

Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE
A15W0069



PERTE DE MAÎTRISE ET COLLISION AVEC LE RELIEF
CONAIR GROUP INC. (S/N CONAIR)
AÉRONEF AMPHIBIE AIR TRACTOR AT-802A FIRE BOSS,
C-FDHV
25 NM AU NORD-OUEST DE COLD LAKE (ALBERTA)
22 MAI 2015

Canada

Bureau de la sécurité des transports du Canada
Place du Centre
200, promenade du Portage, 4^e étage
Gatineau QC K1A 1K8
819-994-3741
1-800-387-3557
www.bst.gc.ca
communications@bst-tsb.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par
le Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2016

Rapport d'enquête aéronautique A15W0069

No de cat. TU3-5/15-0069F-PDF
ISBN 978-0-660-05979-2

Le présent rapport se trouve sur le site Web
du Bureau de la sécurité des transports du Canada
à l'adresse www.bst.gc.ca

This report is also available in English.

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

Rapport d'enquête aéronautique A15W0069

Perte de maîtrise et collision avec le relief

Conair Group Inc. (s/n Conair)

Aéronef amphibie Air Tractor AT-802A Fire Boss,
C-FDHV

25 nm au nord-ouest de Cold Lake (Alberta)

22 mai 2015

Résumé

L'aéronef muni de flotteurs amphibies Air Tractor AT-802A Fire Boss (portant l'immatriculation C-FDHV et le numéro de série 802A-0348) exploité par Conair sous l'indicatif Tanker 692, appuyait des opérations de lutte contre des feux de végétation à 25 milles marins au nord-ouest de Cold Lake (Alberta). Le Tanker 692 était le dernier aéronef d'une formation de 4 AT-802A Fire Boss, laquelle était suivie de 2 aéronefs CL-215T exploités par Conair Group Inc. Le Tanker 692 avait effectué 2 largages sur l'incendie en volant de l'ouest à l'est, avec un virage vers le nord. Après son troisième largage, le Tanker 692 s'est trouvé dans une forte turbulence, puis a pris une assiette en cabré. L'aéronef est monté à une hauteur d'environ 400 à 500 pieds au-dessus du sol, puis a roulé vers la gauche avant de piquer du nez. Il a percuté le relief avec l'aile droite inclinée vers le bas et dans une assiette quasi horizontale à 16 h 30, heure avancée des Rocheuses. Le pilote a été mortellement blessé comme suite aux forces d'impact qui n'offraient aucune possibilité de survie. Aucun incendie ne s'est déclaré après l'impact.

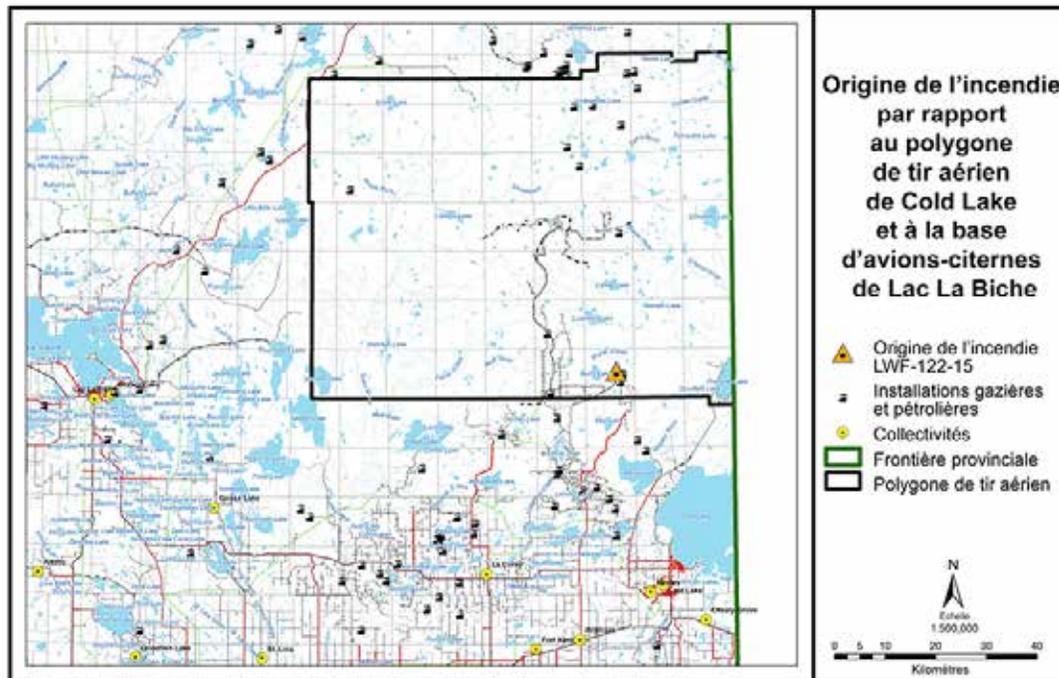
This report is also available in English.

Renseignements de base

Déroulement du vol

Le 22 mai 2015 vers 14 h 50 (heure avancée des Rocheuses¹), un incendie de forêt a été signalé au polygone de tir aérien de Cold Lake (CLAWR). La direction de la gestion des incendies de végétation (Wildfire Management Branch) du gouvernement de l'Alberta a nommé l'incendie LWF-122-15. Elle a dépêché les équipes d'attaque initiale depuis la zone de rassemblement de Beaver Lake, et les groupes d'avions-citernes depuis la base d'avions-citernes de Lac La Biche. La zone de gestion des incendies de végétation du Lac La Biche est l'une des 10 zones de cette nature dans la province de l'Alberta. Le CLAWR fait partie de cette zone, et la Wildfire Management Branch y est responsable de l'administration et des opérations de lutte contre les incendies de végétation. Toutefois, c'est le ministère de la Défense nationale (MDN) qui gère l'accès au CLAWR afin d'éviter tout conflit entre les aéronefs civils et militaires. L'incendie LWF-122-15 s'est déclaré à l'est de Burnt Lake, près de la limite sud du CLAWR, lieu de développement et de vastes installations du secteur gazier et pétrolier (figure 1).

Figure 1. Carte de la zone de l'événement (Source : Conair Group Inc.)



Le premier aéronef arrivé sur les lieux, vers 15 h 37, était l'avion de pointage BD130, un Rockwell Turbo Commander TC-690 à voilure fixe, suivi des avions-citernes 204 et 202 (T204 et T202, des Canadair CL-215T) et de l'avion-citerne 453 (T453, Convair CV580). Le T453 a largué une ligne de produit ignifuge à l'est de l'incendie pour stopper sa progression. Les

¹ Les heures sont exprimées en heure avancée des Rocheuses (temps universel coordonné moins 6 heures).

