Transports Canada Transport Canada

NUMÉRO 1/2021

SÉCURITÉ AÉRIENNE — NOUVELLES

Dans ce numéro...

Le Coin de l'instructeur de SA — N

Le processus de supervision

Le défi de la navigation verticale

Affiche — Pilotes vol VFR de jour, n'y allez pas à l'aveuglette

TP 185F

Photo page couverture : iStock

Canada

Sécurité aérienne — Nouvelles est publiée par l'Aviation civile de Transports Canada. Le contenu de cette publication ne reflète pas nécessairement la politique officielle du gouvernement et, sauf indication contraire, ne devrait pas être considéré comme ayant force de règlement ou de directive.

Les lecteurs sont invités à envoyer leurs observations et leurs suggestions. Ils sont priés d'inclure dans leur correspondance leur nom, leur adresse et leur numéro de téléphone. La rédaction se réserve le droit de modifier tout article publié. Ceux qui désirent conserver l'anonymat verront leur volonté respectée.

Veuillez faire parvenir votre correspondance à l'adresse suivante :

Jim Mulligan, rédacteur
Sécurité aérienne — Nouvelles
Transports Canada (AARTT)
330, rue Sparks, Ottawa (Ontario) K1A 0N8
Courriel : TC.ASL-SAN.TC@tc.gc.ca
Tél. : 613-957-9914 Internet : www.tc.gc.ca/SAN

Droits d'auteur :
Certains des articles, des photographies et des graphiques qu'on retrouve dans la publication *Sécurité aérienne — Nouvelles* sont soumis à des droits d'auteur détenus par d'autres individus et organismes. Dans de tels cas, certaines restrictions pourraient s'appliquer à leur reproduction, et il pourrait s'avérer nécessaire de solliciter auparavant la permission des détenteurs des droits d'auteur. Pour plus de renseignements sur le droit de propriété des droits d'auteur et les restrictions sur la reproduction des documents, veuillez communiquer avec le rédacteur de *Sécurité aérienne —Nouvelles.*

Note : Nous encourageons les lecteurs à reproduire le contenu original de la publication, pourvu que pleine reconnaissance soit accordée à Transports Canada, *Sécurité aérienne — Nouvelles*. Nous les prions d'envoyer une copie de tout article reproduit au rédacteur.

Bulletin électronique :
Pour vous inscrire au service de bulletin électronique de *Sécurité aérienne — Nouvelles*, visitez notre site Web au www.tc.gc.ca/SAN.

Impression sur demande :
Pour commander une version papier (en noir et blanc), veuillez communiquer avec :

Le Bureau de commandes
Transports Canada
Tél. sans frais (Amérique du Nord) : 1-888-830-4911
Tél. : 613-991-4071
Courriel : MPS1@tc.gc.ca

Aviation Safety Letter is the English version of this publication.

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Transports (2021)

ISSN : 0709-812X
TP 185F

Table des matières

Page

Sondage de *Sécurité aérienne — Nouvelles* : Nous voulons votre opinion! 3
Le Coin de l'instructeur de SA — N 3
Le processus de supervision 4
Le défi de la navigation verticale 6
Rapports du BST publiés récemment 11
Affiche — Pilotes vol VFR de jour, n'y allez pas à l'aveuglette 38

Sondage de *Sécurité aérienne — Nouvelles* : Nous voulons votre opinion!

Transports Canada a créé le bulletin *Sécurité aérienne – Nouvelles (SA — N)* pour servir d'outil éducatif de sécurité et de sensibilisation aux membres du milieu de l'aviation. Nous voulons connaître votre opinion en tant que lecteur pour savoir si le contenu est pertinent, utile et conforme aux attentes en matière de sensibilisation à la sécurité.

Votre avis est important pour nous. Il nous permettra de continuer à améliorer le *SA — N*.

Toutes les réponses sont anonymes, et les données sont compilées pour fins de rapports. Il faut cinq minutes pour remplir le **sondage**.△

Le Coin de l'instructeur de *Sécurité aérienne — Nouvelles*

L'objectif du Coin de l'instructeur de *Sécurité aérienne – Nouvelles* est de permettre aux instructeurs de partager des expériences d'instruction/d'enseignement antérieures avec les lecteurs de *Sécurité aérienne – Nouvelles*.

L'article peut s'adresser à toute une gamme de lecteurs, d'instructeurs, d'élèves-pilotes, de pilotes privés, de pilotes de planeurs, d'ultralégers ou commerciaux. En fait, l'article peut s'adresser à tout type d'élève que pourrait rencontrer un instructeur pendant sa carrière, que ce soit pour l'obtention d'une licence ou d'une qualification. Le plus important est qu'une leçon ait été apprise grâce à cet article.

Il peut être simplement question d'assiettes et mouvements pour la formation d'un pilote privé, de qualification de vol de nuit, de qualification multi-IFR ou sur hydravion, de conseils pédagogiques pour les instructeurs… C'est à vous de choisir, pourvu que vous portiez votre chapeau d'instructeur lorsque vous rédigez l'article.

Il peut aussi s'agir de conseils pour améliorer la sécurité aérienne ou mieux se préparer à un vol.

Si vous voulez soumettre un article ou obtenir plus de renseignements, veuillez envoyer un courriel à l'adresse suivante : jim.mulligan@tc.gc.ca.

Merci à Michael Schuster pour le premier article de cette série. — Ed △

Le processus de supervision

par Michael Schuster, chef-instructeur, Aviation Solutions

Lors de l'un de nos récents cours de perfectionnement pour instructeurs de vol, un nombre exceptionnellement élevé d'instructeurs de vol de classes 1 et 2 étaient présents. Nous avons mis leurs efforts en commun dans le cadre d'une tâche spéciale. Nous leur avons posé une question, et leurs réponses ont été presque unanimes, qu'ils travaillent dans une petite ou une grande école.

Crédit photo : iStock

Nous leur avons posé la question suivante :

« Que voudriez-vous que les nouveaux instructeurs de vol connaissent sur le rôle qu'ils jouent pour appuyer le programme de supervision des instructeurs? »

Voici leurs réponses :

- Suivez les instructions données par votre chef-instructeur de vol (CIV) ou votre superviseur. Ces instructions, qu'elles figurent dans un manuel d'exploitation ou qu'elles soient données de vive voix, sont là pour une raison que vous ignorez peut-être encore.
- Donnez la formation conformément au programme, aux politiques, aux documents et aux procédures de l'école. Ces derniers ont été élaborés d'une certaine manière pour une raison précise. Si vous avez une idée pour les améliorer, veuillez en faire part à votre CIV afin qu'elle puisse être évaluée par une personne expérimentée. Si c'est une bonne idée, elle sera adoptée par tout le monde. Si elle présente un problème, le CIV expliquera la raison pour laquelle le changement ne peut avoir lieu.
- Qu'il s'agisse d'une exigence du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC) ou d'une exigence de l'entreprise, les deux sont tout aussi importantes. Les exigences de l'entreprise ont pour objectif de répondre aux exigences du RAC ou à d'autres enjeux qui ont été soulevés dans le passé. Si vous êtes incertain de la raison pour laquelle vous êtes tenu de faire quelque chose, il suffit de demander des précisions.
- Le CIV et les superviseurs sont là en tant que mentors et il est normal d'avoir des questions. N'hésitez pas à les poser dès que vous rencontrez un problème avec un

élève; ne croyez pas que vous devez le régler vous-même, cela peut entraîner un stress et des coûts inutiles.

- La supervision ne se résume pas à un vol de supervision. Elle comprend des séances d'information, des instructions préparatoires au sol avant vol, des cours au sol, de la planification de formation, des modalités administratives, et tout ce qui se passe dans le milieu des écoles de pilotage; les superviseurs soutiennent tous les aspects.
- La supervision doit s'articuler autour d'un dialogue continu plutôt qu'être un simple exercice du haut vers le bas. Prenez des initiatives, posez des questions et travaillez en équipe avec votre superviseur. Ensuite, lorsqu'on aura besoin de tenir une activité de supervision supplémentaire, ça ne représentera pas un gros problème.
- La Norme 426.22 (5)(b) du RAC exige la supervision de TOUS les instructeurs de vol, de toute classe, travaillant dans une unité de formation au pilotage. Deux vols de supervision pour les instructeurs de classe 4 constituent simplement un minimum. Le CIV détermine la façon dont la supervision se tiendra et son étendue, en fonction de divers facteurs. La pratique exemplaire dans l'industrie pour les nouveaux instructeurs est que chaque élève bénéficie d'un vol de supervision toutes les 10 heures. Au cours de ce vol, l'instructeur-superviseur effectue divers exercices et peut également enseigner un nouveau sujet.
- Les modalités administratives font partie intégrante du travail. Pour assurer le respect du RAC, vous devez porter une attention constante aux dossiers de formation du pilote, aux cahiers et aux demandes de licence. Cette procédure offre également une expérience de formation axée sur le service à la clientèle.

Tous ces éléments sont des indicateurs de votre professionnalisme en tant qu'instructeur de vol. Le métier d'instructeur comprend beaucoup d'aspects, et personne ne peut tout savoir. Toutefois, on s'attend à ce que les instructeurs connaissent et respectent les exigences fondamentales du RAC et de l'entreprise, qui permettent de créer un milieu de formation sécuritaire et efficace.

Veillez à maintenir un dialogue continu et ouvert avec votre superviseur, il est là pour vous guider. Si vous constatez que votre superviseur ne fournit pas l'orientation décrite ci-dessus, prenez le temps de poser des questions.

Une version de cet article a été publiée à l'origine sur aviationsolutions.net. *Michael Schuster est un instructeur de vol de classe 1 expérimenté qui a enseigné à tous les niveaux, des débutants aux pilotes de ligne. Il est chef-instructeur à Aviation Solutions, prestataire autorisé de cours de perfectionnement pour instructeurs de vol liés au renouvellement des qualifications.* △

Le défi de la navigation verticale

par Anthony MacKay, directeur, Opérations aériennes, NAV CANADA

Lorsque j'ai commencé à effectuer des vols en 1986, la définition applicable aux approches de précision et aux approches de non-précision était très simple. La précision était l'ILS et tout le reste s'appliquait à la non-précision où l'approche « à paliers » était la façon de gérer la verticale. Aujourd'hui, avec l'avènement de la RNAV, la ligne entre précision et non-précision est devenue floue. Prenez par exemple les approches suivantes :

Approches conventionnelles	Approches RNAV
• ILS • LOC • NDB • VOR	• LPV • RNP • L/V • LNAV/VNAV • LP • LNAV

Maintenant, énumérons-les selon leur capacité à fournir le guidage vertical électronique et le guidage vertical exécuté par le pilote par l'intermédiaire de la vitesse verticale ou de l'angle de la trajectoire de vol :

Approches avec guidage vertical	Approches sans guidage vertical
• ILS • LPV • RNP • L/V • LNAV/VNAV	• LOC • NDB • VOR • LP • LNAV*

*BARO-VNAV à service consultatif possiblement disponible

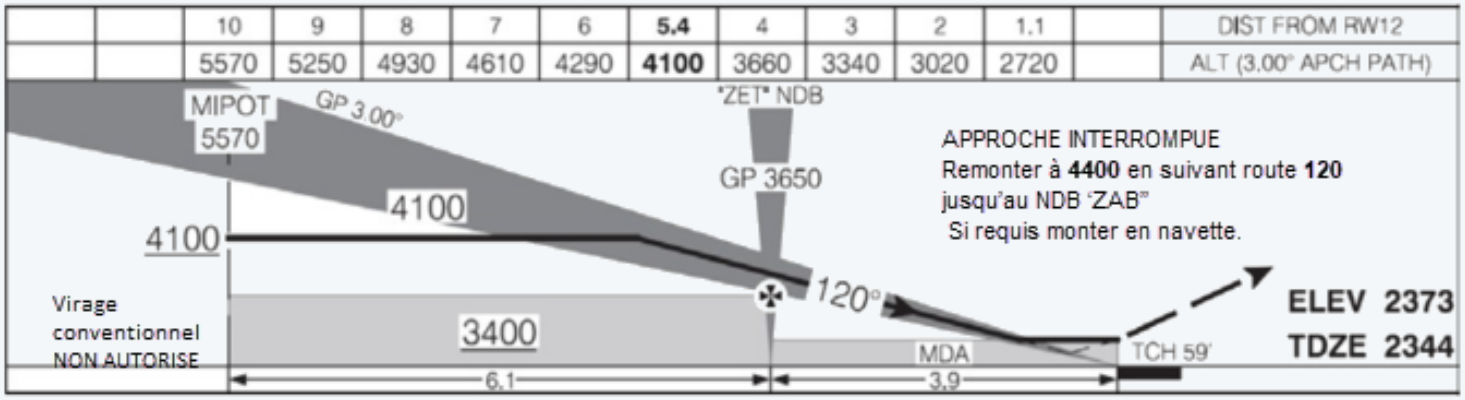
Les approches avec guidage vertical peuvent ensuite être réparties en approches qui fournissent le guidage vertical géométrique et celles qui fournissent le guidage vertical barométrique :

Guidage vertical géométrique	Guidage vertical barométrique
• ILS • LPV • L/V	• RNP • LNAV/VNAV • LNAV*

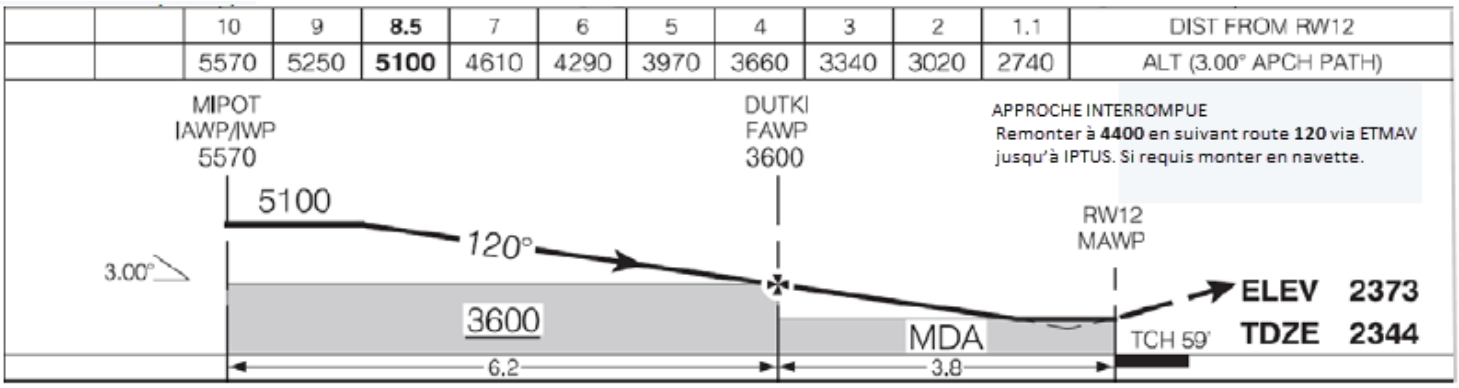
*Si la BARO-VNAV à service consultatif est utilisée

Le guidage vertical géométrique maintient un angle constant par rapport à la piste, peu importe les erreurs altimétriques causées par des températures non-ISA, des turbulences orographiques ou des erreurs de calage altimétrique. À titre d'exemple, durant l'hiver à -35 °C, lors d'une approche de type ILS ou LPV vers la piste 12 à Edmonton, l'aéronef, lorsqu'il se trouve sur l'alignement de descente, traverse le FAF à la bonne altitude vraie, mais l'altitude indiquée est supérieure à l'altitude normale. Durant l'été à 35 °C, pour un même vol, l'aéronef, lorsqu'il se trouve sur l'alignement de descente, traverse le FAF à la bonne altitude vraie, mais l'altitude indiquée est inférieure à l'altitude normale. Si les corrections de température ont été exécutées, cette situation sera anticipée.

