

Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE A06Q0188



URGENCE À CAUSE D'UN BAS NIVEAU DE CARBURANT

**DU BOMBARDIER CL-600-2B19 C-GJZF
EXPLOITÉ PAR AIR CANADA JAZZ
À FORT ST. JOHN (COLOMBIE-BRITANNIQUE)
LE 21 NOVEMBRE 2006**

Canada

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

Rapport d'enquête aéronautique

Urgence à cause d'un bas niveau de carburant

du Bombardier CL-600-2B19 C-GJZF
exploité par Air Canada Jazz
à Fort St. John (Colombie-Britannique)
le 21 novembre 2006

Rapport numéro A06Q0188

Sommaire

Le 21 novembre 2006, un avion CL-600-2B19 (immatriculation C-GJZF, numéro de série 7545) d'Air Canada Jazz, ayant 49 passagers et 3 membres d'équipage à bord, effectue un vol régulier de Vancouver (Colombie-Britannique) à Prince George (Colombie-Britannique). Vers 15 h 14, heure normale du Pacifique, l'avion reçoit une autorisation d'approche de non-précision sur la piste 33 à l'aéroport de Prince George. Alors qu'il est établi en approche finale, l'équipage de conduite reçoit une observation météorologique spéciale indiquant des conditions inférieures aux minimums réglementaires. L'équipage de conduite poursuit l'approche et règle les volets à 45 degrés. À l'atteinte du repère d'approche finale, l'équipage de conduite exécute une approche interrompue et remarque que les volets demeurent coincés à 45 degrés.

Les membres de l'équipage de conduite se déroutent vers leur aéroport de dégagement, soit Grande Prairie (Alberta). L'avion est autorisé à maintenir 15 000 pieds et est guidé vers Grande Prairie. À 15 h 37, l'équipage de conduite demande des vecteurs radar pour Fort St. John (Colombie-Britannique) alors qu'il reste environ 500 livres de carburant, ce qui équivaut à moins de 10 minutes de vol. Personne n'est blessé.

This report is also available in English.

Autres renseignements de base

Les dossiers indiquent que les membres de l'équipage de conduite étaient certifiés et qualifiés conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures approuvées.

Vers 14 h 36, heure normale du Pacifique¹, l'avion CL-600-2B19 d'Air Canada Jazz assurant le vol 8205 a quitté Vancouver pour un vol de 47 minutes à destination de Prince George. Selon le plan de vol exploitation (PVE), la quantité de carburant minimale au décollage était de 5738 livres, et la quantité de carburant à consommer pour arriver à destination a été calculée à 2405 livres. Selon l'enregistreur de données de vol, il y avait 6100 livres de carburant à bord au moment du décollage, ce qui excédait de 362 livres les exigences minimales de carburant du PVE.

Compte tenu des prévisions d'aérodrome (TAF) communiquées à 9 h 42, les conditions météorologiques prévues au moment de l'arrivée à destination étaient les suivantes : plafond à 2000 pieds au-dessus du sol (agl), visibilité de 3 milles terrestres dans de la neige légère et vent soufflant du 010° vrais (V) à 15 nœuds, en rafales à 25 nœuds. Alors que l'avion était en route, deux nouvelles TAF ont été émises pour Prince George, les premières à 15 h 8, et les deuxièmes, à 15 h 19. Les deux indiquaient une détérioration des conditions météorologiques, la visibilité prévue la plus faible atteignant un ¼ de mille dans de la neige abondante et une visibilité verticale de 200 pieds prévue temporairement entre 15 et 17 h. L'équipage de conduite n'était pas au courant de ces nouvelles TAF. Toutefois, à 15 h 8, l'équipage de conduite a reçu le message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR)², qui indiquait : vent soufflant du 030°V à 23 nœuds, en rafales à 29 nœuds, visibilité de 5/8 de mille terrestre dans de légères averses de neige et de la poudrière, ciel obscurci à 900 pieds et température de -5 °C.

La surface de la piste était nue et sèche à 50 %, et recouverte de neige poudreuse à 50 %. L'indice de frottement de la piste était de 0,46. L'équipage de conduite a communiqué avec la compagnie pour discuter du plan d'action en cas d'approche interrompue et pour voir combien de carburant il faudrait pour revenir à Vancouver plutôt que de se rendre à l'aéroport de dégagement prévu. On a pris la décision de tenter une approche et d'attendre le plus longtemps possible avant de se dérouter vers l'aéroport de dégagement prévu.

À 15 h 14, les membres de l'équipe ont été autorisés à effectuer une approche sur faisceau arrière du radiophare, VOR DME 1 (radiophare omnidirectionnel à très haute fréquence/équipement de mesure de distance 1) sur la piste 33. Les minimums d'atterrissage réglementaires étaient de 405 pi agl et une visibilité de 1 ¼ de mille. L'équipage de conduite a planifié une approche stabilisée à angle de descente constant (SCDA), soit une approche stabilisée visant à adopter un taux de descente constant. Les critères sont les suivants : un angle

¹ Les heures sont exprimées en heure normale du Pacifique (temps universel coordonné moins huit heures).

² METAR est l'acronyme du code météorologique international pour un message d'observation météorologique régulière pour l'aviation normalement pris et diffusé à l'heure ronde.

de descente d'environ trois degrés; une vitesse, un réglage du régime moteur et une assiette stables; et la configuration de l'avion pour l'atterrissage (volets sortis à 45°) à un ou deux milles du repère d'approche finale.

À environ 23 milles du seuil, la tour a informé l'équipage de conduite que le plafond était de 800 pieds, et la visibilité, de ½ mille. La piste d'atterrissage inverse (piste 15) est équipée d'un dispositif de portée visuelle de piste (RVR), lequel indiquait une portée visuelle de 5000 pieds. À 12 milles en approche finale, l'équipage de conduite a été informé d'une observation météorologique spéciale indiquant un plafond de 500 pieds et une visibilité de 3/8 de mille dans de la neige et de la poudrière. L'équipage de conduite a poursuivi l'approche et, à environ 8 milles en approche finale, les volets ont été sortis à 20°, la sortie du train d'atterrissage a été commandée, puis les déporteurs ont été déployés. À 3,3 milles du seuil, à moins de ½ mille du repère d'approche finale, les volets ont été sortis à 45°, et les déporteurs ont été rentrés.