T204 et T202 attaquaient le front de l'incendie sous la direction de l'officier d'attaque aérienne à bord du BD130. Le T453 est retourné à Lac La Biche pour faire le plein de produit ignifuge, tandis que les T204 et T202 continuaient de larguer de l'eau qu'ils écopaient de Burnt Lake, situé à environ 2 milles marins (nm) à l'ouest de l'incendie. L'incendie présentait un comportement extrême, se propageant rapidement et changeant souvent de direction. Les T204 et T202 avaient établi un circuit vers la gauche, écopant l'eau de Burnt Lake pour ensuite la larguer sur l'incendie. Le BD130 effectuait un vol circulaire autour de l'incendie à une hauteur de 300 à 500 pieds au-dessus du sol (agl). Les avions-citernes larguaient leurs charges à une hauteur de l'attaque aérienne spécifiée d'environ 150 à 200 pieds agl. Selon le manuel *Alberta Air Attack Fire Bombing Procedures Manual 2015*, la hauteur de l'attaque aérienne spécifiée est la hauteur en pieds agl à laquelle l'avion-citerne doit larguer sa charge. Cette hauteur est généralement de 125 pieds agl, mais on peut l'adapter pour tenir compte de la météo, de la visibilité, des vents et du relief. Après le largage, les aéronefs montent pour regagner l'altitude de circuit, soit environ 1000 pieds agl.

Vers 16 h 15, l'avion de pointage BD124 (Cessna 208B Caravan) est arrivé sur les lieux accompagné des avions-citernes 680, 691, 693, et 692, 4 aéronefs monomoteurs munis de flotteurs amphibies (Air Tractor AT-802A Fire Boss). Avant leur arrivée sur les lieux, les 4 Fire Boss avaient écopé de l'eau à Marie Lake, situé à environ 11 nm au sud. Comme premier aéronef arrivé sur les lieux, le BD130 a pris le contrôle de ces nouveaux aéronefs. Les 4 Fire Boss ont été ajoutés au circuit vers la gauche depuis Burnt Lake, avec les T204 et T202. L'aéronef en cause, le Tanker 692 (T692, immatriculé C-FDHV, numéro de série 802A-0348), était le dernier de la formation, derrière le T693. Le BD124 a adopté un rôle de soutien en effectuant un vol circulaire à haute altitude, soit à environ 6000 pieds au-dessus du niveau de la mer (asl).

Le T692 se trouvait à environ 15 à 20 secondes derrière le T693 lorsqu'ils ont largué leur charge, un mélange d'eau et de mousse, sur l'incendie. Il incombe aux pilotes de surveiller l'espacement latéral dans la formation et de l'ajuster en fonction de facteurs environnementaux et opérationnels comme la visibilité, les vents et la turbulence de sillage. La formation a effectué 2 largages réussis sur le front nord de l'incendie, tout près d'un socle de chevalets de pompage. Durant le troisième circuit, les T680 et T691 ont largué leur charge sur l'incendie et ont poursuivi le circuit vers la gauche, sans changement par rapport aux 2 manœuvres de largage précédentes. Le T693 a effectué avec succès son troisième largage à 16 h 30 min 9 s et a poursuivi le circuit. À 16 h 30 min 44 s, le T693 s'est trouvé dans une forte turbulence, et le dispositif de surveillance des alarmes et d'acquisition de données (DAAM) (voir la section sur les enregistreurs de données) a enregistré une transition de $4,8 g^2$ à $-2,1 g$ en 1,2 seconde. Durant cet événement, le pilote du T693 a heurté sa tête contre la structure de la verrière, et l'aéronef a effectué un mouvement de lacet vers la gauche, puis un roulis vers la droite. Selon les données enregistrées par le DAAM, la vitesse indiquée est tombée à zéro avant d'augmenter de nouveau. Le pilote du T693 a repris la maîtrise de l'aéronef à 16 h 30 min 57 s.

² 1 g correspond à l'accélération attribuable à la gravité, ou $32,15 \text{ pi/s}^2$.

Le T692 s'est également trouvé dans de la forte turbulence, à 16 h 30 min 54 s, soit 10 secondes après le T693. Le dispositif DAAM de l'aéronef a enregistré une transition de 4,2 g à -3,2 g en 1,0 seconde. On a observé le T692 prendre une assiette en cabré et monter à une hauteur d'environ 400 à 500 pieds agl. On l'a ensuite observé faire un mouvement de roulis vers la gauche avant de piquer du nez. Le T692 a percuté le relief dans une grande zone dégagée (carrière d'emprunt) à 16 h 30 min 59 s, l'aile droite inclinée vers le bas et dans une assiette quasi horizontale (figure 2). Au cours de la dernière 1,6 seconde avant l'impact, les données du dispositif DAAM montrent une variation de force g, de -1,0 g à 2,9 g en 1,2 seconde; la force g s'est ensuite maintenue à 2,9 g pendant 0,4 seconde avant que l'impact mette fin à l'enregistrement. La violence de l'impact n'offrait aucune possibilité de survie. Aucun incendie ne s'est déclaré après l'impact.

Immédiatement après l'accident, on a observé un important tourbillon de feu qui se déplaçait du sud-est au nord-ouest à travers la carrière d'emprunt, à l'ouest du T692. Ce tourbillon mesurait de 50 à 100 pieds de large à la base et atteignait une hauteur d'environ 1500 pieds agl. Sa rotation était très forte, tout comme sa force d'aspiration. Le tourbillon de feu a franchi la carrière d'emprunt avant de regagner la limite forestière, où les débris qu'il entraînait ont allumé un autre incendie. Il est ensuite disparu hors de vue peu après avoir gagné la limite forestière.