ILS 12



RNAV 12 (LPV)

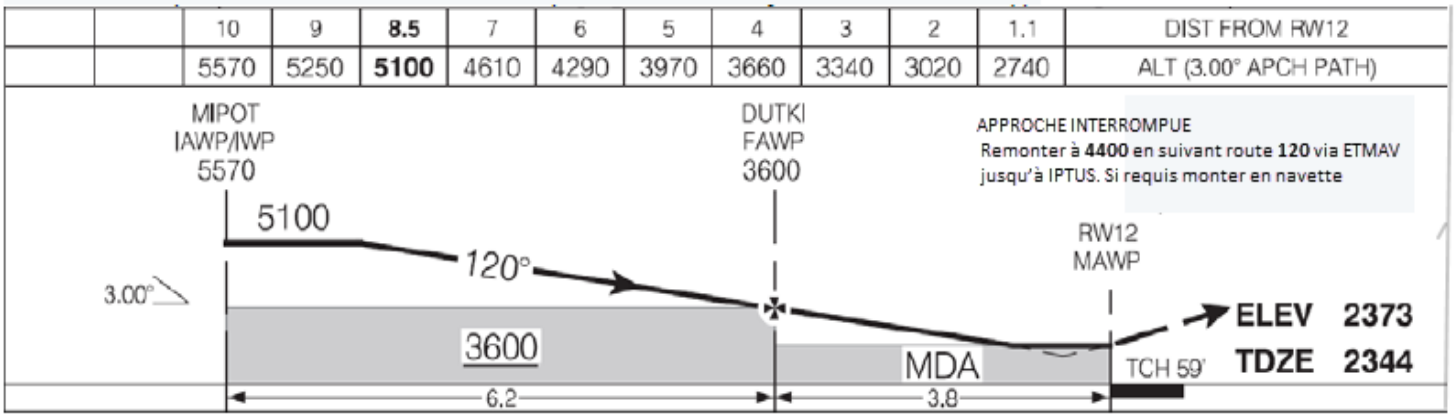


Altitude du FAF ISA et angle d'approche	Altitude indiquée à -35 °C et angle d'approche	Altitude indiquée à 35 °C et angle d'approche
ILS 3 650' et 3°	3 893' et 3°	3 548' et 3°
LPV 3 600' et 3°	3 833' et 3°	3 502' et 3°
L/V[1] 3 600' et 3°	3 833' et 3°	3 502' et 3°

[1] Les approches L/V utilisent la navigation latérale du GNSS et la navigation verticale du WAAS pour le guidage d'approche.

Le guidage vertical barométrique peut diminuer (par temps froid) ou accentuer (par temps chaud) l'angle d'approche relatif à la piste en raison d'erreurs altimétriques comme des températures non-ISA, des turbulences orographiques ou des erreurs de calage altimétrique. À titre d'exemple, durant l'hiver à -35 °C, lors d'une approche de type LNAV/VNAV ou LNAV (*avec BARO-VNAV à service consultatif) vers la piste 12 à Edmonton, l'aéronef, lorsqu'il se trouve sur la trajectoire verticale barométrique, traverse le FAF à la bonne altitude indiquée, mais l'altitude vraie est inférieure à l'altitude désignée. Durant l'été, à 35 °C, lors d'une approche de type LNAV/VNAV ou LNAV (*avec BARO-VNAV à service consultatif) vers la piste 12 à Edmonton, l'aéronef, lorsqu'il se trouve sur la trajectoire verticale barométrique, traverse le FAF à la bonne altitude indiquée, mais l'altitude vraie est supérieure à l'altitude désignée. Les procédures RNP utilisent les trajectoires verticales barométriques et sont assujetties aux mêmes erreurs. Les exemples ci-dessous illustrent l'effet sans l'application de compensation de température.

RNAV 12 (LNAV/VNAV ou LNAV (*avec BARO-VNAV à service consultatif))



Altitude indiquée du FAF ISA et angle d'approche	Altitude vraie à -35 °C et angle d'approche	Altitude vraie à 35 °C et angle d'approche
LNAV/VNAV 3 600' et 3°	3 367' et 2,5°	3 698' et 3,2°
LNAV* 3 600' et 3°	3 367' et 2,5°	3 698' et 3,2°

*Avec BARO-VNAV à service consultatif

La bonne nouvelle, c'est que si le système de gestion de vol comporte une fonction de compensation de température et qu'elle est utilisée, le FMS corrige la trajectoire verticale de l'aéronef pour des températures non standards et revient à l'altitude vraie et à l'angle d'approche appropriés. Actuellement les procédures d'aéronef sont élaborées pour la compensation de température et les températures froides, mais il existe très peu de guidage concernant les températures plus élevées qu'ISA lors d'approches. Pour les exploitants d'aéronefs qui utilisent un FMS non doté de compensation de température, les limites de températures froides se trouvent sur la carte d'approche, limitant ainsi l'utilisation de l'approche à des températures plus chaudes que celles de la limite publiée.

CATEGORY	A	B	C	D
LPV	**2600** (256) 1 RVR 50			
LNAV/VNAV (min.-34°C)	**2740** (396) 1 RVR 50			
LNAV	**2740** (396) 1 RVR 50			
CIRCLING	**2880** (507) 1½		**2880** (507) 2	**2980** (607) 2

Une autre bonne nouvelle est que Transports Canada exige que tous les nouveaux aéronefs dotés de BARO-VNAV du FMS soient dotés de la fonction de compensation de température. *« Les conceptions nouvelles ou mises à jour du FMS doivent permettre à un aéronef de suivre l'angle de trajectoire verticale vraie pour le segment d'approche finale, défini dans la base de données de navigation résidente, dans des conditions de température sous l'ISA. »* La circulaire d'information (CI) 500-020 de Transports Canada donne des renseignements supplémentaires.

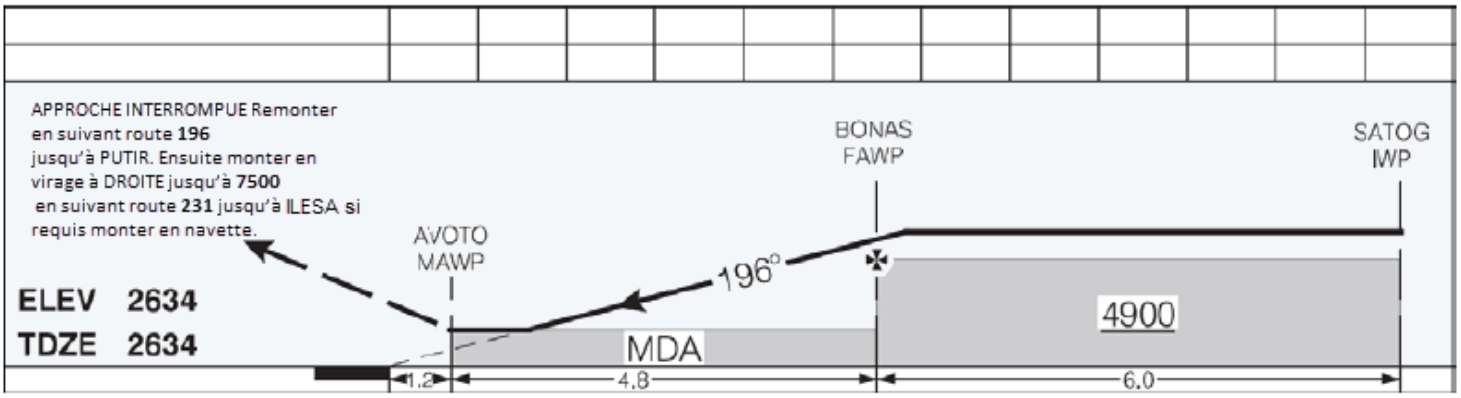
Dans le cas d'une trajectoire BARO-VNAV (RNP, LNAV/VNAV) avec un FMS qui n'utilise pas la fonction de compensation de température, l'utilisateur peut voir apparaître les indications PAPI suivantes lorsqu'il entre dans le segment visuel de l'approche.

ISA FAF Indicated Altitude and Approach Angle			True Altitude -35°C & Approach Angle & PAPI			True Altitude 35°C & Approach Angle & PAPI		
LNAV/VNAV	3600'	& 3°	3367'	& 2.5° &	■■■□	3698'	& 3.2° &	■□□□
LNAV*	3600'	& 3°	3367'	& 2.5° &	■■■□	3698'	& 3.2° &	■□□□

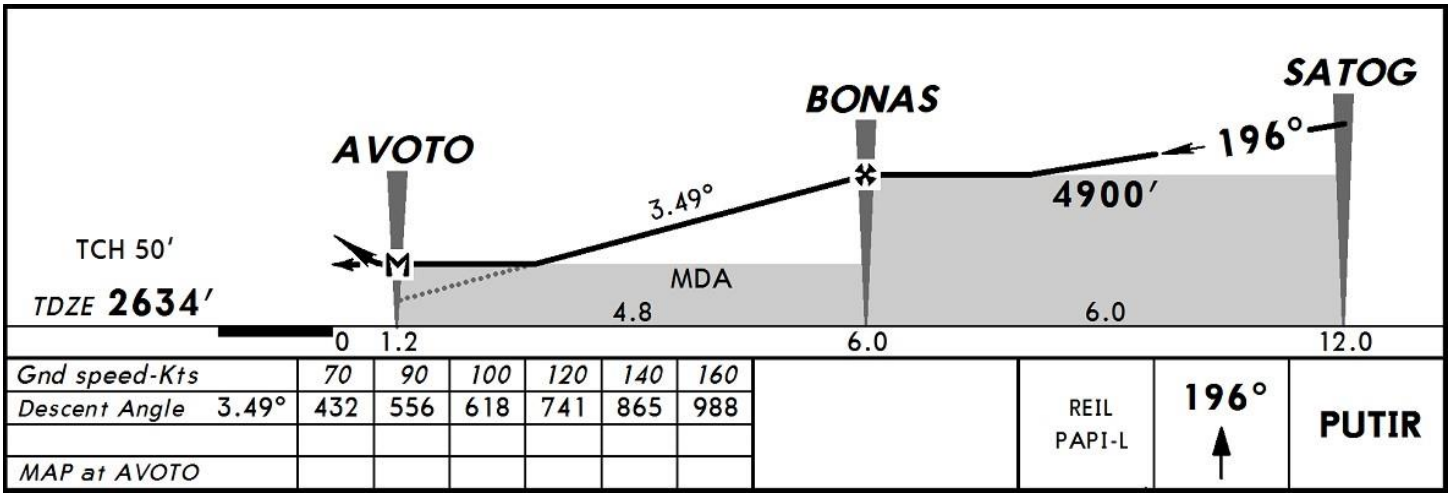
Il faut également faire preuve de prudence lors de vols en mode LNAV* avec la BARO-VNAV à service consultatif. La BARO-VNAV à service consultatif est tirée de l'altitude de seuil de piste +50' qui est projetée à la pente d'approche à 3° ou à l'angle plus prononcé nécessaire pour fournir une trajectoire de descente au-dessus de toutes les altitudes de descente en paliers dans le segment d'approche finale. L'aéronef est ainsi doté d'une trajectoire à suivre dans le segment aux instruments de l'approche qui autorise toutes les altitudes de descente en paliers et les obstacles aux minimums LNAV. Le segment visuel de l'approche de non-précision peut exiger un angle de descente différent selon le PAPI. Dease Lake, C.-B., en est un bon exemple. Le FMS a généré une trajectoire de 3,49° de BONAS à AVOTO à la piste 20.

Ecran FMS

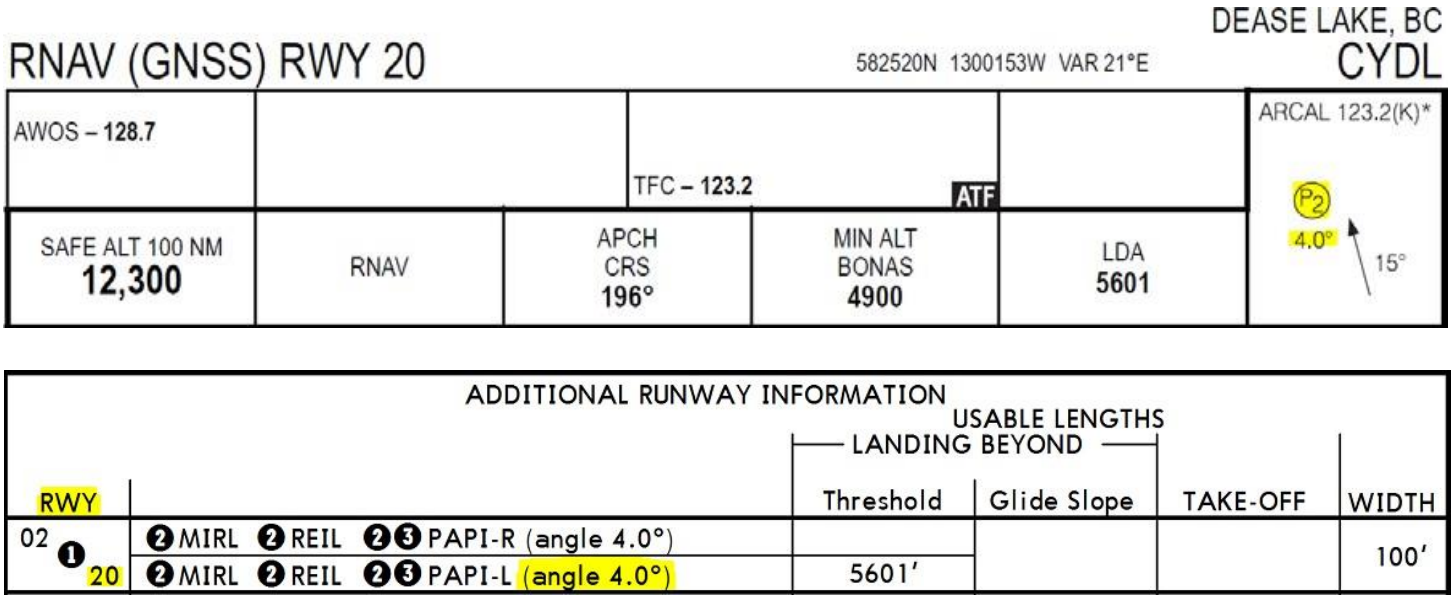
La carte du CAP ne donne aucune information de navigation verticale.



