelle de fret et des bords d'attaque des stabilisateurs et de la dérive. Il comprend également des gaines assurant un antigivrage électrique des pales d'hélice ainsi qu'un panneau amovible chargé de l'antigivrage électrique du pare-brise.

Grâce à la certification sur la protection contre le givrage, l'avion est autorisé à voler dans des conditions givrantes, selon la définition qu'en donnent les domaines de vol à l'appendice C<sup>7</sup> de la partie 25 des FAR (FAR 25) en cas de givrage maximal continu et de givrage maximal intermittent, lorsque l'avion est exploité conformément à son manuel d'utilisation et conformément au manuel de vol approuvé par la FAA. La révision 7 du supplément S1 indique que : [Traduction] « Ces conditions n'incluent pas toutes les conditions givrantes (p. ex. la pluie verglaçante, la bruine verglaçante, le givre mixte ou le givrage fort) ». Le vol dans des conditions connues de givrage modéré est permis.

### 1.18.3 Utilisation du Cessna 208 dans des conditions givrantes

La révision 7 du supplément S1 du manuel de vol de l'avion précise qu'il faut procéder à une inspection tactile de l'extrados des ailes, du bord d'attaque des stabilisateurs ainsi que des pales de l'hélice si la température est inférieure à 5 °C et s'il y a présence d'humidité visible, si l'avion a été exposé à de l'humidité visible depuis son dernier atterrissage, si l'écart entre la température et le point de rosée est inférieure à 3 °C, si l'avion a été exposé à du givrage en vol ou s'il y a de l'eau sur les ailes. Cette inspection tactile doit être effectuée dans les cinq minutes précédant le décollage, sauf si une opération approuvée de dégivrage a été effectuée et que la vérification a lieu pendant la durée d'efficacité précisée pour ce genre de procédures.

Le pilote a effectué une inspection tactile de l'aile pendant le chargement de l'avion, s'aidant d'un chargeur à tapis roulant pour avoir accès à l'extrados des ailes. Il n'a pas été possible d'établir jusqu'à quel point le pilote avait inspecté le bord d'attaque des stabilisateurs, le circuit statique du système Pitot, les réchauffeurs de l'avertisseur de décrochage ou l'hélice pendant cette inspection tactile. Les résultats de cette inspection n'ont pas été consignés, mais ce n'était pas obligatoire. L'inspection tactile s'est terminée à 5 h 25, environ 12 minutes avant le décollage.

---

<sup>7</sup> Voir l'annexe C - Paramètres de givrage.

L'équipe au sol n'a remarqué aucun signe de contamination sur l'avion pendant le chargement sur l'aire de trafic. L'enquête n'a pas révélé si une autre inspection tactile de l'avion avait été faite après le départ de l'aire de trafic où le chargement avait eu lieu. L'enquête n'a révélé aucun élément indiquant que l'avion aurait décollé avec de la glace ou de la neige sur ses surfaces critiques<sup>8</sup>.

La révision 7 du supplément S1 informe les pilotes que [Traduction] « en cas d'entrée dans des conditions givrantes, il faut prendre des mesures immédiates pour sortir de ces conditions avant que les performances de l'avion ne diminuent au point où une montée, qui est normalement la meilleure chose à faire, ne serait plus possible à cause de l'accumulation de glace résiduelle ». La glace résiduelle désigne la glace qui reste sur les surfaces protégées de l'avion après le fonctionnement des boudins de dégivrage.

La révision 7 du supplément S1 indique que le pilote doit conserver une vitesse indiquée d'au moins 105 nœuds lorsqu'il vole dans des conditions givrantes avec les volets rentrés. La révision informe également le pilote que, s'il ne parvient pas à maintenir son altitude à 120 nœuds, il doit immédiatement demander à l'ATC un traitement prioritaire pour pouvoir changer de route ou d'altitude afin de sortir des conditions givrantes. En cas d'entrée dans des conditions givrantes, le pilote doit :

- mettre en marche le réchauffage du pare-brise,
- mettre en marche l'antigivrage de l'hélice,
- allumer le voyant du détecteur de givrage,
- surveiller l'accumulation de glace et attendre qu'elle atteigne une épaisseur de 1/4 à 3/4 de pouce sur le bord d'attaque de l'aile,
- mettre le sélecteur des boudins sur AUTO afin d'activer les boudins de dégivrage de la cellule à chaque cycle de fonctionnement.

La révision 7 du supplément S1 indique que [Traduction], « pour obtenir un rendement optimal des boudins de dégivrage et d'antigivrage, il faut les garder propres et les recouvrir d'un produit qui empêche la glace d'y adhérer, comme l'ICEX II ». D'après les dossiers de l'exploitant, la veille de l'accident, le panneau antigivrage du pare-brise avait été installé et tous les boudins avaient été recouverts d'ICEX II, conformément au manuel de maintenance pertinent.

Cessna a préparé une trousse d'information intitulée *Caravan Safety Awareness Program* (Programme de sensibilisation à la sécurité du Caravan). Les renseignements figurant dans cette trousse montrent que la vitesse de l'avion peut chuter de 165 à 105 nœuds après une utilisation répétée des boudins de dégivrage dans des conditions givrantes, réduction qui

---

<sup>8</sup> Dans le document de Transports Canada TP 10643 intitulé *Dans le doute... Programme de formation pour petits et gros aéronefs - Formation sur la contamination des surfaces critiques des aéronefs à l'intention des équipages de conduite et du personnel de piste*, par « surfaces critiques » il faut entendre « ... les ailes, les gouvernes, les rotors, les hélices, les stabilisateurs horizontaux, les stabilisateurs verticaux ou toute autre surface de stabilisation d'un aéronef ... ». La révision 7 du supplément S1 du manuel d'utilisation du Cessna 208 précise les surfaces à inspecter pour ce type d'avion.

s'accompagne d'une importante augmentation de la vitesse de décrochage. De plus, la capacité de l'avion à monter est réduite, et l'avion risque de ne pas pouvoir maintenir son altitude et le pilote peut se voir contraint de descendre à une altitude inférieure.

#### 1.18.4 Performances de l'avion

Le C-FEXS n'était pas équipé d'un FDR. Pour évaluer les performances du C-FEXS, on a pris la position, l'altitude et la vitesse sol du C-FEXS enregistrées par le radar ATC et on a combiné ces données radar aux données FDR d'un aéronef parti de Winnipeg deux minutes avant le C-FEXS. Les résultats de l'analyse de performance effectuée par le Laboratoire technique du BST sont représentés sous forme graphique en annexe. Voir l'Annexe D – Altitude par rapport au taux de montée et au taux de descente. Voir l'Annexe E – Altitude par rapport à la vitesse sol et à la vitesse anémométrique. À noter que, même si les résultats d'ensemble sont jugés relativement précis, les résultats dépendent de la précision des données radar. De plus, le taux d'échantillonnage radar génère des points individuels ayant une certaine « irrégularité » ou variabilité, car l'information n'est pas mise à jour continuellement.

L'analyse de performance a révélé que la vitesse de l'avion avait varié au cours du vol; l'avion a accéléré pour atteindre environ 100 nœuds pendant la montée initiale peu après le décollage, puis a diminué à 73 nœuds avant d'augmenter à nouveau jusqu'à 100 nœuds avant de diminuer. Les dernières données indiquaient des vitesses se situant aux environs de 95 nœuds. D'après le manuel de vol de l'avion, la vitesse ascensionnelle maximale à une masse de 8750 livres avec les volets sortis à 20 degrés est de 90 nœuds; la meilleure vitesse ascensionnelle avec les volets rentrés est de 104 nœuds. La vitesse de décrochage de l'avion en palier avec les volets sortis à 20 degrés est de 63 nœuds; la vitesse de décrochage avec les volets rentrés est de 78 nœuds. Comme pour tout autre avion, la vitesse de décrochage en palier du Cessna 208 augmente en même temps que l'inclinaison latérale pendant un virage.

Le taux de montée de l'avion a augmenté après le décollage jusqu'à quelque 1000 pi/min, puis il s'est stabilisé entre 600 et 850 pi/min dans les deux minutes qui ont suivi le décollage. Le taux a ensuite diminué progressivement jusqu'à 700 pi/min en descente, moment où l'information a cessé d'être enregistrée. D'après le manuel de vol, le taux de montée maximal de l'avion à 0 °C à une masse de 8750 livres varie de 815 pi/min avec les volets sortis à 20° jusqu'à 940 pi/min avec les volets rentrés.

La révision 7 du supplément S1 recommandait une vitesse de montée de 120 nœuds dans des conditions givrantes afin de réduire l'accumulation de glace en arrière des boudins de dégivrage. Toutefois, une montée à  $V_y$  (vitesse ascensionnelle maximale) était recommandée au besoin pour monter au-dessus des conditions givrantes.

Un avertisseur de basse vitesse est disponible en option, mais il n'y en avait pas sur le C-FEXS. Ce dispositif provoque l'allumage d'un voyant d'avertissement sur le panneau annonceur lorsque le chauffage des tubes de Pitot est en marche, que les volets sont rentrés et que la vitesse est inférieure à 105 nœuds. La révision 7 du supplément S1 indique que l'avertisseur de basse vitesse ne limite pas les vitesses au décollage ou en approche.

La révision 7 du supplément S1 indique que des accumulations de glace sur la cellule peuvent entraîner une augmentation de la vitesse de décrochage de 20 nœuds ou plus ainsi qu'une diminution du taux de montée de 500 pi/min ou plus. En cas de fortes accumulations de glace,

il se pourrait que la marge d'avertissement par rapport au décrochage diminue au point que l'avertisseur sonore de décrochage se fasse entendre au moment où apparaît le tremblement de la cellule qui annonce le décrochage. La révision 7 du supplément S1 donne l'avertissement suivant : [Traduction] « Ne pas faire fonctionner les boudins à l'atterrissage (au-dessous de 500 pieds agl environ), car leur gonflage risque d'entraîner une augmentation de la vitesse de décrochage pouvant atteindre 10 nœuds ».

Les limites de puissance du moteur au décollage, en montée et en croisière correspondent à un couple de 1865 pieds-livres, soit une puissance sur l'arbre de 675 HP. Il n'a pas été possible de déterminer avec certitude le braquage des volets pendant le vol. La pratique normale de la compagnie consistait à décoller avec les volets sortis à 20 degrés puis à les rentrer vers 400 pieds agl. Les volets ont été trouvés en position rentrée sur les lieux de l'accident.

