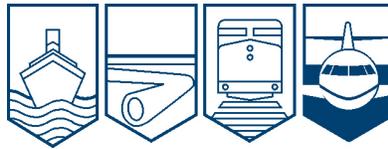


Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE A12C0005



PERTE DE MAÎTRISE ET COLLISION AVEC LE RELIEF

**DU PIPER PA31-350 NAVAJO CHIEFTAIN, C-GOSU
EXPLOITÉ PAR KEYSTONE AIR SERVICE LTD.**

À NORTH SPIRIT LAKE (ONTARIO)

LE 10 JANVIER 2012

Canada

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

Rapport d'enquête aéronautique

Perte de maîtrise et collision avec le relief

du Piper PA31-350 Navajo Chieftain, C-GOSU
exploité par Keystone Air Service Ltd.
à North Spirit Lake (Ontario)
le 10 janvier 2012

Numéro de rapport A12C0005

Résumé

L'aéronef Piper PA31-350 Navajo Chieftain (immatriculé C-GOSU et portant le numéro de série 31-7752148), assurant le vol 213 de Keystone Air Service Ltd., s'envole de l'aéroport international James Armstrong Richardson de Winnipeg (Manitoba) à destination de North Spirit Lake (Ontario), avec 1 pilote et 4 passagers à son bord. À 9 h 57, heure normale du Centre, en approche de la piste 13 à North Spirit Lake, l'aéronef entre en collision avec la surface glacée du lac, à 1,1 mille marin du seuil de la piste 13. Le pilote et 3 passagers subissent des blessures mortelles; un passager s'en tire avec des blessures graves. L'aéronef est détruit par la force de l'impact et l'incendie qui s'ensuit. Après une brève période de fonctionnement, la radiobalise de repérage d'urgence cesse de transmettre car le feu consume le fil de l'antenne.

This report is also available in English.

Table des matières

1.0	Renseignements de base	2
1.1	Déroulement du vol.....	2
1.2	Victimes	3
1.3	Dommmages à l'aéronef.....	3
1.4	Autres dommages.....	3
1.5	Renseignements sur le personnel	4
1.6	Renseignements sur l'aéronef	5
1.7	Renseignements météorologiques.....	7
1.7.1	Vols précédents du pilote en cause	7
1.8	Aides à la navigation.....	8
1.9	Communications	9
1.10	Renseignements sur l'aérodrome	9
1.10.1	Aéroport de North Spirit Lake (CKQ3)	9
1.10.2	Exploitation de l'aéroport.....	9
1.11	Enregistreurs de bord.....	10
1.12	Renseignements sur l'épave et sur l'impact.....	10
1.13	Renseignements médicaux	12
1.14	Incendie	12
1.14.1	Généralités	12
1.15	Questions relatives à la survie des occupants.....	13
1.16	Essais et recherches.....	14
1.17	Renseignements sur les organismes et sur la gestion	14
1.17.1	Keystone Air Service	14
1.17.2	Régulation des vols par mauvais temps.....	15
1.18	Renseignements supplémentaires	16
1.18.1	Prise de décisions du pilote	16
1.18.2	Gestion des menaces et des erreurs.....	16
1.18.3	Givrage des aéronefs	17
1.18.4	Système de gestion de la sécurité	18
2.0	Analyse	19
2.1	Aéronef.....	19
2.2	Pilote	19
2.3	Formation sur la gestion des menaces et des erreurs et la prise de décisions du pilote.....	19
2.4	Régulation des vols par les pilotes eux-mêmes.....	20
2.5	Régulation des vols par mauvais temps.....	20
2.6	Décision du pilote de décoller.....	20
2.7	Décision du pilote de descendre.....	20
2.8	Procédure d'approche aux instruments	21
2.9	Givrage des aéronefs	21

2.10	Scénario de l'accident	22
3.0	Faits établis	23
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs	23
3.2	Faits établis quant aux risques	23
4.0	Mesures de sécurité	25
4.1	Mesures de sécurité prises	25
4.1.1	NAV CANADA	25
4.1.2	Keystone Air Service	25
Annexes		26
	Annexe A - Rapports du Laboratoire du BST	26
	Annexe B - Prévisions de zone graphique : nuages et conditions météorologiques	27
	Annexe C - Prévisions de zone graphique : givrage, turbulence et niveau de congélation	28

Table des photos

Photo 1.	Épave sur les lieux	12
Photo 2.	Givre sur le bord d'attaque	12
Photo 3.	Palette de décrochage	12
Photo 4.	Givre sur le bord d'attaque du stabilisateur horizontal	12

Table des figures

Figure 1.	Emplacement de l'épave	3
------------------	------------------------------	---

1.0 Renseignements de base

1.1 Déroutement du vol

Le pilote est arrivé à l'aéroport international James Armstrong Richardson de Winnipeg (CYWG) vers 5 h 30¹ pour préparer un départ à 7 h 30. L'aéronef a décollé de CYWG à 7 h 51 en suivant un plan de vol selon les règles de vol aux instruments (IFR) à destination de North Spirit Lake (CKQ3). L'itinéraire prévu était de CYWG à Deer Lake (CYVZ), en Ontario, avec une escale à CKQ3 pour y déposer 1 passager. Les 3 autres passagers devaient ensuite continuer jusqu'à CYVZ pour assister à des réunions. En route, l'aéronef volait juste au-dessus du sommet des nuages à une altitude de 9000 pieds au-dessus du niveau de la mer (asl).

L'aéronef est arrivé dans la région de CKQ3 vers 9 h 30 et le pilote a transmis un avis de circulation sur la fréquence de trafic de l'aérodrome (ATF) CKQ3. Le contremaître de l'aéroport, qui déneigeait la piste, a informé le pilote du déneigement en cours, qui serait terminé environ 10 minutes plus tard. Le pilote a alors communiqué son intention de retarder l'atterrissage jusqu'à la fin du déneigement. Le bruit de l'aéronef passant au-dessus de CKQ3 a été entendu pendant plusieurs minutes, l'aéronef semblait être près et à basse altitude, mais on ne pouvait pas le voir en raison de la chute abondante de neige et de la couverture nuageuse.

Du givre s'accumulait sur le pare-brise de l'aéronef pendant l'attente. Le pilote a rappelé plusieurs minutes plus tard pour demander si le déneigement était terminé. Le contremaître de l'aéroport a informé le pilote qu'environ 60 % de la piste avait été déneigée et que l'équipement était en train de quitter la piste. Le pilote a amorcé l'approche. Durant l'approche, l'aéronef a viré à gauche, puis à droite à une forte inclinaison, et a ensuite percuté la glace vers 9 h 57. (Figure 1)

¹ Les heures sont indiquées en heure normale du Centre (temps universel coordonné moins 6 heures).

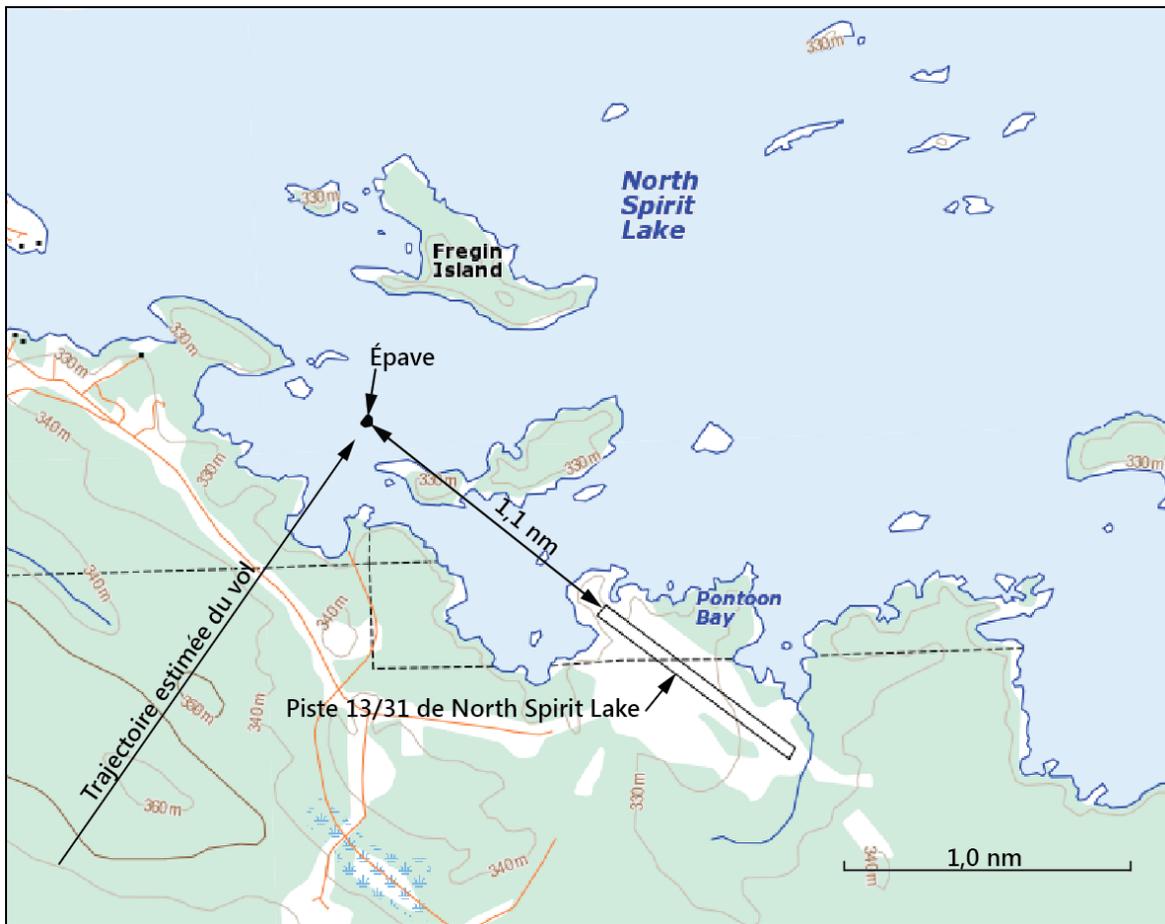


Figure 1. Emplacement de l'épave

1.2 Victimes

	Équipage de conduite	Passagers	Total
Tués	1	3	4
Blessés graves	-	1	1
Blessés légers/indemnes	-	-	-
Total	1	4	5

1.3 Dommages à l'aéronef

L'aéronef s'est désintégré sous la force de l'impact contre la surface glacée du lac. L'incendie qui s'est déclaré après l'impact a consumé la majeure partie de l'aéronef.