La carte Jeppesen montre une trajectoire de 3,49° qui correspond au codage du FMS.



Mais pour éliminer les obstacles dans le segment visuel de l'approche à la piste 20 à Dease Lake, il faut évoluer selon le PAPI à 4,0° dans le segment visuel de l'approche.



Si une procédure LNAV est complantée avec une procédure ILS, LPV, RNP ou LNAV/VNAV, le segment visuel de l'approche est protégé sur la trajectoire BARO-VNAV. Si la procédure LNAV est une procédure autonome, comme dans l'exemple de Dease Lake, le PAPI fournit la protection d'obstacles du segment visuel.

Finalement, si une technique SCDA est utilisée (VS ou FPA) dans les procédures LP, LNAV, LOC, NDB ou VOR, il faut respecter les exigences de la circulaire d'information 700-028 de Transports Canada.

Rapports du BST publiés récemment

NDLR : Les résumés suivants sont extraits de rapports finaux publiés par le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST). Ils ont été rendus anonymes. À moins d'avis contraire, les photos et illustrations proviennent du BST. Pour nos lecteurs qui voudraient lire le rapport complet, les titres d'accidents ci-dessous sont des hyperliens qui mènent directement au rapport final sur le site Web du BST.

Rapport final du BST A19P0187 — Collision avec le relief

Contexte

Le vol à l'étude a été effectué au nom de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) du département du Commerce des États-Unis dans le cadre du programme d'aéronefs du Global Greenhouse Gas Reference Network. Le programme recueille des échantillons d'air à des altitudes et à des endroits spécifiés en Amérique du Nord et les stocke pour analyse ultérieure.

Déroulement du vol

Le 21 décembre 2019, l'aéronef Cessna 172H d'immatriculation privée effectuait un vol selon les règles de vol à vue (VFR) à partir de l'aéroparc Courtenay (CAH3), en Colombie-Britannique, avec seulement le pilote à bord. Peu de temps après son départ de CAH3, l'aéronef est apparu sur le radar à 11 h 32, franchissant 1 900 pi ASL. À 12 h 03, l'équipage de conduite a mis l'avion en palier à 17 400 pi ASL. Pendant les 15 min suivantes, il a suivi la trajectoire de vol prévue pour la mission d'échantillonnage de l'air selon une trajectoire conforme aux vols précédents d'échantillonnage de l'air, y compris un changement de code de transpondeur à 12 h 14.

Lorsque l'aéronef a atteint 9 500 pi ASL à 12 h 17, il n'a pas été mis en palier pour effectuer l'échantillonnage comme il était prévu. Au lieu de cela, il a franchi 9 500 pi ASL en descente sur une route stable en direction sud-ouest, et a poursuivi sa descente pendant 4 min à une vitesse sol de 80 à 100 kt et à une vitesse moyenne de 1 800 pi/min, jusqu'à ce qu'il ne soit plus visible à l'écran radar. Le dernier écho radar a été capté à 2 800 pi ASL. Il n'y avait aucune indication selon laquelle des communications radio seraient provenues de l'aéronef.

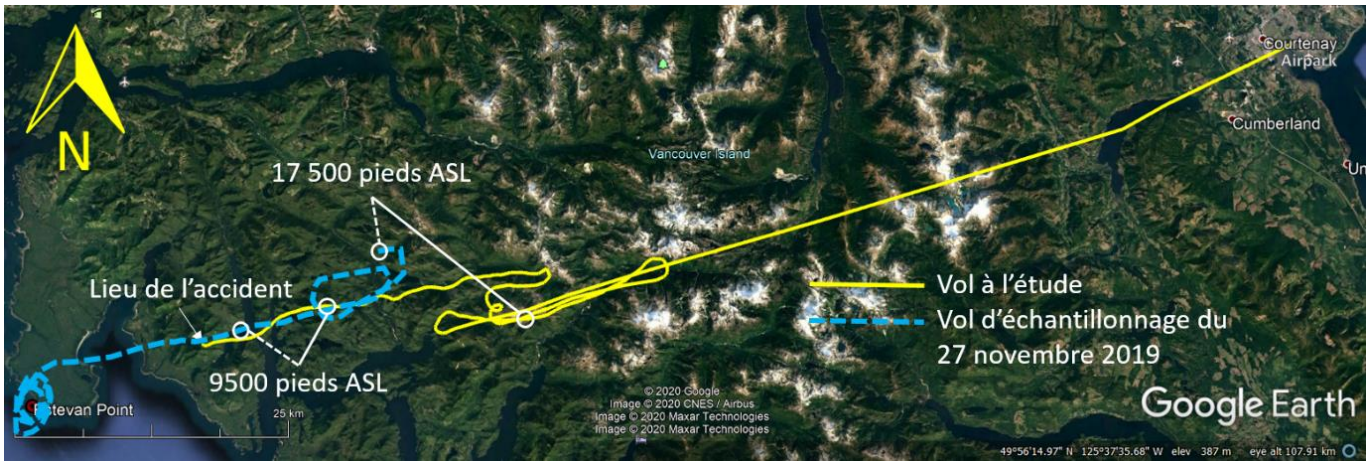


Figure 1. Trajectoires du vol à l'étude et du vol d'échantillonnage précédent, d'après les données du GPS de NAV CANADA et de la National Oceanic and Atmospheric Administration (Source : Google Earth, avec annotations du BST)

Remarque : Les données de vol pour le vol du 27 novembre proviennent du GPS de la NOAA, qui ne saisit que les données du 1er au dernier échantillon.

Le GPS (système de positionnement mondial) de l'équipement d'échantillonnage de la NOAA à bord de l'aéronef a indiqué que ce dernier s'est immobilisé à 12 h 22 (figure 1). Il avait heurté des arbres et avait percuté le sol près du bras Stewardson (Colombie-Britannique). Le pilote a subi des blessures mortelles. L'aéronef a été détruit. Aucun incendie ne s'est déclaré après l'impact.

Lorsque le pilote n'est pas rentré chez lui au moment prévu, des recherches terrestres et aériennes ont été lancées. On a appelé le service de police local à peine moins de quatre heures après l'accident, et environ cinq heures et demie se sont écoulées entre le moment de l'accident et le moment où le Centre conjoint de coordination des opérations de sauvetage de Victoria a été avisé d'un aéronef possiblement disparu. La radiobalise de repérage d'urgence (ELT) de l'aéronef de 121,5 MHz a émis un signal qui a aidé l'aéronef de recherche et sauvetage (SAR) à trouver le lieu de l'événement vers 20 h. En raison de la mauvaise visibilité, des nuages et des pluies abondantes, le personnel de SAR n'a pu se rendre sur les lieux avant le lendemain matin.

Renseignements sur le pilote

Le pilote détenait un permis de pilote de loisir et était titulaire d'un certificat médical valide de catégorie 4. Le permis était valide pour les avions et hydravions monomoteurs, dans des conditions VFR de jour. De plus, le pilote détenait une licence de pilote de planeur délivrée initialement en 1995.

Renseignements sur l'épave et sur l'impact

L'épave a été retrouvée à environ 2 600 pi ASL sur le flanc abrupt et densément boisé d'une montagne, à 31 milles marins (NM) au nord-ouest de l'aéroport de Tofino/Long Beach (CYAZ), en Colombie-Britannique. (figure 2).

Figure 2. Lieu de l'événement le 12 février 2020, vue vers l'ouest (Source : BST)

Quelques cimes et branches d'arbres ont été brisées. Au lieu où l'événement s'est produit, les arbres avaient une hauteur moyenne d'environ 150 pi; l'écorce des arbres se trouvant le plus près de l'aéronef portait des marques sur les 60 pi inférieurs,

principalement sur les côtés faisant face à l'est-sud-est; la trajectoire de vol de l'aéronef jusqu'au lieu de l'événement à partir du CAH3 était d'est-nord-est. Les marques sont conformes à la trajectoire du GPS de la NOAA, qui montrait que l'aéronef avait effectué un virage vers la droite au cours des 20 dernières secondes de vol.

Les bouchons des deux réservoirs d'aile étaient fixés; les deux réservoirs d'aile ont été endommagés et aucun carburant n'a été trouvé dans les réservoirs. L'odeur qui demeurait dans les réservoirs de carburant correspondait à celle de l'essence automobile. Le sélecteur de carburant était réglé à BOTH. Une note trouvée sur la planche à genoux du pilote sur les lieux de l'événement indiquait que l'aéronef avait quitté CAH3 avec 87 l (23 gal US) de carburant. Un vol d'échantillonnage d'air typique consommerait environ 50 l (13 gal US) de carburant.

L'hélice à pas fixe en aluminium est restée fixée au vilebrequin du moteur. Les deux pales des hélices étaient pliées en forme de S et une pale était très endommagée sur le bord d'attaque. Le capot d'hélice avait été écrasé. Ces indications concordent avec l'hélice qui tournait et le moteur qui produisait de la puissance au moment de l'impact.

L'aéronef était muni d'une bouteille d'oxygène à laquelle était reliée une canule nasale. La soupape de la bouteille d'oxygène était en position OFF et il restait environ 500 lb/po^2.

Les tubes du volant de commande de gauche et de droite ont été cassés à 6 po de leur volant de contrôle respectif, ce qui est conforme au fait qu'ils étaient pleinement tirés, ou que la gouverne de profondeur était dans une position de cabrage.

Les volets étaient entièrement rentrés et le compensateur de profondeur a été trouvé en position neutre. Comme le moteur était partiellement éloigné de la cellule de l'aéronef, il a été impossible de déterminer les positions des commandes du moteur, de la chaleur du carburateur, de la manette de poussée et de richesse du mélange au moment de l'impact. L'aéronef était équipé d'un circuit de réchauffage de tube de Pitot; toutefois, en raison de la nature de l'impact, il a été impossible de déterminer la position de l'interrupteur avant l'accident.

Renseignements sur l'aéronef

L'aéronef dans l'événement à l'étude était un Cessna 172H fabriqué par la Cessna Aircraft Corporation en 1967. À l'origine, il était équipé d'un moteur de 145 hp. En février 2006, le moteur a été mis à niveau; il a été remplacé par un moteur de 180 hp conformément au certificat de type supplémentaire (STC) SA4428SW. L'aéronef n'était pas certifié pour le vol dans des conditions météorologiques de vol aux instruments ni dans des conditions givrantes connues.

Le carburant utilisé dans l'aéronef était un mélange de carburant d'aviation 100LL et d'essence automobile. L'enquête a permis d'établir que ce mélange de carburant avait été utilisé par le pilote depuis de nombreuses années. Il existe un STC sur l'essence automobile pour cette cellule et ce moteur; toutefois, les dossiers techniques de l'aéronef n'indiquaient pas que ce STC avait été obtenu.

Les dossiers indiquent que l'aéronef était équipé et entretenu conformément à la réglementation en vigueur.

Renseignements météorologiques

La station d'observation météorologique pour l'aviation la plus proche du lieu de l'événement se trouve à CYAZ, à 31 NM, au sud-est. Un message d'observation météorologique spéciale d'aérodrome (SPECI) a été émis à 12 h 25 et indiquait ce qui suit :

- vents calmes;
- visibilité de 10 milles terrestres (SM) avec des averses de pluie;
- nuages épars à 2 500 pi au-dessus du sol (AGL), plafond de nuages fragmentés à 3 000 pi AGL, y compris des cumulonimbus et une couverture nuageuse à 4 700 pi AGL;
- température 6 °C, point de rosée 5 °C;
- calage altimétrique 29,75 inHg.

Les prévisions locales graphiques (LGF) publiées le 21 décembre à 9 h 46 et valides à 10 h montraient, pour le secteur où s'est produit l'événement, des plafonds de cumulus fragmentés de 2 000 à 4 000 pi ASL, avec des sommets à 12 000 pi ASL et une visibilité qui devait être supérieure à 6 SM. Les prévisions comprenaient des cumulus bourgeonnants occasionnels avec des sommets à 22 000 pi ASL et des visibilités de 4 à plus de 6 SM dans de légères averses de pluie et de la brume. Des plafonds fragmentés étaient prévus de 800 à 1 500 pi AGL avec une visibilité locale de 2 SM dans de légères averses de pluie et de la brume. De plus, les LGF pour le secteur où s'est produit l'événement comprenaient des cumulus bourgeonnants et de fréquents cumulonimbus isolés avec des sommets à 26 000 pi ASL et une visibilité de 2 SM dans des orages et de la pluie avec des rafales pouvant atteindre 30 kt. Le niveau de congélation prévu était d'environ 2 500 pi ASL.

Des foudroiements ont été enregistrés près du lieu de l'événement entre 10 h et 13 h et des nuages à développement vertical ont été observés sur l'imagerie satellitaire météorologique juste au sud du lieu de l'événement.

Les dangers associés aux cumulus bourgeonnants et aux cumulonimbus sont les suivants : les tornades, la turbulence, les lignes de grains, les microrafales, les courants ascendants et descendants violents, le givrage, la grêle, les éclairs, les parasites atmosphériques, les fortes précipitations, les faibles visibilités et les plafonds bas.

Le *Manuel d'information aéronautique de Transports Canada* (AIM de TC) décrit plusieurs baisses de rendement lorsque de la glace s'accumule sur diverses surfaces de l'aéronef. La glace sur les ailes peut réduire la portance, accroître la traînée et réduire l'angle de décrochage de l'aile. La présence de glace sur l'hélice peut réduire l'efficacité et créer des vibrations à cause d'un déséquilibre. La glace sur le pare-brise peut réduire ou obstruer complètement la vue vers l'avant.

Messages de sécurité

Dans l'événement à l'étude, l'aéronef volait dans un secteur où l'on prévoyait des nuages de convection, du givrage et des conditions météorologiques de vol aux instruments. Bien que l'enquête n'ait pu déterminer si l'un de ces facteurs avait eu une incidence sur le vol à l'étude, il est important que les pilotes évaluent toutes les données météorologiques disponibles avant le départ, planifient d'autres trajectoires et respectent en tout temps les limites de leur aéronef et des privilèges conférés par leurs licences ou permis.

Rapport final du BST A19Q0128— Perte de maitrise et collision avec le relief

Renseignements de base

Déroulement du vol

À 15 h 55, le 29 juillet 2019, l'aéronef Beechcraft Bonanza V35B a décollé de l'aéroport régional de Wittman (KOSH), au Wisconsin (États-Unis), pour un vol de jour selon les règles de vol à vue (VFR) à destination de l'aéroport municipal de Danbury (KDXR), au Connecticut (États-Unis), avec seulement le pilote à bord. Dans les minutes qui ont suivi, l'aéronef a effectué un virage à environ 15° au nord d'une trajectoire de vol directe vers KDXR. À 16 h 10, l'aéronef a franchi 10 000 pi au-dessus du niveau de la mer (ASL) en montée et s'est stabilisé à environ 11 500 pi ASL. Durant le vol, l'aéronef déviait vers le nord et n'a jamais retrouvé une trajectoire ou un cap vers la destination d'origine (figure 1).