Une perte de contrôle peut se produire de différentes façons. L'aile peut décrocher et l'avion peut finalement se mettre en vrille. En présence d'un important givrage de l'empennage, l'empennage peut décrocher, ce qui peut provoquer une descente en piqué prononcé. Faute d'information, il n'a pas été possible de déterminer le mode de perte de contrôle qui a mené à l'accident du C-FEXS.

#### 1.18.5 *Autres accidents*

La veille de l'accident, un autre pilote avait effectué un vol entre Thunder Bay et Winnipeg avec le C-FEXS. Le pilote avait décollé de Thunder Bay à 16 h et avait atterri à Winnipeg à 18 h 5. En route vers Winnipeg à 6000 pieds, l'avion avait rencontré des conditions de givrage modéré qui avaient nui à ses performances. Le pilote n'était pas parvenu à maintenir son altitude et était d'abord descendu à 4000 pieds asl pour sortir des conditions givrantes, puis à 3000 pieds asl, altitude que l'avion avait été en mesure de maintenir. Pendant l'approche finale sur Winnipeg, l'avion est descendu dans de l'air plus chaud et s'est délesté de la glace. La GFA pour le Manitoba au moment de ce vol indiquait du givre mixte modéré entre le niveau de congélation et 20 000 pieds asl, tandis que la GFA pour l'Ontario faisait état de givre mixte modéré entre le niveau de congélation et 19 000 pieds asl. Ces GFA indiquaient un niveau de congélation qui se situait au-dessus de 12 500 pieds asl à Thunder Bay et qui chutait à 2500 pieds asl dans l'est du Manitoba.

Les enquêteurs du BST ont examiné 19 autres accidents survenus dans le monde entre 1990 et 2006 à des Cessna 208A et 208B volant dans des conditions givrantes. Ces accidents ont fait 31 morts et 4 blessés graves. Dans 12 cas, l'avion a été détruit; dans 4 cas, l'avion a été lourdement endommagé; dans 1 cas, l'avion a été légèrement endommagé; dans les 2 autres cas, l'avion n'a pas été endommagé. Dans 13 cas sur 19, le pilote a perdu le contrôle de son appareil; et dans 4 cas, le pilote a gardé le contrôle de son appareil, mais n'a pas pu maintenir son altitude; pour ce qui est des 2 autres cas, l'information n'est pas disponible. Le détail de ces accidents se trouve en Annexe F – Autres accidents.



## 2.0 *Analyse*

### 2.1 *Conditions météorologiques*

Des conditions de givrage modéré étaient prévues au-dessus de Winnipeg au moment de l'accident à 5 h 43. Les aéronefs évoluant dans la région de Winnipeg ont rencontré des conditions givrantes en vol au moment de l'accident et même jusqu'à 6 h 15, alors que les prévisions annonçaient que les conditions givrantes devaient s'être déplacées à l'est de Winnipeg avant la fin de la période de validité de ces prévisions fixée à 7 h. Des couverts nuageux plus bas que prévu ont persisté jusqu'à 7 h, signe que le système au-dessus de Winnipeg se déplaçait un peu plus lentement que prévu. Du fait de ce déplacement plus lent du système météorologique, les conditions givrantes ont prévalu dans la région de Winnipeg plus longtemps que prévu.

Les prévisions de givrage visent à informer les pilotes du givrage prévu en fonction des prévisions météorologiques. Toutefois, les descriptions de l'intensité (« aucun », « traces », « léger », « modéré », etc.) ne sont pas quantitatives; il s'agit d'une opinion sur les effets du givrage sur un aéronef générique. Bien que différents aéronefs puissent être certifiés pour voler dans des conditions givrantes en vertu des mêmes critères, il n'empêche que différents types d'aéronef ont des capacités de maintenir le vol dans des conditions givrantes qui varient énormément d'un type à l'autre, et ce, à cause de différences dans le profil aérodynamique, la puissance, la traînée, la vitesse, l'altitude et d'autres considérations. Par conséquent, il se peut que les conditions givrantes génériques ne puissent prédire efficacement les effets des conditions givrantes sur un aéronef en particulier. À l'opposé, d'autres renseignements météorologiques comme les prévisions sur les vents en altitude sont donnés en termes quantitatifs. Cela permet aux pilotes de combiner les données à l'information qu'ils possèdent sur les performances de leurs aéronefs et d'obtenir des résultats plus précis.

### 2.2 *Préparation de vol*

Le pilote n'a pas reçu les GFA dans l'information météorologique télécopiée et n'a donc pas vu la carte graphique des prévisions de givrage. Le système météorologique au-dessus de Winnipeg et de la route que devait suivre l'avion jusqu'à Thunder Bay s'étant déplacé vers l'est plus lentement que prévu, les conditions givrantes se sont donc prolongées dans la région de Winnipeg et vers l'est plus longtemps que prévu. Comme l'exposé téléphonique a porté essentiellement sur les conditions pour la région de Winnipeg et que le pilote n'a pas pu voir les cartes GFA, il se peut que le pilote ne se soit pas fait une idée juste de la situation sur le givrage, notamment en ce qui concerne la portion est de l'itinéraire de vol de l'avion. Toutefois, l'exposé téléphonique a porté sur les conditions de givrage modéré prévues pour Winnipeg et pour l'est du Manitoba, et ces conditions prévalaient tout le long de la route de l'avion. Par conséquent, il est peu probable que l'absence des GFA ait contribué à la décision du pilote de partir ou au fait qu'il a rencontré des conditions givrantes dans la région de Winnipeg.

### 2.3 *Givrage au sol de l'aéronef*

Du fait que l'avion avait passé la nuit dans un hangar chauffé, il était exempt de neige et de glace quand il a été remorqué à l'extérieur à 4 h 10. Pendant le point fixe, la circulation au sol jusqu'à l'aire de trafic numéro V et le chargement, l'avion a été exposé à de la faible neige et à un vent de 15 nœuds. Si de la neige s'était accumulée sur les surfaces critiques de l'avion, elle aurait pu contaminer ces surfaces, ce qui aurait pu causer des problèmes de contrôle et une diminution des performances de l'avion. Toutefois, il ne s'agissait pas de chute de neige importante, un vent de 15 nœuds soufflait et aucune contamination de l'avion n'a été observée avant le décollage. Par conséquent, il est peu probable que les surfaces critiques de l'avion aient été contaminées lorsque le pilote a procédé à son inspection tactile.

Le pilote a effectué une inspection tactile des ailes avant le décollage, mais il n'a pas été possible d'établir jusqu'à quel point il avait inspecté le bord d'attaque des stabilisateurs, le circuit statique du système Pitot, les réchauffeurs de l'avertisseur de décrochage ou les pales de l'hélice, comme l'exige le manuel de vol de l'avion. Toutefois, il est probable qu'une inspection de l'aile aurait révélé la présence d'une contamination par la neige, s'il y en avait eu une. Le pilote a terminé son inspection 12 minutes avant le décollage, ce qui dépassait le délai de fin des inspections tactiles spécifié dans le manuel de vol de l'avion. Les conditions environnementales ont été relativement stables après le remorquage de l'avion à l'extérieur du hangar, et l'avion se trouvait dehors depuis plus d'une heure au moment de l'inspection tactile. Si l'aile n'était pas contaminée avant l'inspection tactile, il est peu probable qu'une contamination des surfaces critiques ait pu se produire entre le moment de l'inspection tactile et le moment du décollage. Comme des moyens de dégivrage étaient facilement accessibles et que les pilotes étaient incités à s'en servir au besoin, il est peu probable que l'avion soit parti avec des surfaces critiques contaminées, advenant le cas où le pilote aurait noté une contamination pendant l'inspection tactile.

### 2.4 *Chargement de l'aéronef*

Le pilote a fait quelques premiers calculs dans la case des remarques du devis de masse et centrage, indiquant trois nombres dans une colonne (7030, 4842, 2188) sans élaborer davantage. Si la masse du carburant au décollage calculée par le pilote (1600 livres) et le poids du pilote sont soustraits de la masse maximale au décollage de l'aéronef (8750 livres), on obtient 7030 livres. Si la masse de base consignée de l'avion (4842 livres) est soustraite de 7030 livres, il reste 2188 livres, résultat qui indique la masse maximale de fret permettant de ne pas dépasser la masse maximale autorisée au décollage de 8750 livres.

L'enquête n'a pas révélé pourquoi le pilote a accepté une masse de 2288 livres sur le manifeste alors que les calculs montraient un maximum de 2188 livres pour ne pas dépasser la masse maximale autorisée au décollage de 8750 livres. En théorie, cela aurait provoqué une surcharge de l'avion de 100 livres, alors qu'en pratique cette surcharge était de 288 livres, et de 488 livres pour un vol dans des conditions givrantes.

Le centre de gravité de l'avion n'a pas pu être déterminé avec précision. Il se trouvait peut-être dans la zone d'avertissement ombrée indiquée par extrapolation dans le graphique des limites de centrage. L'enquête a établi que le centre de gravité se trouvait probablement en avant de sa

limite arrière permise, à savoir 40,33 % de la MAC, toutefois l'incertitude inhérente au chargement en vrac augmentait le risque que le centre de gravité ait pu dépasser sa limite arrière permise.

L'utilisation de conteneurs pour entreposer le fret temporairement afin d'en faciliter le chargement présente également des risques. Il y a risque que le poids à vide inscrit sur les conteneurs soit incorrect, comme ce fut le cas pour le conteneur utilisé à Winnipeg. Il y a risque que le poids du conteneur ait changé au fil du temps à cause de la pose ou de la dépose de portes, de filets, de palettes ou de sangles, comme ce fut le cas pour le conteneur utilisé à Toronto. Les risques sont également plus grands à cause des calculs supplémentaires qu'il faut faire pour établir la masse nette du fret.

## 2.5 Performances de l'aéronef

Les portes du séparateur inertiel du moteur étaient probablement en position normale à l'impact; toutefois le fait que le moteur générât une puissance importante à l'impact indique que la position des portes n'a joué aucun rôle dans l'accident.