Compte tenu de la visibilité décroissant rapidement, l'équipage de conduite a exécuté une approche interrompue au moment d'atteindre le repère d'approche finale. À ce moment, il restait 4000 livres de carburant à bord, ce qui excédait de 1312 livres la quantité minimale de carburant requise selon le PVE pour atteindre l'aéroport de dégagement. Au moment où les volets étaient rentrés à 8° et que le train d'atterrissage était rentré, le message « FLAP FAIL » (défaillance des volets) est apparu sur le système d'affichage des paramètres moteurs et d'alerte de l'équipage (EICAS). Le taux de montée initiale de l'avion était d'environ 1600 pieds par minute, mais il a graduellement diminué au fur et à mesure que l'avion gagnait de l'altitude jusqu'à 10 000 pieds au-dessus du niveau de la mer (asl), l'altitude initiale autorisée.

Selon l'Index des procédures (QRH), si une défaillance des volets se produit à un angle supérieur à 5°, comme dans le cas présent, l'avion doit se poser à l'aéroport le plus proche qui convienne. Si la défaillance des volets se produit à 45°, aucune autre mesure n'est requise avant l'atterrissage. La procédure se fonde sur le fait que l'atterrissage sera exécuté comme d'habitude. L'Index des procédures ne tient pas compte de la possibilité d'une approche interrompue et de son impact sur les performances de l'avion pour ce qui est du franchissement des obstacles ou de la consommation de carburant. Aussi, il ne propose pas une autre solution au problème. Dans un tel cas, on s'attend des équipages de conduite qu'ils fassent preuve de jugement. L'équipage de conduite en question a ouvert et fermé les disjoncteurs du module de commande électronique des volets (FECU), mais cette mesure n'a pas réglé le problème. On a alors sélectionné le levier des volets sur d'autres crans, puis on a ouvert et fermé de nouveau les disjoncteurs du FECU, mais en vain.

Les membres de l'équipage de conduite ont demandé de se dérouter vers leur aéroport de dégagement prévu, Grande Prairie, et ont par la suite demandé d'aller à Fort St. John, qui était légèrement plus proche. En route, l'équipage de conduite a tenté de savoir quelle serait l'altitude et la vitesse qui offriraient le rayon d'action optimal. Cependant, aucune donnée n'était disponible. On s'est servi du système de gestion du vol (FMS) pour déterminer la prédiction de carburant pour Fort St. John. À 15 h 37, l'équipage de conduite a déclaré une urgence en raison de la prédiction de bas niveau de carburant. À ce moment, le débit de carburant était d'environ 4100 livres par heure, ce qui est considérablement plus élevé que le débit d'environ 2700 livres par heure en croisière de Vancouver à Prince George. À 16 h 16, l'avion s'est posé à Fort St. John sans autre incident, alors qu'il restait environ 500 livres de carburant, soit l'équivalent de moins de 10 minutes de vol.

Base de certification

L'avion Regional Jet 100/200 de Canadair (CRJ), modèle CL-600-2B19, a reçu son certificat de type comme avion de transport au Canada le 31 juillet 1992, en vertu de la partie 25 des *Federal Aviation Regulations* (FAR), y compris les modifications 25-1 à 25-62, avec certains ajouts et certaines exemptions figurant sur la fiche de données numéro A-131 du certificat de type. Cette feuille de données indique les conditions et les limites en fonction desquelles le produit pour lequel le certificat de type a été accordé satisfait aux normes de navigabilité imposées par le *Règlement de l'aviation canadien* (RAC). Le titulaire du certificat de type de l'avion CRJ, modèle CL-600-2B19, est Bombardier Inc.

Description du circuit des volets

Le circuit des volets comprend un volet intérieur et un volet extérieur à double fente (voir l'annexe A), montés sur le bord de fuite de chaque aile. Les deux panneaux des volets intérieurs se déplacent dans une plage comprise entre 0 et 45°, tandis que les deux panneaux des volets extérieurs se déplacent dans une plage comprise entre 0 et 40°. Chaque volet intérieur comprend un déflecteur de bord d'attaque mobile et trois vérins de déflecteur mobile. Chaque volet extérieur contient un volet obturateur de fente et trois vérins de volet obturateur de fente.

On commande la sélection des volets en plaçant manuellement le levier des volets sur un des cinq crans du bloc de commande des volets se trouvant sur le pylône central. Ces commandes se rendent au module de commande électronique des volets (FECU), lequel fait fonctionner le bloc d'entraînement (PDU) et le capteur de position du frein (BPSU). Le FECU met sous tension le PDU, lequel amène les volets à la position sélectionnée grâce à des arbres d'entraînement flexibles et à des vérins de volet. Le FECU commande aussi le desserrage des freins dans le PDU et les BPSU. Les freins des BPSU sont une relève pour les freins des PDU. Les capteurs de position des BPSU fournissent de l'information sur la position des volets au FECU, ce qui permet à ce dernier de commander et de contrôler la position des volets. Le FECU a 14 types de détecteur d'anomalie et 5 interfaces de signal entre le FECU et les centrales aérodynamiques numériques. Les anomalies les plus courantes détectées sont l'asymétrie, la survitesse, la sous-vitesse et des défaillances de courant pour le moteur.

Le système des mécanismes de commande des volets comprend 10 arbres d'entraînement flexibles, 4 vérins de volet intérieur et 4 vérins de volet extérieur. Les arbres d'entraînement flexibles se trouvent derrière le longeron arrière d'aile. Ils viennent en différentes longueurs et en différents diamètres. Il y a cinq types différents d'arbre d'entraînement flexible (deux de chaque type). Ils sont numérotés de 1 (le plus à l'intérieur) jusqu'à 5 (le plus à l'extérieur). Chaque arbre d'entraînement flexible comprend un tube extérieur et un noyau amovible. Le noyau est fait d'acier imprégné de graisse. Le tube extérieur est fait d'un matériau composite en bore, graphite/téflon continu, lisse et extrudé, recouvert d'un blindage tressé en acier résistant à la corrosion.

Les transmetteurs de position des volets sont actionnés par des tringles de commande fixées aux bras articulés des volets intérieurs. Ils fournissent des signaux de position des volets à l'EICAS pour affichage de la position des volets à l'intention de l'équipage de conduite et des calculateurs des systèmes antidécrochage.

