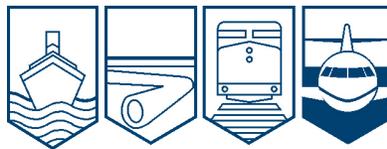


Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE
A08O0036



COLLISION AVEC DES ARBRES EN APPROCHE

DU BOEING 727-260 C-GUJC
EXPLOITÉ PAR CARGOJET AIRWAYS LIMITED
À HAMILTON (ONTARIO)
LE 19 FÉVRIER 2008

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 et pénales.

Rapport d'enquête aéronautique

Collision avec des arbres en approche

du Boeing 727-260 C-GUJC

exploité par Cargojet Airways Limited

à Hamilton (Ontario)

le 19 février 2008

Rapport numéro A08O0036

Sommaire

Le Boeing 727-260 (immatriculation C-GUJC, numéro de série 21979) de Cargojet Airways Limited assure, de nuit et selon les règles de vol aux instruments, le vol CJT575 de transport de marchandises en partance de l'aéroport international de Montréal, à Mirabel (Québec), à destination de Hamilton (Ontario), avec trois membres d'équipage à bord. Une approche de non-précision de la piste 30 est exécutée de nuit dans des conditions météorologiques de vol aux instruments. L'avion heurte des arbres à 2,7 milles marins du seuil de la piste, alors qu'il effectue une remise des gaz. L'avion réussit une deuxième approche de la même piste, et il atterrit à 23 h 37, heure normale de l'Est. Après le vol, une inspection de l'avion révèle d'importants dommages à l'aile droite, à la trappe du train d'atterrissage droit et au faisceau de câbles électriques du circuit d'antidérapage. Personne n'est blessé.

This report is also available in English.

Autres renseignements de base

Déroulement du vol

À 20 h 30¹, l'équipage s'est présenté au travail à l'aéroport international de Montréal, Mirabel (Québec) (CYMX), pour un vol régulier à destination de Hamilton (Ontario) (CYHM), de Winnipeg (Manitoba) (CYWG) et de Vancouver (Colombie-Britannique) (CYVR).

Le commandant de bord occupait le siège droit, et il était le pilote non aux commandes (PNF); le copilote, pilote aux commandes (PF), était assis dans le siège gauche, et le second officier occupait le siège du centre, entre les deux pilotes.

Les prévisions météorologiques pour CYHM indiquaient des conditions météorologiques de vol à vue (VMC) avec une possibilité de visibilité réduite dans de la neige débutant tout juste avant l'heure d'arrivée prévue de 23 h 30 (voir l'annexe A – Conditions météorologiques de Hamilton).

On a procédé au dégivrage de l'avion avant le départ, et celui-ci a décollé à 22 h 27. Peu après le départ, le radioaltimètre s'est mis à osciller. L'équipage a déclenché le disjoncteur pour mettre le radioaltimètre hors tension, et le voyant INOP² s'est alors allumé sur le panneau de commande du dispositif avertisseur de proximité du sol (GPWS). L'avion en question était équipé d'un seul radioaltimètre communiquant l'altitude radio aux deux indicateurs dans le poste de pilotage. Par conséquent, les deux indicateurs étaient maintenant hors service.

La croisière à destination de CYHM s'est déroulée sans incident. La préparation et l'exposé en vue de l'approche ont été faits avant la descente. Le message *Echo* du service automatique d'information de région terminale (ATIS) de 22 h donnait les conditions météorologiques de CYHM comme étant VMC, avec une visibilité de 10 milles³ dans des averses de neige légère. Après discussion, l'équipage a prévu d'exécuter une approche au radiophare d'alignement de piste (LOC) de la piste 30 (voir l'annexe B – Carte d'approche Jeppesen [Hamilton]), et il a reçu une autorisation à cet effet. On s'attendait à ce que la piste soit en vue lorsque l'avion serait établi en approche finale, avant que ce dernier n'atteigne le repère d'approche finale (FAF).

À 23 h 1, la descente a été amorcée depuis le niveau de vol (FL) 320⁴. Sept minutes plus tard, le message ATIS *Foxtrot* a été diffusé, indiquant une visibilité de six milles dans des averses de neige légère.

¹ Les heures sont exprimées selon l'heure normale de l'Est (temps universel coordonné moins cinq heures).

² Hors service (*inoperative*).

³ Toutes les mesures de visibilité sont exprimées en milles terrestres.

⁴ Niveau de vol 320 – environ 32 000 pieds au-dessus du niveau moyen de la mer.

À 23 h 15, le contrôleur d'aéroport de CYHM a constaté que la visibilité était réduite à environ un mille dans des averses de neige, et il en a informé le centre de contrôle régional (ACC) de Toronto. Les renseignements ont été communiqués par le contrôleur de l'ACC de Toronto à un autre aéronef en approche de CYHM, lequel utilisait la même fréquence que l'avion accidenté, mais le message ne s'adressait pas directement à ce dernier.

À 23 h 20, l'avion accidenté était établi en approche finale de la piste 30, et son contrôle a été transféré au contrôleur de la tour de CYHM. On a alors avisé l'équipage que la visibilité à l'aéroport était d'environ un mille dans des averses de neige.

À 23 h 23 min 4, l'avion a franchi le FAF Binbrook à l'altitude publiée de 2200 pieds au-dessus du niveau de la mer (asl). Le FAF est situé à 5,7 milles marins (nm) du seuil de la piste 30, dont la zone de toucher des roues se trouve à une altitude de 772 pieds asl. L'avion a été autorisé à atterrir et la tour a communiqué les données relatives au vent, lequel était du 250° magnétiques à 14 nœuds. La descente à l'altitude minimale de descente (MDA) a été amorcée à un taux de descente initial de 1300 pieds par minute. Le taux de descente a ensuite été réglé à une moyenne de 1000 pieds par minute jusqu'à une altitude de 800 pieds asl.

À 23 h 24 min 6, l'avion a franchi la MDA publiée de 1160 pieds asl, à un taux de descente d'environ 1000 pieds par minute. Rien n'indique dans l'enregistreur des données de vol (FDR) que l'équipage a amorcé une mise en palier.

À 23 h 24 min 21, le système d'avertissement de proximité du sol amélioré (EGPWS) a donné l'alerte sonore « *Too Low Terrain* » dans le poste de pilotage, alors que l'avion franchissait les 865 pieds asl, à un taux de descente d'un peu plus de 1000 pieds par minute. L'équipage a entamé une mise en palier à environ 800 pieds asl à l'aide de la molette de vitesse verticale du pilote automatique.

À 23 h 24 min 27, l'EGPWS a lancé l'avertissement sonore « *Pull up* »; l'annonce a été suivie presque simultanément d'une forte sollicitation de cabré au manche, à 80% de sa course, et de l'application d'une poussée de remise des gaz, tel que le confirme le FDR. Cette manœuvre a engendré une ressource de 1,57 g durant laquelle l'avion a atteint une altitude minimale de 759 pieds asl.