Figure 2. Photographie aérienne du lieu de l'événement (Source : Conair Group Inc., avec annotations du BST)



Intervention d'urgence

L'opération aérienne de lutte contre l'incendie LWF-22-15 a été interrompue immédiatement après l'accident. À 16 h 33, le pilote du BD130 a appelé le service de contrôle terminal de Cold Lake pour signaler l'écrasement d'un avion-citerne. Toutefois, la communication était difficile étant donné la faible altitude du BD130. À 16 h 35, le BD124 a également appelé le service de contrôle terminal pour l'informer qu'un avion-citerne s'était écrasé et demander que l'on dépêche du personnel d'urgence. Tous les autres avions-citernes sont rentrés à Lac La Biche. Les BD130 et BD124 sont demeurés sur place pour aider à coordonner l'intervention d'urgence. À 16 h 42, un hélicoptère civil qui appuyait les opérations de lutte contre l'incendie s'est posé sur le lieu de l'écrasement. À 16 h 46, un second hélicoptère a déposé 2 autres personnes au lieu de l'écrasement pour aider la première équipe. Les premiers intervenants ont constaté que le pilote du T692 n'avait aucun poulx, et ont été incapables de le retirer de l'épave. Les réservoirs de carburant de l'aéronef se sont rompus à l'impact pour couvrir de carburant l'épave ainsi que ses alentours. Comme

L'incendie se rapprochait du lieu de l'écrasement, l'équipe de secours a décidé d'évacuer les lieux à 17 h 18. À 17 h 26, toutes les équipes au sol ont été évacuées de la zone d'incendie, celle-ci étant considérée dangereuse. Un hélicoptère Griffon du MDN, Rescue 417 de la base des Forces canadiennes (BFC) Cold Lake (CYOD) est arrivé au lieu de l'écrasement à 17 h 46, où l'incendie aux alentours faisait toujours rage. Un aéronef à voilure fixe de transfert aéromédical a été mis en attente à CYOD. L'équipage du Rescue 417 a retiré le pilote de l'épave du T692, a quitté le lieu vers 18 h 45 et s'est posé à CYOD à 18 h 54. Le pilote a été transféré dans une ambulance et conduit à l'hôpital local.

Examen de l'épave

L'épave se trouvait dans une aire ouverte de sable et de gravier appelée « carrière d'emprunt ». L'aéronef a percuté le relief, l'aile droite inclinée vers le bas et dans une assiette quasi horizontale. Le bout de l'aile droite a percuté le relief en premier, suivi du flotteur droit, puis du flotteur gauche. La structure des flotteurs s'est effondrée, mais elle est demeurée principalement sous l'aéronef. L'aéronef a dérapé sur environ 80 pieds au sol à partir des premières marques au sol.

On a retrouvé et identifié tous les composants de l'aéronef à l'intérieur d'un rayon de 90 pieds du fuselage; tous les principaux composants de l'aéronef y étaient toujours attachés. Le fuselage et les ailes ont été lourdement endommagés par l'impact. Tous les réservoirs de carburant et de mousse extinctrice étaient rompus, et leur contenu a contaminé le sol avoisinant.

L'enquête a permis de déterminer la continuité des commandes de vol avant l'accident. En mesurant les filets sur le vérin de contrôle de volets, on a déterminé que les volets étaient réglés à environ 13°, ce qui correspond au réglage habituel à la sortie d'un largage. La manette des gaz était en position de ralenti, et le compensateur de profondeur était juste derrière la zone verte, ce qui indique une plage d'exploitation normale. On a récupéré le groupe moteur pour l'acheminer à l'atelier d'examen des épaves du BST à Edmonton, où il a fait l'objet d'une démonte et d'une inspection complète. On a déterminé que le groupe moteur fonctionnait normalement au moment de l'événement. Les données du système d'enregistrement DAAM embarqué appuient cette conclusion. À partir des données disponibles, on a déterminé que l'aéronef était à l'intérieur des limites de masse et centrage prescrites.

Au moment de l'événement, le pilote portait un casque d'aviation. Ce casque portait des marques de choc sur le dessus, mais on n'a pu déterminer si ces dommages sont survenus durant la turbulence ou plus tard durant l'impact avec le relief. Le pilote portait le harnais de sécurité à 4 points installé.

Conditions météorologiques

Le message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) de 16 h pour CYOD faisait état des conditions suivantes : vents du 100° vrai à 2 nœuds, visibilité de 15 milles terrestres, quelques nuages à 11 000 et à 25 000 pieds agl sans plafond mesuré,

température de 27 °C, point de rosée à -2 °C, et calage altimétrique de 29,99 pouces de mercure. Les conditions au site de l'incendie LWF-122-15, à environ 25 nm au nord de CYOD, correspondaient à celles de ce message d'observation météorologique.

Figure 3. Température / point de rosée et altitude à Jimmy Lake (Alberta) (WHN) et à la base des Forces canadiennes Cold Lake (Alberta) (CYOD)

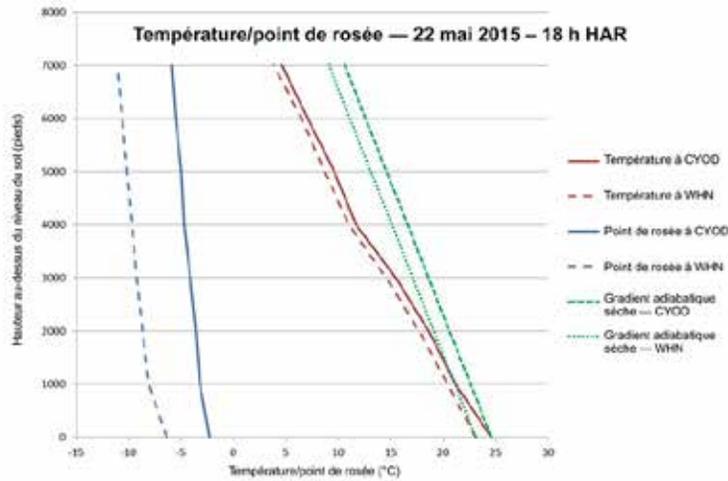
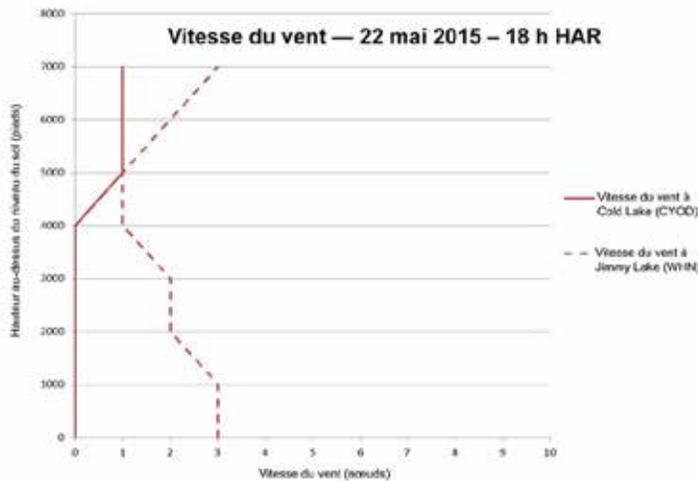


Figure 4. Vents et altitude à Jimmy Lake (Alberta) (WHN) et à la base des Forces canadiennes Cold Lake (Alberta) (CYOD)



Le MDN collecte les données météorologiques, y compris les sondages atmosphériques, à plusieurs endroits dans cette région. Les endroits les plus proches du lieu de l'accident étaient Jimmy Lake (WHN), à 15 nm à l'est du lieu, et CYOD, à 25 nm au sud. La figure 3 et

la figure 4 montrent les données d'un sondage atmosphérique réalisé à 18 h le jour de l'événement. Les gradients adiabatiques³ à WHN et à CYOD indiquent une atmosphère instable. Les vents en altitude à ces 2 endroits étaient de 3 nœuds ou moins jusqu'à 7000 pieds agl.