1.4 Autres dommages

À l'exception d'une petite quantité de contamination résiduelle qui pourrait rester sur les lieux après l'enlèvement de l'épave, les dommages se limitent à l'aéronef lui-même puisque l'accident s'est produit sur la surface du lac.

1.5 Renseignements sur le personnel

Les dossiers indiquent que le pilote possédait les licences et les qualifications nécessaires pour effectuer le vol, conformément à la réglementation en vigueur. Le pilote était titulaire d'une licence de pilote professionnel annotée d'une qualification de vol aux instruments sur multimoteurs de groupe 1 et d'un certificat médical de catégorie 1. Les carnets de vol du pilote ont été examinés. Ces carnets contenaient des registres de l'activité aéronautique du pilote jusqu'au 14 novembre 2011, et indiquaient que le pilote avait cumulé environ 2400 heures de vol en tout, dont 2300 heures sur un petit aéronef monomoteur à titre d'étudiant, puis à titre d'instructeur. En outre, le pilote avait cumulé environ 125 heures de vol sur des aéronefs multimoteurs, dont quelque 95 heures sur le type en cause. Durant l'entraînement au vol aux instruments sur multimoteurs du pilote et l'entraînement en ligne de Keystone, le pilote a cumulé 55,2 heures de vol aux instruments, dont environ 2,5 heures dans de réelles conditions météorologiques de vol aux instruments (IMC).

Le pilote est entré au service de Keystone Air Service Ltd. (Keystone) en octobre 2011. Le pilote a suivi la formation d'introduction de la compagnie dans une variété de domaines : compétences sur l'aéronef, givrage et matières dangereuses, en conformité avec le manuel d'exploitation de la compagnie (COM) de Keystone et le *Règlement de l'aviation canadien* (RAC). La formation portait aussi sur les facteurs humains. Cette formation contenait le document (TC) TP 14175F – *Facteurs de rendement humain pour les travaux et la maintenance élémentaires* de Transports Canada. D'autres documents recommandés traitant des facteurs humains en aviation, notamment TP 12863 – *Manuel de base*, TP 12864 – *Manuel avancé* et TP 12865 – *Guide de l'instructeur*, n'ont pas été utilisés dans le cadre de la formation d'introduction.

Le pilote a reçu sa formation sur le givrage au sol pendant sa formation initiale au pilotage menant à l'obtention des licences de pilote privé et professionnel. Lorsque le pilote a commencé à travailler pour Keystone, un pilote instructeur chevronné lui a donné de la formation et des instructions relatives au givrage; le pilote a aussi visionné une vidéo de formation (National Aeronautics and Space Administration [NASA] *In-flight Icing Training for Pilots*). Les directives énoncées dans le COM de Keystone exigent que la formation aborde également le manuel de l'aéronef, l'équipement pour le vol en conditions givrantes et pour le vol en conditions givrantes la nuit, l'utilisation d'un aéronef dans des conditions givrantes et les effets aérodynamiques du givrage en vol. Après la formation, le pilote a réussi un examen en 3 parties sur le givrage, conformément au COM de Keystone. Même si l'exploitant ne donnait pas d'exposés annuels sur les opérations hivernales, les pilotes étaient tenus de suivre une formation périodique annuelle sur le givrage.

La formation sur les facteurs humains n'abordait pas la prise de décisions du pilote (PDP) ou la gestion des menaces et des erreurs (TEM), et rien n'exigeait qu'elle le fasse. La formation sur la PDP et la TEM aide les pilotes à prendre des décisions opérationnelles bien fondées, plus particulièrement dans le cadre d'un système de régulation des vols géré par le pilote à partir de l'information disponible et de l'expérience.

Après avoir terminé la formation initiale avec Keystone, le pilote a réussi un contrôle de la compétence du pilote. Le pilote a ensuite reçu un entraînement en ligne d'environ 55 heures sur le Piper PA31-350. L'entraînement en ligne consistait en une série de vols en présence d'un pilote superviseur. Ces vols étaient effectués principalement dans des conditions météorologiques de vol à vue (VMC) et, dans une moindre mesure, dans des IMC. Durant ces vols, les aéronefs ne se sont retrouvés que dans des conditions de givrage léger. Les vols étaient effectués entièrement ou en partie dans un espace aérien non contrôlé à l'extérieur de la zone de

couverture radar du contrôle de la circulation aérienne (ATC) et les altitudes de vol n'ont pas été enregistrées.

Le vol en cause était le troisième du pilote à destination de CKQ3. Le pilote avait effectué 19 vols dans des VMC durant les 7 jours de vol seul aux commandes après avoir terminé l'entraînement en ligne.

On a décrit le pilote comme une personne ambitieuse, désireuse de démontrer sa compétence et prudente.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

Le Piper PA31-350 Navajo Chieftain est un aéronef bimoteur muni d'un train d'atterrissage escamotable et d'hélices à vitesse constante, doté d'une masse maximale au décollage de 7368 livres. L'aéronef était configuré pour transporter un pilote et jusqu'à 9 passagers. L'aéronef était certifié pour voler le jour ou la nuit, selon les règles de vol à vue (VFR) ou les règles IFR.

Les dossiers indiquent que l'aéronef a été entretenu conformément au système de contrôle de la maintenance approuvé par Keystone. La révision des registres techniques indique qu'aucune réparation n'avait été reportée, et que l'aéronef ne présentait aucun défaut non corrigé. Le pilote n'a signalé aucune difficulté technique pour cet appareil avant l'événement.

Un examen de la masse opérationnelle à vide et du centrage a révélé que l'aéronef était exploité conformément aux limites précisées pour le vol en question. Au moment de l'événement, il y avait environ 765 livres de carburant à bord de l'aéronef.

Le manuel du pilote et le manuel de vol approuvé (rapport 2046) pour le PA31-350 indiquent que l'aéronef en cause était certifié pour le vol dans des conditions de givrage léger à modéré. L'aéronef était équipé de l'équipement de dégivrage suivant :

- circuit de dégivrage des ailes et de l'empennage;
- pare-brise chauffé;
- tube de Pitot chauffé;
- dégivreur d'hélice;
- boudin de dégivrage de cornet de la gouverne de profondeur.

Les termes « givrage léger » et « givrage modéré » décrivent l'intensité du givre. Même si le manuel du pilote ne donne pas de définition de givrage léger et modéré, TC² définit ces conditions de givrage ainsi :

- Léger – Le taux d'accumulation de la glace peut causer des ennuis si le vol se poursuit dans de telles conditions (plus d'une heure).

² Transports Canada (TC), TP 14371F (02/2012), *Manuel d'information aéronautique* (AIM de TC), section MET 2.4 – Givrage de cellule, page 131. En ligne : <http://www.tc.gc.ca/publications/fr/tp14371/pdf/hr/tp14371f.pdf> (consultée le 13 novembre 2013).

- Modéré – Le taux d’accumulation de la glace est tel que même de courtes périodes d’exposition peuvent devenir dangereuses. On doit alors utiliser un système de dégivrage ou d’antigivrage ou encore changer de route.

Tel qu’il était équipé, l’aéronef en cause était certifié pour décoller lorsqu’on prévoit des conditions de givrage léger à modéré le long de l’itinéraire prévu. La Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis définit l’expression « conditions givrantes prévues » comme étant des conditions environnementales qu’un service météorologique national ou une entreprise spécialisée dans les prévisions météorologiques approuvée par la FAA juge propices à la formation de givre sur l’aéronef en cours de vol³. Cependant, le fabricant a indiqué que, lorsque l’aéronef en cause se retrouvait dans des conditions givrantes connues, le système de dégivrage devait être utilisé pour aider à dérouter le vol à l’écart du givre et non pas pour poursuivre le vol dans de telles conditions. La FAA définit l’expression « conditions givrantes connues » comme étant des conditions atmosphériques où on a observé ou détecté la formation de givre en vol⁴. La référence à ce sujet se trouve dans la circulaire d’information 135-9 de la FAA⁵. Cependant, les circulaires d’information ne font pas habituellement partie de l’entraînement en ligne et du plan de formation des pilotes. Le COM de Keystone ne fait nulle mention de cette circulaire d’information.