À 23 h 24 min 29, alors qu'il se trouvait à environ 768 pieds asl, l'avion a heurté des arbres à une vitesse de 156 nœuds et à un rapport de pression moteur (EPR) de 2,2⁵, dans une inclinaison de 9 degrés vers la droite et un cabré de 13,5 degrés. Les arbres d'une hauteur approximative de 75 pieds au-dessus du sol (agl) se trouvent à environ 2,7 nm du seuil de la piste, dans l'axe de la trajectoire d'approche finale. Le contrôleur de l'aéroport de Hamilton a été informé de l'approche interrompue, et le contrôle de l'avion a de nouveau été transféré à l'ACC de Toronto. Les membres d'équipage ont alors informé l'ACC de Toronto qu'ils avaient l'intention d'exécuter une deuxième approche de la piste 30 pour atterrir à CYHM.

⁵ La poussée des moteurs est indiquée par le rapport de pression moteur.

Il est difficile de savoir si les membres d'équipage savaient que l'avion avait heurté des arbres. Les paramètres propres à la maîtrise de l'avion étaient considérés comme étant normaux. Toutefois, il y a eu quelques indications d'anomalie dans le poste de pilotage lorsque les volets de bord d'attaque ont été rentrés. En outre, il y a eu des indications de défectuosité de la trappe du train d'atterrissage droit et du système d'antidérapage.

À 23 h 29, la réserve de carburant approchait de la quantité minimale nécessaire au déroutement, et l'équipage a demandé les plus récents renseignements météorologiques pour CYHM. Lors de la communication avec l'ACC de Toronto, ce dernier a diffusé le METAR⁶ de 23 h, qui indiquait une visibilité de six milles. Croyant que les mauvaises conditions s'étaient améliorées par rapport à la visibilité d'un mille signalée précédemment par la tour de contrôle de CYHM, l'équipage a décidé de retourner à CYHM pour effectuer une autre approche LOC de la piste 30. L'avion a atterri alors qu'il lui restait moins que la quantité minimale de 7700 livres de carburant nécessaire au déroutement, qui est prescrite par le manuel d'exploitation des aéronefs de la compagnie.

À 23 h 33, l'avion se trouvait à environ 8 milles en approche finale, et l'équipage a changé la fréquence pour se régler sur celle de la tour de CYHM. À ce moment-là, l'équipage a été informé que la visibilité était de deux à trois milles dans des averses de neige, donc à peine meilleure que celle signalée pendant la première approche.

L'équipage n'a pas fait un exposé pour la deuxième approche, et les curseurs des altimètres n'ont probablement pas été réglés de nouveau pour exécuter la deuxième approche LOC de la piste 30. Les données du FDR indiquent que, pendant la deuxième approche, l'avion est descendu 100 pieds sous la MDA avant que l'équipage effectue une mise en palier et revienne à la MDA. À partir de ce moment, l'équipage a mené à bien son atterrissage.

Renseignements sur l'équipage

L'équipage était certifié et qualifié pour le vol conformément à la réglementation en vigueur. Le commandant de bord, un instructeur sur le Boeing 727, totalisait plus de 41 000 heures de vol, dont 7500 sur type (Boeing 727).

Le copilote avait récemment été embauché par la compagnie, et il avait réussi sa vérification en vol de ligne à titre de commandant de bord lors de son dernier vol; il occupait donc le siège gauche. Il totalisait 7500 heures de vol, dont 4084 sur type : 54 heures comme commandant de bord à l'entraînement, 2390 heures comme copilote et 1640 heures comme second officier.

Le second officier travaillait également pour la compagnie depuis peu, et il avait achevé sa formation en vol de ligne et sa vérification sur type le 16 octobre 2007. Il totalisait 3750 heures de vol, dont environ 700 sur aéronef multimoteur et 260 en tant que second officier sur type.

⁶ Message d'observation météorologique régulière pour l'aviation.

Renseignements sur l'aéronef

Un examen des dossiers de l'avion a révélé que l'appareil était certifié, équipé et entretenu conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures approuvées. Les dossiers n'indiquaient aucune anomalie non réglée pour le vol en question.

Renseignements sur la compagnie

Cargojet Airways Limited (Cargojet) est titulaire d'un certificat d'exploitation valide, délivré en vertu de la sous-partie 705 du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC).

La compagnie explique sa politique de vigilance à l'égard de l'altitude dans le manuel d'exploitation des aéronefs. Cette politique donne des conseils servant à éviter toute mauvaise interprétation de l'altitude indiquée et souligne qu'il est important pour le pilote aux commandes de communiquer ses intentions au pilote n'ayant pas les commandes lors d'un changement d'altitude.

La politique de calage de l'altimètre se trouve dans les procédures d'utilisation normalisées (SOP). Les procédures précisent les annonces normales qui doivent être faites lorsque le calage altimétrique est changé, que l'appareil s'approche ou s'éloigne de l'altitude autorisée par le contrôle de la circulation aérienne (ATC) et que des différences d'altitude sont constatées. La politique stipule également qu'il faut respecter les altitudes publiées dans les cartes d'approche. Pour ce faire, il faut suivre une procédure de réglage et de contre-vérification qui consiste à énoncer et à faire le calage de l'altimètre, ainsi qu'à contre-vérifier les données d'altitude sur l'altimètre de l'autre pilote, afin de vérifier si les deux altimètres indiquent la même valeur.

Les SOP prescrivent la tenue d'un exposé de préparation à l'approche, au cours duquel on examine, entre autres, les altitudes de descente et d'approche. Pendant l'exposé en question, la MDA est mentionnée, et les curseurs des altimètres barométriques du pilote aux commandes et du pilote non aux commandes sont normalement réglés à cette valeur. Le pilote aux commandes transfère la maîtrise de l'avion au pilote non aux commandes pour effectuer l'exposé de préparation à l'approche. Le rôle du second officier consiste à surveiller l'approche. Bien que les SOP ne donnent habituellement pas de précisions sur le réglage des curseurs, la pratique courante veut que le réglage des curseurs se fasse à la MDA corrigée, établie lors de l'exposé en préparation à l'approche. Dans certains cas, les curseurs auront déjà été réglés durant la préparation à l'approche, et la position des curseurs sera vérifiée et annoncée par les deux pilotes au moment de l'exposé. L'enquête n'a pu établir avec exactitude la façon dont les curseurs avaient été réglés.

Système d'avertissement de proximité du sol amélioré

L'avion était équipé d'un système d'avertissement de proximité du sol amélioré (EGPWS) Honeywell Mark VII (965-1076-020-213-213). Le panneau de commande de l'EGPWS est identifié par « Ground Proximity », et le voyant indiquant qu'il est hors service contient les lettres « INOP » (voir la photo 1). Rien n'indiquait à l'équipage que l'avion était muni d'un EGPWS plutôt que d'un GPWS.



