



Bureau de la sécurité
des transports
du Canada

Transportation
Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE A16A0032



Collision avec le relief

Mitsubishi MU-2B-60 (N246W)
1,4 nm WSW de l'aéroport des Îles-de-la-Madeleine
(Québec)
29 mars 2016

Canada 

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

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par
le Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2018

Rapport d'enquête aéronautique A16A0032

No de cat. TU3-5/16-0032F-PDF
ISBN 978-0-660-24332-0

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

This report is also available in English.

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

Rapport d'enquête aéronautique A16A0032

Collision avec le relief

Mitsubishi MU-2B-60 (N246W)

1,4 nm WSW de l'aéroport des Îles-de-la-Madeleine
(Québec)

29 mars 2016

Résumé

Le 29 mars 2016, un aéronef Mitsubishi MU-2B-60 privé (immatriculé N246W, numéro de série 1552S.A.) a quitté l'aéroport de Montréal/Saint-Hubert (Québec), suivant un plan de vol selon les règles de vol aux instruments à destination de l'aéroport des Îles-de-la-Madeleine (Québec). Le pilote, un passager-pilote et 5 passagers se trouvaient à bord. Durant l'approche finale de la piste 07, alors que l'aéronef était à 1,4 mille marin à l'ouest-sud-ouest de l'aéroport, il a dévié au sud de la trajectoire d'approche. Vers 12 h 30, heure avancée de l'Atlantique, il y a eu perte de maîtrise de l'aéronef, qui a percuté le relief dans une assiette presque à l'horizontale. L'aéronef a été détruit, et tous les occupants ont été mortellement blessés. Aucun incendie ne s'est déclaré après l'impact. La radiobalise de repérage d'urgence de 406 mégahertz s'est déclenchée. L'accident est survenu dans les heures de clarté.

This report is also available in English.

Table des matières

1.0	Renseignements de base	1
1.1	Déroulement du vol.....	1
1.2	Victimes	9
1.3	Dommmages à l'aéronef.....	9
1.4	Autres dommages.....	9
1.5	Renseignements sur le personnel.....	10
1.5.1	Pilote.....	10
1.5.2	Passager-pilote.....	11
1.6	Renseignements sur l'aéronef.....	12
1.6.1	Généralités.....	12
1.6.2	Renseignements sur l'aéronef en cause.....	13
1.6.3	Masse et centrage.....	13
1.6.4	Maintenance.....	14
1.6.5	Systèmes de bord.....	17
1.7	Renseignements météorologiques	17
1.7.1	Généralités.....	17
1.7.2	Renseignements météorologiques reçus par le pilote avant le départ.....	17
1.7.3	Conditions météorologiques à l'aéroport des Îles-de-la-Madeleine émises alors que l'aéronef était en route.....	18
1.7.4	Conditions météorologiques à l'aéroport des Îles-de-la-Madeleine émises après l'accident.....	18
1.7.5	Aéroport de Charlottetown.....	19
1.7.6	Turbulence et givrage.....	19
1.8	Aides à la navigation	19
1.9	Communications	20
1.10	Renseignements sur l'aérodrome.....	20
1.11	Enregistreurs de bord	20
1.11.1	Système d'enregistrement de données de vol Wi-Flight GTA02.....	20
1.11.2	Enregistrements de bord protégés par le BST.....	21
1.12	Renseignements sur l'épave et sur l'impact.....	21
1.12.1	Généralités.....	21
1.12.2	Système d'avertissement de décrochage.....	23
1.13	Renseignements médicaux et pathologiques.....	23
1.14	Incendie.....	23
1.15	Questions relatives à la survie des occupants.....	23
1.16	Essais et recherches.....	24
1.16.1	Rapports de laboratoire du BST.....	24
1.17	Renseignements sur l'entreprise et sur la gestion.....	24
1.17.1	Généralités.....	24
1.17.2	Immatriculation de l'aéronef.....	24
1.17.3	Enquête de l'Office des transports du Canada	27