Conair Group Inc.

Conair assure des opérations d'aéronefs spécialisés pour le compte de clients nationaux et internationaux, principalement dans le domaine de la lutte aérienne contre les incendies avec des aéronefs à voilure fixe. La compagnie emploie environ 250 personnes, dont 80 pilotes, et exploite une flotte de 65 aéronefs. Pour la saison des incendies 2015, la flotte d'Air Tractor comptait 12 AT-802A Fire Boss (sur flotteurs amphibies), 3 AT-802 (sur roues) et 8 AT-802A (sur roues). Les activités de la compagnie sont assujetties aux sous-parties 702 – Opérations de travail aérien et 703 – Exploitation d'un taxi aérien du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC).

Le 14 août 2014, un AT-802A Fire Boss de Conair a eu un accident non mortel durant le décollage près de Chantslar Lake (Colombie-Britannique). Le BST a enquêté sur cet accident⁴.

Équipage de conduite

Les dossiers indiquent que le pilote possédait les licences et les qualifications nécessaires pour effectuer le vol, conformément à la réglementation en vigueur. Le pilote était détenteur d'une licence de pilote de ligne – Aéronef valide, avec qualification de vol aux instruments du groupe 1 valide. Au moment de l'événement, le pilote était titulaire d'un certificat médical de catégorie 1 d'aviation civile valide.

Le pilote était entré au service de Conair Group Inc. en avril 2012 et avait reçu la formation de premier officier sur le Convair CV580. En avril 2013, le pilote a reçu la formation sur l'Air Tractor AT-802A Fire Boss. Le programme de formation de la compagnie ne comprenait aucune formation en bonne et due forme sur le comportement des incendies et les dangers météorologiques possibles dans les environs d'un incendie. Aucune réglementation n'exige une telle formation.

Au moment de l'événement, le pilote avait accumulé quelque 10 600 heures de temps de vol, dont 300 heures aux commandes de l'AT-802A Fire Boss. Il en était à sa deuxième journée de travail, après avoir eu 2 jours de congé.

³ Un profil de température adiabatique sèche présente des gradients adiabatiques proches de 2,9 °C/1000 pieds, tandis qu'un gradient adiabatique saturé est proche de 1,8 °C/1000 pieds. Les gradients adiabatiques supérieurs à 2,9 °C/1000 pieds sont dits « superadiabatiques » ou à « instabilité absolue »; les gradients adiabatiques entre le gradient de l'adiabatique sèche et l'adiabatique saturée sont dits « conditionnellement instables »; et les gradients adiabatiques inférieurs au gradient de l'adiabatique saturée sont dits à « stabilité absolue ».

⁴ Rapport d'enquête aéronautique A14P0132 du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST).

Durant ses 3 derniers jours de travail, le pilote n'avait pas volé les 19 et 20 mai, et avait effectué 4,8 heures de vol le 21 mai pour déplacer l'aéronef d'Abbotsford (Colombie-Britannique) à Lac La Biche. Le jour de l'événement, le pilote a effectué un vol de vérification des compétences de 1,1 heure en après-midi avant de décoller à 15 h 41 pour effectuer le vol à l'étude. Le pilote a eu 18 heures libres de tout service avant d'effectuer le premier vol, le 22 mai. Il n'y avait aucune indication que des facteurs physiologiques, y compris la fatigue, aient été en cause dans l'accident.

Aéronef

L'Air Tractor AT-802A est un aéronef monomoteur tout métal à aile basse cantilever avec train d'atterrissage fixe classique. On utilise cet aéronef principalement pour le travail aérien agricole. Sa conception a été certifiée en vertu des *Federal Aviation Regulations* (FAR) dans la catégorie restreinte. Son exploitation au Canada est permise en vertu d'un certificat spécial de navigabilité – Restreint⁵. D'après le Registre des aéronefs civils canadiens, 27 Air Tractor AT-802A étaient enregistrés au Canada au 1^{er} juin 2015⁶. La masse maximale au décollage (MTOW) de cet aéronef est de 16 000 livres. Le système d'écope, situé entre le poste de pilotage et le moteur, a une capacité de 814 gallons (3081 litres). Les réservoirs à carburant se trouvent à l'intérieur des ailes.

Conversion des Fire Boss

Pour convertir l'avion terrestre AT-802A en aéronef de lutte contre les incendies Fire Boss (photo 1), on doit y apporter les changements suivants :

- Installation de flotteurs amphibies munis d'écoques à commande hydraulique.
- Installation d'un système de largage de produit ignifuge (FRDS).
- Installation d'un système d'extinction à mousse avec commandes, qui comprend un réservoir à mousse de 30 gallons à l'intérieur du flotteur droit, et un réservoir avec barrière coupe-feu de 18 gallons.
- Modifications du circuit d'évacuation d'air du système d'écope.
- Installation d'un système d'assèchement et d'un système d'avertissement de présence d'eau dans les flotteurs.

⁵ Les aéronefs de cette catégorie (article 507.03 du *Règlement de l'aviation canadien*) ont été inspectés et jugés sûrs pour l'exploitation sur le territoire canadien. Cet aéronef n'est pas conforme aux normes de navigabilité stipulées à l'article 31 de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) en raison de sa conception de type.

⁶ Transports Canada [en ligne], « Registre des aéronefs civils canadiens (RACC) », <http://www.wapps.tc.gc.ca/Saf-Sec-Sur/2/CCARCS-RIACC/Menu.aspx?lang=fra> (dernière consultation le 3 août 2016).

Photo 1. Aéronef Fire Boss



La MTOW certifiée du Fire Boss est de 16 000 livres. Pour les décollages sur l'eau et amerrissages, la masse est limitée à 11 500 livres. Pour les manœuvres d'écopage, la masse limite est de 16 000 livres.

Conair Group Inc. souhaitait accroître la puissance du moteur pour améliorer la performance de décollage et de montée. La compagnie a développé un certificat de type supplémentaire indépendant (P-LSA08-072) pour convertir ses Fire Boss. En modifiant le moteur PT6A-67F de Pratt & Whitney, sa puissance passait de 1350 HP sur arbre (SHP) à 1600 SHP (pour le décollage). La MTOW est demeurée la même, soit 16 000 livres⁷.

