

Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE
A01A0030



EXTINCTIONS MULTIPLES DES MOTEURS

DE HAVILLAND DHC-8-100 C-GANS
EXPLOITÉ PAR LES LIGNES AÉRIENNES RÉGIONALES
D'AIR CANADA
À SYDNEY (NOUVELLE-ÉCOSSE)
LE 3 AVRIL 2001

Canada

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

Extinctions multiples des moteurs

du de Havilland DHC-8-100, C-GANS
exploité par les Lignes aériennes régionales
d'Air Canada
à Sydney (Nouvelle-Écosse)
le 3 avril 2001

Rapport numéro A01A0030

Résumé

Le DHC-8-100 des Lignes aériennes régionales d'Air Canada, ayant à son bord 35 passagers et trois membres d'équipage, effectue un vol de Sydney (Nouvelle-Écosse) à Halifax (Nouvelle-Écosse). Il décolle à 15 h 47, heure avancée de l'Atlantique, et, pendant la montée initiale, à quelque 6 000 pieds, le copilote aperçoit du givre à l'intérieur de la gaine d'entrée d'air du moteur droit (Pratt & Whitney 120A). Quelque cinq secondes plus tard, le moteur droit s'éteint. Comme le circuit d'allumage est en marche, le moteur redémarre presque aussitôt. Environ deux minutes après le redémarrage du moteur droit, celui-ci s'éteint, puis redémarre. Après avoir passé en revue les procédures nécessaires figurant sur la liste de vérifications, le copilote vérifie la gaine d'entrée d'air et remarque que le givre a disparu. Le commandant vérifie ensuite le moteur gauche et constate qu'il y a également du givre dans la gaine d'entrée d'air du moteur gauche. Quelques minutes plus tard, alors que l'appareil atteint son altitude de croisière de 14 000 pieds, le moteur gauche subit une séquence d'extinction-réallumage semblable à celle que vient de subir le moteur droit. L'appareil poursuit son vol jusqu'à destination sans autre incident.

This report is also available in English.

Autres renseignements de base

L'appareil était arrivé à Sydney (Nouvelle-Écosse) la veille en soirée, et il était censé décoller le lendemain matin. Pendant l'approche vers Sydney, il y avait eu des traces de léger givre blanc sans accumulation importante, et les dispositifs d'antigivrage et de dégivrage avaient été utilisés. À l'arrivée de l'appareil sur l'aire de trafic, les bords d'attaque des ailes et de l'empennage étaient exempts de givre. Les conditions météorologiques qui régnaient à Sydney étaient les suivantes : poudrerie, température de moins 1 °C et point de rosée de moins 4 °C. Peu après son arrivée à Sydney, l'appareil a été garé dans un hangar non chauffé, où la température ambiante était légèrement supérieure au point de congélation.

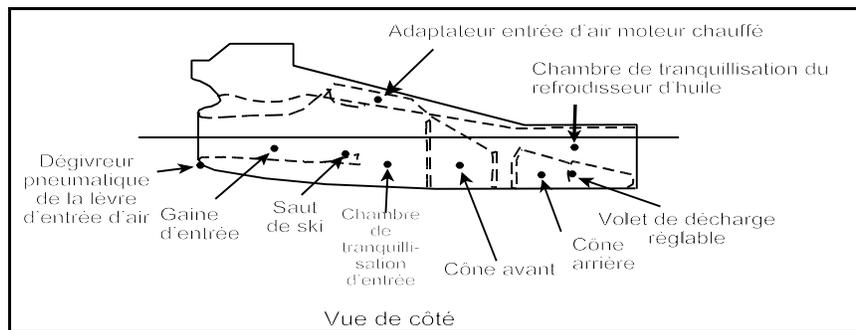
À cause d'une tempête de neige qui sévissait sur la région, tous les vols prévus en partance de Sydney au cours de l'avant-midi ont été annulés. Le jour de l'événement, à 14 h 50, heure avancée de l'Atlantique (HAA)¹, l'appareil a été sorti du hangar et placé face au vent sur l'aire de trafic. Les conditions météorologiques signalées étaient les suivantes : vent du 340° vrais à 22 noeuds avec rafales à 31 noeuds, visibilité de 1 mille dans de la neige légère et de la poudrerie, température de moins 1 °C et point de rosée de moins 5 °C.

Le copilote a terminé l'inspection prévol à 15 h, laquelle comportait une inspection tactile de la région des chambres de tranquillisation par chaque volet de décharge; aucune trace de contamination n'a été décelée. Une inspection visuelle des gaines d'entrée d'air des moteurs a été effectuée du sol, mais cette inspection ne permettait pas la vérification de la partie inférieure de ces gaines. Juste après

l'inspection prévol, l'employé de piste a posé les obturateurs aux entrées d'air des moteurs afin d'empêcher l'accumulation de neige dans les gaines d'entrée d'air des moteurs. Il a pu atteindre les entrées d'air en se tenant debout sur le chariot à bagages et il a inspecté visuellement les gaines d'entrée d'air tout

en passant la main à l'intérieur de ces dernières avant de poser les obturateurs, puis il a répété l'opération après qu'ils eurent été retirés (à 15 h 20) pour le démarrage du moteur droit, dans le but de réchauffer la cabine de l'appareil avant l'embarquement des passagers. L'employé de piste n'a vu ni senti au toucher aucune trace de contamination pendant la pose et la dépose de ces obturateurs. Pendant le dégivrage, avant le démarrage des moteurs et juste avant le début de la course au décollage, l'équipage de conduite a inspecté visuellement les entrées d'air des moteurs à partir du poste de pilotage et n'y a décelé aucune trace de contamination.