Photo 1. Panneau de commande de l'EGPWS.

La mémoire non volatile contenait certains renseignements sur la configuration en plus de l'historique relatif au déroulement du vol, aux alertes, aux avertissements et aux erreurs.

L'enquête a établi que, durant le vol en question, l'EGPWS a donné l'alerte « *Too Low Terrain* » pour indiquer que l'avion atteignait l'altitude plancher de protection et l'avertissement « *Pull up* » pour signaler que le balayage vers l'avant détectait un rapprochement avec le relief.

Le guide à l'intention des pilotes accompagnant l'EGPWS précise que la réponse recommandée en cas d'alerte est de stopper toute descente et de monter de façon à faire cesser l'alerte, tandis que, en cas d'avertissement, il faut régler la poussée nominale au maximum, débrayer le pilote automatique et tirer brusquement sur le manche jusqu'à l'approche du déclenchement du vibreur.

En plus des fonctions de base du GPWS, l'EGPWS comprend des fonctions améliorées offrant aux équipages davantage d'alertes au moyen d'une base de données interne et d'un système de positionnement à couverture mondiale (GPS). Les fonctions améliorées de l'EGPWS continuent de donner des alertes même si le radioaltimètre tombe en panne.

Programme de formation de la compagnie

La compagnie a offert une formation sur l'utilisation d'un GPWS dans le cadre des cours théoriques et sur simulateur, conformément à la réglementation en vigueur. Les SOP ne donnent aucun conseil relativement aux alertes de l'EGPWS. Toutefois, elles prescrivent une procédure de remontée et d'évitement du relief lorsque l'avertissement « *Pull up* » est donné ou lors de toute autre situation menant à un vol inacceptable en direction du relief. La procédure stipule que le pilote aux commandes doit débrayer le pilote automatique, régler immédiatement la poussée au maximum, remettre les ailes à l'horizontale et commander un cabré initial de 20 degrés. Au lieu de suivre cette procédure, l'équipage a effectué une procédure de remise des gaz, laquelle s'avère beaucoup moins énergique avec un cabré initial d'environ 10 degrés, donc moins accentué que l'autre.

Le déclenchement du disjoncteur du radioaltimètre après le décollage de CYMX a entraîné la perte des fonctions de base de l'EGPWS. En outre, le voyant « INOP » du panneau de commande relatif à la proximité du sol et situé devant les pilotes s'est allumé, ce qui a porté l'équipage à croire que le EGPWS ne fonctionnait pas.

L'équipage n'était pas au courant des fonctions et des avertissements qu'offre l'EGPWS. En outre, il ne connaissait pas les différences entre le GPWS classique et l'EGPWS plus récent. L'avertissement d'évitement du relief est le même pour le GPWS et l'EGPWS. Aucune formation n'a été donnée à l'égard de l'EGPWS, et aucune réglementation en vigueur ne le prescrit, car une formation est offerte sur l'utilisation du GPWS.

Dommmages causés à l'aéronef

L'avion a été considérablement endommagé lorsqu'il a heurté les arbres (voir la photo 2). Plusieurs rayures peu profondes ont été relevées dans la partie inférieure du fuselage, s'étendant de devant l'emplature d'aile jusqu'au sabot de queue. Les dommages se trouvaient surtout du côté droit de l'avion; les volets et les becs de bord d'attaque de l'aile droite étaient lourdement endommagés. Par contre, le longeron avant de l'aile ne présentait aucun signe de dommage. La trappe du train d'atterrissage droit était endommagée, et le faisceau de câbles reliant le circuit d'antidérapage de droite au mécanisme de freinage était coupé.



Photo 2. Dommages à l'avion – bord d'attaque de l'aile droite.

Altimètre barométrique

L'altimètre barométrique posé dans l'avion en question est muni de deux boutons de commande (voir la photo 3). Le bouton de réglage de gauche permet de régler la pression atmosphérique en millibars ou en pouces de mercure. Le bouton de réglage de droite permet de régler la flèche ou le curseur orange sur l'échelle extérieure de l'indicateur (voir la photo 3 où le curseur est réglé à 800 pieds). Il sert à régler des altitudes cibles critiques comme l'altitude minimale de descente (MDA).



Photo 3. Altimètre barométrique

L'aiguille d'altitude blanche indique l'altitude, donnée par tranches de cent pieds, elles-mêmes subdivisées par tranche de vingt pieds, et chaque tour d'aiguille équivaut à mille pieds d'altitude. La position de l'aiguille blanche par rapport au curseur orange permet de déterminer si l'avion s'approche d'une altitude critique comme la MDA. Par contre, pour utiliser ce type de curseur d'altitude, l'équipage doit être au courant de l'altitude, plus particulièrement pour les altitudes cibles de plus de 1000 pieds asl.

Durant les approches de non-précision, les SOP prescrivent d'annoncer que l'avion atteint 100 pieds au-dessus de la MDA et qu'il se trouve à la MDA. Il n'a pas été possible d'établir si les annonces ont été faites durant la première approche, car les données de l'enregistreur de la parole dans le poste de pilotage (CVR) ont été oblitérées.

Les altimètres barométriques sont calés pour indiquer l'altitude vraie dans des conditions ISA⁷. Tout écart par rapport aux conditions ISA donnera un relevé erroné sur l'altimètre. Lorsque la température est inférieure aux conditions ISA, l'altitude vraie sera inférieure à l'altitude indiquée sur l'altimètre. Par conséquent, des corrections en fonction de la température doivent être apportées aux altitudes publiées dans les cartes d'approche aux instruments, lorsque la température est inférieure à 0 °C. Pour le vol en question, la MDA publiée de 1160 pieds asl a été corrigée à 1180 pieds asl. La vraie correction en fonction de la température était de 38 pieds⁸, et elle aurait dû être arrondie à 40 pieds, ce qui aurait donné une MDA corrigée en fonction de la température de 1200 pieds.

⁷ Atmosphère type internationale (ISA).

⁸ *Canada Air Pilot*, CAP GEN, Altitude Correction Chart (tableau de correction des altitudes).

L'enquête suivant le vol a révélé que les deux altimètres fonctionnaient normalement, et leur vérification a permis d'établir qu'ils respectaient les paramètres prescrits. Les données du FDR ont confirmé que l'avion a évolué aux altitudes assignées par les services de la circulation aérienne. Toutefois, le curseur de l'altimètre droit (pilote non aux commandes) était réglé à 800 pieds asl, au lieu de la MDA corrigée en fonction de la température de 1180 pieds asl. Le curseur de l'altimètre gauche (le pilote aux commandes) était réglé à la position zéro. Il a été remis à zéro par le pilote aux commandes durant la procédure courante suivant le vol.