Le Cessna 208 possède un train d'atterrissage fixe, des haubans d'aile et, dans de nombreux cas, une nacelle ventrale. Ces éléments augmentent la traînée aérodynamique et favorisent l'accumulation de glace dans des conditions givrantes. Les aéronefs capables de voler à des vitesses relativement plus élevées peuvent réduire ou éviter l'accumulation de glace dans la plage de températures critiques située juste au-dessous de 0 °C (température qui prévalait dans la région de Winnipeg au moment de l'accident) en évoluant à des vitesses où la compression et la friction font augmenter la température du revêtement de l'aéronef au-dessus du point de congélation.

Le Cessna 208 évolue à des vitesses relativement plus faibles que celles de certains autres avions turbopropulsés, vitesses auxquelles les effets de la friction et de la compression sont réduits. Du fait de sa vitesse plus faible, de sa traînée aérodynamique plus élevée et de la taille plus importante de ses surfaces susceptibles d'accumuler de la glace, le Cessna 208 est probablement plus susceptible de subir une diminution plus importante de ses performances que les avions qui ont fait des PIREP. Par conséquent, les PIREP provenant d'autres types d'avion et les prévisions de givrage génériques ne sont peut-être pas suffisants pour estimer les effets du givrage sur un avion comme le Cessna 208.

L'enquête n'a pas révélé pourquoi le pilote avait utilisé une masse maximale au décollage de 8750 livres au lieu de la masse de 8550 livres à utiliser pour le vol dans des conditions givrantes. Il se peut que le pilote ait cru qu'il pourrait partir dans des conditions non givrantes et que, par la suite, il pourrait soit éviter les conditions givrantes prévues en route, soit avoir consommé suffisamment de carburant pour que la masse de l'avion soit inférieure à 8550 livres avant d'entrer dans des conditions givrantes.

L'avion a décollé de l'aéroport international de Winnipeg à une masse supérieure d'environ 3 % à sa masse maximale totale. Son taux de montée au décollage a été quelque peu inférieur au taux indiqué dans le manuel de vol pour un avion à sa masse maximale totale. Toutefois, il y avait de la turbulence et des rafales de vent au moment du décollage à Winnipeg, et ces conditions, combinée à la surcharge de l'avion, ont dû provoquer une dégradation des

performances de l'avion. L'enquête a donc conclu que l'avion était en bon état de fonctionnement au décollage et qu'il a décollé sans contamination significative de ses surfaces critiques.

La vitesse calculée de l'avion a fluctué pendant le vol, comme on peut s'y attendre dans des conditions de turbulence et de rafales de vent. La plus grande partie du vol s'est déroulée à des vitesses inférieures à la vitesse ascensionnelle maximale ( $V_y$ ) avec les volets rentrés et inférieures à la vitesse minimale avec les volets rentrés dans des conditions givrantes. Ces vitesses auraient toutefois été égales ou supérieures à la  $V_y$  avec les volets sortis à 20 degrés. Les volets ont été trouvés en position rentrée après l'accident; toutefois, le braquage des volets pendant le vol n'a pu être établi. Sans l'information sur le braquage des volets, la pertinence des vitesses pendant le vol ne peut être déterminée. Si l'avion est entré dans des conditions givrantes dans les nuages avec les volets rentrés, les vitesses auraient été inférieures aux vitesses minimales à utiliser dans de telles conditions. Toutefois, si les volets étaient sortis pendant la montée, la vitesse minimale de 105 nœuds ne se serait pas appliquée.

L'avion a subi une dégradation progressive de performances après avoir franchi 1000 pieds agl en montée. Des plafonds nuageux ont été observés à Winnipeg à 700 pieds agl, et les prévisions annonçaient de tels plafonds à 1000 pieds agl. La dégradation des performances de l'avion a débuté peu après l'entrée de l'avion dans les nuages et est probablement attribuable aux conditions givrantes qui, d'après les prévisions, devaient prévaloir au-dessus de Winnipeg à ce moment-là; elles ont d'ailleurs été observées par d'autres équipages.

De l'information fournie par l'avionneur ainsi que des renseignements recueillis lors d'enquêtes sur d'autres accidents indiquent que la présence de glace résiduelle peut faire augmenter la vitesse de décrochage du Cessna 208. Une autre augmentation de la vitesse de décrochage pouvait survenir en cas de virage pour permettre à l'avion de revenir à l'aéroport international de Winnipeg. Et une augmentation supplémentaire de 10 nœuds pouvait également survenir pendant le fonctionnement des boudins de dégivrage. À la suite de ces augmentations, la vitesse de décrochage a pu avoisiner les vitesses maintenues par le C-FEXS, voire les dépasser, ce qui aurait entraîné une perte de contrôle de l'avion. L'avion peut avoir décroché sans avertissement. Le givrage de la cellule fait diminuer la marge d'avertissement par rapport au décrochage, et le décrochage peut se produire au moment de l'avertissement de décrochage.

## 2.6 *Examen de l'épave*

L'examen de l'épave a été difficile en raison de l'état de destruction de l'appareil résultant des forces d'impact, de l'incendie et des opérations de lutte contre l'incendie. Toutefois, aucune anomalie n'a été relevée sur la structure, les commandes et les systèmes de l'avion. Le moteur générait une puissance importante à l'impact. Aucune anomalie n'a été relevée sur le circuit de dégivrage. Ce circuit avait fonctionné normalement lors du vol précédent. Le panneau de pare-brise avait été installé, et du liquide ICEx II avait été répandu sur les boudins. Le système de télécommunication fonctionnait normalement et aucun problème de navigation n'a été constaté. Les dossiers de maintenance ne faisaient état d'aucune anomalie, et le pilote n'en a signalé aucune. L'enquête a conclu que l'avion était en bon état de service au décollage et conforme à la réglementation en vigueur.

## 2.7 *Enregistreurs de bord*

L'avion n'était pas équipé d'un FDR ni d'un CVR, ce qui n'était pas obligatoire. Le PAR était conçu à des fins de maintenance et, de ce fait, ne comportait pas toute la gamme des paramètres de données ni les caractéristiques de durabilité d'un FDR et d'un CVR certifiés. Par conséquent, un grand nombre de renseignements sur le vol et sur l'accident n'étaient pas disponibles. Bien que l'enquête ait réussi à dériver certains renseignements sur le vol et sur l'accident par d'autres moyens, il n'empêche que beaucoup de ces renseignements sont demeurés indisponibles, ce qui a limité la portée de l'enquête.



## 3.0 *Conclusions*

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

1. Au décollage, la masse de l'avion était supérieure à la masse maximale autorisée au décollage et à la masse maximale autorisée pour le vol dans des conditions givrantes.
2. Après le décollage de Winnipeg, l'avion a rencontré des conditions givrantes en vol qui ont provoqué une dégradation de ses performances au point où il n'a plus été en mesure de maintenir son altitude.
3. Pendant qu'il tentait de revenir sur l'aéroport international de Winnipeg, le pilote a perdu le contrôle de l'avion, probablement avec peu ou pas d'avertissement, alors que l'altitude disponible était insuffisante pour effectuer un redressement.

### 3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. Les prévisions météorologiques comprennent des prévisions de givrage génériques susceptibles de ne pas prévoir avec précision les effets du givrage sur un type d'aéronef spécifique. De ce fait, il se peut que, sur certains types d'aéronefs spécifiques, le givrage puisse entraîner des effets plus importants que ceux indiqués dans les prévisions.
2. Le chargement en vrac ne permettait pas de déterminer la masse du fret dans chaque zone, et il y avait un risque que les limites de masse d'une zone spécifique aient été dépassées.
3. La position du centre de gravité de l'avion ne pouvait pas être établie avec précision. Le centre de gravité se trouvait peut-être dans la zone d'avertissement ombrée indiquée par extrapolation dans le graphique des limites de centrage. L'enquête a établi que le centre de gravité se trouvait probablement en avant de sa limite arrière permise; toutefois, le chargement en vrac augmentait le risque que le centre de gravité de l'avion dépasse sa limite arrière permise.
4. Le poids à vide incorrect indiqué sur le conteneur de fret utilisé à Toronto faisait courir le risque que d'autres aéronefs transportant du fret provenant de ce conteneur se trouvent par inadvertance en surcharge.

### 3.3 *Autres faits établis*

1. Le dossier météorologique remis au pilote était incomplet et un exposé téléphonique a été nécessaire pour actualiser l'information.
2. Aucune pression n'était exercée sur les pilotes au service de l'exploitant aérien leur laissant entendre de ne pas utiliser les installations de dégivrage des aéronefs ou les incitant à décoller avec un aéronef présentant un non-fonctionnement.

3. Au décollage de Winnipeg, il n'y avait pas de contamination importante des surfaces critiques de l'avion.
4. Le matériel biologique à bord de l'avion a été récupéré après l'accident et les mesures nécessaires ont été prises à cet égard; rien n'indique qu'une partie du matériel se serait répandu sur le sol ou dans l'atmosphère.
5. L'absence d'enregistreur de données de vol (FDR) et d'enregistreur de la parole dans le poste de pilotage (CVR) à bord de l'avion a limité les renseignements disponibles pendant l'enquête, ce qui a limité la portée de l'enquête.



## 4.0 Mesures de sécurité

### 4.1 Mesures prises

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

En janvier 2006, le BST a fait parvenir un avis de sécurité aérienne à la compagnie Morningstar Air Express Inc. (Morningstar) pour lui suggérer de mettre en place un système (qui pourrait être similaire au système de conteneurs qu'elle utilise pour ses plus gros avions) qui lui permettra de déterminer la masse exacte du fret par zone.

Le 31 janvier 2006, le Bureau a fait parvenir deux recommandations provisoires au ministère des Transports.

L'avionneur a pris des mesures pour fournir des procédures de vol pour le Cessna 208 dans des conditions givrantes, mais il arrive encore que des pilotes ont du mal à garder la maîtrise de l'appareil et à sortir de telles conditions, comme le prévoit le manuel de vol de l'avion. L'avion est approuvé pour le vol dans des conditions de givrage modéré, mais les événements qui surviennent régulièrement et les données de l'avionneur montrent que l'avion risque de ne pas pouvoir voler en toute sécurité dans de telles conditions ou de ne pas pouvoir en sortir en toute sécurité, comme le prévoit le manuel de vol. En conséquence, le Bureau a recommandé que :

le ministère des Transports prenne des mesures pour réglementer les autorisations de décollage des Cessna 208, 208A et 208B immatriculés au Canada lorsque les conditions météorologiques prévues font état de givrage d'intensité supérieure au givrage léger et pour interdire la poursuite des vols dans de telles conditions tant que la navigabilité de cet avion évoluant dans de telles conditions n'aura pas été démontrée.