Le document *Bombardier Aerospace Engine Lower Cowl Intake Icing Inspection Training Guide* (Guide de formation à l'inspection contre le givrage de l'entrée d'air du capot inférieur des moteurs de Bombardier Aéronautique) décrit les précautions à prendre et les inspections qu'il est



¹ Les heures sont exprimées en heure avancée de l'Atlantique (temps universel coordonné moins trois heures) sauf indication contraire.

recommandé d'effectuer lors du stationnement de nuit de l'appareil ainsi qu'avant son départ et son décollage dans des conditions météorologiques défavorables. Lors de l'incident, le guide contenait la recommandation suivante concernant l'inspection des entrées d'air des moteurs :

[TRADUCTION]

Au moyen d'une lampe de poche, vérifier si l'intérieur de l'entrée d'air du moteur présente des traces de givre, de neige ou de neige mouillée, notamment par des inspections visuelles et tactiles de toutes les zones se trouvant sous l'adaptateur du dispositif de réchauffage d'entrée ainsi que des zones de la chambre de tranquillisation et du diffuseur. Toute trace de givre, de neige ou de neige mouillée doit être éliminée au moyen d'un balai à neige ou d'un outil similaire. Au besoin, préchauffer le capot inférieur pour déloger le givre.

Cette publication ne renfermait aucune exigence précise concernant l'inspection tactile de la zone de la gaine d'entrée.

Après l'embarquement des passagers, l'appareil a été dégivré et, à 15 h 36, le démarrage des moteurs a eu lieu en vue du départ. Le circuit d'allumage des moteurs a été mis sous tension (ON) après le démarrage des moteurs, conformément au manuel de vol du DHC-8-100, lequel stipule que le circuit d'allumage continu doit être mis sous tension (ON) lorsque l'appareil est exploité dans des conditions de givrage. Après le démarrage des moteurs, les dispositifs d'antigivrage des moteurs ont également été mis sous tension (ON), et ils ont fonctionné en permanence pendant toute la durée du vol. Après le démarrage des moteurs et pendant le roulage en vue du décollage sur la piste 01, l'équipe a tenté de monter la température dans la cabine, ce qui a entraîné beaucoup de condensation et de vapeur dans la cabine. Le détecteur de fumée des toilettes s'est déclenché et pendant que l'on s'affairait à régler ce problème, l'appareil a continué à rouler jusqu'à ce qu'il atteigne sa position de décollage. Ayant atteint sa position de décollage au bout de la piste, l'équipage a arrêté l'appareil pendant un bref moment, le temps de corriger le problème. Au moment du décollage, l'état signalé de l'aire de trafic de l'aéroport était de 95 pour cent dégagé et humide, et de 5 pour cent dégagé et sec. La course au décollage de l'appareil a commencé à 15 h 47, soit onze minutes après le démarrage des moteurs. L'équipage n'ayant observé aucune trace de givrage sur la cellule, les dispositifs de dégivrage de la cellule n'ont été utilisés ni au décollage ni pendant la montée jusqu'à l'altitude de croisière. Le dispositif de chauffage des hélices a été mis sous tension pendant la montée initiale.

La première fois que le moteur droit s'est éteint, le système de commande (ECU) du moteur droit est passé en fonctionnement manuel (MANUAL). Après le redémarrage du moteur, l'équipage a remis l'ECU en fonctionnement normal (NORMAL) et, quelque 30 secondes plus tard, le moteur droit s'est éteint de nouveau et l'ECU est repassé en fonctionnement manuel (MANUAL). Après la deuxième extinction du moteur droit, l'équipage a passé en revue les options possibles, y compris le retour vers Sydney; cependant, étant donné les conditions météorologiques qui prévalaient à Sydney et les limites dont faisait état le manuel de vol en cas de non-fonctionnement d'un ECU, l'équipage a choisi de poursuivre son vol jusqu'à Halifax. Il a ensuite consulté le personnel de maintenance de l'entreprise, lequel lui a suggéré de tirer et de réenclencher le disjoncteur de l'ECU. L'équipage a décidé d'attendre la fin de sa montée avant de suivre ce conseil, mais, juste au moment où l'appareil atteignait son altitude de croisière, le moteur gauche a subi une séquence d'extinction et de réallumage, et son ECU est passé en fonctionnement manuel (MANUAL). Les deux ECU se trouvant alors en fonctionnement manuel (MANUAL), l'équipage a tiré et réenclenché les disjoncteurs des ECU et a remis un à la

fois ces derniers en fonctionnement normal (NORMAL). Puisque l'appareil volait normalement hors des nuages et que les gaines d'entrée d'air ne présentaient aucune autre trace de givre, l'équipage n'a pas jugé nécessaire de déclarer une situation d'urgence.