Enregistreurs de données

L'aéronef n'était pas doté d'un enregistreur de données de vol ou d'un enregistreur de conversations de poste de pilotage et n'était pas tenu d'en avoir selon la réglementation. Toutefois, il était muni d'un système de suivi des vols SkyNode S200 de Latitude Technologies et d'un système DAAM de Perkins Technologies.

Le système SkyNode S200 transmet automatiquement des données de vol, y compris la position, l'altitude, la vitesse sol et la trajectoire, au moyen d'une liaison satellite à un intervalle de 2 minutes stipulé aux modalités du contrat de service. La compagnie ainsi que le ministère de l'Agriculture et des Forêts de l'Alberta, Division des forêts, avaient accès par le Web à ces données de vol.

⁷ Transports Canada a approuvé le certificat de type supplémentaire (P-LSA08-072) le 30 juin 2008.

Le système DAAM permet aux pilotes et aux techniciens de surveiller l'utilisation du moteur et d'enregistrer les tendances et les dépassements. Il surveille en continu un maximum de 13 paramètres du moteur et de la cellule et enregistre les données d'utilisation et de performance. Une alarme sur le panneau d'affichage dans le poste de pilotage avertit le pilote en cas de dépassement. Le dispositif stocke les données pour analyse ultérieure par le personnel de maintenance.

Performance de l'aéronef

Le document *Wipaire Inc. Aircraft Flight Manual Supplement* (supplément au manuel de vol de l'aéronef, ou SMVA) décrit ainsi le comportement du Fire Boss durant un décrochage :

[traduction]

Les caractéristiques de décrochage de cet aéronef sont somme toute très douces. Sans moteur ou à bas régime, on remarque de forts tremblements et de fortes secousses de l'empennage à peu près au même moment où vibre l'avertisseur de décrochage. À des réglages de puissance plus élevés, la vitesse à laquelle le pilote sent les tremblements avertisseurs de décrochage diminue presque à la vitesse de décrochage. Au décrochage, l'Air Tractor amphibie n'adopte pas une assiette en piqué prononcée, contrairement à de nombreux aéronefs. Plutôt, il perd rapidement de l'altitude sans piquer du nez⁸.

D'après une note au tableau des vitesses de décrochage à 11 500 livres et la puissance moteur réglée au ralenti :

[traduction]

La perte d'altitude durant une sortie de décrochage peut atteindre ou dépasser 320 pieds avec les ailes à l'horizontale⁹.

On a calculé la vitesse de décrochage du T692, lorsqu'il a traversé la turbulence, à une vitesse corrigée de 65 nœuds, en fonction de sa masse calculée et des volets réglés à 13°. En fonction du pic de 4,2 g inscrit dans les données du dispositif DAAM, on a calculé que la vitesse de décrochage à haute vitesse¹⁰ du T692 était de 133 nœuds (vitesse corrigée). En comparant les données du dispositif SkyNode S200 et du système DAAM, on a déterminé que lorsqu'il a traversé la turbulence, la vitesse sol du T692 était de 129 nœuds.

Le document *Wipaire Inc. Aircraft Flight Manual Supplement* décrit ainsi le comportement en vrille du Fire Boss :

[traduction]

⁸ Wipaire Inc., *Wipaire Inc. Aircraft Flight Manual Supplement* (2012).

⁹ *Ibid.*

¹⁰ Un décrochage accéléré survient à une vitesse anémométrique supérieure à la normale à cause d'un facteur de charge plus élevé (charge g).

Les caractéristiques de vrille de cet aéronef amphibie n'ont pas été étudiées à fond et aucune technique de rétablissement n'a été établie. En cas de vrille inopinée, on recommande la procédure suivante :

1. LARGUER la charge du système d'écope.
2. Réduire la puissance au ralenti.
3. Régler les ailerons en position neutre.
4. Appliquer le palonnier à fond en direction opposée à celle de la vrille.
5. Actionner VIVEMENT le compensateur vers le bas APRÈS la commande du gouvernail et MAINTENIR ces commandes jusqu'à la sortie de la vrille.
6. Mettre les commandes en position neutre après le rétablissement et sortir du piqué.
7. Si les volets sont sortis, les rentrer durant la sortie du piqué pour éviter de dépasser la vitesse maximale volets sortis ou la limite d'accélération¹¹.

¹¹ Wipaire Inc., *Wipaire Inc. Aircraft Flight Manual Supplement*.

Sangle de g négatif (harnais 5 points)

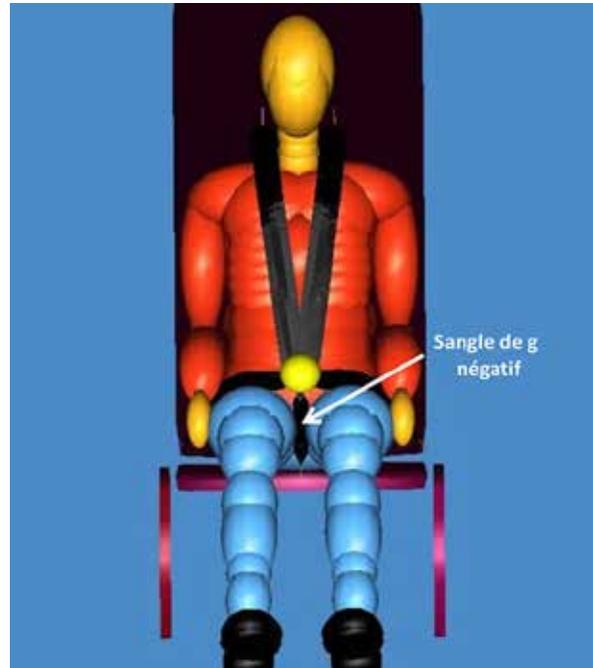
La sangle de g négatif (figure 5) est un dispositif de retenue fixé à la structure du siège et placé entre les jambes du pilote. Il s'attache à la boucle qui joint les sangles abdominales et les bretelles de sécurité pour créer ce que l'on nomme couramment un harnais 5 points.