(A06-01, émise en janvier 2006)

Les données de l'avionneur et les données sur les accidents examinées par le BST montrent que la vitesse de décrochage de l'avion risque d'augmenter de façon significative dans des conditions givrantes, et ce, à cause de la présence de glace résiduelle sur l'avion combinée aux effets du fonctionnement de l'équipement de dégivrage. Même si l'avionneur a fixé une vitesse minimale de vol dans des conditions givrantes, le Bureau s'inquiète du fait que la vitesse recommandée de 105 nœuds ne garantit peut-être pas une marge de vitesse suffisante par rapport au décrochage. Bien que la révision 7 du supplément S1 du manuel d'utilisation du Cessna 208 en date du 27 juin 2005 recommande de sortir des conditions givrantes dès que la vitesse diminue au-dessous de 120 nœuds, il n'est nullement mentionné que 120 nœuds est la vitesse minimale de vol dans des conditions givrantes. En conséquence, le Bureau a recommandé que :

le ministère des Transports exige que les exploitants canadiens de Cessna 208 maintiennent une vitesse minimale de vol de 120 nœuds dans des conditions givrantes et qu'ils sortent de telles conditions dès que la diminution des performances empêche l'avion de maintenir une vitesse de 120 nœuds.

(A06-02, émise en janvier 2006)

Des recommandations similaires ont également été acheminées à la Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis le 31 janvier 2006. À cette date, le Bureau a recommandé que :

la Federal Aviation Administration prenne des mesures pour réviser la certification des Cessna 208, 208A et 208B afin d'interdire le vol dans des conditions météorologiques réelles ou prévues faisant état d'un givrage d'intensité supérieure au givrage léger tant que la navigabilité de cet avion évoluant dans de telles conditions n'aura pas été démontrée.  
(A06-03, émise en janvier 2006)

et que

la Federal Aviation Administration exige que les exploitants de Cessna 208 maintiennent une vitesse minimale de vol de 120 nœuds dans des conditions givrantes et qu'ils sortent de telles conditions dès que la diminution des performances empêche l'avion de maintenir une vitesse de 120 nœuds.  
(A06-04, émise en janvier 2006)

#### 4.1.2 *Mesures prises par le National Transportation Safety Board*

Le 17 janvier 2006, le National Transportation Safety Board, après avoir participé à l'enquête menée par la Commission aéronautique inter-États de Russie et le BST et avoir fait une évaluation des circonstances entourant ces accidents, a publié les recommandations suivantes :

- [Traduction] Tous les exploitants d'avion Cessna de la série 208 doivent maintenir une vitesse de vol minimale de 120 nœuds lorsqu'ils volent dans des conditions givrantes, même si cela signifie descendre à une altitude inférieure pour y arriver.  
(A-06-01) Urgent
- [Traduction] Il est interdit à tous les exploitants d'avion Cessna de la série 208 de voler dans des conditions givrantes d'intensité supérieure au givrage léger.  
(A-06-02) Urgent
- [Traduction] Tous les exploitants d'avion Cessna de la série 208 doivent débrayer le pilote automatique et poursuivre le vol en pilotage manuel en présence de conditions givrantes. (A-06-03) Urgent

#### 4.1.3 *Mesures prises par Transports Canada*

Les directions de la Certification des aéronefs et de l'Aviation commerciale et d'affaires de Transports Canada ont gardé le contact avec la FAA pendant la préparation de mesures correctives avec le titulaire du certificat de type visant à s'assurer que ce modèle d'aéronef était conforme aux dispositions figurant dans son certificat de type quant au vol dans des conditions givrantes.

Transports Canada a répondu à la recommandation A06-01 le 20 avril 2006. Dans sa réponse, le Ministère a fait savoir que l'Alerte aux difficultés en service 2006-01 a été publiée le 24 janvier 2006, que la révision 2006-01R1 a été rendue publique le 1<sup>er</sup> février 2006 et que la dernière révision (2006-01R2) a été publiée le 24 mars 2006. Transports Canada a également

examiné la consigne de navigabilité 2006-06-06 de la FAA (voir 4.1.4). Le Ministère est d'accord avec le point de vue de la FAA voulant que ces mesures soient nécessaires pour une utilisation en toute sécurité de l'appareil. La consigne de navigabilité 2006-06-06 de la FAA a été acceptée et est maintenant d'application obligatoire au Canada. Les mesures prises par la FAA vont réduire, mais sans réduire grandement ni éliminer, la lacune de sécurité soulevée par le Bureau dans sa recommandation A06-01. C'est pourquoi cette réponse est jugée en partie satisfaisante. Le Bureau va faire un suivi de la réponse de Transports Canada afin de déterminer, à la lumière de la consigne de navigabilité 2006-06-06 de la FAA, dans quelle mesure, le cas échéant, les pilotes continuent d'éprouver des difficultés d'exploitation du Cessna 208 dans des conditions givrantes.

Transports Canada a répondu à la recommandation A06-02 le 20 avril 2006. Dans sa réponse, le Ministère a fait savoir qu'il approuvait le contenu de la recommandation A06-02. Il a examiné la consigne de navigabilité 2006-06-06 de la FAA (voir 4.1.4), il l'a acceptée et celle-ci est maintenant d'application obligatoire au Canada. Transports Canada ayant adopté la consigne de navigabilité 2006-06-06 de la FAA, cette mesure va réduire grandement ou éliminer la lacune de sécurité soulevée par le Bureau dans sa recommandation A06-02. C'est pourquoi cette réponse est jugée entièrement satisfaisante.

#### 4.1.4 Mesures prises par la Federal Aviation Administration

Le 16 mars 2006, la Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis a publié la consigne de navigabilité 2006-06-06, dont la date d'entrée en vigueur était fixée au 24 mars 2006. Cette consigne vise les Cessna 208 et 208B et contient des dispositions :

- qui interdisent aux exploitants de poursuivre le vol dans des conditions de givrage modéré ou de plus forte intensité;
- qui définissent des conditions de givrage modéré comme la présence de l'une ou de plusieurs des conditions suivantes :
  - la vitesse diminue de 20 nœuds;
  - le couple moteur nécessaire pour maintenir la vitesse augmente de 400 pieds-livres;
  - il est impossible de maintenir la vitesse de 120 nœuds en palier;
  - une accumulation de ¼ de pouce de glace est constatée sur les haubans d'aile.
- qui exigent d'apporter des modifications au manuel de vol de l'avion et à son manuel d'utilisation pour indiquer les vitesses minimales suivantes dans des conditions givrantes (sauf au moment du décollage et de l'atterrissage et en cas d'utilisation de liquides d'antigivrage ou de dégivrage au sol) :
  - volets rentrés : 120 nœuds
  - volets sortis à 10° : 105 nœuds
  - volets sortis à 20° : 95 nœuds
- qui exigent de débrayer le pilote automatique au premier signe d'accumulation de glace;

- qui exigent d'apporter des modifications au manuel de vol de l'avion et à son manuel d'utilisation pour informer les pilotes que l'avertisseur sonore de décrochage ne fonctionne pas correctement dans toutes les conditions givrantes;
- qui exigent d'apporter des modifications au manuel de vol de l'avion et à son manuel d'utilisation pour informer les pilotes que l'accumulation de glace sur la cellule peut entraîner une augmentation de 20 nœuds de la vitesse de décrochage et une augmentation de 400 pieds-livres du couple moteur pour que l'avion puisse maintenir sa vitesse;
- qui exigent d'apposer dans le poste de pilotage des affichettes reflétant certaines des modifications apportées au manuel de vol de l'avion et à son manuel d'utilisation.

Dans sa réponse à la recommandation A06-03 du BST, la FAA indique qu'elle est d'accord avec l'esprit de la recommandation et qu'elle a donné suite à la recommandation en publiant la consigne de navigabilité 2006-06-06 qui limite l'exploitation du Cessna 208 et du Cessna 208B dans des conditions givrantes. La FAA indique également qu'elle estime que les mesures qu'elle a prises répondent entièrement à l'objectif de la recommandation du BST.

La consigne de navigabilité 2006-06-06 de la FAA exige que les pilotes sortent des conditions de givrage modéré ou de plus forte intensité quand ils se retrouvent dans de telles conditions. La consigne de navigabilité 2006-06-06 définit les conditions de givrage modéré et de plus forte intensité qui s'appliquent au Cessna 208 et au Cessna 208B; elle fournit des indicateurs pour permettre aux pilotes de déterminer quand ils doivent sortir de ces conditions et donne des conseils sur la façon de sortir des conditions de givrage d'intensité supérieure au givrage léger. Les résultats des tests en vol conduits par la FAA et l'examen des données sur les accidents n'ont pas démontré que le Cessna 208 et le Cessna 208B étaient capables de sortir en toute sécurité de telles conditions de givrage. En fait, les mesures prises par la FAA permettent aux aéronefs de partir même si les prévisions annoncent des conditions de givrage d'intensité supérieure au givrage léger. Les mesures prises par la FAA vont réduire, mais sans réduire grandement ou éliminer, la lacune de sécurité soulevée par le Bureau dans sa recommandation A06-03. En conséquence, cette réponse est jugée en partie satisfaisante. Le Bureau va faire un suivi de la réponse de la FAA afin de déterminer, à la lumière de la consigne de navigabilité 2006-06-06 de la FAA, dans quelle mesure, le cas échéant, les pilotes continuent d'éprouver des difficultés d'exploitation du Cessna 208 dans des conditions givrantes. Ce dossier est un dossier actif.

Le 19 mai 2006, la FAA a indiqué que la recommandation A06-04 avait été transmise au Wichita Aircraft Certification Office à des fins d'examen et d'évaluation. L'Office of Accident Investigation (AAI) de la FAA attend la réponse du Wichita Aircraft Certification Office. La consigne de navigabilité 2006-06-06 de la FAA a été publiée afin de mettre en œuvre cette recommandation. Cette mesure corrective obligatoire précise que, dans des conditions givrantes, la vitesse indiquée en nœuds (KIAS), volets rentrés, doit être d'au moins 120 KIAS, et elle exige que le pilote sorte des conditions givrantes s'il ne peut maintenir la vitesse de 120 KIAS en palier. La mesure prise par la FAA va réduire grandement ou éliminer la lacune de sécurité soulevée par le Bureau dans sa recommandation A06-04. C'est pourquoi cette réponse est jugée entièrement satisfaisante.