1.18	Renseignements supplémentaires.....	27
1.18.1	Special federal aviation regulations.....	27
1.18.2	Effet de la performance de l'hélice sur la dynamique de l'aéronef.....	28
1.18.3	Gestion de l'énergie d'un aéronef.....	31
1.18.4	Perte de contrôle.....	31
1.18.5	Caractéristiques de la maîtrise à basse vitesse du MU-2B.....	32
1.18.6	Sortie de décrochage / façon d'aborder la sortie de décrochage.....	33
1.18.7	Prévention du décrochage, sortie de décrochage et façon d'aborder les situations de décrochage selon Transports Canada	34
1.18.8	Conscience situationnelle.....	35
1.18.9	Prise de décisions du pilote	36
1.18.10	Gestion de la charge de travail.....	36
1.18.11	Directives de Transports Canada relatives à la conscience situationnelle et à la prise de décisions des pilotes	40
1.18.12	Conservation des compétences.....	41
1.18.13	Discipline relative aux listes de vérification.....	41
1.18.14	Approche stabilisée.....	42
1.18.15	Liste de surveillance du BST.....	46
1.18.16	Systèmes de détection d'angle d'attaque.....	47
1.18.17	Enregistreurs de bord.....	48
1.18.18	Planification de vol en ligne.....	51
1.19	Techniques d'enquête utiles ou efficaces.....	52
1.19.1	Récupération et analyse des données	52
2.0	Analyse.....	53
2.1	Introduction.....	53
2.2	Planification de l'approche.....	53
2.3	Descente et approche.....	54
2.4	Gestion de la charge de travail durant l'approche finale.....	55
2.5	Conscience situationnelle et « être en arrière de l'avion ».....	56
2.6	Expérience.....	57
2.7	Planification de vol en ligne.....	57
3.0	Faits établis.....	59
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs	59
3.2	Faits établis quant aux risques.....	59
3.3	Autres faits établis	60
4.0	Mesures de sécurité	61
4.1	Mesures de sécurité prises.....	61
4.1.1	NAV CANADA.....	61
	Annexes.....	62
	Annexe A – Carte d'approche en navigation de surface (système mondial de navigation par satellite) de la piste 07 de l'aéroport des Îles-de-la-Madeleine (CYGR) du Canada Air Pilot.....	62
	Annexe B – Carte d'approche avec radiophare d'alignement de piste/équipement de mesure de distance de la piste 07 de l'aéroport des Îles-de-la-Madeleine (CYGR) du Canada Air Pilot.....	63

Annexe C – Données enregistrées par le système d'enregistrement de données de vol Wi-Flight GTA02.....	64
Annexe D – Poussée nécessaire pour suivre un alignement de descente de 3° en configuration d'atterrissage.....	65

1.0 Renseignements de base

1.1 Déroulement du vol

Le 28 mars 2016, le jour précédant l'événement à l'étude, un ami de la famille avait demandé au pilote s'il pouvait le transporter, avec 4 membres de sa famille, de l'aéroport Montréal/Saint-Hubert (CYHU) (Québec), à l'aéroport des Îles-de-la-Madeleine (CYGR) (Québec), pour qu'ils assistent à une réunion de famille. L'ami de la famille s'était déjà rendu en avion à CYGR avec le pilote à plusieurs reprises. Le pilote avait accepté d'effectuer le vol et avait invité un autre pilote (ci-après appelé le passager-pilote) à l'accompagner pour le vol².

À 8 h 31³ le 29 mars 2016, le pilote a déposé un plan de vol selon les règles de vol aux instruments (IFR) en recourant à un logiciel de services de planification de vol sur Internet. Ce plan de vol faisait

L'annexe 13 de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) exige des États qui effectuent des enquêtes sur les accidents de protéger les enregistrements des conversations dans le poste de pilotage¹. Le Canada se conforme à cette exigence en protégeant tous les équipements d'enregistrement embarqués – y compris les enregistreurs de conversations de poste de pilotage (CVR) – privilégiés en vertu de la *Loi sur le Bureau canadien d'enquête sur les accidents de transport et de la sécurité des transports*. Même si le BST peut faire usage de toute l'information que contiennent les enregistreurs de bord dans l'intérêt de la sécurité des transports, il n'est pas autorisé à divulguer sciemment toute partie d'un enregistrement de bord qui n'a aucun rapport avec les causes ou les facteurs contributifs d'un accident ou avec la détermination des lacunes de sécurité.

La raison pour laquelle on protège l'information que contiennent les CVR se fonde sur le principe selon lequel cette protection aide à assurer que les pilotes continuent de s'exprimer librement et que ces données essentielles sont mises à la disposition des enquêtes de sécurité. Le BST a toujours pris très au sérieux ses obligations en la matière et a rigoureusement limité l'usage des données des CVR dans ses rapports. À moins que le contenu du CVR soit requis pour étayer un fait établi et cerner une lacune importante à la sécurité, il n'est pas inclus dans le rapport du BST.