Les instruments de l'avion ont été étudiés et photographiés de nuit pour évaluer la lisibilité des indicateurs de l'altimètre barométrique et du radioaltimètre. Il a été établi qu'il était possible d'obtenir un niveau de lisibilité des valeurs et des curseurs d'altitude équivalent à celui des conditions de jour, à l'aide de l'éclairage normal des instruments de l'intérieur et par l'arrière-plan.

Radioaltimètre

Le radioaltimètre (voir la photo 4) donne l'altitude de l'avion au-dessus du sol. L'aiguille d'altitude blanche se déplace en fonction d'une plage de 0 à 2500 pieds au-dessus du sol. Une échelle plus précise indique les altitudes de moins de 500 pieds au-dessus du sol pour aider à la vigilance de l'équipage à basse altitude.

Le bouton de réglage d'altitude droit est utilisé pour régler le curseur d'altitude orange situé sur l'échelle extérieure de l'indicateur. Il est habituellement utilisé pour régler des altitudes critiques comme la hauteur de décision (DH).



Photo 4. Radioaltimètre

Enregistreurs de vol

L'avion était équipé d'un enregistreur des données de vol (FDR) à bande magnétique Sunstrand (980-4100-GQUS). Le FDR contenait environ 25 heures de données visant 11 paramètres. L'avion était également équipé d'un enregistreur de la parole dans le poste de pilotage (CVR) Fairchild (93-A100-80). La durée d'enregistrement de ce type d'appareil est de trente minutes. Par conséquent, les conversations enregistrées avant et pendant la collision avec les arbres ont été oblitérées par les conversations tenues au cours de la deuxième approche. Le problème des données perdues, à cause de CVR dont la durée d'enregistrement est de seulement trente minutes, a maintes fois été soulevé par le BST⁹. Le personnel au sol a mis le CVR hors circuit lorsqu'il s'est rendu compte de l'ampleur des dommages causés à l'avion et qu'il devait signaler l'événement en question.

⁹ Rapport du BST n° A98H0003 (Vol 111 de Swissair, MD-11, 2 septembre 1998) et rapport du BST n° A05F0047 (Vol TSC961 d'Air Transat, Airbus A310, 6 mars 2005).

Renseignements météorologiques

NAV CANADA impartit les services d'observation météorologique de CYHM à un bureau météorologique à contrat. Il a recours à ce type de bureau à environ 65 endroits partout au Canada, y compris à de grands aéroports, et ceux-ci sont assujettis aux normes prescrites dans le *Manuel d'observations météorologiques de surface* (MANOBS).

L'ACC de Toronto obtient des conditions météorologiques officielles de son système informatisé, qui reçoit des METAR et des messages d'observation spéciaux (SPECI). Des renseignements météorologiques à jour ont été communiqués de vive voix à l'ACC de Toronto par le contrôleur de la tour de CYHM. Les changements de visibilité commandaient la diffusion d'un SPECI¹⁰. La nuit, le vif éclairage des hangars limite la zone extérieure que l'observateur du bureau météorologique de CYHM est en mesure de voir du local où il se trouve. L'observateur en question ne savait pas que la visibilité avait changé autour de l'aéroport, et le vif éclairage de l'aire de trafic qui se trouve devant lui nuit à une bonne observation des conditions au-delà des hangars situés à environ un mille du bureau météorologique.

Conception et techniques de pilotage d'une approche de non-précision

Les *Critères de construction des procédures aux instruments* (publication de Transports Canada, TP 308) établissent comment concevoir des procédures d'approche aux instruments au Canada. Le document prend tout particulièrement en considération le franchissement d'obstacles. Toutefois, lors de l'élaboration d'une procédure, il recommande une descente au profil de vol optimal dont la pente est d'environ trois degrés.

Deux techniques sont utilisées pour effectuer des approches de non-précision (NPA) : la descente par paliers et l'approche stabilisée avec angle de descente constant¹¹. Dans le premier cas, après avoir franchi le FAF, le pilote a recours à un taux de descente qui garantit que l'aéronef atteindra la MDA bien avant le point d'approche interrompue (MAP). À partir de ce point, l'aéronef évolue à la MDA jusqu'à ce qu'il soit en mesure d'effectuer la descente finale vers la piste. Dans le deuxième cas, le pilote effectue une descente au profil de vol optimal qui lui permet d'adopter un taux de descente constant, à partir du FAF jusqu'à un certain point, d'où un atterrissage ou une approche interrompue peut être exécutée à la MDA.

À Hamilton, le seuil de la piste 30 se trouve à 767 pieds asl, et l'altitude de franchissement du FAF est de 2200 pieds asl. Il faut donc effectuer une descente selon un profil d'environ 2,3 degrés qui, à une vitesse sol de 140 nœuds, donne un taux de descente de 565 pieds par minute.

Durant l'approche en question, on a utilisé la technique de la descente par paliers. Après avoir franchi le FAF, l'avion est descendu à un taux de descente d'environ 1000 pieds par minute.

¹⁰ MANOBS, article 10.3.5.3, *Critères pour « observations spéciales »*, Modification 14, juin 1996.

¹¹ Circulaire d'information de l'Aviation commerciale et d'affaires n° 0238, Transports Canada, 8 septembre 2006.

En 2006, Transports Canada a publié une Circulaire d'information de l'Aviation commerciale et d'affaires (CIACA)¹² qui stipule notamment ceci :

Le Groupe de travail sur les CFIT de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a reconnu la nécessité d'établir une approche finale stabilisée pendant les NPA comme moyen de prévenir les accidents CFIT. La technique de descente par paliers (présupposée dans la conception de la procédure) convenait peut-être bien aux premiers aéronefs de transport à moteurs à pistons, mais la plupart des aéronefs de transport modernes à moteur à réaction sont beaucoup plus rapides et plus lourds, ont une plus grande inertie et sont moins manœuvrables que les anciens aéronefs. Tous ces facteurs rendent les modifications tardives au profil vertical indésirables, voire même dangereuses. De nombreux exploitants exigent que leurs équipages utilisent une technique stabilisée, ce qui est entièrement différent de celle envisagée dans la conception originale de la procédure NPA. Une approche stabilisée est effectuée de manière à obtenir un taux de descente constant tout au long d'une trajectoire d'environ 3 degrés et selon une vitesse, un réglage de puissance et une altitude stables, alors que l'aéronef est en configuration d'atterrissage. Les avantages au niveau de la sécurité d'une approche finale stabilisée au cours d'une NPA ont été reconnus par la plupart des organisations dont l'OACI, la Federal Aviation Administration et l'Aviation civile de Transports Canada.

Pour exécuter une descente au profil de vol optimal dans le cadre d'une approche LOC de la piste 30 à Hamilton, l'équipage doit modifier l'altitude publiée de franchissement du FAF de 2200 pieds à 2600 pieds ou retarder la descente de 1,4 nm pour suivre la trajectoire de descente optimale (voir la figure 1). La descente retardée est présentée sur la carte d'approche Jeppesen utilisée à bord (voir l'annexe B - Carte d'approche Jeppesen [Hamilton]). Toutefois, aucun équipement de mesure de distance (DME) n'est disponible pour effectuer cette approche et établir le point de descente publié.