Le système de détection de gauchissement (SDS) comprend un module de détection de gauchissement (SDU), situé dans le compartiment avionique, et quatre capteurs de proximité et cibles. Les capteurs de proximité et les cibles sont situés sur les vérins des panneaux de volet extérieur. Lorsque les volets se déplacent, le SDU reçoit les signaux des quatre capteurs de proximité et produit une impulsion numérique. Cette impulsion sert à comparer la vitesse de rotation de chacune des vis à billes des vérins de volet extérieur, ce qui permet au SDU de vérifier s'il y a gauchissement (torsion d'un panneau de volet extérieur supérieure à deux degrés).

Les signaux de commande du levier des volets sont envoyés aux deux canaux du FECU. Chaque canal commande un des deux moteurs de PDU et est équipé de deux détecteurs de défaillance. Chacun de ces détecteurs reçoit des signaux qui indiquent les défauts du circuit. La sortie de chaque détecteur de défaillance dans le canal est un signal de défaillance. Ce signal de défaillance déclenche le relais de débranchement, fait s'arrêter le moteur qui y est associé et actionne les deux freins. Le signal de défaillance coupe aussi les signaux de commande qui font fonctionner le moteur dans le sens d'une sortie ou d'une rentrée. Le deuxième moteur est arrêté de la même façon par l'autre canal. L'alimentation électrique ainsi que les circuits de commande des moteurs et des freins sont communs aux deux sous-systèmes de chaque canal.

Vérins de volet

Huit vérins de volet sont montés sur le bord de fuite de l'aile à raison de deux vérins par panneau de volet. Il y a cinq types de vérin de volet; les quatre qui actionnent les volets intérieurs sont interchangeables. Chacun des vérins de volet extérieurs est différent. Les vérins font se déplacer les volets dans leur plage complète (0 à 45°) en 801 tours d'arbre d'entraînement.

Les vérins de volet sont des cardans à vis à bille linéaires, montés sur le longeron arrière de l'aile et les articulations de volets. Les circuits des vis à bille sont doubles à des fins de redondance. Ils comprennent également des grattoirs et des racleurs. Le boîtier principal contient la pignonnerie d'entraînement, qui est lubrifiée par un bain d'huile synthétique. Chaque vérin de volet comprend un ensemble vis et écrou sphérique à engrenage hélicoïdal à un étage, lubrifié par de la graisse appliquée au moyen d'un raccord graisseur situé sur l'écrou. Un limiteur de couple, qui sert de dispositif de limitation de charge, se compose d'un mécanisme comprenant un ressort de rappel et un frein, et il est contenu dans le boîtier principal, à l'intérieur de cavités étanches situées de chaque côté de la pignonnerie. Les cavités étanches du mécanisme du limiteur de couple sont isolées du boîtier d'engrenages rempli d'huile par des joints dynamiques en téflon.

Le limiteur de couple présente une série de plaques de friction alternées. La moitié d'entre elles sont cannelées à l'arbre d'entrée, et la moitié au boîtier fixe. Un couple excessif s'exerçant sur l'engrenage fait se fermer l'ensemble ressort, ce qui permet à l'arbre d'entrée et à la plaque de friction de bouger. Une pression est ainsi exercée sur la pile de plaques de friction et crée un couple de freinage pour limiter la force exercée sur le vérin.

Les arbres d'entraînement flexibles transmettent le couple provenant du PDU à chaque vérin de volet et au BPSU. L'entraînement d'entrée fait tourner la vis à bille. Cette rotation déplace l'écrou sphérique le long de l'arbre dans le sens de la sortie ou de la rentrée.

Consignes de navigabilité

Le 6 juillet 1998, Transports Canada a publié la consigne de navigabilité (CN) CF1998-14. Au moment de l'incident, la consigne en était à la révision 4 (CF1998-14R4); la date d'entrée en vigueur était le 25 juin 2004, et la date d'achèvement, le 31 décembre 2006. Tous les avions CRJ CL-600-2B19, numéros de série 7003 à 7903, étaient visés par cette CN. La révision prévoyait la mise en service d'un nouveau vérin de volet et d'un nouveau système de détection de gauchissement pour le volet extérieur. La CN se divisait en six parties :

- La partie I comprenait les mesures à prendre par l'exploitant et propose une modification au manuel de vol de l'avion (TR CRJ/171).
- La partie II comprenait les mesures de maintenance à prendre et pour lesquelles une vérification visuelle de chaque volet devait être effectuée à la recherche de signes de torsion, de gauchissement ou de déformation anormale, suivie d'une interrogation du menu des registres du FECU à des fins de localisation d'anomalies.
- La partie III portait sur les modifications à apporter dans les 450 heures après le 25 juin 1999. Elle exigeait l'apposition de nouvelles affichettes de limite de vitesse et de décalcomanies indiquant les vitesses de sortie maximales réduites des volets, ainsi que l'apposition d'une deuxième affichette exigeant l'inspection visuelle des volets avant le départ. Les deux décalcomanies devaient être apposées dans le poste de pilotage.
- La partie IV portait sur la vérification du bon état de service des vérins de volet.
- La partie V visait l'installation de nouveaux vérins de volet dans les 12 mois suivant la date d'entrée en vigueur de la révision actuelle.
- La partie VI portait sur l'installation d'un système de détection de gauchissement avant le 31 décembre 2006. La conformité aux exigences de la partie VI mettait un terme à toutes les mesures à prendre dans le cadre de la consigne.

La Federal Aviation Administration (FAA) a publié la consigne de navigabilité (*Airworthiness Directive*) 98-20-01 le 2 octobre 1998. Au moment de l'incident, cette consigne avait été remplacée par la consigne 2006-12-21 (entrée en vigueur le 21 juillet 2006). Tous les avions

CRJ CL-600-2B19, numéros de série 7003 à 7903, étaient également visés par cette consigne publiée à la suite de la défaillance d'un certain nombre de circuits de volets ayant entraîné la torsion de panneaux de volet extérieur. La consigne 2006-12-21 exige ce qui suit :

- l'installation de nouveaux vérins de volet dans les 12 mois suivant la date d'entrée en vigueur de la présente consigne (d'ici juillet 2007);
- l'installation d'un système de détection de gauchissement et d'une centrale aérodynamique dans les 30 mois suivant la date d'entrée en vigueur de la présente consigne (janvier 2009);
- de nouvelles affichettes de limite de vitesse;
- une révision au manuel de vol de l'avion pour que celui-ci fasse état des vitesses maximales autorisées révisées en vol lorsque les volets sont sortis;
- une nouvelle limite liée au système de détection de gauchissement et au vent de travers pour la sélection des volets au décollage.