#### 4.1.5 Mesures prises par Morningstar Air Express Inc.

Morningstar a publié une note de service opérationnelle spécifiant les meilleures pratiques d'exploitation du Cessna 208. Les mesures prises comprennent des dispositions générales permettant aux pilotes d'annuler des vols en raison de la météo, ainsi que les mesures spécifiques suivantes :

- le vol est interdit quelle que soit l'intensité de la pluie verglaçante, de la bruine verglaçante, des granules de glace, de la neige roulée ou de conditions mixtes, et en cas de conditions givrantes connues ou prévues d'intensité modérée ou forte;
- les pilotes sont tenus d'obtenir une prévision de zone graphique (GFA) avant chaque vol;
- la masse totale doit être réduite à 8550 livres ou moins dans des conditions givrantes;
- les pilotes sont tenus de conserver une vitesse minimale de 120 nœuds dans des conditions givrantes;
- il faut fixer un minimum aux plafonds et aux visibilité dans le cas des approches indirectes effectuées dans des conditions givrantes.

Morningstar a repensé son plan de vol exploitation et son formulaire de devis de masse et centrage afin d'y incorporer un duplicata permettant de respecter plus facilement l'obligation de laisser une copie de ces documents à destination.

Morningstar a procédé à une vérification des documents de masse et centrage de tous ses avions afin d'en confirmer l'exactitude. Tous les Cessna 208 de la flotte ont fait l'objet d'une nouvelle pesée et font partie d'un programme de pesée tous les trois ans.

Des filets de retenue du fret adaptés ont été installés et couvrent la longueur des zones de fret de tous les Cessna 208 Caravan. Les équipages de conduite, le personnel de piste et les préposés au chargement ont reçu une formation leur expliquant comment utiliser ces filets. Ces filets autorisent des masses plus élevées pour l'ensemble des zones tout en réduisant le risque de surcharge d'une zone.

Morningstar a adopté un nouveau système de masse et centrage qui détermine le centre de gravité de l'avion après le chargement. Transports Canada a approuvé ce nouveau système de Morningstar, lequel utilise un dispositif de mesure (le système Gelfand) capable de déterminer la longueur de l'amortisseur oléopneumatique avant, et d'en déduire ainsi une mesure spécifique du centre de gravité réel après le chargement et de s'assurer que l'avion se trouve bien dans la plage de centrage requise.

Un gestionnaire supplémentaire s'est joint au service des opérations de vol à titre de chef pilote adjoint chargé exclusivement des opérations du Cessna 208 Caravan. Ses fonctions consistent à surveiller les opérations, à s'assurer que tous les pilotes suivent en tout temps les politiques et les pratiques actuelles en matière de sécurité, à identifier d'autres possibilités qui permettraient d'améliorer la sécurité et à développer des procédures d'utilisation normalisées (SOP) pour le compte du service.

Le document sur les meilleures pratiques a été révisé à la suite de la publication de nouveaux documents réglementaires et de nouvelles recommandations provenant d'instances gouvernementales du Canada et des États-Unis. Les nouvelles mesures de sécurité suivantes ont été ajoutées au document sur les meilleures pratiques :

- les approches indirectes sont interdites dans des conditions givrantes;
- aucun vol à vue n'est permis;
- la longueur minimale disponible pour un décollage depuis une intersection est de 5000 pieds;
- une liste de vérifications normalisées sera utilisée dans toutes les bases de Cessna 208;
- des politiques, des procédures et des restrictions additionnelles ont été ajoutées en ce qui concerne l'autorisation de partir dans des conditions givrantes connues ou prévues;
- une note de service à l'intention de tous les équipages a été publiée leur demandant de s'assurer de la présence d'additif antigel pendant le ravitaillement en carburant au cours de la saison hivernale;
- une note de service à l'intention des pilotes de Cessna 208 a été publiée leur demandant d'être physiquement présents (sur l'aire de trafic, à côté des chargeurs) lorsque leur avion est chargé par l'agent de fret;
- les exigences de maintenance annuelles des boudins de dégivrage ont été revues. À la suite de cet examen, la compagnie a augmenté la fréquence de ses inspections pour les rendre semestrielles et faire en sorte qu'elles aient lieu au début de la saison hivernale et pendant celle-ci. Le service a également ajouté une ordonnance d'inspection supplémentaire afin de lever l'ambiguïté quant à établir si le test est satisfaisant et a ajouté un certain nombre d'autres vérifications supplémentaires aux anciennes exigences annuelles minimales. Ce nouveau processus a été appliqué à tous les Cessna 208 de la compagnie immédiatement après son adoption;
- un nouveau processus a été ajouté à la base de données de la régulation des vols; le processus permet de suivre et de documenter les retards et les annulations des vols dus à des conditions givrantes réelles ou prévues. Cette base de données sert à analyser les tendances, aide à prendre des décisions et à consigner les retards et les annulations dus au givrage ou aux conditions météorologiques;

- un système de détection du givrage Rosemount Aerospace a fait l'objet de recherches et d'essais, et on a procédé à son installation sur tous les Cessna 208 à l'automne 2006.

#### 4.1.6 *Mesures prises par la Cessna Aircraft Company*

Cessna a modifié la révision 7 du supplément S1 du manuel de vol et du manuel d'utilisation de l'avion. La révision 8 de ce supplément incorpore des modifications par rapport à la révision 7. Entre autres, la section 4 a été révisée afin d'indiquer que la montée devrait se faire à 120 nœuds et que, s'il faut monter pour passer au-dessus des conditions givrantes, la vitesse de 105 nœuds est recommandée.

#### 4.1.7 *Autres mesures prises*

La compagnie de fret a corrigé le poids du conteneur dont le poids à vide indiqué était incorrect. De plus, les autres conteneurs ont été examinés pour s'assurer que le poids de chaque conteneur était exact.

*Le présent rapport met un terme à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 20 septembre 2006.*





## Annexe A – Calculs de centrage

Article	Zone	Masse maximale*	Centrage le plus avant		Centrage le plus arrière	
			Masse de l'article*	Indice de l'article	Masse de l'article*	Indice de l'article
Fret cabine	1	415	415	983	264	990
	2	860	860	44	860	44
	3	495	495	71	495	71
	4	340	340	70	340	70
	5	315	164	41	315	80
	6	245				
Fret nacelle	A	230				
	B	310	120	998	120	998
	C	270	80	6	80	6
	D	280				
Poids du pilote			120	985	120	985
Masse de base de l'avion			4837	438	4837	438
Carburant au décollage			1607	40	1607	40
Masse totale au décollage			9038	3676	9038	3722
Centre de gravité			36,2 % de la MAC**		40,1 % de la MAC**	