L'équipage a mentionné que les traces de givre qu'il avait décelées dans les gaines d'entrée d'air des moteurs avant l'extinction de ces derniers commençaient trois à quatre pouces derrière la lèvre de l'entrée d'air, s'étendaient vers l'arrière vers le bas et sur le côté, aussi loin qu'il pouvait voir, et qu'elles étaient très blanches et que leur consistance ressemblait à celle du givre blanc.

Une observation météorologique spéciale effectuée trois minutes après le décollage faisait état des conditions météorologiques suivantes : vent du 340° vrais à 24 noeuds avec rafales à 29 noeuds, visibilité de 1½ mille dans de la neige légère et de la poudrière, couvert nuageux à 700 pieds, température de moins 1 °C et point de rosée de moins 5 °C. Les températures sont demeurées les mêmes pendant tout l'après-midi. Les cartes des vents en altitude prévoient les températures suivantes, en degrés Celsius : 6 000 pieds, moins 7; 9 000 pieds, moins 7; et 12 000 pieds, moins 12. Les cartes du temps significatif valides pour l'heure du départ indiquaient que des conditions de givrage mixte modéré prévaudraient de la surface jusqu'à 11 000 pieds dans la région de Sydney.

En raison du temps qui s'est écoulé avant qu'on rapporte l'événement au BST, l'enregistrement des données du vol ayant trait à l'événement ont été recouvertes par d'autres données et n'étaient donc pas disponibles aux fins de l'enquête.

D'autres extinctions de moteurs survenues en vol sur des DHC-8 ont été attribuées à l'ingestion de givre et/ou à la perturbation de l'écoulement provoquées par le délogement d'une couche de givre. Deux de ces extinctions (rapports A87O4219 et A88A0039 du BST/BCSA) ont été attribuées à l'accumulation de givre pendant des opérations au sol, alors qu'une autre (rapport A99A0160 du BST) aurait pu être attribuée à l'accumulation, en vol, de givre dans la chambre de tranquillisation arrière des gaines d'entrée d'air des moteurs. Dans le cas du rapport A99A0160, on n'a toutefois fait qu'une enquête sommaire. Pour éviter que d'autres événements de ce genre ne se reproduisent, on a élaboré des procédures modifiées pour les saisons automne/hiver/printemps 2000/2001, pour faire en sorte que les entrées d'air des moteurs restent exemptes de toute contamination, une fois les appareils au sol. Ces procédures ont été distribuées aux exploitants par Bombardier Aéronautique dans une lettre en date du 20 septembre 2000 ainsi que dans un guide de formation révisé sur CD-ROM. En voici les grandes lignes :

[TRADUCTION]

Lettre de service - Précautions avant le roulage

L'expérience d'un exploitant en matière de givrage a permis d'établir qu'il pouvait y avoir accumulation de givre dans l'entrée d'air d'un moteur, juste en avant du volet de décharge. Si le givre s'accumule ainsi n'est pas éliminé, il peut s'étendre jusqu'à l'avant de la chambre de tranquillisation de la nacelle et provoquer une interruption de la poussée du moteur. C'est pourquoi l'exploitant a mis en oeuvre les procédures suivantes :

Dans des conditions de givrage, des inspections tactiles des entrées des moteurs doivent être effectuées à toutes les escales. Si des conditions de givrage sont présentes en vol ou prévalent ou encore ont déjà prévalu au sol, une inspection visant à

*garantir que les entrées d'air des moteurs sont dégagées doit être effectuée. Il se peut qu'une inspection visuelle d'une entrée ne permette **PAS** de déceler des traces de givre s'étant formées dans la chambre de tranquillisation de la nacelle. Lorsque les volets de décharge sont « OUVERTS », la vérification de l'intérieur de la chambre de tranquillisation permet de déceler l'accumulation de givre, de neige mouillée ou de « tout autre » contaminant. L'intérieur de la chambre de tranquillisation **DOIT** être dégagé avant le vol.*

Lettre de service - Précautions concernant le roulage

*Dans des conditions de givrage, ouvrir les volets de décharge et mettre le circuit d'allumage en fonctionnement manuel (**MANUAL**) immédiatement après le démarrage des moteurs (séries 100, 200 et 300 ne comportant pas de circuit de réallumage automatique MODSUM 8Q100813/ Bulletin de service 8-74-02).*

Pendant le roulage, à moins de nécessité absolue, éviter d'inverser la poussée sur des pistes, des voies de circulation ou des aires de trafic couvertes de neige ou de neige mouillée. L'inversion de la poussée sur une surface couverte de neige ou de neige mouillée peut soulever de la neige mouillée et de l'eau et les projeter dans les entrées des moteurs ainsi que sur les surfaces alaires. Dans des conditions de givrage, l'utilisation de l'inversion de la poussée pour aider à refouler un appareil à une porte d'embarquement est contre-indiquée.

Guide de formation

Au moyen d'une lampe de poche, vérifier si l'intérieur de l'entrée d'air du moteur présente des traces de givre, de neige ou de neige mouillée.