L'exploitant aérien doit être autorisé à effectuer une NPA stabilisée avec angle de descente constant (SCDA). Cargojet n'a pas l'autorisation en question pour le Boeing 727, car la compagnie ne satisfaisait pas aux exigences prescrites en matière de formation pour l'exécution d'une NPA SCDA.

¹²

Circulaire d'information de l'Aviation commerciale et d'affaires n° 0238, *op. cit.*

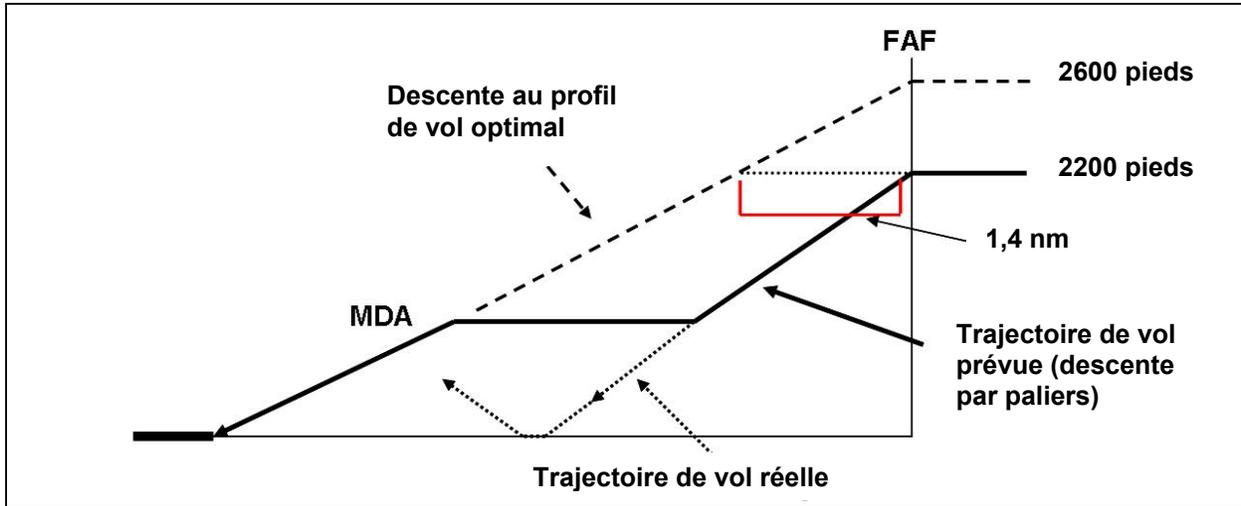


Figure 1. Trajectoire de descente au profil de vol optimal; trajectoire prévue et trajectoire réelle.

Réduction des accidents en approche et à l'atterrissage et des collisions avec le relief sans perte de maîtrise

En 1996, la Flight Safety Foundation (FSF) a dirigé un groupe de travail international sur les collisions avec le relief sans perte de maîtrise (CFIT) en vue de réduire les accidents en approche et à l'atterrissage (ALAR). Le groupe de travail croyait que l'éducation et la formation étaient utiles pour prévenir les accidents liés aux CFIT. Le groupe de travail a publié son rapport final en novembre 1998. Il contenait plusieurs recommandations, dont l'utilisation d'approches SCDA pour réduire les risques de CFIT.

Une trousse d'outils ALAR pour éviter les CFIT a également été élaborée. Elle comprend des documents de formation, des recommandations et des listes de vérifications, et elle est offerte sur le site Web de la FSF. L'IATA¹³ a donné son appui à l'utilisation de la trousse d'outils ALAR de la FSF, et elle a recommandé à ses membres de l'adopter. En mars 2002, l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a également insisté auprès des États membres pour que ces derniers intègrent la trousse d'outils ALAR de la FSF à leurs programmes de formation dans le but de réduire les accidents en approche et à l'atterrissage.

Rapports de laboratoire du BST

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

LP 032/2008 - *FDR Data Analysis* (Analyse des données du FDR)

LP 039/2008 - *EGPWS download* (Téléchargement des données de l'EGPWS)

Ces rapports sont disponibles sur demande auprès du Bureau de la sécurité des transports du Canada.

Analyse

À CYHM, on annonçait officiellement que la visibilité était de six milles. Toutefois, lors de la première approche de l'avion, la tour de contrôle a signalé que la visibilité était d'environ un mille. Bien que l'on prévoyait effectuer une approche de nuit selon des conditions météorologiques de vol à vue (VMC), la visibilité réduite commandait l'exécution d'une approche de nuit dans des conditions météorologiques de vol aux instruments (IMC).

Descente sous l'altitude minimale de descente

Durant l'exposé en préparation de l'approche, le pilote aux commandes a examiné la carte d'approche, et il a établi l'altitude minimale de descente (MDA) à 1180 pieds asl, en fonction du temps froid. Les curseurs d'altimètre barométrique seraient donc réglés à cette valeur. Toutefois, les SOP ne donnent aucune précision sur la façon dont les curseurs doivent être réglés et contre-vérifiés par l'équipage.

On a examiné quatre scénarios pouvant expliquer la descente sous la MDA :

- altimètres défectueux;
- mauvais calage des altimètres (pression atmosphérique);
- mauvaise ou aucune lecture des altimètres en approche;
- mauvais réglage des curseurs des altimètres barométriques.

Après le vol, une inspection des altimètres a confirmé qu'ils fonctionnaient normalement, et une analyse des données du FDR a indiqué que l'avion avait évolué aux altitudes assignées; la théorie des altimètres défectueux et d'un mauvais calage altimétrique est donc écartée.

Une mauvaise lecture des altimètres laisse entendre que, lorsqu'ils ont amorcé la mise en palier, les trois membres d'équipage n'auraient pas remarqué que l'aiguille d'altitude blanche se trouvait à 800 pieds alors que le curseur d'altimètre était réglé à 1180 pieds (voir la figure 2). Une mauvaise lecture des altimètres par l'équipage est peu probable, car les positions 800 pieds et 1180 pieds se trouvent à l'opposé l'une de l'autre sur le cadran de l'altimètre.



Figure 2. Altimètre barométrique indiquant 800 pieds et curseur d'altimètre réglé à 1180 pieds.

Lorsqu'il surveille l'approche, le pilote non aux commandes doit annoncer que l'avion se trouve à 100 pieds au-dessus de la MDA, puis qu'il se trouve à la MDA. Le pilote aux commandes vérifie son altimètre lorsque ces annonces sont faites. Pour ce faire, on vérifie habituellement si l'aiguille blanche indiquant l'altitude est alignée sur le curseur d'altimètre. Le second officier surveille également l'approche, ce qui consiste habituellement à vérifier si les altimètres de gauche et de droite correspondent l'un à l'autre.