Rapport de difficultés et incidents liés aux volets

La question de la défaillance des volets sur les avions CL-600-2B19 est connue depuis de nombreuses années. Une revue du système des rapports de difficultés en service (RDS) au Canada et aux États-Unis, du 1^{er} janvier 2006 au 1^{er} janvier 2007, a révélé 751 cas de problèmes de volet. Plus de 50 % (381) d'entre eux touchaient des avions CL-600-2B19 de Bombardier. Pour ces 381 cas, il y a eu 209 réinitialisations de système sans qu'on puisse retracer quelque défektivité que ce soit. En 20 occasions, l'équipage a reçu un message de défaillance des volets sur l'EICAS alors que l'avion se trouvait à l'altitude de croisière.

Un incident lié à un volet n'est pas en soit un événement qui doit être signalé selon la réglementation du BST; par conséquent, la base de données du BST pourrait ne pas comprendre toutes les défaillances de ce type. Une revue dans la base de données du BST des événements liés aux volets depuis 2005 indique un nombre croissant de défaillances de volet signalées touchant les avions CRJ. Il y a eu 20 cas signalés en 2005 et 28 en 2006. En janvier 2007, la base de données du BST indiquait 31 cas de défaillances de volets, ce qui laisse croire que la fréquence des défaillances de volets des CRJ est en hausse. Ces nombres ne représentent que les événements survenus au Canada et ils couvrent les exploitants canadiens et étrangers.

Maintenance liée aux vérins de volet

Le programme de maintenance actuel pour les vérins comprend une vérification du jeu entredent³ toutes les 1000 heures, une vérification de fonctionnement⁴ des vérins après 14 000 cycles de fonctionnement et une révision à 20 000 cycles. La durée de vie limite a été fixée à 33 333 cycles de fonctionnement. Les dossiers des réparations de maintenance provenant des Services techniques d'Air Canada (STAC) indiquent que les vérins peuvent devenir défectueux après à peine 2657 cycles, bien avant qu'une mesure de maintenance soit exécutée.

L'atelier des STAC à Montréal (Québec) a démonté les huit vérins d'un avion CRJ qui avait subi une défaillance de volets le 30 janvier 2007. Des huit vérins, quatre ont échoué à l'essai à basse température à -51 °C et ils présentaient des signes de contamination. Ces essais ont permis de découvrir que le couple de la chaîne dynamique était élevé en raison de la présence d'humidité, d'huile ou de corrosion. La raison la plus courante de la défaillance est la présence d'huile dans la cavité du frein du limiteur de couple, ce qui crée un couple d'entrée élevé pour faire tourner le pignon. La viscosité de l'huile augmente par temps froid, au point où les forces cisailant l'huile entre les plaques de frein augmentent et causent un couple d'entrée élevé. La qualité du produit d'étanchéité sur les surfaces de contact du vérin était aussi douteuse, puisque ce produit pouvait être souvent enlevé à la main, permettant ainsi à l'eau de s'infiltrer.

Infiltration d'eau dans le circuit des volets

Le coincement des volets par temps froid peut être attribuable à des questions de lubrification (excès de graisse sur les arbres d'entraînement flexibles), mais il est le plus souvent une indication de la présence d'eau dans les composants du circuit des volets. Lorsque de l'eau s'infiltré dans le circuit des volets, elle le fait principalement à travers les accouplements à écrou B, situés aux extrémités de chaque arbre d'entraînement flexible. S'il n'y a pas de joint étanche aux accouplements des arbres d'entraînement flexibles, l'eau peut s'infiltrer dans les arbres par capillarité, aidée en cela par le déplacement de l'air qui entre et qui sort des arbres sous l'effet des variations de pression.

Lorsque l'eau gèle, elle peut augmenter le couple de fonctionnement ou figer complètement l'arbre d'entraînement. Les composants reliés aux arbres d'entraînement dans l'aile, les vérins de volet et les BPSU présentent aussi des espaces d'air. Bien que les arbres d'entrée de ces composants soient munis de joints d'étanchéité, la détérioration et l'usure de ces joints peut permettre à l'eau qui se trouve dans l'arbre d'entraînement flexible de s'infiltrer jusqu'au vérin ou au BPSU.

³ La vérification du jeu entredent des vérins de volet, effectuée alors que le vérin est monté sur l'avion, est une mesure de l'usure dans le boîtier d'engrenages du vérin et sur la vis à bille.

⁴ Vérification quantitative visant à déterminer si une ou plusieurs fonctions d'un élément s'exécutent dans les limites spécifiées. Cette vérification comprend la dépose et l'essai du vérin en atelier.

L'infiltration d'eau dans les boîtiers de frein des vérins de volet peut se produire si le cordon d'étanchéité extérieur du joint du capuchon de raccordement du vérin est défectueux. Le capuchon de raccordement est le raccord fileté situé de chaque côté du boîtier d'engrenages du vérin auquel est relié l'arbre d'entraînement flexible. La présence d'eau dans les vérins eux-mêmes peut être confirmée par une vérification du couple à basse température. En octobre 2006, Bombardier a publié une modification visant à remplacer le joint d'étanchéité à ressort en téflon de l'arbre d'entraînement flexible par une nouvelle rondelle en acier. Ces nouvelles rondelles n'étaient pas immédiatement disponibles, et Air Canada Jazz a dû déposer une demande pour pouvoir utiliser un autre type de rondelle. Bombardier a publié des bulletins de service et des lettres de service visant à revoir tous les cas connus de contamination dans le circuit des volets.

Les arbres d'entraînement flexibles ont toujours été un facteur contributif à l'infiltration d'eau dans le circuit des volets. Il faut procéder avec soin lorsqu'on manipule, installe ou dépose des arbres d'entraînement flexibles pour éviter de les endommager. La plupart des problèmes que présentent les arbres sont liés aux limites du rayon de courbure, à la contamination par l'intermédiaire des fils et des raccords, et à un excès de lubrification qui peut entraîner un couple élevé par temps froid.

Les vérins de volet sont fabriqués par Eaton Aerospace. Dans le manuel de maintenance des composants d'Eaton Aerospace, publié en janvier 2007, la graisse MIL-PRF-23827 ou CSM1171 a été remplacée par la graisse MIL-PRF-23827C, Type II (Aeroshell 17). Auparavant, les exploitants utilisaient la graisse de type I ou de type II avec une mise en garde de ne pas les mélanger. Des essais menés pendant l'enquête ont révélé que le type de graisse utilisée pour la lubrification de l'écrou sphérique pouvait avoir contribué aux défaillances du circuit des volets.