À 17 h 27, juste avant d'entrer dans l'espace aérien canadien, le pilote a communiqué avec le Centre de contrôle régional (ACC) de Toronto et a indiqué au contrôleur que, dans 20 milles marins (NM), il effectuerait un virage à 90° vers la droite pour reprendre sa trajectoire vers KDXR. Le contrôleur de l'ACC de Toronto a répondu qu'un front solide d'orages et d'éclairs était visible sur le radar, et qu'il ne pouvait fournir aucune indication sur la meilleure route à prendre. Le pilote a accusé réception des renseignements météorologiques et a déclaré qu'il

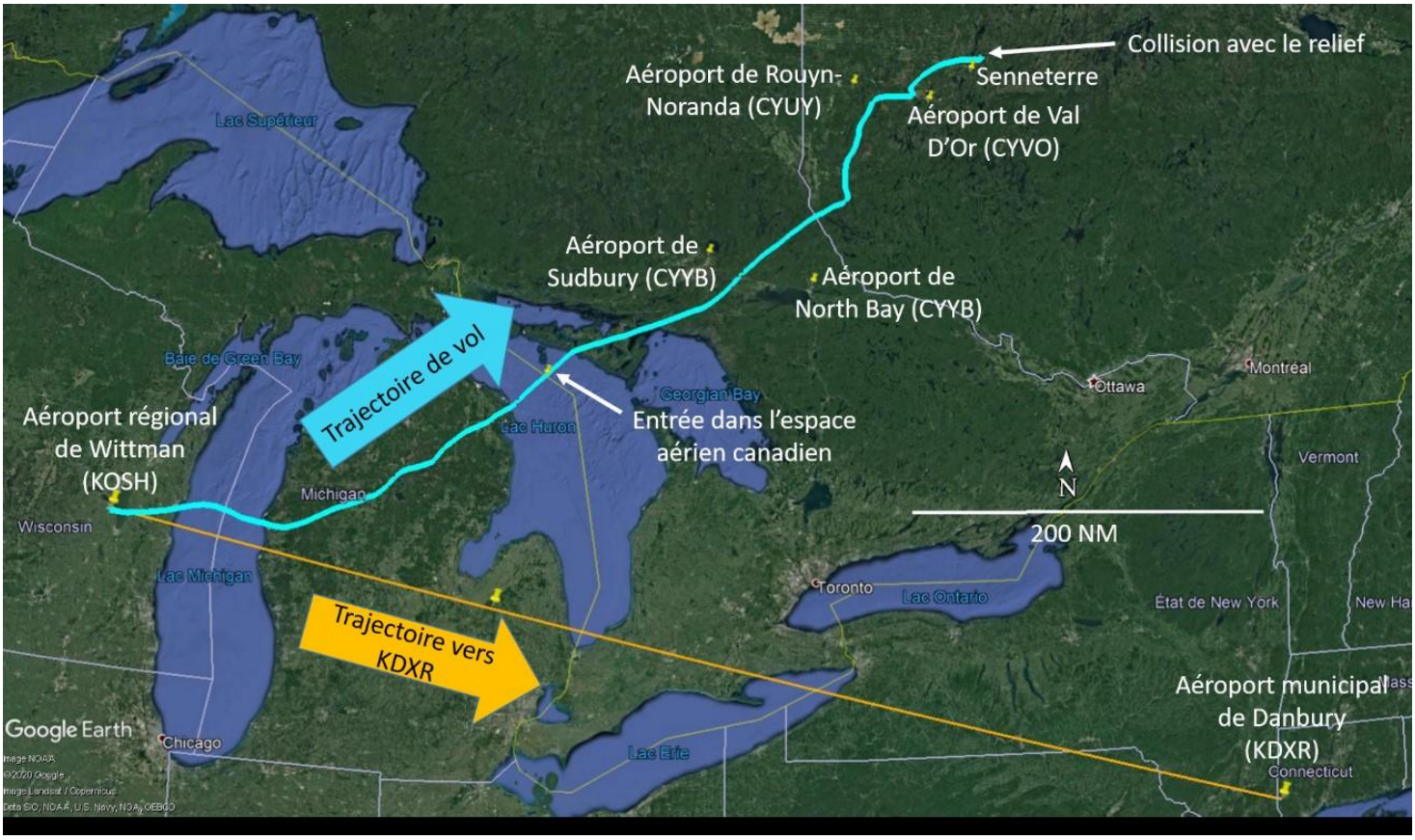


Figure 1. La trajectoire de vol de l'aéronef (ligne turquoise épaisse) et la trajectoire directe de l'aéroport régional de Wittman à l'aéroport municipal de Danbury (ligne mince orange) (Source : Google Earth, avec annotations du BST)

avait les données radar météo sous les yeux. Après avoir atteint la rive nord du lac Huron, en Ontario, l'aéronef a tourné vers le nord-nord-est et est passé entre deux aéroports canadiens : l'aéroport de Sudbury (CYSB) (Ontario), à environ 20 NM à sa gauche, et l'aéroport de North Bay (CYYB) (Ontario), à environ 30 NM à sa droite.

À 18 h 24, le pilote a amorcé une descente à partir d'une altitude de 11 500 pi ASL et, 4 min plus tard, l'aéronef est passé au-dessous de 10 000 pi ASL. À 18 h 37, alors que l'aéronef survolait la province de Québec, le contrôleur de l'ACC de Toronto a informé le pilote que les services radar prenaient fin et lui a donné pour instruction de communiquer avec l'ACC de Montréal.

À 18 h 42, l'aéronef était descendu à 7 500 pi ASL et le pilote a communiqué avec l'ACC de Montréal. Comme d'autres aéronefs volaient dans la région, le contrôleur a demandé au pilote s'il était familier avec les aéroports de Rouyn-Noranda (CYUY) ou de Val-d'Or (CYVO), tous deux situés au Québec, qui étaient à proximité. Le pilote a répondu qu'il ne les connaissait pas.

Les communications radio entre le pilote et le contrôleur de l'ACC de Montréal étaient limitées et n'ont révélé aucun signe indiquant que le pilote était en détresse. En raison des limites de la couverture radar au-dessous de 8 000 pi ASL dans la zone, le contrôleur n'a pas pu maintenir le contact radar avec l'aéronef à l'étude. Par conséquent, à 18 h 44, le contrôleur de l'ACC de Montréal a fourni le calage altimétrique pour CYVO, puis a autorisé le pilote à passer à une fréquence en route. Le pilote a répondu en répétant le calage altimétrique pour CYVO. Il n'y a pas eu d'autres transmissions de la part du pilote.

Vers 19 h 06, l'avion a survolé Senneterre (Québec), à une altitude de 7 000 pi ASL. Environ 3 min plus tard, l'aéronef a franchi 7 500 pi ASL dans une montée graduelle. À ce moment, l'aéronef volait à une vitesse corrigée (KCAS) de 160 kt, en direction est. L'aéronef a ensuite amorcé un virage lent vers la gauche à 1,45° par seconde pendant environ 75 s, qui s'est accentué à 4,36° par seconde pendant 33 s de plus. À 19 h 10, le virage à gauche s'est poursuivi en descente, et la descente vers la gauche a continué jusqu'à ce que l'aéronef atteigne 7 200 pi ASL.

Après avoir viré à environ 250° vers la gauche, l'aéronef a immédiatement amorcé un virage ascendant à droite et sa vitesse a diminué à environ 100 KCAS alors qu'il remontait jusqu'à environ 7 900 pi ASL. Pendant que le virage à droite se poursuivait, l'aéronef a commencé à descendre, le virage à droite s'est accentué et la vitesse et le taux de descente de l'aéronef ont augmenté rapidement. À 19 h 12, l'aéronef a percuté le relief dans une zone fortement boisée, à environ 7 NM au nord-est de Senneterre, à 452 NM de KDXR.

Plus tard ce soir-là, peu après l'heure d'arrivée prévue de l'aéronef à KDXR, la famille du pilote a signalé l'aéronef disparu aux autorités américaines. Les autorités américaines ont alors communiqué avec les services canadiens de contrôle du trafic aérien (ATC). À 23 h 31, le Centre conjoint de coordination de sauvetage (JRCC) de Trenton (Ontario) a été avisé que l'aéronef avait disparu et a entrepris des opérations de recherche et de sauvetage (SAR). Le lieu de l'accident a été localisé 4 jours plus tard, le 2 août 2019.

Renseignements sur le personnel

Le pilote possédait les licences et les qualifications requises pour effectuer le vol, conformément à la réglementation en vigueur de la Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis.

Le pilote avait 20 ans d'expérience comme pilote d'aviation générale et volait de 100 à 150 heures par année environ.

Renseignements sur l'aéronef

Généralités

Le modèle 35 Bonanza est un monoplan monomoteur à aile basse avec train d'atterrissage rétractable. Il se distingue par son empennage papillon, ou empennage en V, qui combine les gouvernes de profondeur et de direction. L'aéronef à l'étude (figure 2) était un modèle Bonanza V35B, fabriqué en 1980. Le pilote dans l'événement à l'étude avait acheté l'aéronef en 2001.

Les dossiers indiquent que l'aéronef était homologué, équipé et entretenu conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures approuvées.

Figure 2 : Aéronef de l'événement à l'étude
(Source : BST, avec permission d'une tierce partie)

Caractéristiques du Beechcraft Bonanza en piqué en spirale

Un piqué en spirale est un virage serré en descente raide alors que l'assiette en piqué de l'appareil est très accentuée. Un piqué en spirale est caractérisé par un angle d'inclinaison excessif, une augmentation rapide de la vitesse et du taux de descente, et une augmentation des facteurs de charge.

Le cours Approved Bonanza Recurrent Course de Beechcraft Pilot Proficiency Program, Inc. comprend une démonstration des caractéristiques de spirale de l'aéronef, la technique de récupération et la pratique de cette technique par l'étudiant. La démonstration du piqué en spirale est expliquée dans un document et ce dernier fournit les renseignements suivants [traduction] :

La démonstration du piqué en spirale montre le résultat probable si l'aéronef adopte une assiette fortement inclinée, mais que le pilote ne maintient pas l'altitude et la vitesse. Les spirales sont en général le résultat d'une désorientation, d'une défaillance de l'altimètre, de fortes turbulences ou d'un orage, ou encore d'un manque d'attention, surtout dans les conditions de vol aux instruments. Elles sont le résultat naturel d'un avion qui est stable en tangage, mais de stabilité neutre ou instable en roulis. Les aéronefs à piston Beech ont cette caractéristique. […]

> *Maintenant, inclinez l' avion en un fort roulis et lâchez les commandes. L' aéronef commencera immédiatement à accélérer et à descendre, avec une vitesse vraie et une vitesse verticale qui augmentent rapidement. Il n' a pas tendance à se rétablir, mais tente plutôt de revenir à la vitesse commandée en se cabrant. Cela resserre simplement la spirale et augmente le facteur de charge.*

Renseignements météorologiques

Généralités

L'enquête n'a pas permis de déterminer si le pilote avait obtenu des renseignements météorologiques avant son départ ou, le cas échéant, quels renseignements il avait obtenus. Cependant, au moment du départ, les conditions météorologiques à KOSH étaient propices au vol VFR.

Une analyse météorologique de la région et du jour de l'accident a permis de déterminer qu'un front irrégulier d'averses et d'orages s'étendait du Michigan au centre de l'Ontario et à l'ouest du Québec, et se déplaçait vers l'est à une vitesse d'environ 25 à 30 kt. L'analyse a permis de conclure que près des orages et des fortes averses, la visibilité chutait à 1½ mille terrestre (SM) et le plafond chutait à 700 pi au-dessus du niveau du sol (AGL). L'aéronef a longé le front d'averses et d'orages (figure 3).

Conditions météorologiques près du lieu de l'accident

Les orages ont atteint CYUY vers 16 h et CYVO vers 17 h 45. À 18 h 45, l'aéronef se trouvait à l'est de CYUY et volait vers CYVO à 7 500 pi ASL. Les orages ont atteint le lieu de l'accident vers 18 h 50. À 19 h, l'aéronef se trouvait à environ 20 NM au nord de CYVO, la station météorologique la plus proche du lieu de l'accident; l'accident s'est produit à 19 h 12. Le soleil s'est couché à 19 h 56.

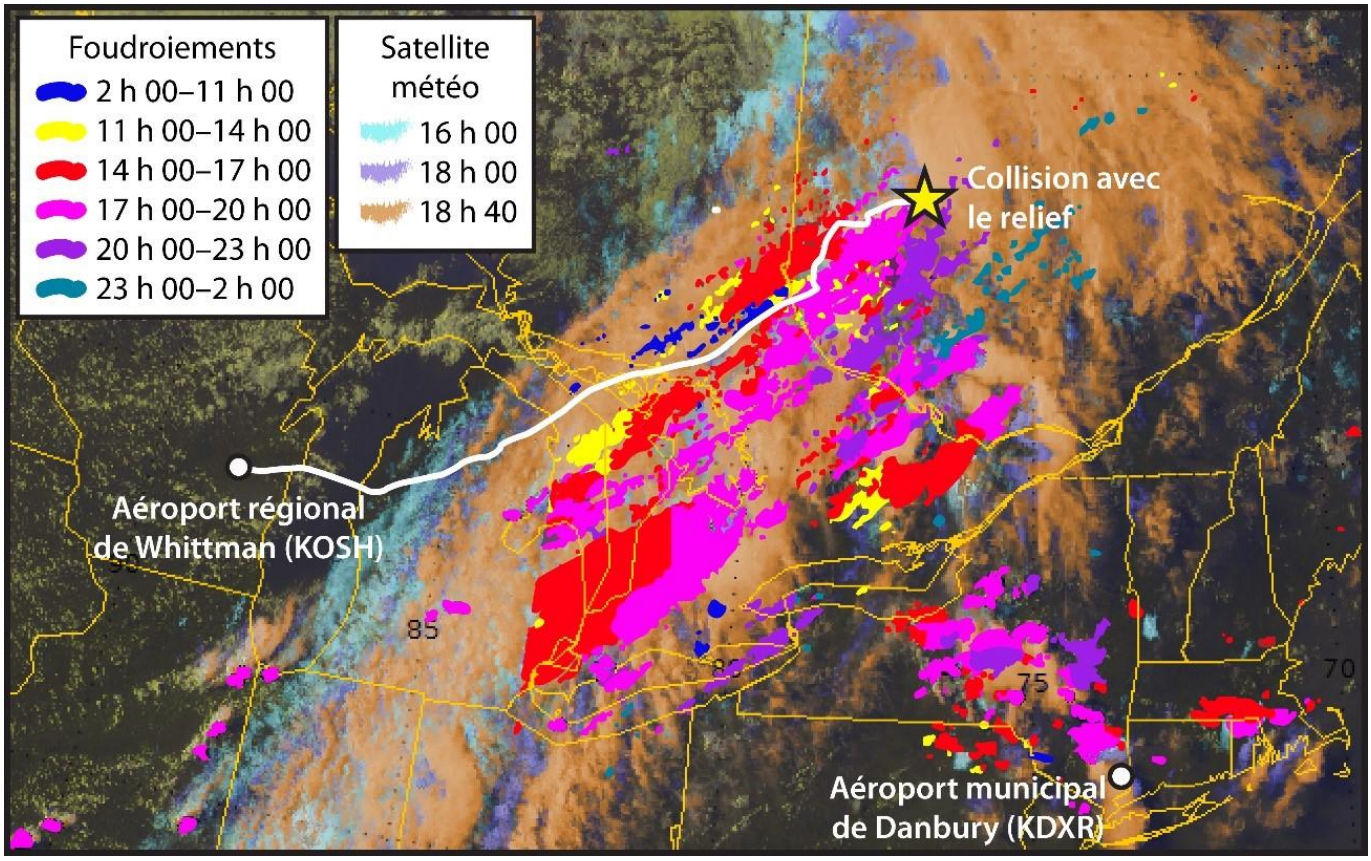


Figure 3. Trajectoire de vol superposée aux images satellites multispectrales visibles aux environs de l'heure de l'événement, le 29 juillet 2019. Les foudroiements détectés au cours des 24 dernières heures sont indiqués par un code de couleur. Le lieu de départ (KOSH), la destination prévue (KDXR) et le lieu de la collision avec le relief sont également indiqués. (Source : Environnement et Changement climatique Canada)

L'enquête n'a pas permis de déterminer les conditions météorologiques exactes dans lesquelles le pilote est entré. Toutefois, il est probable que le pilote est entré dans des conditions météorologiques semblables à celles signalées à CYVO, en raison de sa proximité.