Après le vol, l'examen des altimètres a révélé que le curseur d'altimètre du pilote non aux commandes était réglé à 800 pieds. Par conséquent, lorsque le pilote non aux commandes a fait l'annonce « minimum » à la MDA, l'aiguille blanche indiquant l'altitude devait être

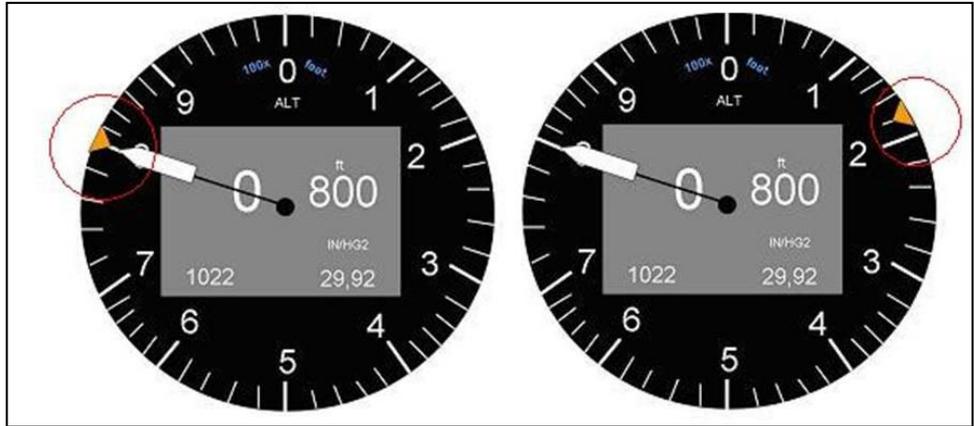


Figure 3. Position des curseurs des altimètres barométriques.

alignée sur le curseur d'altitude (voir le cadran gauche de la figure 3). Le curseur d'altimètre du pilote aux commandes a été remis à zéro lors de la procédure suivant l'atterrissage.

Il n'a pas été possible de déterminer la position du curseur d'altimètre du pilote aux commandes lors de la première approche. Toutefois, il est fort probable que le curseur était réglé à la même valeur (800 pieds) que celui du pilote non aux commandes lors de la première approche, car les données du FDR n'indiquent pas une mise en palier de l'avion à la MDA (1180 pieds). Lors de la deuxième approche, l'équipage surveillait probablement l'altitude de plus près au moyen de l'affichage numérique de l'altitude, au lieu des aiguilles et des curseurs. Le pilote non aux commandes plus expérimenté a encadré le pilote aux commandes lors de la mise en palier, mais ce dernier a pris trop de temps pour régler la puissance à la suite de la demande de mise en palier faite par le pilote non aux commandes, et l'avion est descendu 100 pieds sous la MDA. Un des membres d'équipage (possiblement le pilote non aux commandes) a tiré le manche même si le pilote automatique était embrayé. Les curseurs d'altimètre du pilote aux commandes et du pilote non aux commandes étaient probablement toujours réglés à 800 pieds, car c'est à cette valeur que le curseur d'altimètre du pilote non aux commandes se trouvait après le vol.

Même s'il n'a pas été possible de déterminer avec exactitude la raison pour laquelle les curseurs d'altimètre étaient réglés à une mauvaise valeur, il est probable qu'une erreur d'inattention a été faite au moment de l'exposé en préparation à l'approche ou durant la descente, et les curseurs d'altimètre ont été réglés à 800 pieds au lieu de 1180 pieds, la MDA corrigée (voir le cadran droit de la figure 3). Les deux derniers chiffres de cette MDA corrigée ou les deux derniers chiffres de l'altitude de l'aéroport, qui est de 780, peuvent avoir été utilisés par erreur pour régler le curseur d'altimètre à 800 pieds. Un mauvais réglage peut également découler de la somme des 20 pieds corrigeant l'altitude par temps froid aux 780 pieds de l'altitude de l'aéroport, pour obtenir une valeur de 800. Malgré la formation et l'expérience, il est toujours possible de faire des erreurs d'inattention dans l'exécution de tâches courantes.

Le pilote aux commandes transfère la maîtrise de l'avion au pilote non aux commandes pour procéder à l'exposé en préparation de l'approche. Le pilote non aux commandes maîtrise alors l'appareil, il s'occupe des communications radio tout en écoutant l'exposé, et il règle son curseur d'altimètre. Si le pilote non aux commandes est distrait par une communication de l'ATC ou toute autre tâche pendant l'exposé, il y a un risque accru que celui-ci règle le curseur

de son altimètre à la valeur donnée par le pilote aux commandes, sans effectuer une vérification de la valeur sur sa propre carte d'approche.

Il est également possible que le pilote aux commandes ait mal réglé le curseur à la valeur de 800 pieds, et que le pilote non aux commandes ait bien réglé son curseur, ou vice-versa. Plus tard, l'un d'eux a constaté que les valeurs des curseurs ne correspondaient pas, et il a réglé son curseur de façon à ce qu'il corresponde à l'autre, présumant que ce dernier était réglé à la bonne valeur.

Le second officier surveille l'approche, assis dans le siège du centre, derrière le pylône de commande. Durant l'exécution de la liste de vérifications en préparation à l'approche, les altimètres sont vérifiés et contre-vérifiés. Cette vérification permet de s'assurer que les altitudes indiquées correspondent l'une à l'autre. Si les deux curseurs d'altimètre sont réglés à la mauvaise valeur, il est peu probable que cette erreur soit relevée.

La politique de vigilance à l'égard de l'altitude élaborée par la compagnie prescrit de faire une annonce lorsque l'avion s'éloigne ou s'approche d'une altitude assignée par l'ATC. De même, elle prescrit de suivre les altitudes publiées figurant sur les cartes d'approche. Les SOP ne contenaient aucune procédure indiquant que le pilote aux commandes et le pilote non aux commandes devaient effectuer une vérification de leur propre carte d'aéroport et régler leur curseur d'altimètre indépendamment l'un de l'autre. Elles ne précisaient pas non plus le processus de contre-vérification. Si un seul membre d'équipage exécute ces tâches, et qu'elles ne sont pas effectuées comme il se doit, alors toutes les contre-vérifications et procédures qui suivront ne feront que confirmer l'erreur. Le fait d'indiquer l'altitude minimale d'approche à voix haute durant le segment d'approche finale peut réduire la possibilité de descendre sous la MDA de façon imprévue.

Formation et procédures relatives au système d'avertissement de proximité du sol amélioré

L'avion était équipé d'un EGPWS au lieu d'un GPWS. Dans le poste de pilotage, rien ne figurait sur le panneau pour indiquer cette différence à l'équipage. L'EGPWS est une version améliorée du GPWS. Toutefois, dans l'événement en question, l'équipage n'avait pas reçu de formation sur les différences entre les deux systèmes.