Vérification du couple à basse température

Selon le manuel de maintenance des composants d'Eaton Aerospace, on effectue une vérification du couple à basse température en plaçant le vérin dans une chambre froide jusqu'à ce que la température se stabilise à -40 °C (-40 °F) $\pm 2,5\text{ °C}$. Au moyen d'une clé dynamométrique et d'un raccord, le technicien fait tourner l'arbre d'entrée dans le sens horaire sur deux tours à une vitesse de rotation d'environ un tour par 2,0 secondes. Le couple de décollement acceptable par temps froid ne doit pas dépasser 15,0 livres-pouces. Le fabricant a également établi une plage limite de température comprise entre -40 et $+75\text{ °C}$.

Dans le manuel de maintenance de l'avion de Bombardier, il est écrit que la vérification du couple à basse température se fait lorsqu'on soupçonne la présence d'eau dans le vérin. Les vérins de volet doivent être déposés de l'avion pour la vérification du couple à basse température. L'essai se fait à une température de -51 °C (-60 °F); le couple de décollement maximal exercé a été établi à 18 livres-pouces. Le manuel de maintenance de l'avion indique aussi que si le couple mesuré est supérieur à la valeur dans le tableau pour une température donnée, le vérin est alors inutilisable. Une revue du manuel de maintenance de l'avion de Bombardier et du manuel de maintenance des composants d'Eaton Aerospace est nécessaire pour concilier les différences en ce qui a trait aux valeurs de température et de couple pour la vérification du couple à basse température.

Maintenance du circuit des volets de l'avion CRJ 200 C-GJZF

Les dossiers de maintenance après l'incident du 21 novembre 2006 montrent qu'une bonne quantité d'eau a été extraite des écrous sphériques des vérins pendant le graissage.

Après cet incident, l'avion C-GJZF a fait l'objet de quatre autres défaillances de volets : une en novembre 2006, deux en décembre 2006 et une le 10 janvier 2007. Un examen des dossiers de maintenance a montré que le personnel de maintenance d'Air Canada Jazz faisait face à toute une variété de symptômes. Pendant le dépannage, il a remplacé le PDU à quatre reprises, le FECU à trois reprises, le BPSU de gauche à quatre reprises, le BPSU de droite à deux reprises, le levier des volets une fois, l'arbre d'entraînement flexible numéro 5 une fois, et trois vérins lors de la dernière mesure de maintenance liée au circuit des volets. Après le 10 janvier 2007, il n'y a pas eu d'autres incidents de défaillance de volets signalés pour cet appareil.

Lorsqu'on soupçonne la présence d'eau dans le circuit des volets, le manuel de localisation des anomalies indique que le mécanicien doit procéder expressément à une vérification du couple du circuit d'entraînement des volets, et non à une vérification du couple à basse température, comme le précise le manuel de maintenance de l'avion. La vérification du couple se fait à des températures ambiantes comprises entre 15 et 35 °C. L'enquête a révélé que la découverte de vérins défectueux est possible au moyen de la vérification du couple à basse température. Cette vérification n'a pas été effectuée après la découverte d'eau dans les vérins, le 22 novembre 2006, comme l'exigeait le manuel de maintenance de l'avion.

Les vérins déposés le 10 janvier 2007 ont été testés à l'atelier des STAC, à Montréal. Les résultats suivants ont été obtenus :

- Le vérin numéro 3 de gauche, référence 853D100-19, numéro de série 2777 (durée de service totale de 6965,4 heures), a échoué à l'essai à basse température de -51 °C, nécessitant un couple de 70 livres-pouces. Il y avait de l'huile du côté frein, provenant de la fuite d'un joint intérieur, et de la corrosion légère a été constatée sur l'arbre.
- Le vérin numéro 1 de droite, référence 852D100-11, numéro de série 2962AB (durée de service totale de 10 953,4 heures et 9367 cycles de fonctionnement), a échoué à l'essai du couple de rentrée, qui devait être d'au maximum 4 livres-pouces, et qui a nécessité 28 livres-pouces. Il a aussi échoué à l'essai du couple de sortie, qui devrait être de 10,8 livres-pouces, et qui a été de 36 livres-pouces. Le jeu axial entre la vis à bille et l'écrou sphérique était de 0,013, alors que le maximum devrait être de 0,005. Le jeu d'extrémité entre la vis à bille et le boîtier principal était de 0,018, alors que le maximum devrait être de 0,003. On a conclu qu'il serait dangereux de poursuivre les essais à des vitesses et à des charges supérieures.
- Le vérin numéro 4 à droite, référence 854D100-20, numéro de série 2566 (durée de service totale de 6949,4 heures et 6118 cycles de fonctionnement), a échoué à l'essai à basse température à -51 °C, nécessitant 25 livres-pouces. On a découvert que les joints d'étanchéité intérieurs du vérin fuyaient et que le jeu d'extrémité était de 0,0025 alors que le maximum devrait être de 0,003.

Réinitialisation ou ouverture et fermeture des disjoncteurs

Un disjoncteur ne doit pas être réinitialisé ni ouvert et fermé à moins que cette opération soit conforme aux procédures explicites précisées dans l'Index des procédures et dans le manuel de vol de l'avion. Toutefois, la réinitialisation ou l'ouverture et fermeture d'un disjoncteur est permise si, de l'avis du commandant de bord, elle est nécessaire à la conclusion sécuritaire du vol.

Dans la plupart des cas de défaillances de volets, les disjoncteurs du FECU ont été ouverts et fermés par le personnel technique au sol, ce qui a éliminé le problème. Le manuel de localisation des anomalies du fabricant demande d'effectuer un auto-essai intégré du FECU, et s'il n'y a pas d'anomalies, une réinitialisation des disjoncteurs connexes règlera le problème. Les avions ont été remis en service sans autre inspection de maintenance ni dépannage.

Analyse

Lorsque l'équipage de conduite a quitté Vancouver, rien dans les TAF n'indiquait que les conditions météorologiques à destination seraient inférieures aux minimums réglementaires. Les conditions météorologiques communiquées à l'équipage de conduite, une fois qu'il a été établi en finale, indiquaient des plafonds supérieurs à l'altitude minimale de descente (MDA) réglementaire. Toutefois, la visibilité était inférieure à la visibilité d'atterrissage publiée. Les visibilités d'atterrissage publiées sont fournies à titre consultatif seulement. Elles n'imposent pas de limites et elles sont destinées à être utilisées par les pilotes uniquement pour qu'ils puissent évaluer les chances de réussite d'un atterrissage. Compte tenu de la mauvaise visibilité, du vent de surface et de l'état de la surface de la piste, les chances de réussite d'un atterrissage étaient faibles.