Aides à la navigation

Selon les dossiers de NAV CANADA, il n'y a eu aucune anomalie signalée ni aucune interruption de maintenance prévue des aides à la navigation pour la région englobant la trajectoire de vol dans les régions d'information de vol de Toronto et de Montréal.

Renseignements sur l'épave et sur l'impact

Le site de l'événement se trouvait dans une zone fortement boisée à 48° 28′19″N, 077° 02′52″O, à plus de 350 NM au nord de la trajectoire prévue de KOSH à KDXR, et à 452 NM de KDXR. L'aéronef a percuté des arbres à vitesse élevée, 32 pi avant la collision avec le terrain et à un angle d'environ 30° sous l'horizon. Les débris s'étendaient sur environ 85 pi.

La plupart des pièces de l'aéronef, y compris les ailes et l'empennage papillon, se trouvaient sur les lieux de l'événement. Le moteur a été retrouvé dans un cratère d'environ 6 à 10 pi de profondeur. Le moteur, le système de carburant de l'aéronef, les commandes de vol, le tableau de bord, les sièges du poste de pilotage et les ceintures de sécurité ont tous été trouvés lourdement endommagés et très fragmentés. Par conséquent, il a été impossible d'établir la continuité des commandes de vol et des commandes du moteur. De plus, il n'a été possible de déterminer la position d'aucun des interrupteurs des instruments. Le moyeu de l'hélice a été brisé en morceaux.

L'examen du site et de l'épave a montré qu'il n'y a pas eu de rupture ou de séparation en vol de l'aile ou de l'empennage papillon. L'enquête n'a permis de déceler aucune défaillance matérielle ou défectuosité d'un composant avant l'impact.

Radiobalise de repérage d'urgence

L'aéronef à l'étude était équipé d'une radiobalise de repérage d'urgence (ELT) capable d'émettre sur les fréquences de 121,5 MHz et de 243 MHz, qui a été détruite au moment de l'impact. En raison de l'ampleur des dommages, on n'a pu effectuer aucun essai fonctionnel sur l'unité.

Renseignements supplémentaires

Vol selon les règles de vol à vue dans des conditions météorologiques de vol aux instruments

Les données du BST sur les accidents montrent que le maintien du vol VFR dans des conditions météorologiques défavorables ou des conditions météorologiques de vol aux instruments (IMC) représente une menace importante pour la sécurité aérienne. Un vol VFR qui se poursuit dans des IMC expose le pilote à un risque d'accident causé par une perte de maîtrise ou un impact sans perte de contrôle.

Le BST a examiné ses données afin de déterminer le nombre d'accidents dans lesquels des pilotes en vol VFR sont entrés dans des IMC. De 1992 à 2019, on a recensé 168 accidents et 205 pertes de vies.

Désorientation spatiale

La désorientation spatiale se définit comme étant l'incapacité du pilote [traduction] « d'interpréter correctement l'assiette, l'altitude ou la vitesse anémométrique de l'aéronef par rapport à la Terre ou à d'autres points de référence ».

Tous les humains requièrent et reçoivent des renseignements sensoriels du système visuel (les yeux), du système vestibulaire (les organes d'équilibre dans l'oreille interne) et du système proprioceptif (connu sous le nom de « pilotage par sensation » — les récepteurs de pression dans tout le corps qui contribuent au sens général de l'orientation). Les humains traitent les renseignements provenant de ces systèmes pour déterminer leur position dans le temps et l'espace, et par rapport à la surface de la Terre. Malheureusement, les humains sont sensibles aux illusions visuelles ou vestibulaires, qui peuvent influer sur la façon dont une personne interprète l'information reçue, vue ou ressentie, ce qui peut entraîner une désorientation spatiale. Les illusions visuelles ou vestibulaires pertinentes à cette enquête comprennent l'illusion d'inclinaison, l'effet de Coriolis et la spirale de la mort (piqué en spirale).

- L'illusion d'inclinaison est une illusion courante selon laquelle, lorsqu'il revient en vol rectiligne et en palier après un roulis ou un virage prolongé, le pilote peut percevoir un virage dans la direction opposée. La désorientation spatiale [traduction] « peut se produire lorsque le mouvement est inférieur au seuil sensoriel pour le canal semi-circulaire (de 0,2 à 8 degrés par seconde), particulièrement pendant un mouvement de rotation lent ».
- L'effet de Coriolis se produit lorsque l'aéronef fait un mouvement de roulis ou de virage prolongé et que le pilote déplace brusquement sa tête dans un autre plan que le plan de rotation de l'aéronef (p. ex., vers le bas ou vers l'arrière). La combinaison du long mouvement de roulis ou de virage (stabilisant le liquide dans l'oreille interne) et du mouvement soudain de la tête (provoquant une réaction opposée dans l'oreille interne) stimule le système vestibulaire, créant une sensation de basculement.
- La spirale de la mort (piqué en spirale) est une illusion insidieuse selon laquelle un pilote ne remarque pas au départ un enfoncement de l'aile (augmentation de l'angle d'inclinaison) et la diminution résultante de l'assiette en tangage de l'aéronef (augmentation de la vitesse anémométrique). Cela peut se traduire par un virage lent en descente graduelle avec une vitesse anémométrique croissante. Ainsi, [traduction] « Alors que l'aéronef descend en spirale et que son taux de descente s'accélère, le pilote perçoit la descente, mais pas le virage. Comme l'angle d'inclinaison a progressivement augmenté, toute manipulation des commandes ne fait que resserrer le virage et augmenter le taux de descente. »

Dans un environnement visuel dégradé (comme un vol intentionnel ou involontaire dans des IMC) où le pilote est incapable de maintenir une référence visuelle avec le sol, ces illusions peuvent mener à des manipulations inappropriées des commandes de vol et entraîner une perte de maîtrise. Ces illusions peuvent être si fortes que même une vérification consciente des instruments de vol pourrait être insuffisante pour inciter le pilote à effectuer les corrections adéquates.

Conscience situationnelle

La conscience situationnelle peut être définie comme étant [traduction] « la perception des éléments dans l'environnement à l'intérieur d'un volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification, et la projection de leur état à court terme »

Le maintien de la conscience situationnelle découle donc de trois processus distincts. D'abord, un pilote doit percevoir l'information dans l'environnement; ensuite, il doit établir la pertinence de cette information à l'égard de la capacité d'atteindre ses objectifs opérationnels; enfin, il doit utiliser cette information pour prévoir les états et les événements futurs. Ainsi, un pilote maintient sa conscience situationnelle, ce qui lui permet de [traduction] « planifier et se préparer aux imprévus », et donc de prendre de meilleures décisions. Chacun des trois processus comprend des étapes de traitement de l'information où des failles peuvent survenir, donnant lieu à une conscience situationnelle incomplète ou insuffisante.

La formation, les connaissances, l'expérience et les idées préconçues d'un pilote font partie des facteurs individuels qui influent sur sa compréhension d'une situation. D'autres problèmes auxquels font face les pilotes lorsqu'ils volent, comme la charge de travail, la distraction, les contraintes de temps, les défectuosités de l'équipement, les changements dans les conditions météorologiques, le manque de connaissance d'une région géographique et le vol de nuit, peuvent également avoir une incidence sur la conscience situationnelle.

Prise de décisions du pilote

La prise de décisions du pilote (PDP) est un processus cognitif qui permet de choisir un plan d'action parmi diverses options. De nombreuses décisions sont prises au sol, et une décision bien éclairée avant un vol écarte la nécessité de prendre une décision beaucoup plus difficile en vol. Une composante importante de la PDP est une bonne conscience situationnelle.

D'autres facteurs peuvent avoir une incidence sur la prise de décisions du pilote, comme la pression de la famille ou de l'employeur pour arriver à destination à une certaine heure; les répercussions financières de l'atterrissage à un aéroport de dégagement, comme la nécessité d'obtenir des services aux aéronefs, du transport, des repas ou de l'hébergement; ou des problèmes administratifs comme le dédouanement à la suite d'un atterrissage dans un autre pays.

Tendance à s'en tenir au plan

La tendance à s'en tenir au plan se décrit comme [traduction] « une tendance cognitive inconsciente consistant à poursuivre les activités prévues malgré des changements de conditions » ou « une tendance profondément enracinée des gens à poursuivre leur plan d'action initial même quand un changement justifie l'adoption d'un nouveau plan ». Une fois qu'un plan a été établi et mis en œuvre, il devient de plus en plus difficile de reconnaître que des stimuli ou des conditions dans l'environnement exigent d'apporter des changements au plan. Souvent, ces stimuli et conditions sont évidents pour des personnes extérieures à la situation, mais à mesure que sa charge de travail augmente, il peut être très difficile pour un pilote en train d'exécuter un plan de reconnaître l'importance des indices et le besoin de modifier le plan.

Hypoxie

Dans cet événement, le pilote a volé au-dessus de 10 000 pi ASL, mais pas plus de 11 500 pi, pendant 2 h 18 min. Le pilote est ensuite descendu en dessous de 10 000 pi ASL et a volé à une altitude inférieure pendant 44 min avant l'accident. Même si on a retrouvé une bouteille d'oxygène sur le lieu de l'écrasement, il a été impossible de déterminer si elle avait été utilisée pendant la partie du vol au-dessus de 10 000 pi ASL. Étant donné que le règlement de la FAA n'exige l'utilisation d'oxygène supplémentaire qu'au-dessus de 12 500 pi

ASL, et que le pilote a choisi et adopté une altitude de croisière de 11 500 pi ASL, il est possible qu'il ait décidé de ne pas utiliser d'oxygène supplémentaire. L'enquête a permis de conclure qu'il était peu probable que l'hypoxie ait joué un rôle dans cet accident.

Analyse

Le pilote possédait les licences et les qualifications requises pour effectuer le vol, conformément à la réglementation de la Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis. Les dossiers indiquent que l'aéronef était homologué, équipé et entretenu conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures approuvées. L'enquête a permis de déterminer qu'il n'y a pas eu de rupture ou de séparation en vol de l'aile ou de l'empennage papillon.

Le profil de vol et les données météorologiques portent à croire que le pilote déviait de sa route pour tenter de contourner ou de dépasser un front mouvant d'orages et d'éclairs. Il est probable que l'aéronef est entré par la suite dans des conditions météorologiques de vol aux instruments (IMC) et que le pilote a connu une désorientation spatiale. L'aéronef a effectué un piqué en spirale et a percuté le relief.

L'analyse cernera les facteurs susceptibles d'avoir joué un rôle dans l'événement et la séquence de l'accident. Les facteurs qui ont une incidence sur la recherche et le sauvetage seront également abordés.

Incidence de la tendance à s'en tenir au plan sur la conscience situationnelle et la prise de décisions du pilote

Les nombreuses déviations vers le nord ont toutes été suivies de corrections graduelles pour reprendre une trajectoire vers l'est. Aucune de ces corrections de cap n'a permis de traverser le phénomène météorologique ou de retrouver une trajectoire appropriée vers la destination d'origine, soit l'aéroport municipal de Danbury (KDXR), au Connecticut (États-Unis).

Ces tentatives infructueuses continuelles et les conditions météorologiques défavorables qui l'entouraient étaient des indices qui auraient dû suggérer un changement au plan initial du pilote, comme se dérouter vers l'un des nombreux aéroports de dégagement appropriés le long de la route ou poursuivre le vol selon les règles de vol aux instruments (IFR). Quand le pilote s'est trouvé dans l'espace aérien canadien, au-dessus de la province de Québec, il ne lui était plus possible d'atteindre sa destination prévue, KDXR, distante de plus de 450 NM. L'adhérence au plan initial indique que la prise de décisions du pilote était probablement influencée par la tendance à s'en tenir au plan. Par conséquent, le pilote a poursuivi le vol, probablement jusqu'à ce qu'il ne puisse plus continuer de voler dans des conditions météorologiques de vol à vue.

La prise de décisions du pilote a probablement été influencée par la tendance à s'en tenir au plan, ce qui l'a poussé à poursuivre un vol selon les règles de vol à vue (VFR) dans des conditions météorologiques défavorables.

Vol selon les règles de vol à vue dans des conditions météorologiques de vol aux instruments

Le vol VFR en IMC représente une menace importante pour la sécurité aérienne. Un vol VFR qui se poursuit dans des IMC expose le pilote à un risque d'accident causé par une perte de maîtrise ou un impact sans perte de contrôle.

En plus de dévier de sa trajectoire pour contourner ou dépasser le front mouvant d'orages et d'éclairs, l'aéronef peut aussi avoir volé au-dessus des nuages ou entre des couches de nuages. Les multiples modifications de la

trajectoire indiquent que le pilote tentait probablement de continuer à voler en VFR et d'éviter d'entrer dans des IMC.

Si le pilote est entré par inadvertance dans un nuage ou dans des IMC, il ne lui était peut-être plus possible de voler avec une référence visuelle au sol, ce qui l'aurait obligé à piloter en se fiant uniquement aux instruments.

Pour voler en toute sécurité dans des IMC, il faut suivre une formation et s'entraîner régulièrement. Même si le pilote avait obtenu une qualification de vol aux instruments, l'enquête n'a pas permis de déterminer s'il avait une expérience récente de vol dans ces conditions ou s'il avait tenté de passer aux IFR.

Si les pilotes n'ont pas d'expérience récente de vol en IMC, ils peuvent ne pas posséder les habiletés et la compétence requises pour le faire, ce qui augmente le risque de perte de contrôle et d'accident.