Dans une étude réalisée pour l'U.S. Air Force (USAF), Hearon et Brinkley¹² ont comparé la performance de systèmes de retenue munis d'une sangle de g négatif et de systèmes non munis d'une telle sangle. L'étude a testé les 2 fonctions essentielles d'une sangle de g négatif : 1) prévenir le glissement de l'occupant sous la ceinture, soit le mouvement du torse sous la ceinture abdominale durant l'accélération à l'impact vers l'avant, et 2) fournir un meilleur accouplement mécanique entre le siège et l'occupant contre les vibrations basse fréquence durant le vol, les manœuvres prolongées d'accélération de la pesanteur (g), et les mouvements antagonistes pouvant se produire lors de la perte de maîtrise d'un aéronef. L'étude a permis de conclure qu'une retenue insuffisante contre des forces g négatives amenuise la capacité de maîtriser l'aéronef et peut entraîner un choc du casque contre la verrière. À l'USAF, on a cerné la retenue insuffisante contre des forces g négatives comme cause de pertes d'aéronefs et de blessures, parfois mortelles, à des membres d'équipage. Les auteurs de l'étude citent l'exemple d'un pilote de l'USAF qui a subi une fracture de la colonne cervicale et une paralysie temporaire comme suite au choc de son casque contre la verrière à cause d'une retenue insuffisante contre les forces g négatives.

Les essais réalisés au cours de l'étude ont permis de conclure que l'ajout d'une sangle de g négatif réduit la tendance du torse à glisser sous la ceinture durant un impact vers l'avant, améliore l'accouplement siège-occupant durant une chute libre, et accroît la protection contre l'impact vertical.

L'aéronef en cause dans l'événement à l'étude comprenait un harnais à 4 points, conformément aux exigences réglementaires; aucune sangle de g négatif n'y était installée.

Figure 5. Exemple d'une sangle de g négatif (Source : Wichita State University)



¹² B.F. Hearon et J.W. Brinkley, « Comparison of human impact response in restraint systems with and without a negative G strap », *Aviation Space and Environmental Medicine*, vol. 57, numéro 4 (avril 1986), p. 301-312.

Tourbillons de feu

Les tourbillons de feu sont des événements tornadiques générés par un incendie. À petite échelle, ils ressemblent à des tourbillons de poussière; à grande échelle, ils ressemblent davantage aux tornades que génèrent les orages. Il existe plusieurs exemples documentés de ce phénomène. En juin 2002, près de Durango (Colorado), le feu à Mission Ridge a généré un important panache vertical tourbillonnant accompagné de vents suffisamment violents pour renverser des véhicules et endommager des structures. Le 29 juin 2007, le feu Neola North près de Neola (Utah) a donné lieu à des vents cycloniques qui ont fait 3 morts. Le 18 janvier 2003 à Canberra (Australie), un important feu de brousse a donné lieu à un tourbillon de feu d'échelle comparable à celle d'une tornade. Il a causé des dommages sur une trajectoire de 25 km, et, par endroits, sur une largeur de 500 m. Le tourbillon a déraciné des arbres, renversé des véhicules et arraché des toits de maisons. On a estimé la vitesse des vents à 250 km/h, soit l'équivalent de forts vents F2 sur l'échelle Fujita.

D'après Forthofer et Butler¹³, la génèse des tourbillons de feu présente 4 éléments communs :

[traduction]

- une importante source de chaleur;
- une atmosphère instable;
- des vents ambiants faibles à modérés; et
- une forte source de tourbillon/rotation.

Dans un incendie de forêt, le front peut générer des températures s'élevant à 1000 °C. Une chaleur aussi intense crée rapidement des courants ascendants peu après le début de l'incendie.

Lorsque l'atmosphère est instable, les particules d'air se déplacent plus facilement que dans des conditions stables, ce qui accroît l'intensité de la rotation d'une colonne d'air ascendant en l'étirant de manière à en réduire le diamètre. Pour conserver le mouvement angulaire, la rotation augmente. Une atmosphère instable se caractérise par un gradient adiabatique élevé, des cumulus de beau temps et une bonne visibilité. Countryman¹⁴ décrit l'effet de telles conditions sur la colonne de fumée d'un incendie. La colonne de fumée atteint rapidement une hauteur considérable. Elle est bien définie (photo 2) au début, avant de s'étendre par la suite. Elle peut également montrer des signes de rotation, le cas échéant (photo 3).

¹³ J. Forthofer et B. Butler, « Large scale fire whirls: Can their formation be predicted? », dans : D.D. Wade, M.L. Robinson (éd.), *Proceedings of the 3rd Fire Behavior and Fuels Conference*, Spokane, WA, 25 au 29 octobre 2010 (Birmingham, AL : International Association of Wildland Fire, 2010).

¹⁴ C. Countryman, *Fire whirls . . . why, when, and where* (Berkeley, CA: USDA Forest Service, 1971).

Photo 2. Colonne de fumée bien définie de l'incendie LWF-122-15 à 16 h 22 (Source : gouvernement de l'Alberta)



Photo 3. Rotation dans la colonne de fumée de l'incendie LWF-122-15 à 16 h 29 (Source : gouvernement de l'Alberta, avec annotations du BST)