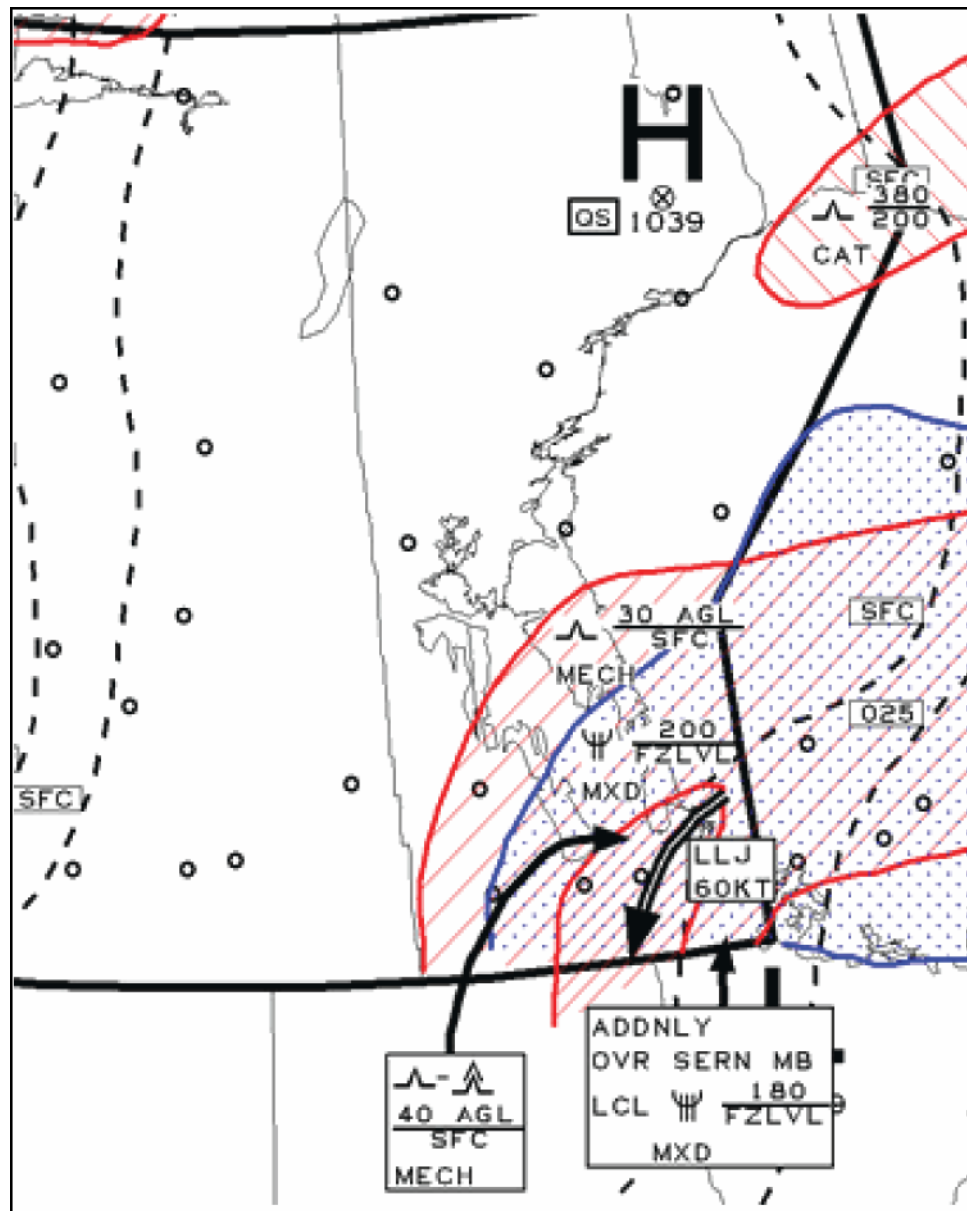
\* Les masses sont exprimées en livres

\*\* MAC : corde aérodynamique moyenne



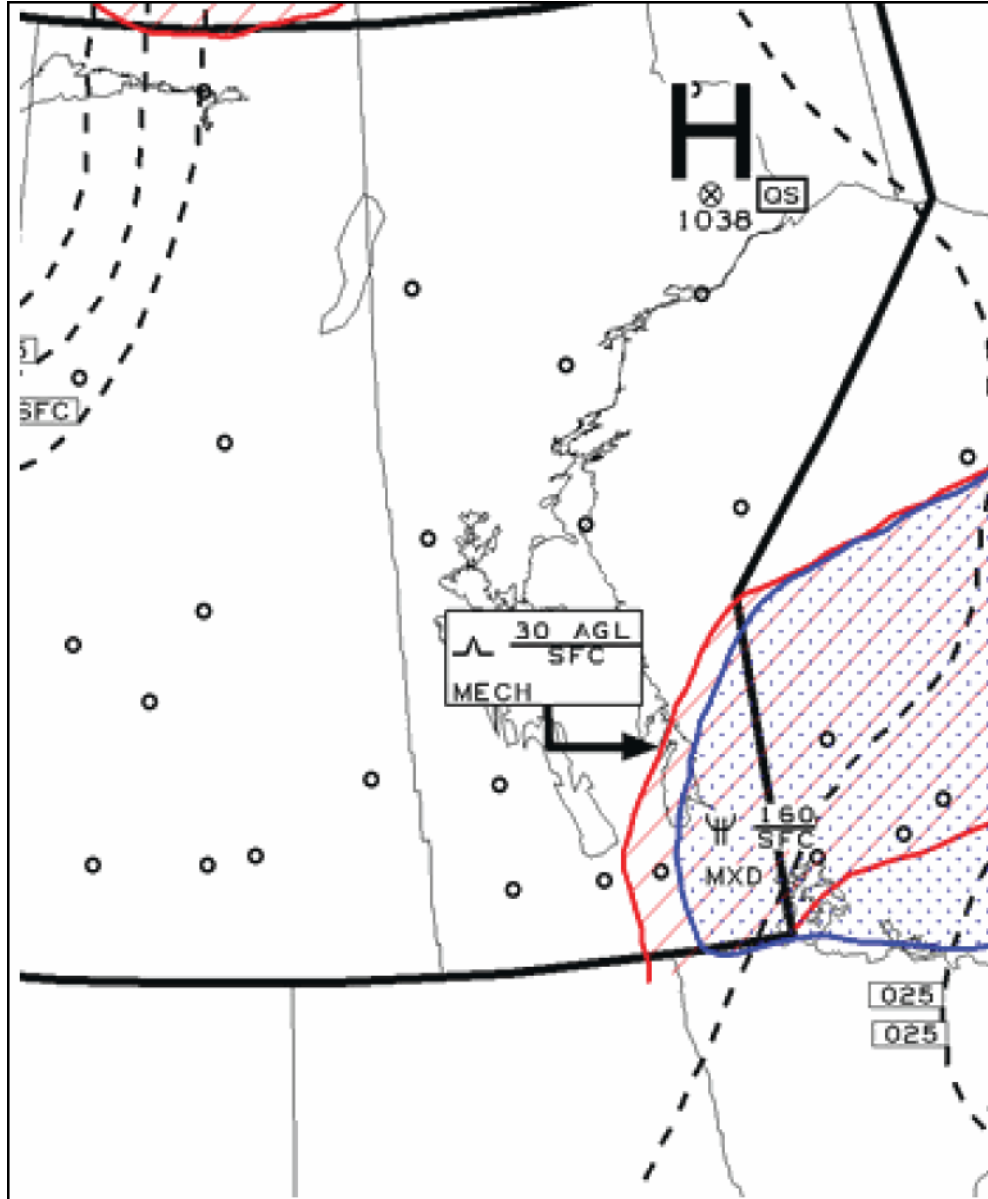
## Annexe B – Prévisions de zone graphique pour le trajet

Givrage et turbulence dans la région de Winnipeg (valable le 6 octobre à 6 h UTC)



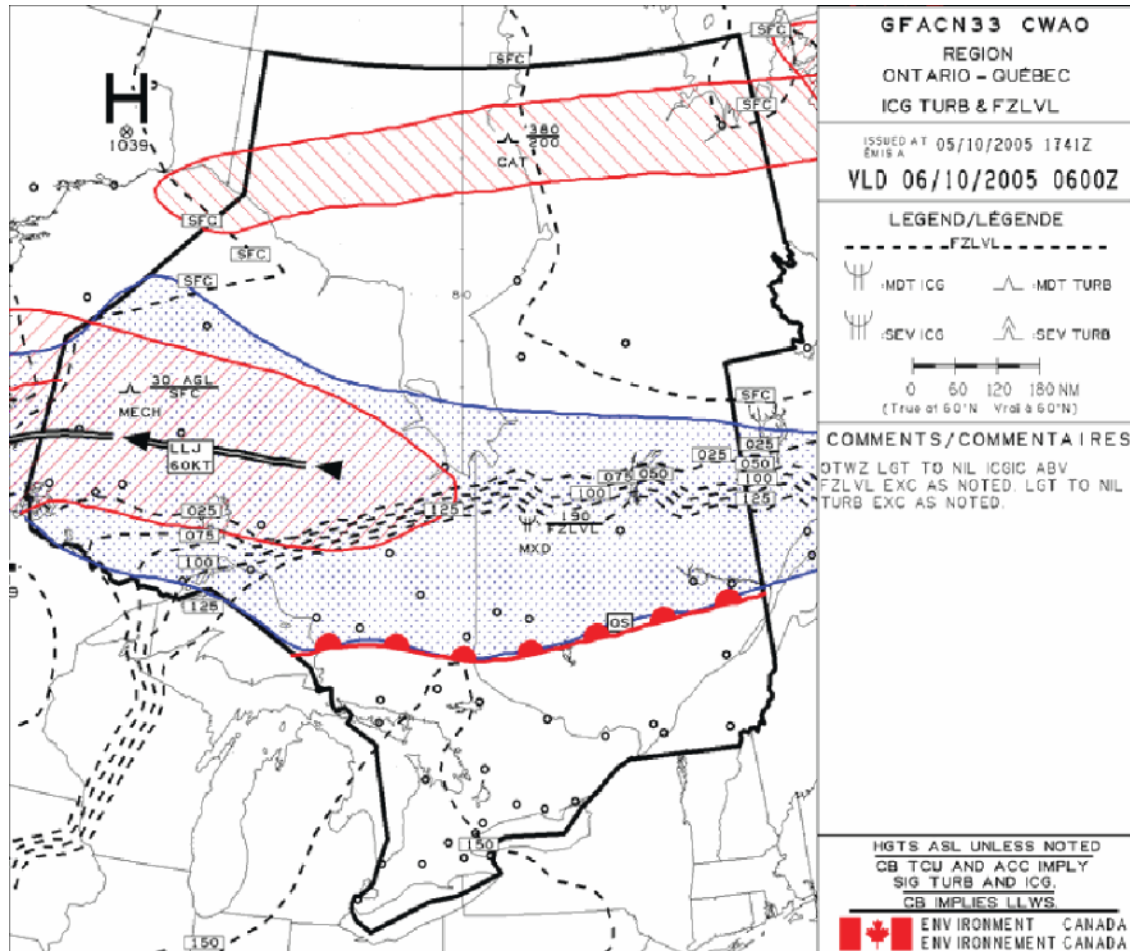
## Annexe B – Prévisions de zone graphique pour le trajet (suite)

Givrage et turbulence dans la région de Winnipeg (valide le 6 octobre à 12 h UTC)



## Annexe B – Prévisions de zone graphique pour le trajet (suite)

Givrage et turbulence dans la région du nord-ouest de l'Ontario (valide le 6 octobre à 6 h UTC)





## Annexe C – Paramètres de givrage

Appendice C de la Partie 25 des *Federal Aviation Regulations* (FAR 25) des États-Unis :

[Traduction]

(a) *Givrage maximal continu.* L'intensité maximale continue des conditions météorologiques givrantes (le givrage maximal continu) est définie par les variables constituées du contenu en eau sous forme liquide des nuages, du diamètre effectif moyen des gouttes des nuages, de la température de l'air ambiant et des relations qui existent entre ces trois variables, comme le montre la figure 1 du présent appendice. Le domaine de givrage limite en ce qui a trait à l'altitude et à la température se trouve à la figure 2 du présent appendice. Les relations entre le contenu en eau sous forme liquide des nuages et le diamètre des gouttes et l'altitude sont établies à partir des figures 1 et 2. Le contenu en eau sous forme liquide des nuages dans des conditions de givrage maximal continu à développement horizontal autre que 17,4 milles marins est déterminé par la valeur du contenu en eau sous forme liquide de la figure 1 multipliée par le facteur approprié tiré de la figure 3 du présent appendice.