Désorientation spatiale

La désorientation spatiale est un danger courant dans l'aviation et peut entraîner une perte de contrôle. Le fait de voler dans un environnement visuel dégradé, comme dans des IMC, sans référence au sol, augmente la susceptibilité du pilote à la désorientation spatiale.

Dans le virage lent à gauche précédant le piqué en spirale, si le pilote dans l'événement à l'étude était touché par une illusion visuelle ou vestibulaire, il est possible qu'en voulant arrêter le virage ou ramener l'aéronef en vol rectiligne et en palier, le pilote ait surcorrigé et provoqué le virage à droite et la descente dans la direction opposée. Le virage lent et graduel à droite qui a suivi peut avoir conduit à un piqué en spirale si le pilote a augmenté le cabrage pour tenir compte du taux de descente, sans se rendre compte de l'angle d'inclinaison croissant.

Les données du système de surveillance dépendante automatique en mode diffusion (ADS-B) montrent que l'aéronef a effectué une descente en spirale avec un taux de descente croissant qui indique un piqué en spirale. La trajectoire de vol porte à croire que le pilote a été victime d'une désorientation spatiale en raison d'une illusion visuelle ou vestibulaire et que, par conséquent, l'aéronef a effectué un piqué en spirale et a percuté le relief.

Faits établis

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

Il s'agit des conditions, actes ou lacunes de sécurité qui ont causé l'événement ou y ont contribué.

1. La prise de décisions du pilote a probablement été influencée par la tendance à s'en tenir au plan, ce qui l'a poussé à poursuivre un vol selon les règles de vol à vue dans des conditions météorologiques défavorables.
2. La trajectoire de vol porte à croire que le pilote a été victime d'une désorientation spatiale en raison d'une illusion visuelle ou vestibulaire et que, par conséquent, l'aéronef a effectué un piqué en spirale et a percuté le relief.

Faits établis quant aux risques

Il s'agit des conditions, des actes dangereux, ou des lacunes de sécurité qui n'ont pas été un facteur dans cet événement, mais qui pourraient avoir des conséquences néfastes lors de futurs événements.

1. Si les pilotes n'ont pas d'expérience récente de vol dans des conditions météorologiques de vol aux instruments, ils peuvent ne pas posséder les habiletés et la compétence requises pour le faire, ce qui augmente le risque de perte de contrôle et d'accident.
2. Si les autorités de recherche et de sauvetage n'ont pas accès aux données des technologies émergentes, comme le système spatial de surveillance dépendante automatique en mode diffusion, ou ne les utilisent pas en temps opportun, il y a un risque qu'à la suite d'un accident, les services de recherche et de sauvetage susceptibles de sauver des vies soient retardés.

Rapport final du BST A19C0070 — Perte de puissance des deux moteurs d'un DC3 lors de la montée

Déroulement du vol

Le 20 juin 2019, un aéronef Douglas DC-3C de Basler Turbo Conversions TP67 (DC3-TP67) effectuait une série de vols selon les règles de vol à vue entre l'aéroport de Pickle Lake (CYPL) et l'aéroport de Fort Hope (CYFH), tous les deux situés en Ontario.

Chacun de ces vols visait à livrer 5 940 L de carburant diesel à la collectivité de la Première Nation d'Eabametoong, également connue sous le nom de Fort Hope. L'aéronef était équipé d'un réservoir souple de 6 815 L fixé au plancher.

Avant de quitter CYFH pour effectuer le vol à l'étude, l'équipage a complété la liste de vérification préalable au décollage, qui exige que le système de mise en drapeau automatique des hélices soit activé pour le décollage. L'équipage n'a cependant pas armé ce système.

Figure 1. Carte indiquant le lieu de l'événement (Source : Google Earth, avec annotations du BST)

Vers 1 h 40, l'aéronef a décollé de CYFH. Le premier officier était le pilote aux commandes (PF), assis dans le siège droit, et le commandant de bord était le pilote qui n'est pas aux commandes (PNF), assis dans le siège gauche. Peu après le décollage, le PF a demandé à ce que le train d'atterrissage soit rentré. Le PNF a ensuite sélectionné le train d'atterrissage rentré à environ 200 pi au-dessus du sol (AGL). Les deux moteurs ont ensuite connu une perte de puissance simultanée et l'équipage de conduite a effectué un amerrissage forcé sur le lac Eabamet (Ont.), dans l'obscurité totale (figure 1).

Le fuselage de l'aéronef est resté intact et a immédiatement commencé à se remplir d'eau. L'équipage de conduite a récupéré la trousse de survie, a évacué l'aéronef par la porte principale de la cabine et a nagé jusqu'à la rive.

Une fois sur la rive, l'équipage de conduite a allumé un feu pour se réchauffer. Un patrouilleur du Service de police Nishnawbe-Aski ayant remarqué ce feu est intervenu et a transporté l'équipage au poste de soins infirmiers du bureau du conseil de bande de la Première Nation d'Eabametoong pour une évaluation médicale. Aucun des membres de l'équipage de conduite n'a été blessé.

Le commandant de bord s'était joint à la compagnie en tant que commandant de bord en avril 2017 et avait terminé sa formation initiale le 3 juillet 2017.

Le premier officier s'était joint à la compagnie en tant que premier officier en mai 2018 et avait terminé sa formation initiale le 25 juin 2018.

Bloc manette

Le bloc manette consiste en des manettes des gaz, des manettes de commande des hélices, des manettes de commande carburant et des molettes de verrouillage à friction (figure 2).

Un ensemble de manettes est associé à chaque moteur et son hélice.
Les deux pilotes ont un accès fonctionnel à tous les ensembles de manettes. L'aménagement repose sur l'utilisation de différentes couleurs, tailles et formes pour faciliter l'identification visuelle et tactile.

Les manettes de commande carburant de cet aéronef sont situées en retrait à la droite du bloc manette et sont inclinées vers le siège droit. Les manettes de commande carburant arrêtent le débit de carburant vers les moteurs lorsqu'elles sont abaissées
(à la position STOP [arrêt]). Pour alimenter les moteurs en carburant, les manettes de commande carburant doivent être relevées (à la position RUN [en marche]) et maintenues dans cette position au moyen d'une butée.

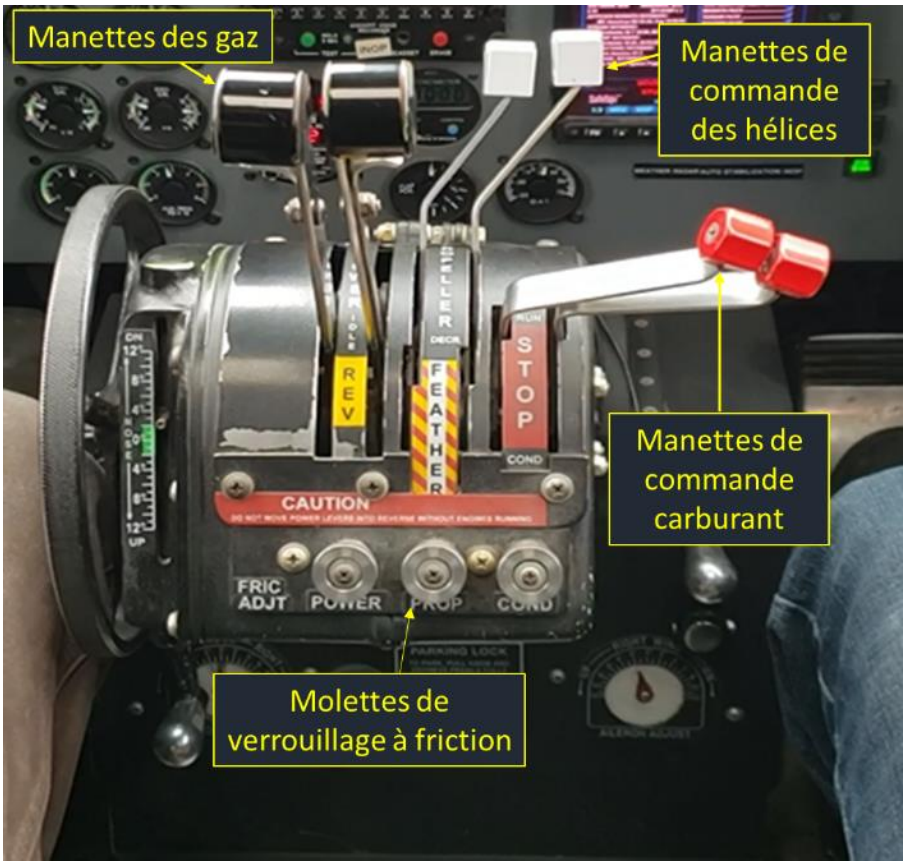


Figure 2. Image du bloc manette montrant les manettes des gaz, les manettes de commande des hélices, les manettes de commande carburant et les molettes de verrouillage à friction (Source BST)

Sur l'aéronef à l'étude, le débit de carburant des moteurs s'arrête complètement lorsque les manettes sont placées sous la lettre « O » du mot « STOP » (cette position peut varier d'un aéronef à l'autre).

Des molettes de verrouillage à friction, également illustrées à la figure 2, sont placées sous chacune des manettes et permettent à l'équipage de conduite d'appliquer une résistance aux manettes.

Rallumage d'un moteur en vol

Un moteur qui s'est éteint en vol en raison d'une interruption momentanée de son alimentation en air ou en carburant devrait se rallumer automatiquement si les sélecteurs d'allumage sont en position CONT.

Les SOP de la compagnie fournissent aux équipages de conduite deux procédures d'urgence différentes pour le rallumage des moteurs en vol : une procédure pour l'hélice en moulinet et une procédure d'aide au démarrage.

La procédure de rallumage d'une hélice en moulinet exige que l'aéronef vole à une vitesse indiquée en nœuds (KIAS) de 160. Cette action permet au moteur d'atteindre une vitesse de Ng suffisante (soit moins 10 %). Pour atteindre cette vitesse, il est toutefois possible que l'aéronef soit contraint de descendre. Cette procédure peut être menée à bien sans aide au démarrage.

Train d'atterrissage principal

Une pompe hydraulique est installée sur chaque moteur afin d'accroître la pression du circuit hydraulique. Dans la mesure où l'un des moteurs fonctionne, il demeure possible de faire fonctionner le système du train d'atterrissage principal par

Figure 3. Poignée de commande du train d'atterrissage principal et levier de commande à mécanisme de verrouillage (Source : BST)

pression hydraulique. Le train d'atterrissage principal est actionné au moyen d'une poignée de commande du train d'atterrissage à trois positions située à l'arrière et à gauche du siège droit. Le levier de commande à mécanisme de verrouillage offre une autre façon de maintenir le train d'atterrissage complètement sorti en cas de panne du circuit hydraulique. Cette poignée se trouve sur le plancher du poste de pilotage à droite du siège gauche (figure 3)

L'emplacement des poignées peut engendrer différents défis ergonomiques étant donné que certains pilotes pourraient avoir besoin de se pencher ou de se tourner pour les atteindre. Lorsque le pilote du siège gauche doit rentrer le train d'atterrissage, il déverrouille le levier de commande à mécanisme de verrouillage en appuyant sur celle-ci avec sa main droite avant de la pousser vers l'avant avec un doigt. Le pilote dans le siège gauche tire ensuite la poignée vers le haut. Il se tourne ensuite vers l'arrière et soulève d'une main (la main droite) la poignée de commande du train d'atterrissage.

Le pilote du siège gauche pourrait utiliser sa main gauche pour se stabiliser. Cependant, il n'existe aucune poignée ou position recommandée pour la main gauche du pilote lorsque celui-ci se tourne vers l'arrière pour soulever, avec sa main droite, la poignée du train d'atterrissage. Le pilote peut donc placer sa main gauche à proximité du bloc manette ou sur celui-ci.

La même procédure, effectuée avec les mains opposées, doit être suivie lorsque le pilote du siège droit doit rentrer le train.

Système de mise en drapeau automatique des hélices

Le système de mise en drapeau automatique des hélices sert principalement à réduire de façon rapide la traînée que provoque un moteur en panne, sans que l'équipage de conduite n'ait besoin de faire quoi que ce soit.

L'aéronef DC3-TP67 est certifié en vertu du titre 14 du *Code of Federal Regulations* (CFR), partie 25, Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes, qui exige que les aéronefs à deux moteurs maintiennent une pente de montée de 1,2 % à la masse maximale autorisée au décollage lorsqu'ils subissent une panne moteur au décollage.

Le CFR stipule également ce qui suit [traduction] :

> *La configuration de l' avion ne doit pas être modifiée, à l' exception de la rentrée du train d' atterrissage et de la mise en drapeau automatique des hélices, et aucun changement de puissance ou de poussée exigeant une action de la part du pilote ne doit être effectué jusqu' à ce que l' avion soit à 400 pi au-dessus de la surface de décollage.*

La mise en drapeau automatique des hélices permet à l'aéronef de répondre aux exigences de franchissement d'obstacles si l'un des moteurs tombe en panne au décollage.

Un commutateur à bascule à trois positions, situé sur le panneau supérieur du pilote, contrôle le système de mise en drapeau automatique des hélices. Ce dispositif est également contrôlé par deux interrupteurs d'activation secondaires dans le bloc manette. Les interrupteurs d'activation secondaires sont installés de façon à être actionnés lorsque les manettes de commande de chaque moteur sont dans une position permettant d'atteindre une vitesse de 92 % à 94 % Ng.

Lorsque le commutateur à bascule à trois positions est en position ARM (armer), les deux voyants lumineux de chaque côté du commutateur indiquent ARMED. Les voyants lumineux indiquent READY (prêt) lorsque leurs systèmes respectifs ont été activés. Si les manettes des gaz ont été réglées en position de puissance ou de couple pour le décollage et si les deux interrupteurs d'activation secondaires ont été actionnés par le positionnement de la manette des gaz, le voyant READY s'allumera après environ 5 secondes pour indiquer que le système de mise en drapeau automatique des hélices a été activé.

Un interrupteur de détecteur de couple installé sur chacun des moteurs surveille la puissance des moteurs. Dans la mesure où le système de mise en drapeau automatique des hélices est armé (ARMED) et indique READY (prêt), ce détecteur de couple installé sur le moteur se fermera si la puissance du moteur diminue en dessous d'environ 25 %. Lorsque le détecteur de couple se ferme, le circuit d'activation est complété, ce qui engendre l'activation du solénoïde régulateur de survitesse de l'hélice et une baisse de la pression d'huile dans le moyeu de l'hélice. Cela permet ainsi au ressort de mise en drapeau de l'hélice de régler l'hélice en position de mise en drapeau.

L'enquête a permis de déterminer qu'à des températures plus froides, les moteurs pouvaient atteindre leur limite de couple pour le décollage avant que les manettes des gaz n'aient atteint les interrupteurs d'activation secondaires du bloc manette. Ainsi, le voyant READY ne s'allume jamais. Voilà pourquoi certains pilotes, y compris l'équipage de conduite dans l'événement à l'étude, ne règlent pas le système de mise en drapeau automatique à ARM. À 16 °C (la température au moment du vol à l'étude), les manettes des gaz auraient atteint les interrupteurs d'activation secondaires, ce qui aurait armé le système de mise en drapeau automatique s'il avait été réglé à la position ARM.