Pour valider les enjeux de sécurité soulevés par la présente enquête, le BST s'est servi de l'information provenant du CVR dans son rapport. Dans chaque cas, les données ont été soigneusement examinées pour s'assurer qu'elles étaient nécessaires pour promouvoir la sécurité des transports.

¹ Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), annexe 13 à la *Convention sur l'aviation civile internationale, Enquêtes sur les accidents et incidents d'aviation*, 10^e édition (juillet 2010), paragraphe 5.12.

² Le passager-pilote était un pilote breveté, mais n'avait aucune expérience aux commandes du type d'aéronef en cause, et aucune tâche de pilotage particulière ne lui avait été attribuée.

³ Toutes les heures indiquées sont exprimées en heure avancée de l'Atlantique (temps universel coordonné moins 3 heures).

état de 6 occupants⁴ au total. Le vol à l'étude devait durer environ 2 heures, à une altitude de croisière au niveau de vol 230⁵. L'aérodrome de décollage prévu était l'aéroport de Charlottetown (CYYG), à l'Île-du-Prince-Édouard.

Le pilote avait obtenu une copie imprimée des conditions météorologiques à CYGR indiquant, à l'heure d'arrivée prévue : vents du 040° vrai (V) à 30 nœuds avec rafales à 40 nœuds; visibilité de 1 ½ mille terrestre (sm)⁶ dans une pluie légère et de la neige; plafond couvert à 300 pieds au-dessus du niveau du sol (AGL). Le pilote avait également imprimé les avis aux aviateurs et les comptes rendus météorologiques de pilotes (PIREP). Les PIREP pour le trajet prévu n'indiquaient ni temps significatif ni autre condition qui pourrait influencer sur le vol. À 10 h 31, l'aéronef Mitsubishi MU-2B-60 a quitté CYHU avec 7 personnes à bord. Le pilote occupait le siège de gauche, et le passager-pilote, celui de droite.

À 10 h 33, durant la montée initiale, le pilote a embrayé le pilote automatique. Environ 15 minutes plus tard, le pilote a indiqué au passager-pilote qu'ils allaient se rendre à CYGR à une altitude en route au niveau de vol 210.

Durant la phase de croisière du vol et jusqu'au début de la descente initiale, le pilote et le passager-pilote ont été en conversation continue. Le passager-pilote n'avait aucune expérience de pilotage du MU-2B ou de l'exploitation à haute altitude d'un aéronef pressurisé. Le pilote lui a donné de l'information sur les systèmes et les instruments de bord et a expliqué leur fonctionnement.

À 11 h 40, alors que l'aéronef se trouvait à 220 milles marins (nm) de CYGR, le pilote a fait l'exposé d'approche, y compris une explication détaillée du réglage des instruments et de la vitesse anémométrique durant l'approche, et une explication étape par étape de la technique d'atterrissage qu'il comptait employer. Le pilote a indiqué qu'il allait effectuer l'approche à 125 nœuds de vitesse indiquée (KIAS). Il a demandé au passager-pilote de chercher la piste et de surveiller la vitesse anémométrique, car il était important de maintenir celle-ci au-dessus de 120 KIAS, soit la vitesse d'approche finale minimale indiquée dans la formation Special Federal Aviation Regulation (SFAR).

Le pilote a fait à l'intention du passager-pilote un exposé sur l'approche RNAV (GNSS) (navigation de surface [système mondial de navigation par satellite]) de la piste 07 (annexe A). Il a expliqué que cette approche comporte une altitude minimale de descente (MDA) de 620 pieds au-dessus du niveau de la mer (ASL) (598 pieds AGL) et une altitude d'approche interrompue de 1900 pieds ASL. Durant cet exposé, le pilote n'a jamais indiqué

⁴ En fait, il y avait 7 occupants à bord de l'aéronef au moment de l'événement, mais l'enquête n'a pas permis de déterminer pourquoi le plan de vol en indiquait seulement 6.

⁵ Le niveau de vol est l'« altitude exprimée en centaines de pieds qui est indiquée sur un altimètre calé à 29,92 pouces de mercure ou 1013,2 millibars » (source : Transports Canada, TP 14371, *Manuel d'information aéronautique de Transports Canada*, GEN - Généralités [12 octobre 2017], alinéa 5.1). Dans ce cas-ci, le niveau de vol 230 signifie 23 000 pieds au-dessus du niveau de la mer (ASL).