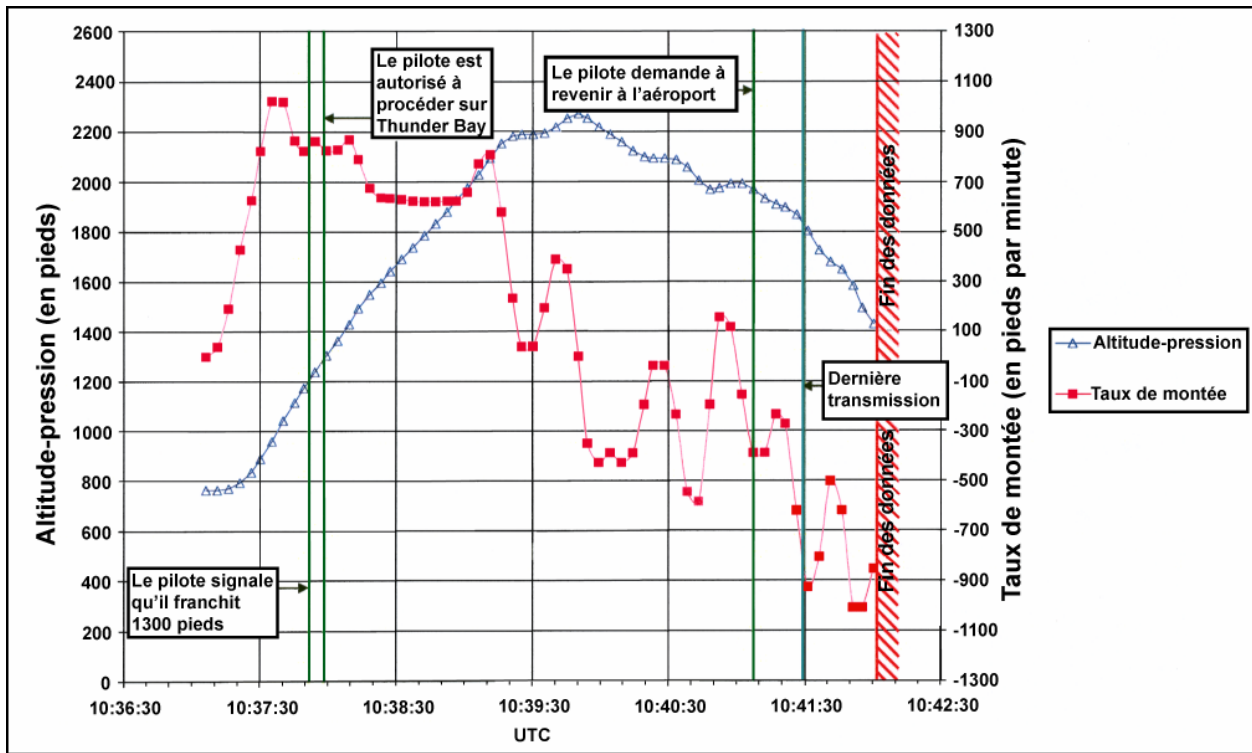
(b) *Givrage maximal intermittent.* L'intensité maximale intermittente des conditions météorologiques givrantes (le givrage maximal intermittent) est définie par les variables constituées du contenu en eau sous forme liquide des nuages, du diamètre effectif moyen des gouttes des nuages, de la température de l'air ambiant et des relations qui existent entre ces trois variables, comme le montre la figure 4 du présent appendice. Le domaine de givrage limite en ce qui a trait à l'altitude et à la température se trouve à la figure 5 du présent appendice. Les relations entre le contenu en eau sous forme liquide des nuages et le diamètre des gouttes et l'altitude sont établies à partir des figures 4 et 5. Le contenu en eau sous forme liquide des nuages dans des conditions de givrage maximal intermittent à développement horizontal autre que 2,6 milles marins est déterminé par la valeur du contenu en eau sous forme liquide de la figure 4 multipliée par le facteur approprié tiré de la figure 6 du présent appendice.

Les graphiques mentionnés aux alinéas (a) et (b) ci-dessus peuvent être consultés à l'adresse [http://www.airweb.faa.gov/Regulatory\\_and\\_Guidance\\_Library/rgFAR.nsf/0/1717FB972BCEB08E85256673004F3104?OpenDocument](http://www.airweb.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgFAR.nsf/0/1717FB972BCEB08E85256673004F3104?OpenDocument).



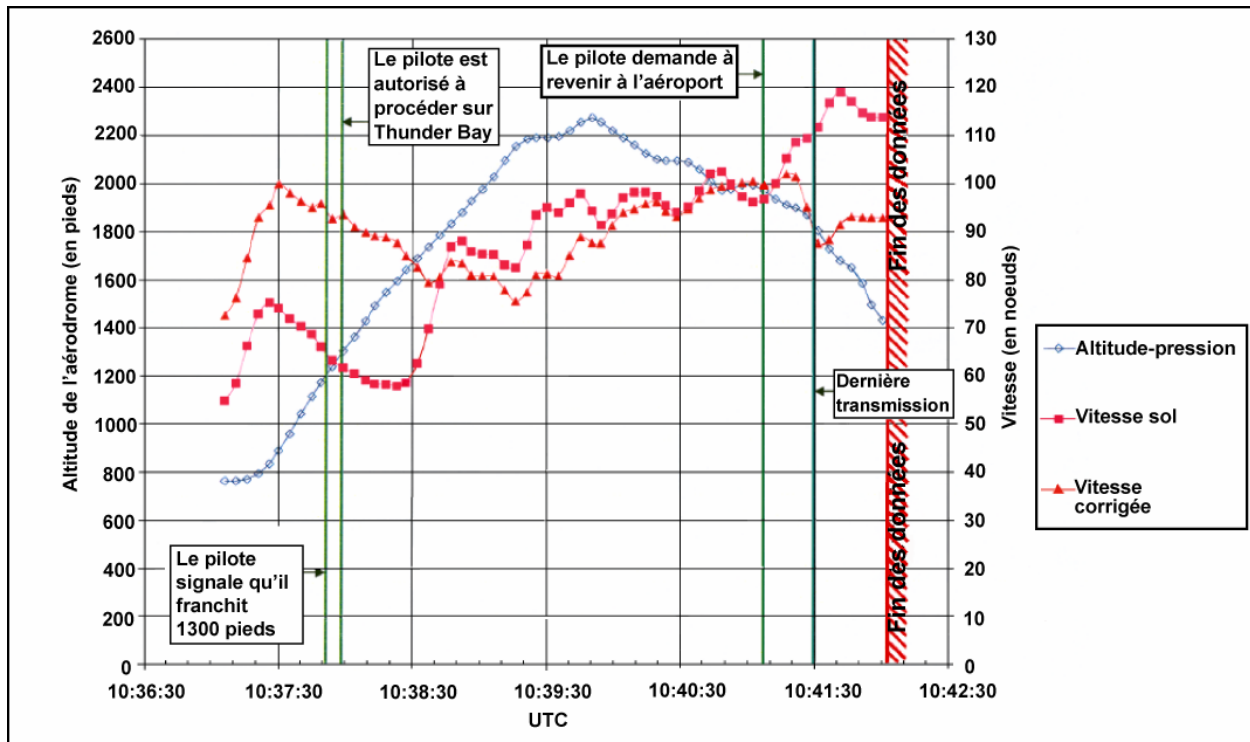


## Annexe D – Altitude par rapport au taux de montée et au taux de descente





## Annexe E – Altitude par rapport à la vitesse sol et à la vitesse anométrique





## *Annexe F – Autres accidents*

Le 27 février 1990 à Denver dans le Colorado aux États-Unis, un Cessna 208A a été détruit et une personne a perdu la vie. Le rapport factuel DEN90FA068 du National Transportation Safety Board (NTSB) des États-Unis indique que des conditions de givrage modéré à fort étaient prévues dans la région de Denver, que de la bruine verglaçante a été observée et que l'avion s'est retrouvé dans des conditions givrantes en approche finale. Le NTSB a estimé que la cause la plus probable de l'accident serait la présence d'une accumulation de glace sur la structure de l'avion, ce qui aurait fait décrocher l'avion.

Le 30 novembre 1995 à Ardmore dans l'Oklahoma aux États-Unis, un Cessna 208B a été lourdement endommagé et le pilote a été légèrement blessé. Le rapport factuel FTW95FA129 du NTSB indique que de la bruine verglaçante avait été signalée à l'aéroport; l'avion a rapidement accumulé de la glace en approche, et le pilote n'a pu maintenir son altitude. Un atterrissage forcé en dehors de l'aéroport s'est soldé par un impact contre le relief sans perte de contrôle. Le NTSB estime que les conditions givrantes qui prévalaient à l'aéroport de destination ont joué un rôle dans l'accident.

Le 4 mars 1997 à Barrie (Ontario), un Cessna 208B a été détruit et une personne a perdu la vie. Le rapport d'enquête A97O0032 du BST indique que du givre blanc d'intensité modérée et du givre mixte d'intensité modérée accompagnés d'une légère bruine verglaçante avaient été prévus et que de la bruine verglaçante avait été signalée aux environs de l'aéroport. Le BST a conclu que l'accumulation de glace sur les surfaces sans protection des bords d'attaque avait entraîné une dégradation des performances de l'avion et que ce dernier avait percuté le sol pour une raison qui n'a pas été déterminée.

Le 25 novembre 1997 à North Bay (Ontario), un Cessna 208B a été lourdement endommagé et deux personnes ont été grièvement blessées. Le rapport d'enquête A97O0247 du BST indique que du givre blanc d'intensité légère à modérée dans les nuages et du givre mixte d'intensité modérée à forte dans de la bruine verglaçante avaient été prévus. L'avion a décroché en approche finale. Le BST a établi que la présence d'une accumulation de glace sur les surfaces sans protection des bords d'attaque et de l'intrados des ailes avait entraîné une dégradation des performances de l'avion, d'où une augmentation de la vitesse de décrochage.

Le 20 janvier 1998 à Grand Island dans le Nebraska aux États-Unis, un Cessna 208B a été lourdement endommagé mais le pilote n'a pas été blessé. Le rapport factuel CHI98LA084 du NTSB indique que l'avion s'est retrouvé dans des conditions givrantes en croisière et que lorsque le pilote a réduit la puissance en prévision de l'atterrissage, l'avion a décroché et a fait un atterrissage dur. Le NTSB a estimé que la cause la plus probable de l'accident serait une accumulation de glace sur les ailes et l'empennage de l'avion, suivie d'un décrochage et d'un atterrissage dur.

Le 5 mars 1998 à Clarksville dans le Tennessee aux États-Unis, un Cessna 208B a été détruit et une personne a perdu la vie. Le rapport factuel MIA98FA091 du NTSB indique que du givre blanc d'intensité légère et par endroit modérée avait été prévu dans les nuages. L'avion s'est retrouvé dans des conditions givrantes, ce qui a provoqué une dégradation de ses performances

suivie d'une perte de maîtrise et d'un impact contre le relief. Le NTSB a estimé que la cause la plus probable de l'accident serait que le pilote a perdu la maîtrise de l'appareil à cause d'un givrage de la cellule non décelé; l'avion a décroché et s'est écrasé.