Par les volets de décharge des moteurs, vérifier s'il y a accumulation de givre à l'intérieur du capot avant.

Si des traces de contaminant gelé sont décelées, s'assurer avant le démarrage des moteurs que l'entrée du capot inférieur est dégagée.

Les Lignes aériennes régionales d'Air Canada (LARAC) ont adopté ces procédures modifiées et les ont intégrées à leurs procédures d'utilisation normalisées (SOP) destinées aux équipages de conduite et aux employés de piste ainsi qu'à leurs programmes de formation. Avant cet incident, les membres de l'équipage de conduite et le manutentionnaire avaient subi une formation sur ces procédures.

À la suite de cet incident, des membres du personnel de Bombardier Aéronautique, de LARAC, de Pratt & Whitney Canada, de Transports Canada (TC) et du BST ont entrepris un processus systématique d'analyse des pannes appelé Analyse intransigeante des causes fondamentales (RRCA), afin d'établir les causes de l'extinction des moteurs. Ce processus nécessitait l'identification des facteurs ayant pu contribuer à l'incident ainsi que l'analyse de chacun de ces facteurs pour déterminer le rôle qu'il a joué, s'il en a joué un, dans ledit incident. L'un des facteurs qui a été identifié comme facteur contributif possible était le fait que trois des quatre orifices de purge (deux dans chaque zone de gaine d'entrée, juste en avant du déversoir en « saut de ski ») étaient complètement obstrués par de la peinture verte et que le quatrième l'était partiellement par de la peinture. Pendant l'exécution du processus, il a été admis que l'extinction des moteurs avait été provoquée par du givre à l'intérieur de leurs gaines d'entrée d'air, lequel

givre s'était soulevé en couche solide et avait interrompu le flux d'air des moteurs au point d'en provoquer l'extinction. À la suite de la RRCA, deux scénarios possibles ont été proposés pour expliquer l'apparition des conditions ayant donné lieu à l'extinction des moteurs. Selon le premier, il y avait déjà du givre dans les gaines d'entrée avant le démarrage et, selon le second, il y a eu après le démarrage accumulation de givre dans les gaines d'entrée, laquelle s'est ajoutée au givre accumulé au cours du vol précédent à cause des orifices de purge obstrués). On a émis une hypothèse selon laquelle l'eau résiduelle a formé en gelant une couche de givre au fond de chaque entrée quand on a sorti l'appareil du hangar, et que ni l'équipage de conduite ni le personnel au sol n'ont décelé cette couche de givre. Après le décollage, chacune de ces couches de givre solide, en se détachant et en se soulevant, a interrompu momentanément le flux d'air des moteurs et ainsi provoqué leur extinction.

Un rapport du National Transportation Safety Board (NTSB) relatant l'accident d'un Grumman G-159 (G-1) survenu le 19 juillet 2000 et traitant du givrage de moteurs comportait le passage suivant tiré de l'annexe A du manuel de vol du G-1 (*G-1 Flight Manual*) intitulée « Adverse Weather/Abnormal Atmospheric Conditions » (Conditions météorologiques difficiles/conditions atmosphériques anormales), à savoir :

[TRADUCTION]

Il peut y avoir givrage des moteurs ou des hélices sans qu'il n'y ait givrage des ailes. Un moteur fonctionnant dans une masse d'air dont la température ambiante est inférieure à 8 degrés C peut subir du givrage; ce phénomène est dû à la chute de température associée à la diminution de pression entre la masse d'air et le cercle balayé par le disque de l'hélice et/ou les premiers étages du compresseur. À mesure que l'air traverse l'hélice ou pénètre dans le moteur, l'humidité est condensée et forme des gouttelettes, lesquelles, à cause de leur inertie, ne peuvent suivre le flux d'air autour de l'hélice, des aubes directrices ou des aubes mobiles du compresseur. À la place, elles se heurtent aux pièces de métal et forment du givre...

Ce passage du manuel de vol du G-1 soulève la question à savoir si oui ou non la même situation aurait pu se produire à l'entrée d'air des moteurs du DHC-8-100. Pour répondre à cette question, Bombardier Aéronautique a effectué une analyse de la dynamique des fluides computationnelle (CFD). Deux types différents d'installations d'entrée de nacelle ont été analysés et comparés : l'entrée « pitot » (DHC-8-100) et l'entrée « annulaire » (semblable au type que l'on trouve sur le G-1). Cette analyse a été faite dans des conditions d'atmosphère type ISA, à une altitude de 9 000 pieds et à une température de moins 3 °C. Cette analyse comparative a permis les constatations suivantes :

- D'un côté à l'autre du cercle balayé par l'hélice, l'augmentation de température est faible, c'est-à-dire environ 1 °C, dans l'une ou l'autre des deux applications.
- L'augmentation de température due à la décélération du flux entre l'hélice et l'entrée est beaucoup plus importante que celle provoquée par l'hélice, laquelle est d'environ 4 °C, comparativement à l'entrée annulaire où il y a une légère réduction de température.
- Lorsque l'air pénètre dans l'entrée du moteur du DHC-8-100, sa température chute légèrement, puis elle augmente légèrement le long de la tubulure avant que l'air n'entre dans le compresseur du moteur. Dans l'entrée annulaire, il y a

une brusque chute de température d'environ 10 °C lorsque l'air pénètre, puis la température grimpe d'environ 7 °C le long de la tubulure avant que l'air n'entre dans le compresseur du moteur.