Lorsque l'équipage de conduite a reçu l'observation météorologique spéciale, l'avion n'était pas encore configuré pour l'atterrissage. Lorsque l'équipage de conduite a exécuté l'approche interrompue et sélectionné la rentrée des volets, le message « FLAP FAIL » (défaillance volets) s'est affiché.

La piste inverse était équipée d'un système d'atterrissage aux instruments (ILS) et elle aurait pu être une solution pour l'équipage de conduite puisqu'elle offre des minimums inférieurs. Cependant, compte tenu de la direction du vent de surface, de sa vitesse et de l'état de la surface de la piste, il aurait été risqué d'essayer d'atterrir sur la piste 15. De plus, la quantité de carburant à bord de l'avion au moment de l'approche interrompue excédait de 1312 livres la quantité minimale de carburant nécessaire pour le déroutement; par conséquent, l'équipage de conduite s'est dérotté vers l'aéroport de dégagement.

Pendant qu'il était en montée, l'équipage de conduite a tenté de résoudre le problème, mais en vain. Ne disposant pas des données de performances en croisière pour cette position des volets, l'équipage de conduite s'est servi de la prédiction de carburant par le FMS pour déterminer s'il pouvait se rendre à Fort St. John. Si l'avion avait consommé le carburant comme prévu de Vancouver à Prince George et s'il avait quitté Vancouver sans une charge supplémentaire de

360 livres de carburant, il aurait manqué de carburant avant d'atteindre Fort St. John. Toutefois, la décision de l'équipage de se dérouter vers Fort St. John était opportune et elle a réduit le risque de panne sèche.

Le problème des défaillances de volets sur l'avion CL-600-2B19 est connu depuis de nombreuses années. Les exploitants ont mis en œuvre la pratique d'ouvrir et de fermer les disjoncteurs au sol pour régler le problème des défaillances de volets. Le manuel de localisation des anomalies du fabricant demande aussi d'effectuer un auto-essai intégré du FECU et, s'il n'y a pas d'anomalie, la réinitialisation des disjoncteurs connexes permet de régler le problème. Cette mesure a été appliquée de façon tellement régulière par les équipages ou le personnel de maintenance, ou les deux, que c'est devenu une pratique acceptable dans tout le monde de l'aviation.

Les données fournies pendant l'enquête indiquent qu'une infiltration d'eau dans le circuit des volets, combinée à des opérations par temps froid, est la principale cause de défaillance du circuit des volets. En juin 2005, de nouveaux vérins de volet ont été installés sur tous les avions canadiens, conformément à la CN CF1998-14R4, Partie V. L'enquête a révélé que le problème d'infiltration d'eau persiste, même pour ces nouveaux modèles de vérin. Lorsque des contaminants pénètrent à l'intérieur du boîtier de vérin, les pièces mobiles du vérin finissent par être contaminées, ce qui limite le mouvement. Bombardier s'est efforcé de résoudre le problème en informant les exploitants à travers le monde au moyen de lettres de service, de bulletins de service et d'autres publications. Malheureusement, le problème persiste, et le nombre de défaillances de volets signalées au Canada est en hausse.

Le fabricant, Eaton Aerospace, a établi les limites de température ambiante pour les vérins à la plage allant de -40 à +75 °C (-40 à +167 °F). Pendant le vol, les vérins fonctionnent régulièrement à des températures inférieures à -40 °C. Le manuel de maintenance de l'avion de Bombardier permet d'effectuer la vérification du couple à basse température jusqu'à -51 °C. L'enquête n'a pas été en mesure d'établir les conséquences du fonctionnement de ces vérins à des températures ambiantes inférieures à la limite de -40 °C.

L'enquête a révélé que des vérins comptant à peine 2657 cycles de fonctionnement étaient devenus défectueux à cause de contaminants. Le programme de maintenance du circuit des vérins de volet ne demande pas une inspection spéciale visant à rechercher des contaminants selon un calendrier établi. En fait, le manuel de maintenance de l'avion ne prescrivait une vérification du couple à basse température que si l'on soupçonnait la présence d'eau. Le programme de maintenance actuel n'est pas approprié, car il ne permet pas de déceler suffisamment tôt les problèmes de vérins pour éviter les défaillances de volets; par conséquent, il faudrait mettre l'accent sur une nouvelle analyse du programme de maintenance du circuit des volets du CRJ au moyen du GOM-3⁵.

Le remplacement des joints d'étanchéité à ressort en téflon par de nouvelles rondelles en acier dans un arbre d'entraînement flexible en octobre 2006 peut avoir réduit ou stoppé l'infiltration d'eau dans le circuit. Par contre, des vérins de volet contaminés déjà installés à bord des avions continueront à se détériorer et à mener finalement à une défaillance des volets. En fait, des

⁵ Groupe directeur de maintenance – 3^e groupe de travail

vérifications au banc combinées à une vérification du couple à basse température sont un moyen plus précis de déceler des vérins défectueux. Les vérins de volet d'avion qui ont été testés en janvier 2007 n'étaient pas munis des nouvelles rondelles en acier parce que celles-ci n'étaient pas immédiatement disponibles.

Les dossiers de maintenance pour l'incident du 21 novembre 2006 montrent qu'une bonne quantité d'eau a été extraite des écrous sphériques des vérins pendant le graissage. Le manuel de maintenance de l'avion a demandé qu'une vérification du couple à basse température soit faite chaque fois que l'on soupçonne la présence d'eau dans le circuit. La revue des dossiers de maintenance de l'avion C-GJZF a montré qu'un certain nombre de pièces avaient été remplacées pendant le dépannage des défaillances de volets (novembre 2006 à janvier 2007).

Des dossiers de maintenance documentés montrent clairement que l'organisation de maintenance d'Air Canada Jazz faisait face à une gamme variée de symptômes. Il n'y a pas uniformité entre la procédure de dépannage du manuel de localisation des anomalies et le manuel de maintenance de l'avion. Le personnel de maintenance a suivi la technique de dépannage prescrite dans le manuel de localisation des anomalies, mais il n'a pas utilisé le manuel de maintenance de l'avion après la découverte d'eau dans le circuit des vérins de volet, le 22 novembre 2006. Ce n'est qu'en janvier 2007 que trois des huit vérins ont été déposés et qu'ils ont échoué à la vérification du couple à basse température à l'atelier des STAC. Il semble que le remplacement de ces trois vérins ait réglé le problème des défaillances de volet de l'avion C-GJZF. Une connaissance approfondie du circuit des volets et une uniformisation de la documentation de maintenance auraient permis au personnel de maintenance de déceler et de régler le problème plus tôt.