⁶ Un mille terrestre équivaut à 5280 pieds.

les conditions dans lesquelles une remise des gaz aurait lieu ni la procédure à suivre au cas où il faudrait interrompre l'approche.

En plus de configurer l'aéronef pour une approche RNAV (GNSS) de la piste 07, le pilote a aussi pris les dispositions pour une approche LOC/DME (radiophare d'alignement de piste/équipement de mesure de distance) de la piste 07 (annexe B) et a réglé les instruments appropriés. La MDA pour l'approche LOC/DME est inférieure de 140 pieds à celle de l'approche RNAV (GNSS). Le pilote a affirmé qu'il préférerait l'approche RNAV (GNSS), car le pilote automatique pouvait ainsi demeurer embrayé durant la descente et l'approche. Toutefois, le pilote a indiqué au passager-pilote que si le plafond était plus bas que la MDA pour l'approche RNAV (GNSS), il pourrait facilement passer à l'approche LOC/DME et descendre à la MDA inférieure.

L'exposé a pris fin à 11 h 52; l'aéronef se trouvait alors à environ 167 nm de CYGR.

À 11 h 57, lorsque l'aéronef se trouvait à environ 145 nm de CYGR, le pilote a indiqué au passager-pilote qu'une fois la descente amorcée, le taux de descente initial serait de 1500 pieds par minute (pi/min). Le pilote a programmé le système de positionnement mondial (GPS) de l'aéronef de manière à ce que l'aéronef soit à 3000 pieds ASL lorsqu'il croiserait le point de cheminement d'approche initiale (DAVAK), à 9,2 nm de la piste. Le pilote a indiqué au passager-pilote qu'il demanderait l'autorisation de descendre au contrôleur du centre de contrôle régional (ACC) de Moncton au moment où le GPS indiquerait qu'il devait amorcer la descente.

Peu après, le pilote a indiqué au passager-pilote qu'il allait retarder la descente pour économiser du carburant, étant donné que voler à des altitudes plus élevées réduit la consommation de carburant. Le pilote a ajouté qu'il y aurait des vents arrière de 40 nœuds durant la descente. Étant donné qu'ils seraient plus proches de CYGR que prévu au départ, le pilote a indiqué que l'aéronef devrait descendre à une vitesse de 250 KIAS, soit la vitesse maximale admissible en exploitation (V_{MO})⁷.

Plus tard, le pilote a indiqué que pour réduire au minimum le temps de vol dans les nuages, il allait de nouveau retarder la descente, et que le taux de descente serait augmenté à 2000 pi/min.

À 12 h 15, alors que l'aéronef était à 64 nm de CYGR, le contrôleur de l'ACC de Moncton l'a autorisé à descendre à 9000 pieds ASL dès qu'il serait prêt à le faire, et a ajouté que le calage altimétrique à CYGR était de 28,83 pouces de mercure (in. Hg). Environ une minute plus tard, le passager-pilote a demandé au pilote quand ils amorceraient la descente, et s'ils devaient changer le réglage de l'altimètre de 29,92 in. Hg à 28,83 in. Hg. Le pilote a indiqué au passager-pilote d'attendre que l'aéronef soit descendu sous les 18 000 pieds ASL.

⁷ Les vitesses sont définies dans le manuel de vol *Mitsubishi MU-2B-60 Airplane Flight Manual*, section 1, p. 1-3 à 1-4 : V_{MO}/M_{MO} la vitesse maximale admissible en exploitation ou le numéro de Mach est la limite de vitesse qui peut ne pas être délibérément dépassée dans les opérations de vol normales.

À 12 h 18, alors que l'aéronef était à 51 nm de CYGR, le pilote a amorcé une descente lente, d'abord à 800 pi/min; le passager-pilote a demandé s'il devait passer en revue la liste de vérification de descente.

Le pilote a répondu par l'affirmative, et le passager-pilote a commencé à lire la liste de vérification; le pilote a confirmé ou accompli les actions correspondantes. La liste de vérification comprenait 7 éléments, et il a fallu plus de 2 ½ minutes pour effectuer les vérifications. Le pilote a expliqué le système associé à divers éléments de la liste de vérification de descente. Il a indiqué qu'il mettrait en marche les systèmes antigivrage d'hélices et de moteurs uniquement si l'aéronef traversait des nuages ou si le voyant du détecteur de givrage⁸ s'allumait. Durant la discussion, le pilote a indiqué qu'il sortirait les volets et le train d'atterrissage lorsque l'aéronef volerait à 175 KIAS.