En 1980, une trousse de modification (Piper Service Spares Letter 361) a été proposée. Elle devait permettre de certifier cet aéronef PA31-350 pour le vol dans des conditions givrantes connues. La modification de l’aéronef comprenait l’installation de l’équipement supplémentaire suivant :

- boudins de dégivrage de l’intérieur des ailes;
- palette de décrochage chauffée;
- écope de la prise d’air antigivrage de style NACA⁶ pour le réchauffeur à combustion.

Le fabricant a indiqué que les aéronefs certifiés pour le vol dans des conditions givrantes connues peuvent continuer de voler dans des conditions de givrage léger à modéré.

Cette modification n’avait pas été installée sur l’aéronef en cause.

Lors de discussions avec des pilotes de Keystone, anciens et actuels, qui ont piloté des aéronefs de type PA31-350, ces personnes ont exprimé leur incertitude quant aux limites de l’aéronef compte tenu de sa certification en conditions givrantes.

³ Federal Aviation Administration (FAA), *Aeronautical Information Manual (AIM)* (22 août 2013). En ligne : http://www.faa.gov/air_traffic/publications/ATPubs/AIM/aim.pdf (consultée le 13 novembre 2013).

⁴ *Ibid.*

⁵ FAA Advisory Circular (AC) 135-9 – Federal Aviation Regulations (FARs) Part 135: Icing Limitations (30 mai 1981). En ligne : [http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgAdvisoryCircular.nsf/list/AC%20135-9/\\$FILE/AC135-9.pdf](http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgAdvisoryCircular.nsf/list/AC%20135-9/$FILE/AC135-9.pdf) (consultée le 13 novembre 2013).

⁶ National Advisory Committee for Aeronautics

1.7 Renseignements météorologiques

Le pilote a obtenu les renseignements météorologiques et les avis aux navigants (NOTAM) avant le départ du site Web de NAV CANADA, ce qui est pratique courante pour Keystone.

Il n'y a pas d'observation météorologique courante disponible pour CKQ3. Le message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) de 9 h pour Red Lake (Ontario) (CYRL), 97 milles marins (nm) au sud de CKQ3, indiquait : vent du 170° vrai (V) à 6 nœuds; visibilité de 15 milles terrestres (sm) dans de la neige légère; couvert nuageux à 1000 pieds au-dessus du sol (agl), température de -1 °C, point de rosée de -3 °C, calage altimétrique de 29,53 pouces de mercure.

La prévision d'aérodrome (TAF) pour CYRL, émise à 7 h 38 et valide de 9 h à 12 h, prévoyait des vents du 270 °V à 8 nœuds, une visibilité de 5 sm, avec de la neige légère, une faible bruine verglaçante, des nuages fragmentés à 1000 pieds agl et un ciel couvert à 2500 pieds agl.

La prévision de zone graphique (GFA) pour la région de CKQ3 indiquait une visibilité de 1 à 4 sm dans de la neige légère et plafonds à 800 pieds agl par endroits dans des averses de neige et des conditions de givrage mixte à partir de 3000 pieds agl, avec de la bruine verglaçante accompagnée de brume (Annexe B – Prévisions de zone graphique : nuages et conditions météorologiques).

Les conditions météorologiques observées dans la région de CKQ3 au moment de l'accident étaient des plafonds de 150 à 200 pieds agl, avec une visibilité d'environ ¼ sm en raison de neige et de bruine verglaçante. Un pilote ayant volé dans la région de CKQ3 juste avant l'accident a signalé des conditions de givrage fort à environ 3000 pieds agl, et avait dû dérouter son aéronef. Ce pilote a par la suite déposé un compte rendu de pilote (PIREP) auprès de NAV CANADA.

1.7.1 Vols précédents du pilote en cause

On a examiné un certain nombre de vols précédents effectués par le pilote en cause.

L'enquête a examiné les METAR pertinents pour les aérodromes de départ et de destination et les GFA pour les régions en route afin d'évaluer si les vols auraient été effectués ces jours-là dans des conditions IMC ou VMC. Les données de ces METAR et GFA sont les suivantes :

- Le 20 décembre 2011 (départ de Winnipeg à destination de Saint Andrews (Manitoba), Berens River (Manitoba), Saint Andrews et Winnipeg) – départ : nuages fragmentés à 9600 pieds et visibilité de 15 sm; en route : bases de nuages prévues à 8000 pieds et cimes à 14 000 pieds; Berens River : nuages fragmentés à 7500 pieds et visibilité de 15 sm. Du givrage modéré était prévu dans les nuages, et le niveau de congélation était situé à la surface. Le temps de vol total était de 2,0 heures.
- Le 21 décembre 2011 (départ de Winnipeg à destination de Saint Andrews, Berens River, Saint Andrews et Winnipeg) – départ : nuages épars à 2500 pieds, nuages épars à 4500 pieds, visibilité de 15 sm; en route : bases de nuages prévues de 4000 à 5000 pieds et cimes à 16 000 pieds; arrivée à Berens River : couvert nuageux à 1800 pieds et visibilité de 15 sm; départ de Berens River : couvert nuageux à 1200 pieds et visibilité de 4 sm dans de la neige légère; arrivée à Saint Andrews et Winnipeg : couvert nuageux à

8900 pieds et visibilité de 15 sm. Aucun givrage n'était prévu en route. Le temps de vol total était de 1,8 heure.

- Le 22 décembre 2011 (départ de Saint Andrews à destination de Winnipeg, North Spirit Lake et Saint Andrews) – départ : couvert nuageux à 1700 pieds et visibilité de 15 sm; en route : couvert nuageux prévu de 3000 à 4000 pieds, cimes à 8000 pieds, plafonds occasionnels à 3000 pieds épars et cimes à 6000 pieds; arrivée à CKQ3 : aucun METAR n'est disponible; le METAR pour Red Lake, à 97 nm au sud de CKQ3, indique : couvert nuageux à 2500 pieds et visibilité de 12 sm dans de la neige légère; départ de CKQ3 : conditions comme à l'arrivée. En route, nuages épars à 3000 pieds, cimes à 6000 pieds, devenant des nuages fragmentés de 3000 à 4000 pieds et cimes à 8000 pieds. Aucun givrage n'était prévu dans les nuages. Le temps de vol total était de 2,8 heures.
- Le 29 décembre 2011 (départ de Winnipeg à destination de Little Grand Rapids (Manitoba)) – départ : couvert nuageux à 500 pieds et visibilité de 10 sm; en route : couvert nuageux prévu de 500 à 800 pieds et cimes des nuages à 14 000 pieds; arrivée à Little Grand Rapids et départ subséquent : couvert nuageux à 1000 pieds et visibilité de 15 sm; arrivée à Saint Andrews : couvert nuageux à 1100 pieds, visibilité de 15 sm. Des conditions locales de givrage mixte et modéré étaient prévues dans les nuages à partir de 3000 pieds au-dessus du sol. Le temps de vol total était de 1,8 heure.
- Le 2 janvier 2012 (départ de Saint Andrews à destination de Winnipeg, Cross Lake (Manitoba) et Winnipeg) – départ : nuages épars à 1100 pieds et visibilité de 15 sm; en route : nuages fragmentés à 3000 pieds, cimes à 6000 pieds et plafonds de nuages fragmentés localisés à 800 pieds; arrivée à Cross Lake et départ (on a utilisé Norway House) : nuages fragmentés à 2500 pieds, visibilité de 9 sm dans de la neige; arrivée à Saint Andrews : nuages épars à 2000 pieds, visibilité de 15 sm. Aucun givrage n'était prévu. Le temps de vol total était de 3,6 heures.
- Le 8 janvier 2012 (départ de Winnipeg à destination de Berens River, Poplar River (Manitoba) et Winnipeg) – départ : nuages épars à 9500 pieds et 23 000 pieds et visibilité de 15 sm; en route : nuages fragmentés à 6000 pieds, cimes des nuages à 10 000 pieds et nuages fragmentés localisés de 2000 à 3000 pieds; arrivée à Berens River et départ : aucun rapport n'est disponible; arrivée à Winnipeg : nuages épars à 5000 pieds et 10 000 pieds, visibilité de 15 sm. Aucun givrage n'était prévu. Le temps de vol total était de 2,3 heures.

Ces vols ont été effectués par le pilote en cause seul aux commandes. Les vols étaient effectués entièrement ou en partie dans un espace aérien non contrôlé à l'extérieur de la zone de couverture radar de l'ATC, et les altitudes de vol n'ont pas été enregistrées.

1.8 Aides à la navigation

CKQ3 n'est desservi par aucune aide à la navigation au sol. Les pilotes de Keystone utilisent leur système de positionnement mondial (GPS) pour la navigation vers CKQ3.