L'enquête a donné lieu au rapport de laboratoire suivant :

LP 114/2006 – *FDR/CVR Download and Analysis* (téléchargement et analyse des FDR/CVR)

Ce rapport peut être obtenu sur demande auprès du Bureau de la sécurité des transports du Canada..

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. Le programme de maintenance en place au moment de l'incident relié aux vérins du circuit des volets de l'avion CL-600-2B19 de Bombardier n'a pas permis de déceler les problèmes de vérins de volet suffisamment tôt pour éviter une défaillance des volets.
2. Les volets sont devenus défectueux alors qu'ils étaient sortis à 45 degrés, ce qui a augmenté considérablement la traînée. L'augmentation subséquente de consommation de carburant a amené l'équipage de conduite à déclarer une urgence et à se dérouter à Fort St. John, qui était un aéroport plus proche, pour se poser avec une quantité de carburant restant permettant moins de 10 minutes de vol.

3. Une connaissance approfondie du circuit des volets et une uniformisation de la documentation de maintenance auraient permis au personnel de maintenance de détecter et de régler le problème plus tôt.
4. Les défaillances répétitives des volets de l'avion C-GJZF ont été causées par des vérins défectueux infiltrés de contaminants comme de l'eau.

Faits établis quant aux risques

1. L'infiltration d'eau dans le circuit des volets, combinée à des opérations par temps froid, est la principale cause de défaillance du circuit des volets sur l'avion CL-600-2B19.
2. L'Index des procédures (QRH) ne tient pas compte de la conséquence de défaillances de volets à 45° suivant une approche interrompue. Par conséquent, les équipages de conduite ne sont pas entièrement conscients de l'impact de ces défaillances sur les performances de montée de l'avion pour le franchissement d'obstacles ou sur la consommation de carburant.
3. Il n'y a aucune donnée de performance volets sortis qui soit disponible. Par conséquent, l'équipage de conduite n'a pu déterminer l'altitude et la vitesse optimales pour réaliser la meilleure économie de carburant.

Autre fait établi

1. La pratique d'ouvrir et de fermer un disjoncteur pour corriger un problème comporte des risques intrinsèques; toutefois, dans le présent incident, c'était une mesure raisonnable de la part de l'équipage de conduite.

Mesures de sécurité prises

Le 1^{er} décembre 2006, Air Canada Jazz a publié le Mémo sur les opérations aériennes 06-257 à l'intention de ses pilotes, intitulé « CRJ Fuel Policy Adjustment » (ajustement à la politique sur le carburant pour les avions Canadair Regional Jet (CRJ)). Une évaluation fondée sur le risque a été effectuée, et huit aéroports ont été identifiés comme étant suffisamment isolés pour justifier l'emport d'une réserve de carburant d'urgence équivalant à 30 minutes de vol lorsque les conditions météorologiques prévues font état d'un plafond inférieur à 1000 pieds et que la visibilité est de 3 milles. Ce mémo entrait en vigueur immédiatement et il fait maintenant partie de la politique sur le carburant de la compagnie aux fins de planification de vol.

Air Canada Jazz a convoqué une réunion avec les Services techniques d'Air Canada (STAC), Eaton Aerospace et Bombardier pour discuter de la conception, de l'utilisation et du soutien technique face aux récents problèmes de volets et de vérins. Peu après, Bombardier a annoncé la création d'un groupe de travail sur les volets comprenant six exploitants, dont le mandat est de travailler avec Eaton Aerospace et Bombardier afin de revoir la conception du circuit pour mettre fin au nombre élevé de défaillances saisonnières touchant le circuit des volets.

Air Canada Jazz a participé activement au groupe de travail sur les volets et a aidé à la création d'une tâche de maintenance qui est appliquée à l'heure actuelle à toute la flotte par l'intermédiaire d'une consigne de navigabilité et du bulletin de service SB601R27-150.

Au début de janvier 2007, Air Canada Jazz a officialisé un processus selon lequel la remise en service de tout avion CRJ 100/200 ayant subi une défaillance des volets nécessite l'approbation de la haute direction.

Le 14 février 2007, le BST a envoyé l'Avis de sécurité aérienne A06Q0188-D2-A1 (*Potential Fuel Exhaustion Due to a CL-600-2B19 Flap Failure*) à Transports Canada. L'Avis de sécurité suggère que Transports Canada pourrait souhaiter aviser d'autres exploitants canadiens d'avions CL-600-2B19 et les organismes de réglementation étrangers qui régissent l'avion CL-600-2B19 des circonstances du présent incident et de l'impact possible des défaillances du circuit des volets sur la gestion du carburant.

À la suite de cet Avis de sécurité, Bombardier Aéronautique a envoyé le Message à tous les exploitants (AOM) 1047, daté du 10 mars 2007, pour les alerter de cet incident et de l'impact possible des défaillances du circuit des volets sur la gestion du carburant.

Transports Canada a rédigé une ébauche de document faisant état des problèmes opérationnels des volets des avions CRJ et d'autres considérations. Ce document sera proposé à Bombardier pour examen et sensibilisation. Le document sera communiqué à tous les exploitants d'avions immatriculés au Canada qui sont touchés, ainsi qu'aux autorités de l'aviation civile étrangères, au moyen d'un Avis de difficultés en service.

Le 16 février 2007, le BST a envoyé la Préoccupation du Bureau A06Q0188-D1-C1 (*Défaillance des volets des CRJ de Bombardier*) à l'honorable Lawrence Cannon, C.P., député, ministre des Transports. La Préoccupation du Bureau mentionne que, malgré tous les efforts déployés par l'industrie et les organismes de réglementation visant à réduire le nombre de défaillances des volets au sein de la flotte des avions CRJ, ce nombre est en hausse. Le Bureau a demandé que le ministre l'avise de son plan d'action, à court et à long terme, pour réduire substantiellement le nombre de défaillances des volets des avions CRJ.

Le ministre a répondu que les mesures à court et à long terme comprendront une sensibilisation accrue au moyen des AOM de Bombardier Aéronautique et des révisions au manuel de vol de l'avion. Les solutions à long terme comprendront un examen complet du circuit pour augmenter la fiabilité des volets au moyen de modifications des exigences relatives à la conception et à la maintenance.