Dans le cadre de l'analyse CFD, Bombardier Aéronautique a également étudié l'effet sur la formation de neige et de givre à l'entrée du moteur du DHC-8-100 en calculant le temps nécessaire pour que fonde la neige accumulée dans le champ d'écoulement d'entrée et le temps que prend une particule pour parvenir de l'entrée à l'avant du compresseur, ainsi qu'en déterminant l'effet qu'ont pu avoir la température et le point de rosée qui prévalaient le 3 avril 2001. Cette analyse a donné lieu aux constatations suivantes :

- Le temps de fonte d'un cristal de glace ou d'un flocon de neige est d'environ 12 secondes.
- La durée de séjour d'une particule dans la gaine d'entrée est de 20 millisecondes.
- La température et le point de rosée qui prévalaient le 3 avril 2001 étaient respectivement de moins 1 et moins 5; à cause des hausses de température provoquées par la pénétration de l'air dans l'entrée, la température de l'air aurait été supérieure de quelque 6 °C au point de rosée.

L'analyse susmentionnée a permis de conclure que de la neige ou du givre n'auraient pas eu le temps de fondre avant d'être ingérés par le compresseur du moteur et qu'étant donné l'écart entre la température et le point de rosée dans la gaine d'entrée, la vapeur d'eau contenue dans le flux d'air n'aurait pas été précipitée sous forme de brouillard ou de neige à la sortie.

Dans le cadre d'une autre analyse CFD, Bombardier Aéronautique a effectué une analyse de la trajectoire des particules à l'entrée d'air du moteur du DHC-8-100, pendant des opérations en vol, au sol avec les moteurs tournant au ralenti et au sol avec les moteurs coupés. Cette analyse a donné lieu aux conclusions suivantes :

- Pendant une tempête de neige, lorsque l'appareil est au sol, le nez dans le vent et les moteurs coupés, des particules de givre peuvent heurter violemment le fond de la gaine d'entrée d'air.
- Pendant une tempête de neige, lorsque l'appareil est au sol, le nez dans le vent et les moteurs au ralenti, il n'y a aucun impact entre des particules de neige ou de givre et le fond de la gaine d'entrée d'air.
- En vol, lorsque la gaine est exempte de givre s'étant formé au sol, il n'y a aucun impact entre des particules de neige ou de givre et le fond de la gaine d'entrée d'air.
- En vol, lorsqu'un décrochement orienté vers l'avant est créé par la rupture d'une couche de givre préexistante, il peut y avoir impact entre des particules de neige ou de givre et le fond de la gaine d'entrée d'air.
- Il peut y avoir accumulation de givre sur un décrochement orienté vers l'avant créé par la rupture d'une couche de givre préexistante.

En se basant sur cette analyse CFD, Bombardier Aéronautique a expliqué comme suit l'accumulation en vol de givre qui a été observée dans la gaine d'entrée d'air : la couche de givre a pu se rompre juste derrière le boudin de dégivrage, à cause de l'activation de ce dernier ou de contraintes élevées normales et tangentielles dans les extrémités (coins) de la couche de givre. Après le détachement de la couche de givre, il y a eu formation d'un décrochement orienté vers l'avant, lequel a pu provoquer une variation locale de la pression et de l'angle d'écoulement de l'air, ce qui a créé une légère accumulation de givre observable qui n'a aucunement nui aux performances des moteurs.

En appliquant les principes d'analyse de transfert de chaleur de capacité concentrée et de convection forcée, Bombardier Aéronautique a calculé que, dans les conditions qui prévalaient le 3 avril 2001, le temps nécessaire pour que l'eau qui se trouvait au fond de la gaine d'entrée d'air gèle était de quelque 30 minutes. Les conditions hypothétiques utilisées pour ce calcul ont été les suivantes : orifices de purge obstrués, eau profonde de 0,6 pouce (environ la moitié de la profondeur maximale possible), température de l'eau de 1 °C, température extérieure de moins 1 °C et air pénétrant dans la gaine d'entrée à 10 noeuds, à cause du vent.

Au cours de l'hiver 2001/2002, les LARAC ont signalé douze incidents faisant état d'accumulation en vol de givre dans des entrées de moteurs. Dans l'un de ces incidents, survenu le 5 décembre 2001, l'appareil avait été stationné pour la nuit sur l'aire de trafic, à Charlottetown (Île-du-Prince-Édouard), les entrées d'air des moteurs protégées. L'équipage avait effectué une inspection prévol de l'appareil ainsi qu'une inspection des entrées d'air des moteurs, conformément aux procédures les plus récentes, lesquelles inspections avaient permis d'établir que les entrées d'air des moteurs et la cellule étaient sèches et exemptes de toute trace de contamination.