L'espace aérien inférieur dans les environs de CKQ3 est non contrôlé. L'altitude minimale de zone dans les environs de CKQ3 est de 2700 pieds asl. Cette altitude procure une marge de franchissement du relief pour les aéronefs volant dans l'espace aérien non contrôlé. Dans des circonstances normales, les pilotes volant en mode IFR ne sont pas autorisés à descendre sous

l'altitude minimale de zone si ce n'est en conformité avec une procédure approuvée d'approche aux instruments ou lorsqu'ils évoluent dans des VMC. À un aéroport sans procédure d'approche aux instruments et avec un plafond inférieur à l'altitude minimale de zone, le pilote a le choix de dérouter l'aéronef vers un aéroport qui dispose d'une approche aux instruments ou vers une zone où il y a des règles de vol à vue.

CKQ3 n'avait aucune procédure approuvée d'approche aux instruments; cependant, il y avait une approche aux instruments approuvée pour CYVZ. Rien n'indique que le pilote ou l'exploitant avait élaboré une approche aux instruments improvisée pour CKQ3.

1.9 Communications

Les opérateurs d'équipement à CKQ3 utilisent des appareils radio très haute fréquence (VHF) fixes réglés sur la fréquence de trafic d'aérodrome (ATF) afin de pouvoir communiquer avec les aéronefs s'approchant.

Après que le pilote eût transmis un avis de circulation sur l'ATF, le contremaître de l'aéroport a transmis au pilote tous les renseignements pertinents et demandés. Le pilote n'a signalé aucune urgence ni aucun problème durant le vol. Ces communications n'étaient pas enregistrées ni n'étaient tenues de l'être.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

1.10.1 Aéroport de North Spirit Lake (CKQ3)

North Spirit Lake est une petite localité éloignée située dans le Nord-Ouest de l'Ontario, à 230 nm au nord-est de Winnipeg, qui compte quelque 260 habitants. Le seul moyen de transport au départ et à destination de North Spirit Lake est par voie aérienne et, l'hiver, par route de glace jusqu'à certaines localités voisines.

CKQ3 se situe à une altitude de 1082 pieds asl. La piste, qui est faite de gravier, mesure 3518 pieds de longueur sur 100 pieds de largeur. La numérotation de la piste fait référence à sa direction magnétique, en l'occurrence de 130° et de 310°; la piste est appelée « piste 13/31 ». CKQ3 est exploité par le ministère des Transports de l'Ontario (MTO).

1.10.2 Exploitation de l'aéroport

Le *Supplément de vol – Canada* (CFS) indique que les rapports sur l'état de piste (RCR) pour cet aéroport et d'autres aéroports du Nord exploités par le MTO, y compris CYVZ, sont disponibles de 8 h à 17 h.

En semaine, le contremaître de l'aéroport arrive à 8 h, vérifie l'état de la piste, puis envoie les renseignements sur la piste au centre d'information de vol (FIC) de Winnipeg, qui diffuse ensuite le RCR sous forme d'un NOTAMJ. Les NOTAMJ sont des NOTAM de série spéciale qui contiennent des renseignements liés à l'état et à la valeur de freinage de la surface des pistes en conformité avec les exigences de signalement publiées⁷. Les procédures du MTO exigent que le contremaître vérifie la piste et publie un RCR avant la fin de son quart de travail

⁷ NAV CANADA, *Manuel des procédures canadiennes pour les NOTAM*, version 8, 20 octobre 2011.

(habituellement vers 16 h 30). Les jours où l'état de la piste varie, comme durant les périodes de chute de neige continue, le contremaître de l'aéroport peut publier jusqu'à 4 RCR durant la journée.

La surveillance de l'état de la piste à CKQ3 n'est pas assurée en dehors des heures publiées, ni la fin de semaine, ni les jours fériés. Le MTO ne maintient pas de réseau de communication qui assure la surveillance de l'état des pistes ou le service consultatif aux aéroports qu'il exploite. En dehors des heures de publication de RCR, les pilotes et les exploitants aériens ne disposent d'aucun moyen d'obtenir des renseignements sur les pistes des aéroports exploités par le MTO.

1.11 Enregistreurs de bord

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

Compte tenu des statistiques combinées sur les accidents aux exploitations régies par les sous-parties 702, 703 et 704 du RAC, le Bureau de la sécurité des transports (BST) a déjà fait valoir qu'il existe des arguments convaincants pour que l'industrie et l'organisme de réglementation déterminent les dangers et gèrent les risques inhérents à ces exploitations de façon proactive. Pour être en mesure d'assurer une gestion efficace du risque, l'industrie et l'organisme de réglementation doivent savoir pourquoi les incidents se produisent et quelles lacunes de sécurité peuvent y contribuer. En outre, une surveillance systématique des activités normales peut aider ces exploitants à améliorer leur efficacité opérationnelle et à déceler les lacunes de sécurité avant qu'elles ne causent un accident. Si un accident venait à se produire, les enregistrements de systèmes d'enregistrement des données de vol légers fourniraient durant l'enquête des renseignements utiles pour permettre de mieux déterminer les lacunes de sécurité. Par conséquent, dans la recommandation de sécurité aérienne A13-01, le BST recommande que :

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

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

Les enquêteurs du BST sont arrivés sur les lieux environ 26 heures après l'accident. L'aéronef a percuté la surface glacée du lac dans une assiette inclinée à droite, à grande vitesse de descente et de déplacement. Le contenu de l'aéronef, comme les bagages et le fret, a été retrouvé éparpillé à mi-chemin, le long du sillon laissé par l'épave, ce qui indique que le poste de pilotage et la cabine se sont désintégrés tôt. De façon générale, le sillon laissé par l'épave était aligné avec le prolongement de l'axe de la piste. Ce sillon était d'une longueur d'environ 380 pieds; l'aéronef s'est immobilisé en position verticale et orienté en direction sud-est (Photo 1). Les dommages causés aux hélices suggèrent que les moteurs étaient en marche au moment de l'impact. Un incendie après impact a détruit la majeure partie de l'aéronef.

Une section d'environ 4 pieds de longueur du bord d'attaque de l'aile droite contenant la palette de décrochage a été arrachée et retrouvée plus ou moins à mi-chemin le long du sillon

laissé par l'épave. Cette section du bord d'attaque, qui a échappé à l'incendie, présentait une accumulation de givre transparent et combiné d'environ 3/8 pouce d'épaisseur (Photo 2). La palette de décrochage n'était pas chauffée et il y avait de la glace entassée dans son logement, coinçant la palette en position abaissée (Photo 3). Le bord d'attaque du stabilisateur gauche a également échappé à l'incendie, et présentait une accumulation de givre (Photo 4).

Une inspection de l'épave a révélé que les pistons du vérin du train d'atterrissage principal étaient rentrés et que le piston du vérin du train avant était déployé, ce qui indique que le train d'atterrissage était sorti. Les volets de l'aile gauche ont été trouvés partiellement sortis en position d'approche. Une inspection du socle des commandes du sélecteur de réservoirs a révélé que le bouton du sélecteur des réservoirs de gauche était en position intérieure. Le bouton de droite a été consumé par le feu. Le bouton d'intercommunication carburant était en position « off ».

Le circuit de dégivrage de l'aéronef comprenait une série de boudins gonflables en caoutchouc renforcé de tissu qui sont collés dans le sens de l'envergure le long des bords d'attaque des ailes, du stabilisateur horizontal et de l'empennage vertical. Les boudins en caoutchouc contiennent des tubes gonflables qui prennent de l'expansion par suite de l'accumulation d'air pressurisé fourni par les pompes à vide entraînées par les moteurs. Ces tubes sont conçus pour briser à intervalles réguliers le givre accumulé sur les surfaces lorsque le pilote actionne les pompes.

De nombreux éléments du circuit de dégivrage de l'aéronef ont été consumés par l'incendie qui s'est déclenché après l'impact. L'incendie a également endommagé d'autres éléments récupérés à un point tel que leur examen et leurs essais au banc n'ont pas été concluants. Les pompes à vide ont été récupérées avec les moteurs, et ne présentaient aucune anomalie. Un examen des boudins de dégivrage qui restaient et de la plomberie qui n'avait pas subi de dommages n'a révélé aucune anomalie. En raison de l'ampleur des dommages causés par l'incendie, il n'a pas été possible de déterminer si le circuit de dégivrage de l'aéronef fonctionnait normalement.

Les enquêteurs ont mis en sécurité des instruments et des câbles des commandes de vol en vue d'analyses plus poussées au Laboratoire du BST à Ottawa. Une analyse des câbles des commandes de vol a révélé que les défaillances étaient attribuables à une surcharge, vraisemblablement à la suite de l'impact. L'analyse des instruments n'a pas été concluante en raison de l'ampleur des dommages causés par l'incendie.

Une inspection des restes de l'épave de l'aéronef n'a révélé aucune anomalie antérieure à l'impact.

Il n'a pas été possible d'extraire de calage altimétrique des altimètres en raison des dommages causés par l'incendie.



Photo 1. Épave sur les lieux



Photo 2. Givre sur le bord d'attaque



Photo 3. Palette de décrochage



Photo 4. Givre sur le bord d'attaque du stabilisateur horizontal

1.13 Renseignements médicaux

Rien n'indique que des facteurs physiologiques aient eu une incidence négative sur le rendement du pilote. Compte tenu de l'horaire de travail et de repos du pilote, la fatigue n'a pas été considérée comme un facteur contributif à l'événement.