Le 7 mars 1998 à Bismarck dans le Dakota du Nord aux États-Unis, un Cessna 208B a été détruit et une personne a perdu la vie. Le rapport factuel CHI98FA119 du NTSB indique que l'avion a rencontré des conditions givrantes en cours de route, et qu'en approche finale, le pilote a perdu la maîtrise de l'appareil qui s'est écrasé contre le relief. Le NTSB a établi que les conditions givrantes qui prévalaient avaient joué un rôle dans l'accident.

Le 28 avril 2001 à Roque Perez en Argentine, un Cessna 208B a été détruit et 10 personnes ont perdu la vie. D'après le rapport préliminaire MIA01WA133 du NTSB fondé sur des renseignements provenant des autorités argentines chargées de l'enquête, les conditions en altitude étaient propices au givrage de la cellule, et le pilote avait demandé la permission de descendre à une altitude inférieure à cause de la formation de glace sur les ailes.

Le 5 mai 2001 à Steamboat Springs dans le Colorado aux États-Unis, un Cessna 208B a été détruit et une personne a perdu la vie. Le rapport factuel DEN01FA094 du NTSB indique que du givre blanc et mixte d'intensité modérée était prévu par endroit dans les nuages. L'avion a décroché en approche finale et s'est écrasé. Le NTSB a estimé que la cause la plus probable de l'accident serait un décrochage pendant une approche aux instruments, suivi d'une perte de maîtrise. Les conditions propices au givrage de la cellule ont joué un rôle dans l'accident.

Le 6 mars 2002 à Barrow en Alaska aux États-Unis, un Cessna 208B a subi d'importants dommages mais ni le pilote ni les quatre passagers n'ont été blessés. Le rapport factuel ANC02FA020 du NTSB indique que du givrage fort était prévu et que l'avion a décroché en approche. Le NTSB a estimé que la cause la plus probable de l'accident serait que le pilote a poursuivi le vol dans des conditions météorologiques défavorables et que l'avion a décroché. Les conditions givrantes qui prévalaient ont joué un rôle dans l'accident.

Le 15 mars 2002 à Alma dans le Wisconsin aux États-Unis, un Cessna 208B a été détruit et une personne a perdu la vie. Le rapport factuel CHI02FA093 du NTSB indique que du givre mixte et transparent important était prévu dans les nuages et dans les précipitations. Le pilote a rencontré des conditions givrantes pendant le vol vers une escale prévue. Il n'a pas fait dégivrer l'avion, choisissant plutôt de casser la glace et de la faire tomber de l'avion avant de décoller. Le pilote a décollé dans des conditions connues de givrage fort alors que l'avion était déjà contaminé par de la glace. Il a été incapable de maintenir son altitude, et l'avion a heurté des arbres et s'est écrasé. Le NTSB a établi que les conditions givrantes qui prévalaient ont joué un rôle dans l'accident.

Le 8 novembre 2002 à Parks dans l'Arizona aux États-Unis, un Cessna 208B a été détruit et quatre personnes ont perdu la vie. Le rapport factuel DEN03FA012 du NTSB indique que du givre mixte et blanc d'intensité modérée était prévu. L'avion s'est retrouvé dans des conditions givrantes en croisière à 15 000 pieds, et le pilote a perdu la maîtrise de l'avion qui s'est écrasé contre le relief.

Le 24 janvier 2003 à San Angelo au Texas aux États-Unis, un Cessna 208B a été détruit et deux personnes ont été grièvement blessées. Le rapport préliminaire FTW03FA089 du NTSB indique que des témoins ont observé de la glace dont l'épaisseur variait entre ¼ de pouce et 1 pouce sur des surfaces protégées et des surfaces non protégées de l'avion. L'enquête se poursuit. Le rapport final n'est pas encore disponible.

Le 29 octobre 2003 à Cody dans le Wyoming aux États-Unis, un Cessna 208B a été détruit et une personne a perdu la vie. Le rapport factuel DEN04MA015 du NTSB indique que le pilote avait signalé du givre blanc léger à 12 000 pieds. Il a perdu la maîtrise de l'appareil qui s'est écrasé. Le NTSB a établi que le décrochage de l'avion ainsi que la neige et les conditions givrantes avaient joué un rôle dans l'accident.

Le 4 novembre 2003 à Bangor dans le Maine aux États-Unis, un Cessna 208B a été légèrement endommagé mais le pilote n'a pas été blessé. Le rapport factuel NYC04IA023 du NTSB indique que du givre blanc et mixte d'intensité modérée était prévu par endroit dans les précipitations et les nuages. L'avion a rencontré de la pluie verglaçante en cours de route, et le pilote a demandé à descendre et à se dérouter vers Bangor. La visibilité vers l'avant était nulle et l'avion a fait un atterrissage dur sur la piste sans avoir fait d'arrondi. Le NTSB a estimé que la cause la plus probable de l'accident serait que le pilote ne pouvait pas voir à travers le pare-brise givré. Le givrage des ailes a joué un rôle dans l'accident.

Le 6 décembre 2004 à Bellevue dans l'Idaho aux États-Unis, un Cessna 208B a été détruit et 2 personnes ont perdu la vie. Le rapport factuel SEA05FA025 du NTSB indique que du givre blanc ou mixte d'intensité modérée était prévu par endroit dans les précipitations et les nuages et qu'un aéronef en approche devant le Cessna 208B a rencontré du givre blanc d'intensité légère à modérée. Le NTSB a estimé que la cause la plus probable de l'accident serait que le pilote a perdu la maîtrise de l'avion pendant l'approche dans des conditions givrantes.

Le 19 novembre 2005 à Moscou en Russie, un Cessna 208B a été détruit et 8 personnes ont perdu la vie. L'enquête se poursuit. Le bureau d'enquêtes russe indique que l'enregistreur de données de vol (FDR) de l'avion a révélé que l'appareil volait en palier dans des conditions givrantes et que sa vitesse a diminué. Le pilote a perdu la maîtrise de l'appareil à quelque 102 nœuds, et l'avion s'est écrasé.

Le 22 novembre 2005 près de Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest), un incident est survenu à un Cessna 208B. L'avion n'a pas été endommagé, et ni le pilote ni les cinq passagers n'ont été blessés. Selon l'information recueillie (dossier A05C0217 du BST), le pilote a volé dans des conditions givrantes qui ont provoqué une dégradation des performances de l'appareil alors qu'il se déroulait et montait à 9000 pieds. Il y a eu perte de maîtrise à une vitesse à peine supérieure à 100 nœuds. Le pilote a réussi à reprendre la situation en main après une perte d'altitude d'environ 1500 pieds et il est retourné se poser à Yellowknife. La prévision de zone graphique (GFA) faisait état de givre léger; toutefois, du givre mixte modéré était prévu dans de la bruine verglaçante.

Le 22 mars 2006 près de London (Ontario), un Cessna 208B a rencontré des conditions givrantes à une altitude de 4000 pieds. Il est monté à 6000 pieds mais n'est pas parvenu à éviter les conditions givrantes (rapport A06O0076 du BST). Le système de dégivrage a été mis en marche mais n'a pas réussi à avoir raison de la situation, compte tenu de la vitesse à laquelle la glace se

formait sur les ailes. Les performances de l'avion se sont dégradées, de sorte que, à pleine puissance, l'avion n'arrivait pas à monter à 120 nœuds à une masse totale d'environ 7150 livres. Le pilote automatique était débrayé et l'équipage a remarqué que les commandes étaient devenues molles. L'équipage s'est dérouteré sur l'aéroport de London non loin de là, effectuant des virages peu prononcés à chaque fois qu'un changement de cap était nécessaire. L'avion s'est posé en toute sécurité à l'aéroport de London et est reparti vers sa destination, une fois que les conditions givrantes eurent quitté la région. L'équipage de conduite avait vérifié les conditions météorologiques en route environ une heure avant de décoller, et rien n'indiquait la présence de conditions givrantes pendant le vol. Des rapports de pilote (PIREP) ont été reçus de deux de Havilland DHC-8 qui avaient eux aussi rencontré des conditions givrantes dans la région. Aucun des équipages de ces deux avions n'a fait état de problèmes de maîtrise de l'appareil.



## *Annexe G – Liste des rapports de laboratoire*

L'enquête a donné lieu aux rapports de laboratoire suivants :

- LP 110/05 – *FDR/Aircraft Performance Analysis*  
(Analyse d'un FDR et des performances de l'aéronef)
- LP 111/05 – *Engine Instrument Examination*  
(Examen des instruments moteur)
- LP 121/05 – *De-Ice Valve Analysis*  
(Analyse des vannes de dégivrage)

On peut obtenir ces rapports en s'adressant au Bureau de la sécurité des transports du Canada.

## Annexe H – Sigles et abréviations

agl	au-dessus du sol
asl	au-dessus du niveau de la mer
ATC	contrôle de la circulation aérienne
ATIS	Service automatique d'information de région terminale
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
CN	Canadien National
CVR	enregistreur de la parole dans le poste de pilotage
FAA	Federal Aviation Administration (États-Unis)
FAR	<i>Federal Aviation Regulations</i>
FBO	exploitant de services aéronautiques d'aéroport
FDR	enregistreur de données de vol
FIC	centre d'information de vol
GFA	prévision de zone graphique
HAC	heure avancée du Centre
IFR	règles de vol aux instruments
IMC	conditions météorologiques de vol aux instruments
ITT	températures inter-turbines
KIAS	vitesse indiquée en noeuds
lb	livre
MAC	corde aérodynamique moyenne
MAL8060	vol 8060 de Morningstar Air Express Inc.
METAR	message d'observation météorologique régulière pour l'aviation
Ng	générateur de gaz du moteur
NTSB	National Transportation Safety Board (États-Unis)
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
PAR	enregistreur analyseur de puissance
pi/min	piéd par minute
PIREP	rapport de pilote sur les conditions météorologiques en vol
PPC	vérification de compétence pilote
SIGMET	renseignements météorologiques significatifs
sm	mille terrestre
SPECI	observation météorologique spéciale
TAF	prévision d'aérodrome
UTC	temps universel coordonné
VMC	conditions météorologiques de vol à vue
Vy	vitesse ascensionnelle maximale
°	degré
°C	degré Celsius