À 6 h, les conditions météorologiques qui prévalaient à Charlottetown étaient les suivantes : vent du 120° soufflant à 5 noeuds, visibilité de 15 milles terrestres, température de moins 2 °C, point de rosée de 5 °C, plafond de nuages épars à 3 000 pieds et couvert nuageux à 7 000 pieds. L'appareil avait décollé à 6 h 28 et, à 3 100 pieds, il était entré dans des nuages où il avait rencontré de la neige légère. À 11 700 pieds, on a observé un léger givre blanc et, lorsque l'appareil s'est mis en palier à 12 000 pieds, les boudins de dégivrage de la cellule et des moteurs ont été mis en marche (on a alors observé du givre sur les gaines d'entrée d'air des moteurs). On a de nouveau mis en marche les boudins pendant la croisière et juste avant l'amorce de la descente vers Halifax; à la fin de chaque cycle, les boudins de dégivrage étaient propres. L'appareil a atterri à 6 h 55 dans de la neige modérée.

À cause des conditions de givrage qu'avait rencontrées l'appareil, l'inspection des gaines d'entrée d'air des moteurs, 10 minutes après l'atterrissage, a permis de déceler ¼ pouce de givre autour du « saut de ski » de gaines d'entrée d'air, juste derrière les orifices de purge. On a également décelé un demi-pouce de givre sur le radome. À 7 h, les conditions météorologiques qui prévalaient à Halifax étaient les suivantes : vent du 130° soufflant à 6 noeuds, visibilité de 1½ mille terrestre dans des averses de neige, température et point de rosée de moins 1 °C ainsi que couvert nuageux à 2 800 pieds. Le 3 janvier 2002, le transporteur aérien a envoyé une lettre faisant état de ses soucis au constructeur en ce qui a trait au givre noté dans les gaines d'entrée

d'air des moteurs suite au vol du 5 décembre 2001. Dans sa réponse au transporteur aérien, Bombardier a indiqué qu'il ne prévoyait pas que le givre ainsi noté causerait des anomalies lors du fonctionnement de l'appareil.

Il a été établi que, pendant la certification initiale de l'aéronef, le DHC-8-100 avait respecté ou excédé les critères de certification en matière de protection contre le givrage de l'entrée d'air. Selon ces critères : [TRADUCTION] « . . . chaque moteur ainsi que tous ses systèmes de protection contre le givrage doivent fonctionner dans toute la plage de vol (y compris le ralenti) sans qu'il n'y ait accumulation de givre sur les composants des moteurs risquant de nuire au fonctionnement de ces derniers ou de provoquer une importante perte de puissance ou de poussée dans des conditions de givrage maximales soutenues et intermittentes . . . » Pendant le vol du 3 avril 2001, lorsque les moteurs se sont éteints, l'appareil volait bien en-dessous du seuil des conditions de givrage maximales.

Depuis l'incident de 1999, le Maintien de la navigabilité aérienne de Transports Canada surveille activement le problème de givrage des entrées d'air des moteurs du DHC-8-100. Après l'événement du 3 avril 2001, TC a suivi de près le processus de la RRCA, les mesures qu'a prises l'exploitant ainsi que la réaction et les mesures par lesquelles a répondu le constructeur de l'appareil. TC a également procédé à une évaluation formelle des risques en tenant compte d'au moins trois scénarios. TC a conclu qu'il était improbable ou peu probable que les deux moteurs s'éteignent en vol et que l'on soit incapable d'en réallumer au moins un à cause de contamination par le givre, car, pendant toutes les heures de vol que totalise la flotte entière de DHC-8-100 (plus de 10 millions d'heures de vol), aucun événement de ce genre n'est survenu. En combinant la gravité et la probabilité du danger, l'évaluation des risques de TC a permis d'établir que les risques étaient faibles.

Les critères d'évaluation des risques de TC nécessitent la factorisation de la durée d'exposition au danger (formation de givre), de la gravité de l'incident visé et de la facilité de transfert de cet incident. Dans ce type de cas, l'exposition au danger (contamination par givrage en vol des gaines d'entrée d'air) ne peut se produire que dans des conditions de givrage et lorsqu'un appareil se trouve exposé à de telles conditions. Il s'avère presque impossible de fixer la durée de temps nécessaire pour accumuler du givre qui mènerait possiblement à une panne du moteur.

Analyse

Il a été établi que l'extinction des moteurs avait été provoquée par du givre à l'intérieur de leurs gaines d'entrée d'air, lequel givre s'était soulevé en une couche solide et avait interrompu le flux d'air des moteurs pour ainsi en provoquer l'extinction. Deux scénarios possibles ont été proposés pour expliquer l'accumulation de givre dans les gaines d'entrée d'air des moteurs. Selon le premier, il y avait de l'eau dans les gaines d'entrée lorsque l'on a sorti l'appareil du hangar; cette eau n'a pas été décelée lors de l'inspection des gaines d'entrée d'air, puis, en gelant, elle a formé une couche de givre solide. Selon le second, les gaines d'entrée d'air des moteurs étaient exemptes de toute trace de contamination lorsque les obturateurs ont été retirés des entrées d'air en vue du démarrage des moteurs et une couche de givre s'est formée dans chaque gaine d'entrée d'air après le démarrage des moteurs.