1.14 Incendie

1.14.1 Généralités

Les forces de choc ont causé la déformation de la structure de l'avion, ce qui a compromis le circuit carburant. Du carburant s'est déversé de l'aile droite, à proximité du système d'échappement de l'aéronef. Les pièces chaudes de l'échappement ont enflammé le carburant, et un incendie s'est déclaré presque aussitôt. Le carburant du réservoir de l'aile droite et du réservoir de l'aile gauche légèrement surélevée a alimenté l'incendie. Le carburant de l'aile gauche surélevée s'est répandu et l'incendie s'est vite propagé au fuselage et à l'aile droite, ce qui a réduit la durée de survie à l'intérieur de la cabine après l'accident.

Des enquêtes antérieures menées par le BST ont déjà documenté les risques à la sécurité aérienne que présentent les incendies après impact. En outre, après l'étude sur la sécurité SII A05-01 réalisée par le BST en 2006, le BST a conclu que les moyens de défense contre

les incendies après impact dans le cas d'accidents offrant des chances de survie sont insuffisants pour les petits aéronefs et demeureront insuffisants jusqu'à la mise en place de mesures de prévention visant à réduire les risques. En ce qui concerne les petits aéronefs existants, les moyens les plus efficaces de prévention des incendies après impact consistent à éliminer les sources potentielles d'incendie, comme les articles portés à haute température, les arcs électriques à haute température et les étincelles dues au frottement, et à éviter tout déversement de carburant en préservant l'intégrité du circuit carburant, après un accident offrant des chances de survie. Les moyens techniques connus pour réduire la fréquence des incendies après impact en évitant l'inflammation et en confinant le carburant lors d'un accident pourraient être montés rétroactivement, de façon sélective, sur les petits aéronefs existants. En conséquence, le BST, dans sa recommandation A06-10⁸, recommande que :

afin de réduire le nombre d'incendies qui se déclarent après des accidents offrant des chances de survie et mettant en cause de nouveaux avions de production ayant une masse inférieure à 5700 kg, Transports Canada, la Federal Aviation Administration et d'autres organismes de réglementation étrangers effectuent des évaluations des risques des éléments qui suivent afin de déterminer la faisabilité du montage au rattrapage sur les aéronefs existants :

- certains moyens techniques permettant d'éviter que des articles portés à haute température ne deviennent des sources d'incendie;
- des procédés techniques conçus pour neutraliser la batterie et le circuit électrique à l'impact pour empêcher les arcs électriques à haute température d'être une source d'incendie;
- la présence de matériaux isolants protecteurs ou sacrificiels aux endroits exposés à la chaleur ou aux étincelles produites par frottement lors d'un accident pour empêcher ces étincelles d'allumer un incendie;
- certains composants du circuit carburant résistant à l'écrasement capables de confiner le carburant.

A06-10

TC a répondu à cette recommandation en novembre 2006 et en janvier 2007, mais comme ces réponses ne précisait ni ne proposaient aucune mesure qui permettrait de réduire ou d'éliminer les risques propres à cette lacune, la réponse globale de TC à la recommandation A06-10 a été évaluée comme étant « Insatisfaisante ». Le Bureau estime que le risque résiduel lié à la lacune énoncée dans la recommandation A06-10 demeure important et, par conséquent, le BST renouvellera ses efforts afin de favoriser l'adoption de la recommandation.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

Le passager survivant est sorti de l'aéronef par la porte arrière de la cabine et a tiré le pilote décédé par la fenêtre du poste de pilotage. Alors que l'incendie gagnait en intensité, le survivant a essayé d'éteindre le feu sur l'aile droite. Les résidents de la région ont remarqué que

⁸ Bureau de la sécurité des transports (BST), Recommandation A06-10 (29 août 2006). En ligne : http://www.bst-tsb.gc.ca/fra/recommandations-recommendations/aviation/2006/rec_a0610.asp (consultée le 13 novembre 2013).

le son du moteur de l'aéronef avait cessé et que de la fumée s'élevait du lac. Les résidants se sont dépêchés sur les lieux de l'accident et ont avisé les instances locales (le service de police de Nishnawbe-Aski). En raison de l'emplacement de l'accident, la motoneige était la seule façon d'accéder au site. Lorsque les instances locales et les membres de la collectivité sont arrivés sur les lieux, les flammes enveloppaient l'aéronef. On a transporté le passager survivant à Winnipeg pour qu'il y reçoive des soins médicaux.

CKQ3 est doté d'un plan d'intervention d'urgence qui décrit le protocole et les procédures en cas d'un accident d'aéronef. L'aéroport n'offre aucun moyen de lutte contre les incendies d'aéronefs. La localité a un corps de pompiers volontaires, doté de manière irrégulière. Ce corps de pompiers n'est pas équipé pour combattre un incendie d'aéronef, et n'était pas présent sur les lieux. Le poste de soins infirmiers est doté d'un véhicule d'intervention d'urgence, mais il n'a pas été utilisé en raison de l'emplacement de l'accident.

L'aéronef avait une radiobalise de repérage d'urgence (ELT). L'ELT a transmis un signal pendant un certain temps, mais le centre conjoint de coordination de sauvetage (CCCS) a cessé de recevoir le signal peu de temps après l'accident : le câblage de l'antenne de l'ELT a été consumé par l'incendie qui s'est déclaré après l'impact.

1.16 Essais et recherches

Aucun essai spécial n'a été effectué pour cet événement.

1.17 Renseignements sur les organismes et sur la gestion

1.17.1 Keystone Air Service

Keystone exploite un service aérien commercial aux termes des sous-parties 702, 703 et 704 du RAC et fournit des services nolisés à différentes destinations en Amérique du Nord. Le vol en question était effectué aux termes de la sous-partie 703 du RAC.

La base principale d'exploitation de Keystone se trouve à l'aéroport Saint Andrews à Saint Andrews. Keystone a une autre base à CYWG, exploitée au moyen d'un système de contrôle d'exploitation de type « C ». Les opérations aériennes effectuées aux termes des sous-parties 702, 703 et 704 du RAC exigent au moins un système de contrôle d'exploitation de type « C ». Le système de contrôle d'exploitation de type « C » est généralement utilisé par de petits exploitants aériens qui assurent des vols de courte durée dans une région proche de leur base d'exploitation.

En présence d'un système de contrôle d'exploitation de type « C », le gestionnaire des opérations délègue le contrôle d'exploitation du vol (c.-à-d. la décision de partir) au pilote aux commandes, mais conserve la responsabilité de toutes les opérations aériennes. Avec ce système, les pilotes ne sont normalement pas tenus de consulter le personnel de supervision de l'entreprise avant de s'envoler d'une base d'exploitation. Cependant, en cas de besoin, le pilote a le choix de consulter le pilote en chef ou un pilote chevronné plus expérimenté pour l'aider à évaluer la faisabilité du vol.

Il n'y avait pas de procédures formelles en place, comme une liste de vérifications d'évaluation du risque avant le vol. Ce type de liste de vérifications peut aider les pilotes à évaluer les risques réels du vol. La liste de vérifications tient compte des effets cumulatifs de risques

mineurs qui peuvent accroître considérablement le risque global, suggérant que le vol ne devrait pas être effectué à moins que certains risques soient atténués. Les exploitants et les écoles de pilotage utilisent de telles procédures, qui ne sont toutefois pas obligatoires aux termes du RAC.

Aux termes du RAC, avant d'effectuer un vol seul aux commandes sur des aéronefs multimoteurs dans des conditions IMC, les pilotes volant sous le régime de la sous-partie 703 doivent avoir cumulé un total de 1000 heures de vol, dont un minimum de 100 heures de vol sur des aéronefs multimoteurs. Le pilote doit en outre avoir 50 heures de vol simulé ou réel dans des conditions IMC ainsi que 50 heures de vol au total sur le type d'aéronef.

Bien que le RAC ne l'exige pas, le *Manuel d'exploitation de la compagnie* de Keystone exige que les pilotes suivent un entraînement en ligne pour chaque type d'aéronef exploité par l'entreprise. Le pilote doit voler avec un pilote instructeur et sa compétence est évaluée sur de nombreuses phases de vol au moyen d'une fiche de contrôle de dossier d'entraînement en ligne. Le pilote doit avoir cumulé au moins 50 heures de temps de vol d'entraînement en ligne et avoir été évalué avec succès à la fin de l'entraînement, au moyen de la fiche de contrôle prescrite.

Selon l'article 602.71 du RAC, les pilotes doivent bien connaître les renseignements pertinents au vol prévu qui sont à leur disposition, y compris l'état des pistes. Avant l'atterrissage, le pilote pouvait compter seulement sur l'inspection visuelle, car ni Keystone, ni le pilote n'avaient de moyen d'obtenir l'état de la surface des pistes en dehors des heures d'exploitation de l'aéroport publiées dans le CFS. Malgré l'absence de rapport sur l'état des pistes à ce moment, le pilote a planifié son vol. L'exposé météorologique du pilote incluait des renseignements des TAF des localités environnantes, dont CYRL, Pickle Lake (CYPL) et Island Lake (CYIV), qui prévoyaient de la neige légère.