Renseignements météorologiques

L'accident est survenu pendant les heures d'obscurité. Les renseignements météorologiques recueillis à partir du Système d'information météorologique limitée à CYPL à 1 h le 21 juin étaient les suivants :

- vent soufflant du 100° vrai (V) à 7 nœuds;
- température de 16 °C;
- point de rosée à 6 °C;
- calage altimétrique de 29,96 pouces de mercure.

Les conditions météorologiques au moment de l'événement ne sont pas considérées comme ayant contribué à cet incident.

Renseignements sur l'aérodrome

L'élévation de CYFH est de 899 mètres au-dessus du niveau de la mer. L'aéroport a une piste éclairée d'est en ouest à surface de gravier, soit la piste 09/27, d'une longueur de 3 497 pi. Le lac Eabamet se trouve à environ 250 pi à l'ouest de l'extrémité de départ de la piste 27.

Enregistreurs de bord

L'aéronef était équipé d'un enregistreur de conversations de poste de pilotage (CVR) et d'un enregistreur de données de vol (FDR), même si la réglementation ne l'exigeait pas. Au moment de l'événement, le disjoncteur du FDR était muni d'une bague et portait une mention indiquant qu'il était hors service, et il n'avait pas été utilisé depuis plus de 2 ans.

Enregistreur de conversations de poste de pilotage

L'aéronef était équipé d'un CVR L3 de modèle FA 2100 capable d'enregistrer 120 minutes de données audio de haute qualité sur 4 canaux. Ce CVR enregistre le microphone du poste de pilotage, le microphone du commandant de bord, le microphone du premier officier et toutes les transmissions reçues sur la fréquence radio de communication choisie pour l'aéronef, y compris l'interphone.

Les données du CVR ont été récupérées avec succès et cet enregistrement a été jugé d'excellente qualité.

Données de signature acoustique

Une analyse approfondie a été effectuée afin de déterminer si différents renseignements tirés du CVR pouvaient permettre d'améliorer la compréhension de ce qui s'est passé pendant le vol à l'étude. Le canal du CVR pour le microphone dans le poste de pilotage comportait des données acoustiques pertinentes qui se sont révélées essentielles à la réalisation d'une analyse approfondie.

Cinq vols individuels ont été enregistrés sur le CVR; quatre de ces vols, y compris le vol à l'étude, ont été enregistrés dans leur intégralité. Le vol à l'étude a duré environ 50 secondes, ce qui comprend le moment de l'impact avec le cours d'eau.

L'environnement acoustique du poste de pilotage a été évalué afin de déterminer s'il était possible de relever des signatures acoustiques spécifiques communes entre le vol à l'étude et les vols précédents. On a relevé, entre autres, les signatures associées à l'isolement et au calcul des vitesses d'hélice, la transcription des conversations des membres de l'équipage, ainsi que l'identification des alertes sonores et des clics causés par le mouvement des manettes des moteurs et des autres commandes du poste de pilotage.

Le STC de Basler Turbo Conversions indique que la vitesse nominale au décollage est de 1 700 tr/min. Les quatre décollages enregistrés indiquaient tous des vitesses d'hélice au décollage d'environ 1 692 tr/min, ce qui a permis de confirmer que l'approximation de la vitesse des hélices tirée des données audio était raisonnable.

Les événements du vol à l'étude ont été examinés en détail afin de les comparer à un départ sans incident.

Pendant les trois décollages normaux, il a été possible d'entendre les deux mêmes clics, suivis de la signature acoustique liée à l'escamotage du train d'atterrissage. Le temps de déploiement du système dans son ensemble a duré 16,6 secondes et était uniforme pour chaque décollage normal. Dans le cadre de chacun de ces trois vols, aucun autre événement acoustique distinct n'a été entendu entre le moment après que l'on eut commandé l'escamotage du train d'atterrissage et la réalisation de l'annonce de 400 pi par l'équipage (voir la section 1.17.1). L'annonce de 400 pi prévoyait l'arrêt du système automatique de mise en drapeau des hélices et le réglage de la puissance de montée. Pendant le vol à l'étude, l'aéronef n'ayant pas atteint l'altitude de 400 pi AGL, aucune annonce de 400 pi n'a été effectuée.

Pendant le vol à l'étude, l'environnement acoustique au décollage a commencé d'une façon similaire à l'environnement acoustique au décollage des trois vols précédents. Une fois la puissance réglée, les deux clics associés au mouvement de la poignée du train d'atterrissage se sont fait entendre. Ces clics ont été suivis, peu de temps après, par le bruit associé à l'escamotage du train d'atterrissage. Cette opération a toutefois été interrompue environ 1 seconde après son commencement. Cette interruption coïncidait alors avec deux clics supplémentaires et la réduction rapide de la vitesse de l'hélice. Les bruits associés à l'impact ont été entendus environ 17 secondes après que la vitesse des hélices eut commencé à diminuer.

On s'est penché sur la source des clics qui se sont fait entendre au moment où les moteurs décéléraient, et on a émis l'hypothèse que ces clics étaient attribuables à l'entrée en contact des manettes de commande carburant avec le bas de leur fente sur le pylône de commande, au moment où ces manettes ont été réglées à la position STOP.

L'analyse acoustique a également permis de confirmer que l'on n'avait effectué aucun réglage de la puissance ou de la manette de l'hélice avant de réduire la puissance du moteur sur les vols analysés.

Dans le cadre du vol à l'étude, on a remarqué une diminution rapide de la vitesse des hélices peu après le décollage. Aucune différence n'a été observée dans les vitesses des hélices des différents moteurs alors que la vitesse des hélices diminuait, ce qui suggère une perte simultanée de la vitesse d'hélice des deux moteurs.

L'enregistrement audio a également été examiné afin de déterminer si les manettes de commande avaient été remises en position RUN après la perte soudaine de puissance. Bien qu'un certain nombre de clics aient été entendus après la perte soudaine de vitesse des hélices, il n'a pas été possible d'attribuer ces événements acoustiques à une source particulière parce qu'il n'y avait aucune référence aux fins de comparaison.

Renseignements sur l'épave et sur l'impact

L'aéronef a heurté la surface du lac Eabamet à l'horizontale, l'aile gauche abaissée. Les pales de l'hélice de l'aéronef étaient pliées, mais toujours attachées à leurs moyeux respectifs et aux moteurs. Les ailes et les surfaces de l'empennage sont restées attachées au fuselage.

Les enquêteurs sont arrivés sur les lieux alors que l'aéronef était partiellement submergé et ont effectué un examen de l'aéronef (figure 5). Le bord d'attaque de l'extrémité gauche de l'aile avait subi des dommages par écrasement correspondant aux dommages subis par l'aile gauche en frappant l'eau (figure 6).

L'inspection visuelle du poste de pilotage, de la cabine et des moteurs s'est limitée aux zones situées au-dessus de la ligne d'eau. L'inspection du poste de pilotage a révélé que les séparateurs inertiels étaient en position de givrage pour le décollage et que le circuit d'allumage de l'aéronef et le système de mise en drapeau automatique des hélices étaient éteints.

L'examen initial du bloc manette (figure 7) a permis d'indiquer ce qui suit :

Figure 5. Aéronef à l'étude sur le lac Eabamet au moment de la récupération (Source : Pratt & Whitney Canada)

- La manette des gaz gauche se trouvait en position avant.
- La manette des gaz droite était en position IDLE.

- Les manettes de commande des hélices étaient complètement avancées.
- Les manettes de commande carburant des moteurs gauche et droit étaient courbées et complètement avancées, mais n'étaient pas dans les butées.
- Les molettes de verrouillage à friction avaient été appliquées aux commandes des moteurs et étaient en bon état de fonctionnement.

Une vérification de la continuité des commandes du bloc manette relativement à leurs accessoires de commande des moteurs a été effectuée. Aucune défaillance n'a été relevée.

L'aéronef a été récupéré du lac le 9 juillet 2019. Le 11 juillet 2019, les enquêteurs sont retournés à CYFH, où l'aéronef était stationné sur l'aire de trafic de l'aéroport. Les enquêteurs ont examiné l'aéronef, ont constaté que tous ses composants avaient été retrouvés et ont pu confirmer la continuité des commandes de vol.

Le capot du moteur était exempt de débris et ne présentait aucun signe d'obstruction de la circulation de l'air; aucun obturateur d'entrée d'air n'avait été installé.

Une inspection visuelle des réservoirs principaux de carburant de l'aéronef a permis de constater que tous les bouchons d'avitaillement étaient en place. On a trouvé du carburant uniquement dans les réservoirs principaux. Des échantillons de carburant ont été prélevés dans les réservoirs principaux et dans les principaux filtres à carburant alignés.

Environ 545 L de carburant ont été purgés du réservoir principal gauche et environ 550 L ont été purgés du réservoir principal droit. Les principaux réservoirs de carburant contenaient une petite quantité d'eau, mais on n'a pas trouvé d'eau dans les principaux filtres à carburant intégrés.

Figure 6. Extrémité de l'aile gauche de l'aéronef à l'étude présentant des dommages par écrasement (Source : BST)

Les robinets d'arrêt d'urgence carburant de gauche et de droite ont été trouvés en position ouverte, les indicateurs de dérivation carburant n'avaient pas été activés et le robinet d'intercommunication carburant était fermé.

Les moteurs ont été retirés de l'aéronef et envoyés à Pratt & Whitney Canada. Le 16 septembre 2019, les moteurs ont été démontés pour déterminer s'il y a eu une défaillance mécanique.

L'enquête n'a permis de révéler aucun indice de défaillance de la cellule, des moteurs d'un système ou d'un circuit au cours du vol à l'étude.

Le personnel d'entretien de l'exploitant a, par la suite, remplacé les hélices et les moteurs, en plus de réparer la cellule. L'aéronef a ensuite été acheminé par avion vers une installation de réparation et d'entretien.

Procédures d'utilisation normalisées

Le manuel d'exploitation de la compagnie présente en détail les politiques et les procédures que doit suivre l'ensemble de son personnel d'exploitation dans l'exercice de ses fonctions. La compagnie émet également différentes SOP afin d'orienter ses pilotes dans l'exploitation des aéronefs de la compagnie. Les SOP sont spécifiques à chaque type d'aéronef et sont basées sur l'AFMS. Au moment de l'incident, les SOP comportaient différentes procédures fondées sur la révision 12 de l'AFMS, daté du 3 mars 2014. Elles n'avaient toutefois pas intégré les modifications associées à la dernière révision de l'AFMS, c'est-à-dire la révision 13, datée du 10 janvier 2018.

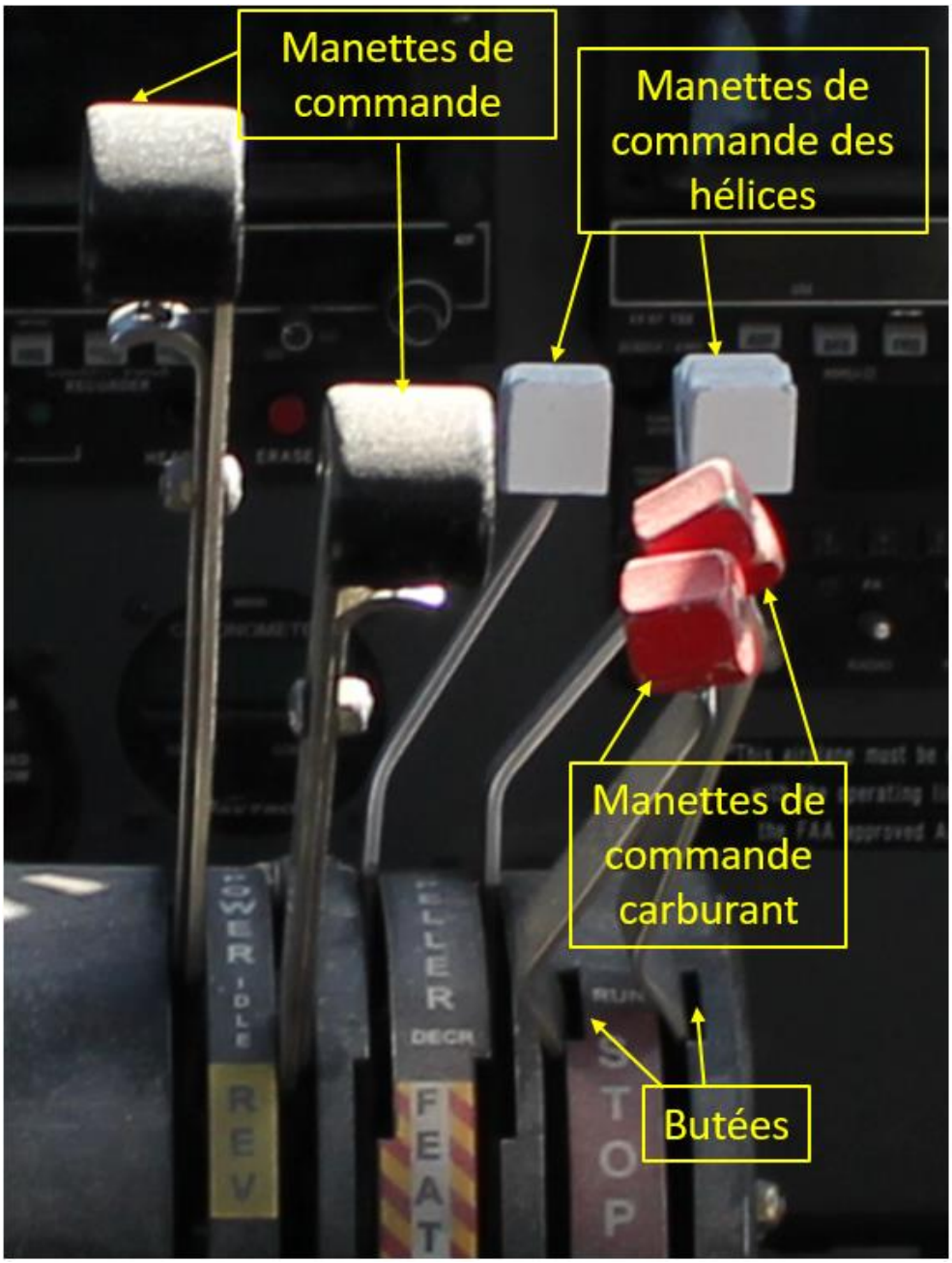


Figure 7. Bloc manette avec les manettes et les butées identifiées à l'aide d'étiquettes (Source : BST)

Les SOP visent à améliorer la coordination entre les membres de l'équipage, à éviter les malentendus dans le cadre des communications entre les membres de l'équipage de conduite et à répartir les responsabilités entre le commandant de bord et le premier officier, ainsi qu'entre le PNF et le PF.

Analyse

Généralités

L'enquête n'a permis de révéler aucun indice de défaillance de la cellule, des moteurs, d'un système ou d'un circuit au cours du vol à l'étude.