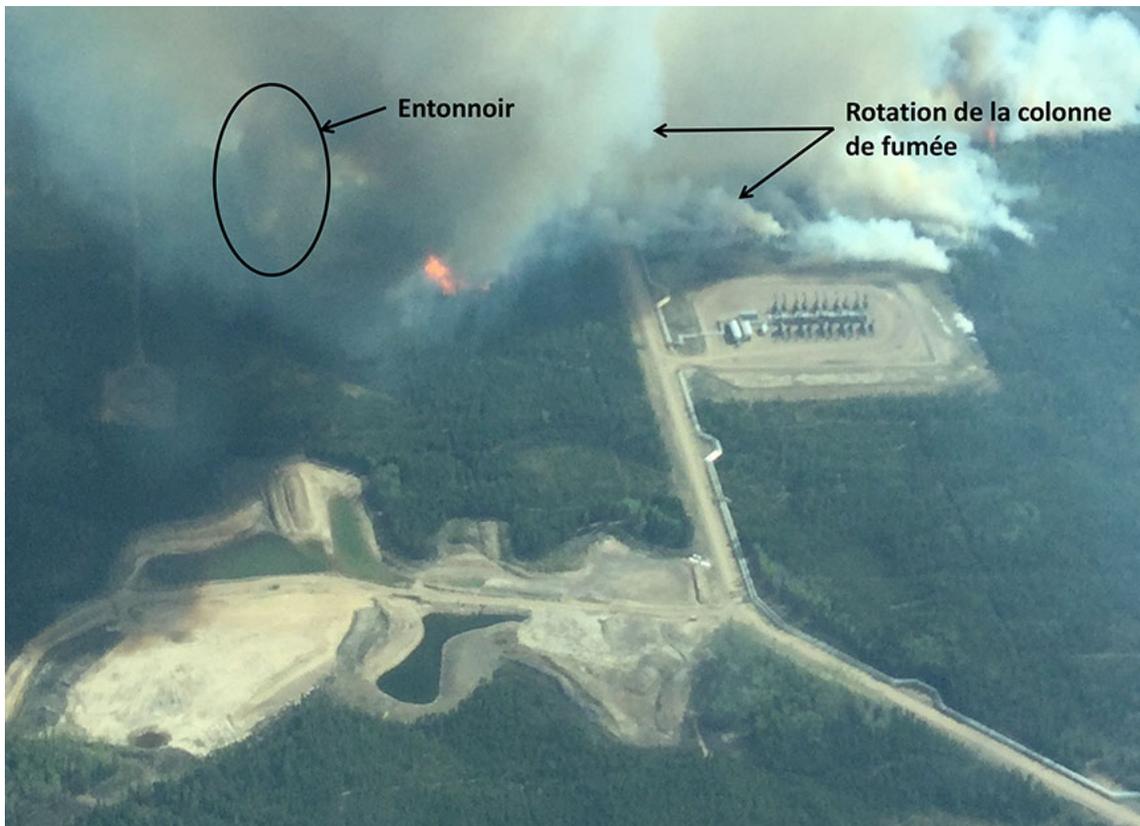


Des vents ambiants faibles à modérés aident la rotation à s'établir et à prendre de l'ampleur, sans se disperser. Dans des études de brûlages dirigés réalisées par le ministère des Ressources naturelles de l'Ontario, McRae et Flannigan¹⁵ ont conclu que des vents d'une vitesse supérieure à 5,4 nœuds empêchent en grande partie la formation de tourbillons de feu sur un relief plat.

Forthofer et Butler décrivent 4 types de développement rotatoire/ de tourbillon : dispersion de panache, tourbillon vertical ambiant, traits caractéristiques de terrain du côté sous le vent, et courant horizontal à une source de chaleur en « L ».

La « dispersion de panache » est un processus par lequel des tourbillons se séparent de la colonne principale sous l'effet de vents ambiants qui soufflent autour d'elle. Ce cisaillement de vent crée des vents tourbillonnants du côté sous le vent de la colonne, qui peuvent ensuite former des tourbillons de feu (figure 6).

Figure 6. Colonne de fumée montrant des signes de dispersion de panache, avec entonnoir qui se forme dans la fumée, à 16 h 29 min 53 s, environ 1 minute avant l'accident (Source : gouvernement de l'Alberta, avec annotations du BST)



On associe le « tourbillon vertical ambiant » au passage d'un front froid et à son interaction avec l'incendie.

¹⁵ D.J. McRae et M.D. Flannigan, « Development of large vortices on prescribed fires », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 20, n° 12 (1990), p. 1878 à 1887.

Le cisaillement de vent des « traits caractéristiques de terrain du côté sous le vent » peut créer une turbulence qui génère un tourbillon. Lorsqu'elle interagit avec un incendie, cette rotation peut former des tourbillons de feu du côté sous le vent du relief.

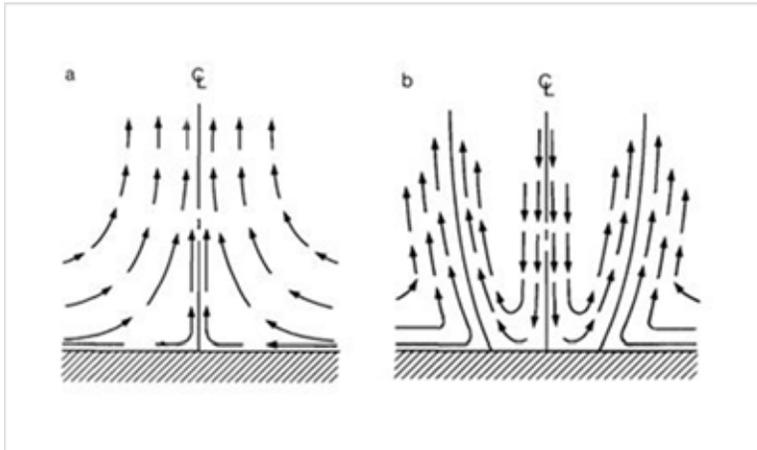
On peut constater le courant horizontal dans une source de chaleur en « L » lorsque l'incendie forme des fronts à angle quasi perpendiculaire. Ce phénomène peut se produire au seuil d'une zone ouverte, aux intersections de routes ou aux pare-feu. L'air s'écoule le long des fronts d'incendie et des fronts perpendiculaires. L'interaction de cet écoulement et l'effet bloquant du coin intérieur créent la rotation (figure 7).

Figure 7. Colonne de fumée de l'incendie LWF-122-15 montrant le courant perpendiculaire à une source de chaleur en « L » (Source : gouvernement de l'Alberta, avec annotations du BST)



On dénote 2 modèles de circulation de l'air dans un tourbillon de feu et autour de celui-ci : le vortex à 1 cellule avec un courant ascendant au centre, ou le vortex à 2 cellules avec un courant descendant au centre et un courant ascendant autour du centre (figure 8). Un tourbillon de feu bien établi comprendrait fort probablement un vortex à 2 cellules. Un tourbillon de feu de plus grande taille ou plus mature peut se séparer de la colonne de fumée principale. Il se déplace habituellement en aval de l'incendie et allume souvent des incendies disséminés au-delà du front. Normalement, une fois qu'il s'est séparé de la source de chaleur, le tourbillon de feu se dissipe rapidement.

Figure 8. Champ de courant d'un vortex à 1 cellule (a) et d'un vortex à 2 cellules (b) (Source : McRae et Flannigan¹⁶)



Rapports de laboratoire du BST

Le BST a complété le rapport de laboratoire suivant dans le cadre de la présente enquête :

- LP108/2015 - NVM Recovery – SkyNode and DAAM [Récupération de la mémoire rémanente - dispositifs SkyNode et DAAM]

¹⁶ *Ibid.*

Analyse

Tourbillon de feu

L'incendie désigné LWF-122-15 prenait rapidement de l'ampleur dans l'après-midi du 22 mai 2015. L'atmosphère était instable et caractérisée par un fort gradient adiabatique et des vents légers. Ces conditions ont entraîné la formation d'une colonne de fumée bien définie qui s'élevait à une haute altitude. À mesure que l'incendie gagnait en ampleur et en intensité, il a traversé des zones comprenant d'importantes aires déboisées reliées par des routes. Cet élément a probablement entraîné ce que l'on appelle le « courant horizontal en "L" » entre des sources de chaleur, ce qui a amorcé la rotation du flux d'air alimentant l'incendie. La colonne de fumée a alors commencé à tourner. L'incendie a généré des températures élevées qui ont étiré le courant ascendant et intensifié sa rotation. Un tourbillon de feu s'est développé du côté sous le vent de la colonne de fumée (figure 9). Un examen des forces d'accélération enregistrées dans les données des dispositifs DAAM de T693 et T692 montre que le tourbillon de feu, une fois bien établi, a probablement développé un vortex à 2 cellules.