Les fonctions de base de l'EGPWS ont été interrompues quand le radioaltimètre défectueux a été mis hors tension, et le voyant « INOP » s'est allumé sur le panneau de commande situé devant les pilotes. Lorsqu'un radioaltimètre est en panne, un GPWS ne peut pas fonctionner. Par contre, dans le cas de l'EGPWS, seules les fonctions de base nécessitant un radioaltimètre cessent de fonctionner, mais l'appareil continue de donner à l'équipage des alertes concernant l'altitude plancher de protection ou des avertissements pour signaler que le balayage vers l'avant détecte un rapprochement avec le relief. En conséquence, malgré le radioaltimètre défectueux, l'EGPWS a lancé un avertissement et, au lieu d'accroître la vigilance de l'équipage à l'égard de l'altitude, il a provoqué de la confusion quant à la raison de l'avertissement.

Cette incertitude quant à la validité de l'avertissement a retardé les mesures prises par l'équipage pour contrer la proximité du relief, et celui-ci a décidé d'effectuer une procédure de remise des gaz au lieu d'exécuter une manœuvre plus énergique d'évitement du relief.

Mise à jour des renseignements météorologiques

Les renseignements météorologiques qu'a obtenus l'équipage avant et durant le vol n'indiquaient pas une visibilité réduite à proximité de CYHM. Ce n'est qu'en approche finale de la piste 30 que l'équipage a été informé du changement concernant la visibilité.

Après l'approche interrompue, l'équipage a demandé les plus récents renseignements météorologiques à l'ACC de Toronto, pour décider s'il était souhaitable de retourner à CYHM. Le contrôleur a lu le METAR diffusé à 23 h, car aucun SPECI n'avait été publié. Ce message officiel n'était pas à jour et indiquait une visibilité de six milles, alors qu'en fait, à l'aéroport, la visibilité était toujours d'environ un mille dans des averses de neige. Les membres d'équipage se sont fiés à ces mauvais renseignements pour décider de revenir exécuter une deuxième approche, faisant ainsi augmenter le risque d'avoir à effectuer une autre approche interrompue alors que la réserve de carburant atteignait un seuil critique.

Le contrôleur de la tour de CYHM était au courant de la visibilité réduite dans des averses de neige, car c'est lui qui a informé l'ACC de Toronto et l'avion en approche de ce fait. Toutefois, le responsable des observations météorologiques n'était pas au courant des changements de visibilité autour de l'aéroport, en raison du vif éclairage des hangars. Une meilleure communication entre le contrôleur de la tour et le responsable des observations météorologiques assurerait la diffusion d'un SPECI lorsqu'un changement des conditions météorologiques le justifie.

La décision du commandant de bord de poursuivre le vol même s'il n'avait plus la quantité de carburant nécessaire au déroutement était en fait la mesure la plus sécuritaire à prendre. Il courrait ainsi un moins grand risque que s'il avait décidé de quitter l'aérodrome d'Hamilton, compte tenu des anomalies dans le poste de pilotage.

Procédures d'approche

Les approches par paliers sont uniquement fondées sur un profil de franchissement d'obstacles, et elles ne sont pas idéales pour les avions à réaction modernes utilisés dans l'aviation commerciale. L'utilisation d'un profil d'approche SCDA :

- offre une trajectoire de vol mieux stabilisée;
- réduit la charge de travail durant cette phase critique du vol;
- élimine les risques d'erreur pour ce qui est de la distance et des altitudes de descente en paliers, ainsi que la nécessité d'une mise en palier à la MDA.

L'OACI, le groupe de travail sur les CFIT de la FSF et Transports Canada, Aviation civile, ont recommandé l'utilisation des approches SCDA pour atténuer les risques de CFIT durant une approche de non-précision.

Enregistrement de la parole dans le poste de pilotage d'une durée de 30 minutes

La conversation qui s'est tenue pendant l'incident en question a été oblitérée par la conversation qui a eu lieu pendant la deuxième approche, l'atterrissage et les activités de circulation au sol, car le modèle d'enregistreur de la parole dans le poste de pilotage (CVR) posé dans l'avion a une durée d'enregistrement de 30 minutes seulement. Ainsi, des renseignements importants, qui auraient grandement aidé à l'enquête, ont été perdus.

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. Il est probable qu'un mauvais réglage du curseur d'altimètre n'a pas été remarqué. Par conséquent, l'avion est descendu sous l'altitude minimale de descente (MDA).
2. L'équipage ne savait pas que des fonctions du système d'avertissement de proximité du sol amélioré (EGPWS) étaient toujours actives, même si le radioaltimètre ne fonctionnait pas. L'alerte indiquant que l'avion atteignait l'altitude plancher de protection a provoqué de la confusion et retardé la prise de mesures par l'équipage.
3. La confusion à l'égard de l'alerte donnée par l'EGPWS a mené l'équipage à décider d'exécuter une remise des gaz au lieu d'une manœuvre plus énergique d'évitement du relief. Pendant la remise des gaz, l'avion a heurté des arbres à 2,7 milles marins du seuil de la piste.

Faits établis quant aux risques

1. La technique de descente par paliers exécutée par les équipages d'avions de la catégorie transport lors des approches de non-précision peut accroître les risques de collision avec le relief sans perte de maîtrise.
2. Un message météorologique spécial (SPECI) n'a pas été diffusé pour indiquer que la visibilité était réduite, même si le contrôleur de la tour était au courant des nouvelles conditions, ce qui a fait augmenter le risque que des renseignements météorologiques inexacts ou invalidés soient utilisés.
3. Le fait de ne pas informer le contrôle de la circulation aérienne (ATC) de problèmes potentiels à bord d'un avion peut entraîner une situation où l'équipage n'obtiendra pas les renseignements nécessaires ni un traitement prioritaire.

Autres faits établis

1. Les conversations liées à l'incident en question ont été oblitérées, car l'enregistreur de la parole dans le poste de pilotage (CVR) qui se trouvait à bord n'avait qu'une capacité d'enregistrement de 30 minutes. Par conséquent, des renseignements importants qui auraient pu aider à l'enquête ont été perdus.
2. Les exploitants pourraient tirer profit des recommandations formulées dans le rapport final du groupe de travail sur les collisions avec le relief sans perte de maîtrise (CFIT) de la Flight Safety Foundation (FSF), lesquelles sont intégrées à la trousse d'outils de réduction des CFIT en approche et à l'atterrissage (ALAR).

Mesures de sécurité prises

À court terme, Cargojet a pris les mesures suivantes :

- Le 21 février 2008, Cargojet a publié deux bulletins d'opérations aériennes. Le premier (01-08) prescrit aux équipages de conduite d'utiliser seulement l'altitude minimale du radiophare non directionnel de 1280 pieds au-dessus du niveau moyen de la mer (MSL) publiée pour la piste 30 de CYHM, lorsqu'ils effectuent une approche au radiophare d'alignement de piste (LOC) de la piste 30, et de ne pas utiliser l'altitude minimale plus basse de 1160 pieds MSL. Le deuxième bulletin (02-08) prescrit aux équipages de conduite d'utiliser une procédure d'approche surveillée par le pilote pour toutes les approches de non-précision de l'avion Boeing 727, et ce, quelles que soient les conditions météorologiques.