Les opérations effectuées aux termes de la sous-partie 703 du RAC doivent se dérouler conformément à un système de contrôle d'exploitation afin de déterminer et d'enregistrer les quantités de carburant calculées pour le vol ainsi que la masse et le centre de gravité (C de G) de l'aéronef. Le pilote a décollé avec 1100 livres de carburant. Le pilote a déposé un plan de vol IFR aller-retour auprès du FIC de Winnipeg. Ce plan précisait un itinéraire CYWG-CKQ3-CYVZ-CKQ3-CYWG, avec Brandon (CYBR) comme aéroport de dégagement à l'arrivée. Le temps de vol total en route précisé, incluant le dégagement en plus d'une réserve de 30 minutes, était de 4,75 heures, et aurait nécessité 950 livres de carburant.

Ni le plan de vol d'exploitation du pilote, ni ses calculs de C de G n'ont été récupérés, et aucun dossier faisant état de ces articles n'a été trouvé à CYWG ou à la base de l'exploitant à Saint Andrews.

1.17.2 Régulation des vols par mauvais temps

Dans les exploitations aériennes de petite et de moyenne taille, il est courant que les propriétaires et la haute direction interviennent dans les activités quotidiennes. À plusieurs occasions, la haute direction de Keystone était intervenue dans le processus de régulation, en remettant en question la décision d'un pilote de ne pas décoller, et suggérait que le pilote pouvait toujours faire demi-tour ou se dérouter. Il arrivait parfois que les pilotes de Keystone laissent la décision de décoller au client, qui était informé des prévisions météorologiques et de la possibilité que le vol ne soit pas complété, et du fait que le coût du vol lui reviendrait. En raison de cela, et de l'intervention de la direction dans le processus de régulation, il se peut que

certaines pilotes aient ressenti de la pression pour entreprendre des vols à des moments où leur jugement leur disait peut-être de ne pas décoller.

Les pressions exercées par la direction pour effectuer les vols dans des conditions météorologiques défavorables étaient bien connues du groupe de pilotes. L'enquête a révélé que la haute direction n'avait jamais personnellement remis en question les décisions du pilote en cause. Dans le cadre d'un vol d'entraînement en ligne, le pilote en cause a interrompu une approche à l'aéroport de destination en raison de nuages bas. Le pilote surveillant avait alors avisé le pilote que la haute direction ne serait pas très heureuse de la décision d'interrompre une approche.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Prise de décisions du pilote

La prise de décisions du pilote (PDP) désigne le fait de faire le bon choix au bon moment et d'éviter les circonstances qui pourraient entraîner des choix difficiles. De nombreuses décisions sont prises au sol, et une décision bien éclairée avant un vol écarte la nécessité de prendre une décision beaucoup plus difficile en vol.

Un élément important de la PDP est une bonne conscience de la situation, ce qui nécessite que le pilote fasse cadrer la réalité d'une situation avec ses attentes. Une PDP inadéquate ou inefficace peut entraîner l'exploitation d'un aéronef au-delà de ses capacités ou des capacités du pilote.

Lorsque les conditions sont particulièrement bonnes ou encore particulièrement mauvaises, il est facile de prendre la décision de décoller ou non. Cependant, la prise de décision peut être plus compliquée lorsque les conditions deviennent précaires. Les facteurs qui compliquent la situation tels que l'argent, les engagements des clients et les obligations professionnelles, auxquels s'ajoutent des conditions qui ne sont pas clairement incompatibles avec un décollage, peuvent peser sur la prise de décisions des pilotes, même les plus soucieux de la sécurité.

La prise de décisions induites par les attentes de Klein⁹ est un modèle évolué qui décrit comment des professionnels qualifiés prennent des décisions rapides dans des environnements complexes. Les équipages moins expérimentés ont moins d'expériences sur lesquelles ils peuvent s'appuyer, et établissent moins de liens entre le contexte actuel et leur expérience. Par conséquent, les procédures documentées et les critères de décision ont encore plus de valeur pour les équipages moins expérimentés.

1.18.2 Gestion des menaces et des erreurs

Pour mieux comprendre le rôle de l'équipage dans la gestion des risques pendant les opérations normales, l'équipe du projet Facteurs humains et ressources de l'équipage de la NASA-Université du Texas a mis au point un modèle de gestion des menaces et des erreurs appelé « threat and error management » (TEM).

⁹ G.A. Klein, The Recognition-Primed Decision (RPD) model: Looking back, looking forward, dans *Naturalistic Decision Making*, éditeurs C.E. Zsombok et G. Klein, 1997, pages 285-292.

Le modèle repose sur la prémisse voulant que tout vol présente des dangers auxquels devront faire face les membres de l'équipage. Ces dangers augmentent les risques en vol et sont désignés « menaces » dans le modèle TEM. Les menaces comprennent entre autres les conditions météorologiques, le trafic, l'état de service des avions et les aéroports moins connus. Si l'équipage est en mesure de s'occuper de la menace, une gestion efficace du danger débouche sur une issue positive sans conséquences fâcheuses. Par contre, une mauvaise gestion de la menace peut mener à une erreur de l'équipage, que cet équipage doit aussi gérer. La mauvaise gestion d'une erreur de l'équipage peut donner lieu à une situation indésirable et mener à un accident. Dans tous les cas, la gestion efficace de la situation par l'équipage permet de réduire les risques, et la situation demeure alors sans conséquences.

Le modèle TEM est le fondement de nombreux cours modernes de formation en gestion des ressources de l'équipage (CRM). Les cours de CRM procurent aux équipages de conduite des outils pratiques qui aident à éviter, cerner ou atténuer les menaces et les erreurs courantes dans les opérations aériennes commerciales. Un cours de CRM typique comprend aussi les éléments fondamentaux de la formation en PDP et approfondit ces concepts pour inclure une plus grande compréhension du processus décisionnel.

À l'heure actuelle, la formation en CRM n'est exigée que pour les plus importants transporteurs commerciaux aux termes de la sous-partie 705 du RAC. Elle n'est pas exigée dans le cas des exploitants aux termes des sous-parties 703 et 704 du RAC. En 2009, le BST a formulé la recommandation A09-02, voulant que :

le ministère des Transports oblige les exploitants aériens commerciaux à dispenser une formation contemporaine en gestion des ressources de l'équipage (CRM) aux pilotes d'un taxi aérien relevant du RAC 703 ou d'un service aérien de navette relevant du RAC 704.

En janvier 2012, un groupe de discussion dirigé par TC s'est réuni pour élaborer une proposition qui donnerait suite à la recommandation A09-02. Le 24 avril 2012, le Comité réglementaire de l'Aviation civile (CRAC) a décidé qu'une norme de formation contemporaine en matière de gestion des ressources de l'équipage (CRM) serait élaborée pour inclure, dans les sous-parties 702, 703, 704 et 705, un modèle de gestion des menaces et des erreurs afin de mieux préparer les équipages à évaluer les conditions et à prendre les décisions appropriées lorsqu'ils se retrouvent en situation critique. S'il était mis en œuvre, ce plan d'action réduirait considérablement ou éliminerait la lacune décrite dans la recommandation A09-02 du Bureau. Cependant, à l'heure actuelle, aucune nouvelle norme de formation n'a été élaborée, et cette modification proposée ne fait pas encore partie de la réglementation. Par conséquent, le Bureau estime que la réponse de TC à cette recommandation A09-02 dénote toujours une intention satisfaisante.

1.18.3 Givrage des aéronefs

Dans certaines conditions atmosphériques, le givre peut commencer à s'accumuler sur les surfaces critiques des aéronefs comme les ailes, le stabilisateur, l'empennage vertical, les gouvernes et les hélices. L'accumulation de givre provoque une dégradation des propriétés aérodynamiques de la gouverne, accroît la traînée aérodynamique et augmente la vitesse de décrochage de l'aéronef. Une reconfiguration de l'aéronef, telle que le déploiement des volets ou la sortie du train d'atterrissage, accroît davantage la traînée aérodynamique de l'aéronef et sa vitesse de décrochage.

La vitesse de décrochage constitue la vitesse anémométrique minimale requise par la surface portante d'un aéronef pour produire la portance nécessaire afin d'assurer la sustentation de l'appareil. Lorsque la forme ou les propriétés aérodynamiques d'une surface portante ou d'une aile sont suffisamment compromises, les ailes cessent de soutenir la masse de l'aéronef, qui n'est alors plus en mesure d'effectuer un vol contrôlé.

TC et la FAA ont publié des circulaires d'information, des alertes à la sécurité de l'Aviation civile et des manuels d'information aéronautique qui font état de lignes directrices relatives aux risques liés au vol d'un aéronef dans des conditions givrantes. Bien que les documents de directives ne définissent pas les termes associés au givrage, il y a un manque de clarté entre les expressions « conditions givrantes connues » et « conditions de givrage léger ou modéré ». Lorsqu'un pilote observe une accumulation de givre léger ou modéré sur l'aéronef, il est dans de réelles conditions givrantes connues. Les expressions telles que « vol dans » et « vol vers » portent à confusion, et on pourrait croire qu'elles sont interchangeable. Le manuel du pilote pour l'aéronef en cause indique que l'aéronef peut être exploité dans des conditions de givrage léger ou modéré, ce qui suggère que l'aéronef peut poursuivre son vol dans des conditions givrantes.

La FAA était en train de mettre à jour son interprétation d'expressions courantes liées au givrage, mais le travail a été interrompu temporairement au début de 2012.