Étant donné que les moteurs se sont arrêtés en même temps, les enquêteurs considèrent que l'accident pourrait avoir été causé par une manipulation accidentelle des commandes. L'analyse portera donc sur les signatures acoustiques du vol à l'étude et des quatre vols précédents, l'emplacement des poignées de commande du train d'atterrissage et les procédures utilisées par l'exploitant pour mettre à jour les listes de vérification.

L'analyse portera également sur la possibilité de rallumer les moteurs, l'aménagement et l'ergonomie du bloc manette, de même que sur l'utilisation du système de mise en drapeau automatique des hélices.

Analyse des signatures acoustiques

L'enregistreur de conversations de poste de pilotage (CVR) a enregistré les quatre vols effectués avant le vol à l'étude. Le bruit causé par une réduction rapide de la vitesse des hélices a été entendu uniquement pendant le vol à l'étude, peu après le décollage. La vitesse des hélices a diminué en même temps et au même rythme sur les deux moteurs. Une perte de puissance peut survenir simultanément sur deux moteurs; toutefois, l'arrêt des moteurs survient généralement de façon décalée, c'est-à-dire un moteur qui perd sa puissance avant le deuxième moteur. Dans le cas présent, on a entendu des clics juste avant la réduction de la vitesse des hélices, ce qui indique probablement que les manettes de commande carburant sont entrées en contact avec le pylône de commande lorsqu'elles ont été abaissées (à la position STOP [arrêt]).

L'analyse des signatures acoustiques indique qu'au moment où on a entendu les clics pendant les arrêts normaux des moteurs, il y a eu une réduction immédiate de la vitesse des hélices. Ce phénomène a également été observé dans la vidéo de l'arrêt des moteurs sur un autre aéronef de la compagnie.

Durant les départs qui se sont déroulés sans incident, les signatures acoustiques n'incluaient pas de clics entre le moment où l'on a commandé l'escamotage du train d'atterrissage (UP) et la fin de l'annonce de 400 pi.

Lors du vol à l'étude, les signatures acoustiques liées au mouvement des poignées de commande du train d'atterrissage et à l'activation du circuit hydraulique indiquaient que le train d'atterrissage avait été réglé à UP. Cependant, le mouvement du train d'atterrissage a été interrompu environ 1 seconde après avoir commencé en raison d'une perte de pression hydraulique. Cette interruption coïncidait avec le bruit des deux clics et la réduction rapide de la vitesse des hélices.

La réduction rapide de la vitesse des hélices et le bruit des deux clics laissent croire à un mouvement non intentionnel des manettes de commande carburant, entraînant une coupure de l'alimentation en carburant des deux moteurs en même temps. Toutefois, l'enquête n'a pas permis de trouver une signature acoustique indiquant, de façon concluante, que les manettes avaient été placées à nouveau en position RUN (en marche). Les manettes des gaz et les manettes de commande des hélices n'ont pas été ajustées avant la réduction de la puissance des moteurs.

Poignées de commande du train d'atterrissage

L'emplacement des commandes de train d'atterrissage sur l'aéronef DC3-TP67 peut poser des défis ergonomiques à certains pilotes.

Sur le type d'aéronef à l'étude, le pilote qui rentre le train d'atterrissage doit se pencher et/ou se tourner pour atteindre le levier de commande à mécanisme de verrouillage et la poignée de commande du train d'atterrissage. Il doit ensuite lever la poignée de commande du train d'atterrissage d'une seule main. Étant donné qu'aucune poignée ou position n'a été prévue pour la main opposée des pilotes qui tentent de se stabiliser lorsque nécessaire, comme pendant la montée initiale, il y a une probabilité accrue que le pilote place la main en question sur le bloc manette et qu'il déplace une commande par accident.

Aménagement et ergonomie du bloc manette

Les commandes sont conçues et disposées de façon à établir le juste équilibre entre la fonctionnalité, l'efficacité, la facilité d'utilisation et la sécurité. La disposition des commandes dans le poste de pilotage tient compte de leur importance, de leur fréquence d'utilisation, de leur séquence d'utilisation et du regroupement par fonctions.

Il existe différents moyens de protéger les commandes contre les mouvements involontaires, comme l'utilisation de butées, de molettes de verrouillage à friction ou de mécanismes de verrouillage. Sur l'aéronef à l'étude, on utilise des butées pour verrouiller les manettes de commande carburant dans la position RUN. Les butées sont étroites et les manettes de commande carburant sont longues, ce qui fait en sorte que l'on pourrait heurter les manettes de commande carburant vers la gauche et le bas. On dégage les manettes des butées en les déplaçant dans la même direction; il est donc possible d'abaisser les deux manettes de commande carburant d'une seule main. On a trouvé des compromis entre, d'une part, les mesures qui visent à prévenir les mouvements non intentionnels et, d'autre part, la facilité d'utilisation des commandes, étant donné que ces mesures peuvent rendre les commandes plus difficiles à utiliser.

La discipline et le respect des procédures dans le poste de pilotage permettent de réduire les risques de mouvements involontaires. L'aménagement du poste de pilotage repose sur l'utilisation de différentes couleurs, tailles et formes pour faciliter l'identification visuelle et tactile. Le codage par des couleurs et des formes, et le regroupement des couleurs et des formes pour ces manettes est une pratique courante dans l'industrie.

L'analyse de la signature acoustique indique une perte de puissance des deux moteurs en même temps, ce qui laisse croire que les manettes de commande carburant ont accidentellement été réglées à la position STOP peu après la commande du train d'atterrissage.

Pendant la montée, le pilote aux commandes (PF) avait probablement les deux mains sur le volant de commande, conformément aux procédures d'utilisation normalisées (SOP). Le pilote qui n'est pas aux commandes (PNF) avait la main droite sur la poignée de commande du train d'atterrissage, et il est possible que sa main et son bras gauche se soient tournés vers le bloc manette. Après avoir soulevé la poignée de commande du train d'atterrissage avec la main droite, le PNF pourrait avoir accidentellement heurté les manettes de commande carburant en se retournant et se stabilisant avec sa main gauche. Par conséquent, après avoir soulevé la poignée de commande du train d'atterrissage, le PNF pourrait avoir accidentellement heurté les manettes de commande carburant, pour ainsi couper l'alimentation en carburant des deux moteurs en même temps, alors que sa main gauche était sur le bloc manette ou à proximité de celui-ci.

L'aménagement des manettes dans le bloc manette de l'aéronef à l'étude respecte les lignes directrices sur l'ergonomie qui visent à prévenir les mouvements accidentels. L'aménagement prévoit des indicateurs tactiles et visuels, une résistance aux mouvements et la nécessité d'effectuer les mouvements le long de deux axes pour protéger l'utilisateur contre les mouvements accidentels. Toutefois, les manettes de commande carburant doivent demeurer utilisables en cas d'urgence lorsqu'il est nécessaire d'arrêter les moteurs.

Mises à jour de la liste de vérification

L'équipage a suivi la liste de vérification préalable au décollage, qui n'incluait pas le réglage des sélecteurs d'allumage à CONT (mode continu) en prévision du décollage, bien que cette étape ait été requise dans la dernière révision du supplément au manuel de vol de l'aéronef (AFMS), datée du 10 janvier 2018.

La compagnie a reçu un avis concernant la mise à jour de l'AFMS le 16 mars 2018. L'avis comprenait des directives sur les sections du manuel qui doivent être supprimées ou remplacées. L'enquête n'a pas permis de déterminer pourquoi la procédure mise à jour n'a pas été intégrée à la liste de vérification préalable au décollage de la compagnie.

Si les exploitants ne respectent pas les directives des fabricants sur la modification de leurs procédures, les exploitants utiliseront des procédures d'exploitation incorrectes qui augmenteront les risques de réduire les marges de sécurité.

Rallumage des moteurs en vol

Le rallumage d'un moteur qui s'est éteint en vol en raison d'une interruption momentanée de son alimentation en air ou en carburant devrait s'effectuer de façon automatique si les sélecteurs d'allumage ont été placés en position CONT. Si les interrupteurs du circuit d'allumage ne sont pas réglés à CONT, comme c'était le cas au moment du vol à l'étude, l'équipage de conduite devra effectuer une procédure de rallumage du moteur en vol.

Les procédures de rallumage des moteurs en vol sont des procédures d'urgence approuvées qui ont été publiées dans les SOP de North Star Air. Ces procédures (mise en drapeau des hélices et aide au démarrage) exigent que les membres de l'équipage de conduite suivent une liste de vérification.

Les procédures de mise en drapeau des hélices exigent que l'aéronef vole à une vitesse minimale de 160 nœuds pour effectuer le rallumage du moteur en vol. Les SOP indiquent que la montée initiale après le décollage, et jusqu'à une altitude de 400 pi au-dessus du niveau du sol, doit être effectuée à une vitesse de V_2 (environ 90 nœuds), ce qui est inférieur à la vitesse de 160 nœuds exigée dans les procédures de mise en drapeau des hélices. Il aurait été nécessaire que l'équipage augmente la vitesse de l'aéronef en effectuant une descente, mais l'aéronef n'avait pas suffisamment d'altitude pour atteindre la vitesse requise lorsque les moteurs ont subi leur perte de puissance. Par conséquent, la procédure de rallumage soutenue par le démarreur était la seule option possible pour rétablir la puissance du moteur à cette altitude et à cette vitesse.

Les SOP indiquent qu'à la suite de la procédure de rallumage d'aide au démarreur, le moteur devrait normalement se rallumer dans les 10 secondes suivant le moment où la manette de commande carburant est réglée à RUN et que le rallumage devrait se manifester de façon évidente par une augmentation de la vitesse du générateur de gaz (Ng). Seulement 17 secondes se sont écoulées entre le moment où les moteurs ont subi la perte de puissance et le moment où l'impact a eu lieu. L'équipage n'a donc pas eu le temps de mettre en œuvre la procédure de rallumage des moteurs avant que l'aéronef ne heurte la surface de l'eau.

Dans le cas présent, il n'a pas été possible de déterminer s'il aurait été possible d'effectuer le rallumage des moteurs dans l'éventualité où les sélecteurs du circuit d'allumage avaient été réglés à CONT et les manettes de commande carburant avaient été réglées à nouveau à la position RUN, lorsque l'équipage a constaté la perte de puissance des moteurs. Le rallumage des moteurs lorsque le circuit d'allumage est réglé à CONT ne peut être possible que si le Ng est supérieur à 10 %. Il n'a pas été possible de déterminer quel était le pourcentage de Ng au moment où l'équipage s'est rendu compte de la perte de puissance des moteurs, mais celui-ci était probablement inférieur à 10 %, ce qui aurait empêché le redémarrage du moteur.

Étant donné que l'aéronef volait à une altitude insuffisante et que l'équipage ne disposait pas de suffisamment de temps pour agir, l'équipage de vol n'a été en mesure de mettre en œuvre aucune des trois options de rallumage des moteurs avant que l'aéronef ne heurte la surface de l'eau.

Système de mise en drapeau automatique des hélices

La liste de vérification préalable au décollage exige que le système de mise en drapeau automatique des hélices soit armé en vue du décollage, mais il est arrivé que les moteurs atteignent le couple réglé avant que les manettes des gaz n'atteignent les interrupteurs d'activation.

Le système de mise en drapeau automatique des hélices sert principalement à réduire de façon rapide la traînée que provoque un moteur en panne, sans que l'équipage de conduite n'ait besoin de faire quoi que ce soit. Pour être certifié, l'aéronef devait être en mesure de satisfaire la pente de montée minimale au décollage, à la suite d'une panne moteur, de façon à assurer le respect des exigences de franchissement d'obstacles. L'aéronef DC3-TP67 a été certifié alors que le système de mise en drapeau automatique des hélices avait été activé en vue du décollage. Dans le cas présent, l'équipage n'avait pas armé le système de mise en drapeau automatique des hélices; il n'aurait donc pas été possible d'avoir recours au système de mise en drapeau automatique des hélices si cela avait été nécessaire.

Si le système de mise en drapeau automatique des hélices n'est pas armé, il y a un risque qu'en cas de panne moteur, l'aéronef ne soit pas en mesure de maintenir la pente de montée requise et que le franchissement d'obstacles ne soit pas garanti.

Ceintures de sécurité

L'utilisation d'une ceinture-baudrier à enrouleur à inertie permet d'assurer une meilleure répartition des forces d'impact. Il est reconnu que le port d'une ceinture abdominale et d'une ceinture-baudrier permet de réduire la gravité des blessures au torse en cas d'accident, en comparaison avec le port de la ceinture abdominale seulement. La ceinture-baudrier devrait permettre une certaine liberté de mouvement, afin de réduire la probabilité que les pilotes la détachent pendant le vol.

Toutefois, sur ce type d'aéronef, la disposition des interrupteurs et des commutateurs dans le poste de pilotage et l'emplacement des commandes (comme la poignée de commande du train d'atterrissage) peuvent faire en sorte qu'il soit difficile pour les pilotes portant une ceinture-baudrier d'atteindre les commandes du train d'atterrissage. Pourtant, si les pilotes ne portent pas les ceintures-baudriers à bord, il y a risque accru de blessures en cas d'accident.

Faits établis

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

Il s'agit des conditions, actes ou lacunes de sécurité qui ont causé l'événement ou y ont contribué.

1. Après avoir soulevé la poignée de commande du train d'atterrissage, le pilote qui n'est pas aux commandes pourrait avoir accidentellement heurté les manettes de commande carburant, pour ainsi couper l'alimentation en carburant des deux moteurs en même temps, alors que sa main gauche était sur le bloc manette ou à proximité de celui-ci.

Faits établis quant aux risques

Il s'agit des conditions, des actes dangereux, ou des lacunes de sécurité qui n'ont pas été un facteur dans cet événement, mais qui pourraient avoir des conséquences néfastes lors de futurs événements.

1. Si le système de mise en drapeau automatique des hélices n'est pas armé, il y a un risque qu'en cas de panne moteur, l'aéronef ne soit pas en mesure de maintenir la pente de montée requise et que le franchissement d'obstacles ne soit pas garanti.
2. Si les exploitants ne respectent pas les directives des fabricants sur la modification de leurs procédures, les exploitants utiliseront des procédures d'exploitation incorrectes qui augmenteront les risques de réduire les marges de sécurité.
3. Si les pilotes ne portent pas les ceintures-baudriers à bord, il y a risque accru de blessures en cas d'accident.

Autres faits établis

Ces éléments pourraient permettre d'améliorer la sécurité, de régler une controverse ou de fournir un point de données pour de futures études sur la sécurité.

1. Étant donné que l'aéronef volait à une altitude insuffisante et que l'équipage ne disposait pas de suffisamment de temps pour agir, l'équipage de vol n'a été en mesure de mettre en œuvre aucune des trois options de rallumage des moteurs avant que l'aéronef ne heurte la surface de l'eau.

PILOTES VOL VFR DE JOUR

N'Y ALLEZ PAS À L'AVEUGLETTE

SOYEZ PRÉVOYANTS

Avant de manquer de temps, de carburant, d'idées ou de clarté, atterrissez et passez une bonne nuit.

canada.ca/**securite-aviation-generale**

TP 8675F

Transports Canada Transport Canada

Canada