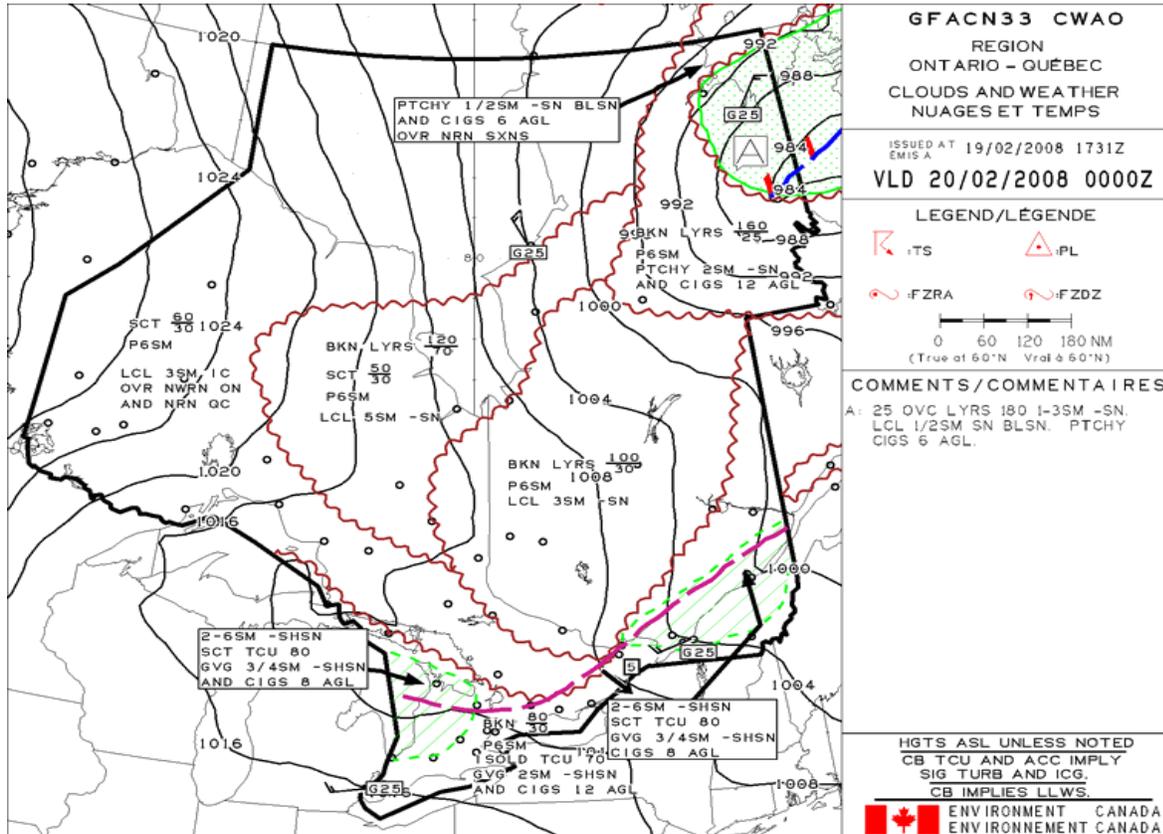
Par la suite, Cargojet a pris les mesures correctives à long terme suivantes :

1. La politique de la compagnie a été modifiée pour préciser que toutes les approches de non-précision doivent se faire selon une approche stabilisée avec angle de descente constant (SCDA).
2. Les exigences commandant l'utilisation de la procédure d'approche surveillée par le pilote pendant une approche de non-précision ont été modifiées (de 300 pieds à un mille terrestre) pour des minima météorologiques dont le plafond est de 1000 pieds et la visibilité, de 3 milles.
3. La liste de vérifications en situation normale ou anormale du Boeing 727 a été modifiée pour inclure un énoncé confirmant la MDA/DA/DH dans les réponses à la liste de vérifications.
4. Le personnel chargé de la formation sera informé de la nécessité d'accroître la vigilance lors des vols où le candidat est le commandant de bord à l'entraînement et qu'il est assis dans le siège gauche.
5. Le personnel chargé de la maintenance consignera une défectuosité par écrit dès qu'elle se manifeste, et il y donnera suite, plus particulièrement si l'équipage de conduite ne prend aucune mesure à cet égard.
6. On insiste davantage pour que les équipages de conduite se conforment aux parties pertinentes du manuel d'exploitation des aéronefs relatives au signalement et à la consignation des défectuosités d'un aéronef, et une nouvelle politique a été publiée concernant le déclenchement des disjoncteurs. En outre, une exigence précise prescrit maintenant le réglage et la contre-vérification des curseurs de vitesse et d'altitude.

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 26 mai 2010.

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 des liens vers d'autres organisations de sécurité et des sites connexes.

Annexe A – Conditions météorologiques de Hamilton



Prévisions de zone géographique (GFA)

Prévision d'aérodrome (TAF)

CYHM 192338Z 200024 25015G25KT P6SM BKN025
TEMPO 0004 3SM -SHSN BKN020
FM0400Z 25015KT P6SM BKN025 TEMPO 0410 BKN020
FM1000Z 25008KT P6SM SCT025...

Message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR)

0300Z 24012KT 10SM -SHSN BKN054 BKN080 BKN110 -7.6/-10.7 A2993 RMK
SC5AC1AC0 SLP149 50005 SKY78=
0400Z 24011KT 6SM -SHSN FEW015 BKN034 BKN050 -7.9/-10.6 A2992 RMK
SC2SC4SC1 SLP148 SKY89=
0500Z 28014KT 6SM -SHSN BKN019 BKN034 OVC060 -8.5/-11.3 A2993 RMK
SC5SC2SC1 SLP150 SKY9X=

Service automatique d'information de région terminale (ATIS)

Message « Echo » : conditions météorologiques à 3 h Z : vent du 250° à 12 nœuds, visibilité de 10 milles dans des averses de neige, nuages épars à 5400 pieds, nuages épars à 8000 pieds, nuages épars à 11000 pieds, température de -8 °C, point de rosée de -11 °C, calage altimétrique de 29,93 pouces de mercure.

Message « **Foxtrot** » : conditions météorologiques à 4 h Z : vent du 250° à 11 nœuds, visibilité de 6 milles dans des averses de neige, quelques nuages à 1500 pieds, nuages épars à 3400 pieds, nuages épars à 5000 pieds, température de -8 °C, point de rosée de -11 °C, calage altimétrique de 29,92 pouces de mercure.