1.18.4 Système de gestion de la sécurité

Le BST a reconnu que, mis en œuvre correctement, les systèmes de gestion de la sécurité (SGS) permettent aux sociétés aériennes de déterminer elles-mêmes les dangers et de gérer les risques, de même que d'élaborer des processus de sécurité efficaces et d'y adhérer. Les grands transporteurs commerciaux canadiens sont tenus d'avoir un SGS depuis 2005. Toutefois, on a retardé la mise en œuvre des SGS pour les plus petits exploitants, comme les exploitants de taxis aériens et les entreprises de travail aérien et de service aérien de navette, afin de leur offrir plus de temps pour améliorer leurs procédures, leur formation et leurs documents d'orientation.

Keystone Air Service n'a pas de SGS en place, et aucun règlement n'exige qu'elle en ait un. En 2005, Keystone Air Service a volontairement commencé la transition vers un SGS. Cependant, pour différentes raisons, la transition a été interrompue en 2009.

2.0 *Analyse*

2.1 *Aéronef*

Aucune défektivité technique qui aurait pu contribuer à l'accident n'a été relevée. L'analyse portera principalement sur les facteurs opérationnels et la prise de décisions du pilote.

2.2 *Pilote*

Le pilote avait acquis la majeure partie de son expérience de vol dans un contexte d'entraînement, à titre d'étudiant ou d'instructeur, dans des conditions météorologiques de vol à vue (VFR), avec des aéronefs moins complexes.

À Keystone, le pilote a suivi avec succès la formation requise, le contrôle de la compétence du pilote et l'entraînement en ligne en sus de ce qui est requis par le manuel d'exploitation de la compagnie (COM). Cependant, la transition à un emploi à titre de pilote pour Keystone, exploitant de taxi aérien aux termes de la sous-section 703 du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC), mettait le pilote dans de nouveaux milieux de vol plus difficiles, aux commandes d'un type d'aéronef plus perfectionné. Voler seul selon les règles de vol aux instruments (IFR) aurait accru la charge de travail du pilote et aurait compliqué l'apport de solutions efficaces aux problèmes à mesure qu'ils surviennent.

Le pilote avait cumulé un nombre suffisant d'heures de vol à bord d'un aéronef multimoteur et aux instruments à son arrivée à Keystone, en plus des heures cumulées dans le cadre de son entraînement en ligne, pour satisfaire aux exigences en matière d'expérience tant de l'entreprise que du RAC pour les vols effectués seul aux commandes d'un aéronef multimoteur dans des conditions météorologiques de vol aux instruments (IMC). On a analysé les renseignements météorologiques en vigueur au cours des vols du pilote depuis la fin de son entraînement en ligne. Toutefois, en raison de l'absence d'enregistrement des altitudes de l'aéronef en route, l'enquête n'a pas permis d'établir un profil précis des heures de vol du pilote dans des conditions IMC ou de son expérience dans des conditions givrantes pendant son emploi à Keystone.

Les vols effectués du 20 décembre 2011 au 8 janvier 2012 ont en grande partie eu lieu dans un espace aérien non contrôlé et à l'extérieur de la zone de couverture radar du contrôle de la circulation aérienne (ATC). Les conditions météorologiques au cours de la plupart des vols étaient telles que le pilote n'était pas nécessairement tenu de voler aux instruments. Dans le cadre de certains vols, les plafonds auraient probablement exigé un vol aux instruments, et des conditions givrantes étaient tout aussi vraisemblables. Dans l'ensemble, le pilote avait acquis de l'expérience de vol dans les nuages et dans des conditions givrantes, mais n'aurait jamais vécu des conditions aussi sérieuses que celles en vigueur au moment de l'accident.

2.3 *Formation sur la gestion des menaces et des erreurs et la prise de décisions du pilote*

La formation initiale au pilotage de Keystone ne comprenait pas de formation sur la prise de décisions du pilote (PDP), la gestion des ressources de l'équipage (CRM) ou la gestion des menaces et des erreurs (TEM). Sans une telle formation recourant à des exemples d'opérations aériennes propres à Keystone, la formation initiale de l'entreprise ne préparait pas toujours les

pilotes sans expérience pour la régulation des vols par les pilotes eux-mêmes. Même si le Comité réglementaire de l'Aviation civile (CRAC) a accepté le nouveau règlement en matière de formation sur la CRM, en vertu du règlement actuel, les exploitants régis par les sous-parties 703 et 704 du RAC ne sont pas tenus de dispenser une formation en CRM. Ainsi, il y avait un risque accru que les équipages volant aux termes des sous-parties 703 ou 704 du RAC aient des lacunes en ce qui concerne la CRM.

Les pilotes de PA31-350 de Keystone n'étaient pas certains de la certification ou de la capacité de l'aéronef à voler dans des conditions givrantes et, par conséquent, n'ont vraisemblablement pas transmis une compréhension de ces questions au pilote en cause.

2.4 Régulation des vols par les pilotes eux-mêmes

Le vol a décollé de la base de Keystone à l'aéroport international James Armstrong Richardson de Winnipeg (CYWG), où l'exploitant se fiait sur le pilote pour les décisions opérationnelles et la régulation des vols. Keystone n'a pas de procédures ou d'outils en place pour aider le pilote à décider s'il doit décoller ou non ou pour l'appuyer en lui fournissant des renseignements sur l'état des pistes. La nature même d'un système de régulation des vols par le pilote laisse au pilote la décision de décoller en fonction de sa formation, de son expérience et des pressions opérationnelles. Le pilote était relativement novice aux commandes des aéronefs Piper de type PA31-350, aux vols de passagers à des aéroports éloignés et aux opérations hivernales dans des conditions givrantes. Ce manque de familiarité et d'expérience augmentait le risque de décollage dans des conditions pires que ce que pouvait endurer l'aéronef et reconnaître le pilote.

2.5 Régulation des vols par mauvais temps

L'intervention de la direction dans le processus de régulation peut avoir exercé sur certains pilotes une pression pour entreprendre des vols à des moments où leur jugement leur disait peut-être de ne pas décoller.

2.6 Décision du pilote de décoller

Le vol en question était le septième du pilote aux commandes d'un aéronef, c'est-à-dire sans un autre pilote pour le superviser. Les conditions météorologiques à CYWG et en route étaient acceptables pour les vols VFR, et la prévision de zone pour North Spirit Lake (CKQ3) indiquait un givrage modéré, de la bruine verglaçante et de la neige légère. Il n'a pas été possible de déterminer si le pilote a informé les passagers des conditions météorologiques à CKQ3 et de la possibilité de ne pas effectuer le vol. Les conditions VFR à CYWG et une prévision de neige légère seulement peuvent avoir influencé la décision du pilote de décoller.

2.7 Décision du pilote de descendre

Le pilote était ambitieux, désirait faire son travail et ne voulait pas décevoir. Même si la direction n'a pas personnellement remis en question les décisions du pilote, ce dernier était toutefois conscient des pressions exercées par la direction pour mener les vols à terme, comme on le lui avait fait remarquer dans le cadre de son entraînement. Il est possible que cela ait influé sur le processus décisionnel du pilote ou l'ait poussé à poursuivre l'approche malgré les conditions défavorables.

Il n'y avait pas de rapport sur l'état de la piste au décollage de CYWG; par conséquent, le pilote n'avait aucune connaissance préalable des opérations de déneigement et n'a vraisemblablement pas pensé que la piste ne serait pas disponible pour atterrir à l'arrivée. Ainsi, la réalité de l'arrivée était considérablement différente de ce à quoi s'attendait le pilote. Cette réalité aurait probablement diminué la conscience de la situation, augmenté la charge de travail du pilote et accru les pressions exercées sur le pilote au travail. Le tout, combiné à son expérience limitée de vol dans des conditions givrantes, a vraisemblablement nui à ses capacités décisionnelles à un point tel que le pilote n'a peut-être pas pris en compte les effets du givre sur la viabilité du vol. La décision du pilote de continuer le vol sous l'altitude minimale de zone en vue d'effectuer l'approche et l'atterrissage, sans aucune procédure d'approche publiée, a accru le risque de collision avec le relief.

2.8 Procédure d'approche aux instruments

Il n'y avait pas de procédure d'approche publiée pour CKQ3, et aucune autre procédure d'approche existante n'a été trouvée; il se peut donc fort bien que le pilote ait improvisé la procédure d'approche au moyen du système de positionnement mondial (GPS). Ce processus a vraisemblablement augmenté sa charge de travail et nui à sa capacité de maintenir une pleine conscience de la situation.

2.9 Givrage des aéronefs

Étant donné l'expérience limitée du pilote dans des conditions IMC, le pilote n'avait vraisemblablement pas pleinement conscience de la mesure dans laquelle l'aéronef était certifié pour le givrage. L'usage incohérent des termes liés au givrage et une absence de définition de ceux-ci peuvent diminuer la conscience de la situation et porter à confusion en ce qui a trait à la certification de l'aéronef et à sa capacité dans des conditions givrantes.

Après avoir amorcé la descente vers CKQ3, le pilote a établi la communication sur la fréquence de trafic de l'aérodrome (ATF) et a été informé des opérations de déneigement sur la piste. Avec la descente dans les nuages et la température sous le point de congélation, les conditions étaient propices au givrage et, à un certain point, le givre a commencé à s'accumuler sur les surfaces critiques de l'aéronef. Malgré l'option de dérouter l'aéronef vers Red Lake (CYRL) ou Deer Lake (CYVZ), 2 aérodromes dotés d'approches IFR, le pilote est resté dans les nuages environ 25 minutes. Le temps passé dans les nuages en descente et dans le circuit d'attente a donné lieu à une accumulation de givre sur les surfaces critiques de l'aéronef.