Le premier scénario veut que, puisque l'appareil est arrivé à Sydney dans des conditions de poudrierie, il y aurait eu accumulation de neige/givre à l'intérieur des gaines avant que l'aéronef ait été placé dans un hangar non chauffé. Bien que ce soit probable (en raison de l'accumulation en vol ou de l'accumulation après l'atterrissage ou d'une combinaison de ces deux situations), la

présence de givre n'a pas été vérifiée. S'il y avait eu formation de neige ou de givre, la neige et/ou le givre auraient fondus, car la température à l'intérieur du hangar était légèrement supérieure au point de congélation et, une fois les moteurs éteints, leur chaleur résiduelle aurait provoqué l'augmentation de la température à l'intérieur de leurs gaines d'entrée d'air. L'eau de la fonte de ce givre, laquelle aurait normalement été évacuée par les orifices de purge des gaines d'entrée d'air, serait demeurée à l'intérieur desdites gaines parce ces orifices étaient obstrués. Le lendemain, lorsque l'on a sorti l'appareil du hangar, l'eau qui se trouvait au fond des gaines d'entrée d'air a gelé. Cette eau et/ou ce givre n'ont été décelés ni par l'équipage de conduite ni par l'employé de piste lorsque ce dernier a posé et retiré les obturateurs des entrées.

Trente minutes après avoir sorti l'appareil du hangar, on a démarré le moteur droit et on l'a fait tourner pendant 5 minutes pour réchauffer l'appareil. On avait démarré les deux moteurs 46 minutes après avoir sorti l'appareil du hangar. Pendant tout le temps que l'appareil a passé hors du hangar avant le démarrage des deux moteurs, on a évalué à 20 minutes la durée de la période au cours de laquelle les obturateurs avaient été en place, ce qui fait que les gaines d'entrée d'air auraient été exposées au vent et à la poudrierie pendant 26 minutes, dont 5 minutes pendant lesquelles le moteur droit avait tourné. L'analyse CFD a permis d'établir que, dans des conditions semblables à celles qui prévalaient sur l'aire de trafic le jour de l'incident (température de moins 1 °C et vent soufflant à 10 noeuds), ½ pouce d'eau pouvait geler en 30 minutes. Étant donné que l'eau à l'intérieur des gaines d'entrée d'air (obturateurs retirés) aurait été exposée au vent avant le démarrage des moteurs pendant quelque 10 minutes dans le cas du moteur droit, et pendant un peu moins de 30 minutes dans le cas du moteur gauche, il se peut que la conclusion de l'analyse CFD ne soit pas tout à fait appropriée aux deux moteurs. Cependant, le moteur gauche aurait été exposé à la température de moins 1 °C pendant quelque 46 minutes.

L'analyse de transfert de chaleur a également permis de conclure qu'après le démarrage, les conditions qui prévalaient le 3 avril 2001 n'étaient pas propices à la formation de givre dans les gaines d'entrée d'air et que, par conséquent, il ne pouvait pas y avoir eu formation de givre dans les gaines d'entrée de la façon décrite par l'équipage à moins qu'il y ait eu présence d'une couche de givre accumulée au sol. Des incidents antérieurs pour lesquels il avait été établi que des procédures de servitude au sol inappropriées avaient donné lieu à une accumulation de givre ou de neige dans les gaines d'entrée de moteurs ont également été utilisés pour étayer le premier scénario.

Selon le second scénario, avant le démarrage, les gaines d'entrée d'air étaient exemptes de toute trace d'eau et de givre et, une fois les moteurs en marche, il y aurait eu formation de givre dans les gaines d'entrée d'air. Ce scénario admet que s'il y avait eu présence de givre la veille, lors de l'arrivée de l'appareil, ce givre aurait probablement fondu une fois l'appareil dans le hangar. Il y a cependant incohérence entre la présence de givre ou d'eau dans les gaines d'entrée d'air avant le démarrage et les inspections visuelles et tactiles qu'a effectuées l'employé de piste, lesquelles ont montré que les gaines d'entrée étaient exemptes de toute trace de contamination. De plus, l'hypothèse du givrage en vol est étayée par le fait qu'après le décollage les pilotes ont observé, depuis le poste de pilotage, la formation de givre dans les gaines d'entrée d'air, puis l'absence de givre, après l'extinction des moteurs. L'incident du 5 décembre 2001 et les autres rapports de givrage en vol concernant les LARAC confirment qu'il peut y avoir formation de givre dans les gaines d'entrée d'air.

L'élaboration des conclusions du premier scénario fait appel à un modèle théorique. Quand au second scénario, il repose directement sur le témoignage d'un employé des LARAC selon lequel il n'y avait pas de givre avant le démarrage, et les procédures appropriées ont été suivies au sol et en vol. Bien qu'il soit impossible d'établir avec certitude lequel de ces deux scénarios s'est bel et bien déroulé, dans un cas comme dans l'autre, les conséquences sont graves.