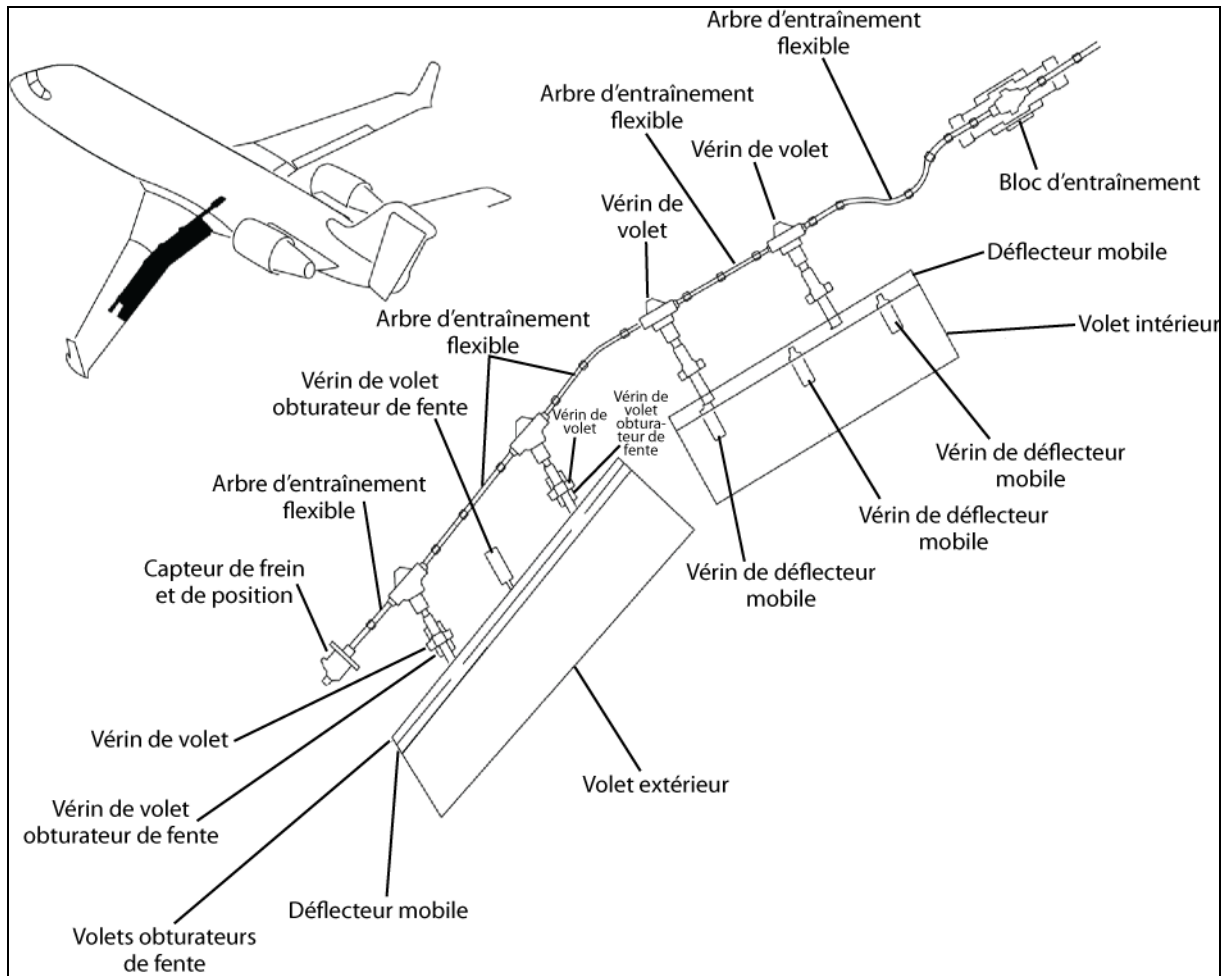
Le 1^{er} mars 2007, le BST a envoyé l'Avis de sécurité aérienne A06Q0188-D3-A1 (*Maintenance Intervals on Bombardier CRJ Flap System Actuators*) à Transports Canada. L'Avis de sécurité mentionne que, depuis 2005, les avions CRJ ont connu un accroissement du nombre de défaillances des volets, et il suggère que Transports Canada, de concert avec les fabricants et les exploitants, pourrait souhaiter lancer un examen des exigences de maintenance des vérins des avions CRJ.

À la suite de cet Avis de sécurité, Bombardier Aéronautique et les Services d'ingénierie de Transports Canada sont en train d'examiner les exigences de maintenance menant à la certification pour le circuit des volets des avions CRJ, y compris la conception de tout le circuit.

Le 18 juillet 2007, Transports Canada a publié la consigne de navigabilité (CN) CF-2007-10 portant sur les défaillances des volets de l'avion CL-600-2B19 de Bombardier. La CN est entrée en vigueur le 31 juillet 2007 et comprend des exigences opérationnelles et des exigences touchant la maintenance.

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 25 octobre 2007.

Annexe A – Circuit d'entraînement des volets



Annexe B – Sigles et abréviations

agl	au-dessus du sol
AOM	Message à tous les exploitants
asl	au-dessus de la mer
BPSU	capteur de position du frein
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
CN	consigne de navigabilité
CRJ	Canadair Regional Jet
DME	équipement de mesure de distance
EICAS	système d'affichage des paramètres moteurs et d'alerte de l'équipage
FAA	Federal Aviation Administration
FAR	<i>Federal Aviation Regulations</i>
FECU	module de commande électronique des volets
FMS	système de gestion du vol
GOM-3	Groupe d'orientation de la maintenance – 3 ^e groupe de travail
ILS	système d'atterrissage aux instruments
MDA	altitude minimale de descente
METAR	message d'observation météorologique régulière pour l'aviation
PDU	bloc d'entraînement
PVE	plan de vol exploitation
QRH	Index des procédures
RAC	<i>Règlement de l'aviation canadien</i>
RDS	Rapport de difficultés en service
RVR	portée visuelle de piste
SCDA	approche stabilisée à angle de descente constant
SDS	système de détection de gauchissement
SDU	module de détection de gauchissement
STAC	Services techniques d'Air Canada
TAF	prévisions d'aérodrome
V	vrai
VOR	radiophare omnidirectionnel à très haute fréquence
°	degré
°C	degré Celsius
°F	degré Fahrenheit