Le givre retrouvé sur le bord d'attaque de la section de 4 pieds de l'aile droite et sur le bord d'attaque du stabilisateur gauche indique une accumulation importante sur les surfaces critiques de l'aéronef durant le vol. Au cours de l'enquête, il a été impossible d'évaluer l'état de fonctionnement du circuit de dégivrage en raison de l'ampleur des dommages causés par l'impact et l'incendie.

Si le circuit de dégivrage n'était pas en bon état de fonctionnement, le pilote avait le choix d'éviter les conditions givrantes ou encore de dérouter le vol aussitôt constatées une accumulation de givre ou la défektivité du circuit de dégivrage. Ni l'une ni l'autre de ces mesures n'ayant été prise, il est donc vraisemblable que le circuit de dégivrage était en bon état de fonctionnement.

Le cas échéant, le circuit de dégivrage n'a pas réussi à éliminer le givre des endroits touchés, en raison soit d'une activation insuffisante du circuit, soit d'une accumulation de givre en vol à un rythme supérieur à la capacité du circuit.

Il se peut fort bien qu'une fois la piste déneigée, le pilote ait sorti le train d'atterrissage et déployé les volets d'approche avant de virer en approche finale. Avec la palette de décrochage coincée en position abaissée, l'avertisseur de décrochage aurait été inopérant et n'aurait pas fourni au pilote un avertissement de l'état de décrochage. L'accumulation de givre et le changement de configuration de l'aéronef ont entraîné une baisse de la vitesse de décrochage et une augmentation de la traînée.

2.10 Scénario de l'accident

Une bonne partie des renseignements liés au vol en cause proviennent de l'extérieur de l'espace aérien contrôlé et de la zone de couverture radar de l'ATC; ils n'ont donc pas été enregistrés. Par conséquent, il n'est pas possible d'établir la chronologie exacte de l'accident.

Les renseignements disponibles indiquent que l'aéronef était certifié et équipé pour la régulation et que le pilote satisfaisait aux exigences minimales de régulation au moment de l'accident. Cependant, la piste à CKQ3 n'avait pas été déneigée, et les conditions météorologiques dans la région présentaient des défis considérables pour un vol seul aux commandes d'un aéronef qui n'était pas équipé pour être exploité de façon continue dans des conditions givrantes. De plus, ces conditions difficiles sont survenues à la destination ou à proximité de celle-ci, et un retour à Winnipeg ne semblait plus une option réaliste une fois que l'aéronef avait amorcé sa descente et que le givre avait commencé à s'accumuler.

Le scénario le plus vraisemblable est que le vol se déroulait normalement jusqu'à ce que l'aéronef amorce sa descente dans la région de North Spirit Lake. Durant la descente, le pilote a appris que le vol devrait attendre jusqu'au déneigement de la piste. Le givre qui avait commencé à s'accumuler sur l'aéronef aurait restreint la capacité de l'aéronef à remonter au-dessus des nuages.

Le pilote, désireux d'effectuer le vol au complet, n'a vraisemblablement pas tenu compte de l'importance des limites de l'aéronef dans des conditions givrantes, et a cru que la meilleure option était de continuer jusqu'à CKQ3 et d'attendre, puis d'atterrir une fois la piste déneigée.

Pendant que l'aéronef poursuivait sa descente sous l'altitude minimale de zone, le givre aurait continué de s'accumuler, plus particulièrement à des endroits, comme les emplantures, qui n'étaient pas dotés de dispositif de dégivrage. Le pilote, occupé avec l'attente et l'approche, n'avait vraisemblablement plus la conscience de la situation nécessaire pour vraiment envisager les autres possibilités, c'est-à-dire dérouter le vol vers CYRL ou CYVZ, et a décidé de continuer le vol malgré la détérioration graduelle de la situation.

Jusqu'au déneigement complet de la piste, une quantité importante de givre se serait accumulée sur l'aéronef. Les manœuvres en approche finale, les virages et les changements de configuration de l'aéronef ont vraisemblablement ajouté suffisamment de traînée pour provoquer un décrochage à une altitude où le pilote ne pouvait plus faire une récupération.

3.0 *Faits établis*

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

1. La décision du pilote d'effectuer une approche sur un aérodrome non desservi par une approche selon les règles de vol aux instruments dans des conditions météorologiques défavorables est probablement attribuable à un manque d'expérience, et peut avoir été influencée par le désir de mener le vol à terme.
2. La décision du pilote d'effectuer une descente dans les nuages et de continuer dans des conditions givrantes était probablement attribuable à une méconnaissance de la performance du Piper PA31-350 dans de telles conditions et de ses capacités de dégivrage.
3. Pendant le déneigement de la piste, l'aéronef a attendu à proximité de North Spirit Lake (CKQ3) dans des conditions givrantes. L'accumulation de givre qui en a résulté sur les surfaces critiques de l'aéronef aurait entraîné un accroissement de sa traînée aérodynamique et de sa vitesse de décrochage. L'aéronef aurait alors décroché durant l'approche finale à une altitude à laquelle le pilote ne pouvait plus faire une récupération.

3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. La terminologie contenue dans les manuels de vol des aéronefs et la réglementation au sujet des « conditions givrantes connues », des « conditions de givrage léger ou modéré », du « vol dans » et du « vol vers » est incohérente et augmente le risque de confusion quant à la certification de l'aéronef et à sa capacité dans des conditions givrantes.
2. En cas de confusion et d'incertitude à l'égard de la certification de l'aéronef et de sa capacité en conditions de givrage, il y a un risque accru que les aéronefs décollent dans des conditions givrantes qui excèdent leurs capacités.
3. Le manque de procédures et d'outils pour aider les pilotes à décider d'entreprendre un vol augmente leurs risques de décoller dans des conditions pires que celles auxquelles peut résister l'aéronef.
4. Lorsque l'intervention de la direction dans le processus de régulation fait en sorte que les pilotes ressentent de la pression à mener les vols à terme dans des conditions difficiles, il y a un risque accru que les pilotes tentent d'effectuer des vols au-delà de leur compétence.
5. Aux termes du règlement en vigueur, les exploitants régis par les sous-parties 703 et 704 du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC) ne sont pas tenus de dispenser une formation sur la gestion des ressources de l'équipage et la prise de décisions du pilote ou la gestion des menaces et des erreurs. Une lacune dans la gestion des ressources de l'équipage ou la prise de décisions du pilote peut augmenter le risque lorsque les pilotes se trouvent en présence de conditions météorologiques défavorables.

6. Une descente sous l'altitude minimale de zone dans des conditions météorologiques de vol aux instruments sans procédure d'approche publiée augmente le risque de collision avec le relief.
7. L'absence d'enregistrement de conversations dans le poste de pilotage pourrait empêcher une enquête de déterminer et de communiquer d'importantes lacunes au chapitre de la sécurité et ainsi d'améliorer la sécurité des transports.

4.0 Mesures de sécurité

4.1 Mesures de sécurité prises

4.1.1 NAV CANADA

1. NAV CANADA a publié une procédure d'approche aux instruments approuvée pour l'aérodrome de North Spirit Lake dans la révision d'avril 2012 de *Canada Air Pilot*.

4.1.2 Keystone Air Service

1. L'exploitant a révisé son manuel d'exploitation et a mis en place une politique exigeant un équipage multiple lors de tous les vols aux instruments.
2. L'exploitant a modifié ses méthodes de tenue des dossiers d'entraînement au vol en changeant les formulaires de formation afin qu'il soit plus facile et plus efficace de prouver que toute la formation requise a bien été terminée.
3. L'exploitant a mis à jour le formulaire de compte rendu de voyage du commandant de bord afin d'inclure des dispositions pour consigner progressivement les quantités restantes de carburant.
4. L'exploitant a révisé son formulaire de plan de vol d'exploitation pour y ajouter un calcul de la masse et du centre de gravité à l'atterrissage.

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 19 septembre 2013. Il est paru officiellement le 21 novembre 2013.

Pour obtenir de plus amples renseignements sur le BST, ses services et ses produits, visitez son site Web (www.bst-tsb.gc.ca). Vous y trouverez également la Liste de surveillance qui décrit les problèmes de sécurité dans les transports présentant les plus grands risques pour les Canadiens. Dans chaque cas, le BST a établi que les mesures prises jusqu'à présent sont inadéquates, et que tant l'industrie que les organismes de réglementation doivent prendre de nouvelles mesures concrètes pour éliminer ces risques.

Annexes

Annexe A – Rapports du Laboratoire du BST

Les rapports du Laboratoire du Bureau de la sécurité des transports suivants ont été finalisés :

LP028/2012 – Examination of aircraft flight control cables (examen des câbles des commandes de vol de l'aéronef).

LP016/2012 – Examination of aircraft instruments and Garmin GNS 530 (examen des instruments et du Garmin GNS 530 de l'aéronef).

Ces rapports peuvent être fournis sur demande par le Bureau de la sécurité des transports du Canada.