En réaction au premier scénario et pour assurer que la contamination par givrage au sol des entrées d'air ne provoquerait l'extinction d'aucun moteur, le constructeur a proposé des moyens additionnels de protection en matière de servitude au sol, lesquels ont été mis en oeuvre par les LARAC.

Il existe cependant des signes indiquant que l'extinction en vol des moteurs a pu être provoquée par l'accumulation de givre après le démarrage des moteurs. On doit donc tenir compte de ce risque pouvant avoir de graves conséquences (même si le circuit d'allumage a réussi à remettre les moteurs en marche) et prendre les mesures de suivi qui s'imposent pour assurer un niveau de risque acceptable.

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. Il a été établi que l'extinction des moteurs avait été provoquée par du givre à l'intérieur de leurs gaines d'entrée d'air, lequel givre s'était soulevé en une couche solide et avait interrompu le flux d'air des moteurs pour ainsi en provoquer l'extinction. Il a cependant été impossible d'établir avec certitude de quelle façon le givre s'était formé à l'intérieur des gaines d'entrée d'air.

Faits établis quant aux risques

1. Trois des quatre orifices de purge de la gaine d'entrée d'air du moteur droit étaient complètement obstrués et le quatrième l'était partiellement ce qui rehaussait le risque que l'eau pouvait s'accumuler et geler dans la gaine.

Mesures de sécurité prises

En septembre 2001, Bombardier Aéronautique a publié un guide révisé de formation sur les procédures au sol. La principale différence entre ce guide et la version précédente (septembre 2000) tient au fait qu'il renferme une description plus détaillée des endroits à inspecter (l'inspection tactile de la zone des gaines d'entrée d'air a été ajoutée) et à nettoyer ainsi que des suggestions d'outils et de techniques pour le déroulement des inspections et des procédures de nettoyage. Bombardier Aéronautique a également publié des directives dans un document intitulé « Customer Special Installation (CSI) » qui porte le numéro 826930 et qui traite de l'agrandissement des orifices de purge des gaines d'entrée d'air des moteurs.

Les LARAC ont intégré les procédures révisées à leur programme de formation et à leurs SOP. De plus, pour recueillir des données, les LARAC ont créé un formulaire intitulé « Engine Intake Ice Survey » (Sondage sur le givrage des entrées des moteurs). Chaque fois qu'un membre d'équipage de conduite décèle du givre dans une gaine d'entrée d'air de moteur, il doit remplir un tel formulaire. En rapport avec ce formulaire, les LARAC et Environnement Canada participent à un programme permettant la surveillance en temps réel des conditions atmosphériques en vol. On comparera les données recueillies dans le cadre de ce programme à

celles recueillies dans le cadre du sondage sur le givrage pour tenter de comprendre les conditions qui provoquent le givrage des gaines d'entrée d'air des moteurs, ce qui permettra d'élaborer des procédures pertinentes d'évitement du givrage.

En date du 31 décembre 2001, l'exploitant avait reçu plusieurs formulaires de sondage sur le givrage, et c'est ce sondage qui a permis de déceler qu'il y avait eu un incident de givrage dans le cas du vol effectué le 5 décembre 2001. Les LARAC ont commencé à installer des cornières de séparation (conçues par Bombardier Aéronautique et fournies aux LARAC conformément au document CSI 44022) à l'intérieur du capot inférieur de la nacelle du moteur. Les LARAC ont installé ce dispositif sur tous leurs appareils DHC-8. Ces cornières de séparation servent à empêcher la formation d'une couche de givre unique à l'intérieur du capot inférieur d'un moteur. L'entreprise a également élaboré un programme visant à agrandir les orifices de purge des gaines d'entrée d'air des moteurs, conformément au document CSI 826930.

Le 17 août 2001, un avis de sécurité aérienne du BST a été envoyé à Transports Canada pour lui suggérer l'étude de cet incident et des incidents antérieurs mettant en cause des extinctions de moteurs de DHC-8-100, afin de vérifier si les appareils et les moteurs (Pratt & Whitney 120A) en cause fonctionnaient de façon acceptable dans des conditions pour lesquelles ils avaient été certifiés.

Le 23 octobre 2001, Transports Canada a répondu à cet avis de sécurité en mentionnant les éléments ci-dessous :

- Bombardier a élaboré de nombreuses procédures au sol pour l'hiver prochain (2001/2002) et aidera les LARAC à les mettre en oeuvre; [Ce travail a été fait.]
- l'hiver prochain, Bombardier enverra un représentant des services techniques dans la région de l'Atlantique afin de veiller à ce que ces procédures soient bien comprises et de recueillir des données dans l'environnement d'exploitation des LARAC;
- le personnel de TC Aviation civile constate avec satisfaction que les LARAC, Bombardier et Pratt and Whitney Canada travaillent conjointement afin de faire en sorte qu'un incident comme celui qu'ont vécu les LARAC le 3 avril 2001 ne se reproduise plus;
- jusqu'à maintenant, TC est satisfait des progrès réalisés, et il continuera de surveiller et de soutenir ces efforts jusqu'à ce que le problème soit réglé.

Le présent rapport met fin à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) sur cet accident. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 3 juin 2003.