Figure 9. Image extraite d'une vidéo montrant un tourbillon de feu traversant la carrière d'emprunt à 16 h 33 (Source : gouvernement de l'Alberta, avec annotations du BST)



Après sa troisième manœuvre de largage sur l'incendie, le pilote du T692 ne pouvait apercevoir le tourbillon de feu, car celui-ci n'avait pas encore accumulé suffisamment de débris pour qu'il soit visible. Comme le pilote n'avait eu aucune difficulté durant les largages précédents, il n'aurait probablement pas prévu ce qui se trouvait sur sa trajectoire de vol.

Volant à une vitesse sol de 129 nœuds, l'aéronef s'est trouvé dans le courant ascendant au cœur du vortex à 2 cellules mature. C'est alors qu'il a subi une accélération de 4,2 g qui a entraîné un décrochage accéléré. Lorsque l'aéronef s'est trouvé au centre du tourbillon de feu, l'accélération négative de -3,2 g a probablement propulsé le pilote contre la verrière. En sortant du cœur du tourbillon, le nez de l'aéronef se serait retrouvé dans le courant ascendant, alors que sa queue se trouvait toujours dans le courant descendant. L'aéronef en décrochage a cabré violemment et est entré en amorce de vrille. Ainsi, lorsque l'aéronef s'est trouvé dans un tourbillon de feu, il a cabré de façon inopinée, et une perte de maîtrise s'est ensuivie.

Opérations à basse altitude

Pour lutter efficacement contre un incendie, les bombardiers à eau doivent voler près de l'incendie, horizontalement aussi bien que verticalement. L'altitude normale pour larguer de l'eau sur un incendie varie de 150 à 200 pieds au-dessus du sol, ce qui place l'aéronef de 100 à 150 pieds au-dessus des arbres. Pour sortir d'un décrochage avec les ailes à l'horizontale, il faut au moins 320 pieds d'altitude au Fire Boss. Une sortie de décrochage jumelée à une assiette en cabré extrême avec amorce de vrille nécessiterait une altitude beaucoup plus élevée. La basse altitude de l'aéronef a fait qu'un rétablissement était improbable, et l'aéronef a percuté le relief.

Formation sur le comportement des incendies

Les opérations de lutte contre les incendies de forêt comprennent un niveau de risque inhérent. Plusieurs facteurs peuvent atténuer ce risque, entre autres l'équipement de protection individuelle, des procédures d'utilisation normalisées et de la formation. La formation donnée aux équipages de conduite porte principalement sur l'exploitation sécuritaire de l'aéronef et les procédures pour maintenir l'espacement entre les aéronefs, sans toutefois nuire à l'efficacité de la lutte contre l'incendie. Il n'y a aucune exigence réglementaire visant la formation sur les conditions ambiantes propres à l'environnement d'un incendie de forêt, comme le développement de tourbillons de feu et les dangers qu'ils posent. Si le personnel prenant part aux activités de lutte contre les incendies ne reçoit aucune formation sur le comportement des incendies, il y a un risque qu'il utilise les aéronefs dans des conditions dangereuses.

Système de retenue de l'équipage de conduite

Lorsque l'on utilise un aéronef dans des conditions qui peuvent générer de la turbulence, par exemple des courants ascendants ou descendants, ou le cisaillement du vent, il y a un risque accru de perte de maîtrise de l'aéronef. L'accélération générée dans de tels cas peut rendre l'aéronef difficile à maîtriser. Cette difficulté s'accroît lorsque le pilote ne demeure pas fermement assis dans son siège. Si le système de retenue de l'équipage de conduite ne protège pas adéquatement le pilote contre les forces g négatives, il y a un risque que la sécurité de l'équipage de conduite et la maîtrise de l'aéronef soient compromises.

Faits établis

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. L'aéronef s'est trouvé dans un tourbillon de feu, ce qui a fait qu'il a cabré de façon inopinée, et une perte de maîtrise s'est ensuivie.
2. La basse altitude de l'aéronef a fait qu'un rétablissement était improbable, et l'aéronef a percuté le relief.

Faits établis quant aux risques

1. Si le personnel prenant part aux activités de lutte contre les incendies ne reçoit aucune formation sur le comportement des incendies, il y a un risque qu'il utilise les aéronefs dans des conditions dangereuses.
2. Si le système de retenue de l'équipage de conduite ne protège pas adéquatement le pilote contre les forces g négatives, il y a un risque que la sécurité de l'équipage de conduite et la maîtrise de l'aéronef soient compromises.

Mesures de sécurité

Mesures de sécurité prises

Conair Group Inc.

Conair Group Inc. a suspendu toutes les activités de sa flotte de Fire Boss le 23 mai 2015, et a retiré ces aéronefs du service pour la journée. La compagnie a indiqué qu'elle soutiendrait tout membre d'équipage qui souhaiterait être relevé de ses fonctions pendant plus longtemps.

La compagnie a commandé une étude sur le comportement du feu afin d'examiner les conditions environnementales au moment de l'événement, et de voir en quoi ces conditions auraient pu contribuer à l'accident. Elle a également retenu les services d'un cabinet pour qu'il analyse l'accident.

Du 30 juin au 18 août 2015, Conair a présenté les résultats de l'analyse et de l'enquête de la compagnie aux équipages de diverses bases. L'exposé insistait sur la conscience des conditions environnementales et des dangers liés aux incendies de forêt.

La compagnie ajoute une séance à son programme de formation qui porte sur les risques environnementaux liés aux incendies de forêt et la reconnaissance de ces conditions. Cette séance a été ajoutée au programme en mars 2016.

La compagnie a engagé un expert-conseil pour qu'il fasse un examen des opérations de Conair. Ce processus comprenait un examen de la documentation, un sondage auprès des employés, et une série d'entrevues avec le personnel de la compagnie.

Enfin, Conair a installé des harnais 5 points à bord des AT-802 de sa flotte.

Le présent rapport conclut l'enquête du Bureau de la sécurité des transports sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 8 juin 2016. Le rapport a été officiellement publié le 11 août 2016.

Visitez le site Web du Bureau de la sécurité des transports (www.bst.gc.ca) pour obtenir de plus amples renseignements sur le BST, ses services et ses produits. Vous y trouverez également la Liste de surveillance, qui énumère les problèmes de sécurité dans les transports qui posent les plus grands risques pour les Canadiens. Dans chaque cas, le BST a constaté que les mesures prises à ce jour sont inadéquates, et que le secteur et les organismes de réglementation doivent adopter d'autres mesures concrètes pour éliminer ces risques.