Environ 4 minutes après l'amorce de la descente, le taux de descente avait augmenté à 1800 pi/min. Ce taux ne correspondait pas à celui du plan révisé du pilote, soit 2000 pi/min.

Une fois que les éléments de la liste de vérification de descente avaient été vérifiés, le pilote a demandé au passager-pilote d'appeler la spécialiste de la station d'information de vol (FSS) à CYGR pour obtenir le dernier bulletin météorologique. Le pilote a passé les 40 secondes suivantes à expliquer au passager-pilote comment sélectionner la bonne fréquence sur la deuxième radio et comment utiliser cette radio. À 12 h 22 min 47 s, pendant que le passager-pilote obtenait les renseignements météorologiques de la FSS à CYGR, le taux de descente de l'aéronef a augmenté pour atteindre 2000 pi/min.

À 12 h 23, le contrôleur de l'ACC à Moncton a communiqué avec le pilote pour l'informer qu'un message d'observation météorologique spéciale d'aérodrome (SPECI) avait été émis à 12 h 17 pour CYGR. Le pilote a indiqué qu'il avait obtenu les renseignements météorologiques courants de la FSS à CYGR; le contrôleur a ensuite autorisé l'aéronef à descendre à 7000 pieds ASL et a demandé au pilote quelle approche il prévoyait effectuer. Le pilote a répondu qu'il demandait l'approche RNAV (GNSS) de la piste 07. Le contrôleur a alors autorisé l'aéronef à rejoindre le point de cheminement DAVAK. Le passager-pilote a lu les renseignements météorologiques qu'il avait obtenus de la FSS à CYGR; ils faisaient état des conditions suivantes : vents du 070° magnétique (M) à 19 nœuds avec rafales à 24 nœuds; visibilité de 2 sm; couche fragmentée (plafond) avec la base à 200 pieds AGL; et couche de ciel couvert avec la base à 800 pieds AGL.

Même si le plafond était plus bas que la MDA, le pilote et le passager-pilote n'en ont pas discuté, ni n'ont exprimé de réserve. Le pilote a simplement indiqué que le contrôleur avait autorisé l'aéronef à rejoindre le point de cheminement DAVAK.

⁸ Un voyant annonceur s'allume dans le poste de pilotage lorsque la sonde du système de détection de givrage, sur le nez de l'aéronef, détecte une accumulation de givre.

À 12 h 24, alors que l'aéronef franchissait 12 000 pieds ASL en descente, sa vitesse anémométrique était de 245 nœuds⁹, et son taux de descente, de 2300 pi/min. Le pilote a indiqué que la vitesse anémométrique était élevée et qu'il fallait réduire la puissance. Les manettes des gaz ont été reculées et le poussoir d'arrêt klaxon du train d'atterrissage a été activé pour empêcher le klaxon¹⁰ de retentir.

À 12 h 25 min 13 s, le passager-pilote a de nouveau demandé au pilote s'il devait changer le réglage de l'altimètre, de 29,92 in. Hg à 28,83 in. Hg, soit le réglage courant pour CYGR. Le pilote a répondu par l'affirmative, et alors que l'aéronef traversait l'altitude de 10 400 pieds indiquée en descente, le pilote et le passager-pilote ont tous deux réglé leurs altimètres sur cette nouvelle valeur¹¹.

À 12 h 25 min 22 s, le contrôleur a autorisé l'aéronef à effectuer l'approche RNAV (GNSS) de la piste 07 par le point de cheminement DAVAK et a demandé au pilote de communiquer avec la FSS à CYGR. Le passager-pilote a communiqué avec la FSS à CYGR et lui a dit que l'aéronef était autorisé à effectuer l'approche RNAV (GNSS) de la piste 07 par le point de cheminement DAVAK. La spécialiste de la FSS a demandé la position de l'aéronef, son altitude et son heure d'arrivée prévue. Le passager-pilote a répondu que l'aéronef se trouvait à 6800 pieds ASL en descente, à 4,7 nm du point de cheminement DAVAK, et qu'ils devraient arriver à CYGR dans 3 minutes. À ce moment, l'aéronef descendait de 2500 pi/min, à une vitesse de 240 nœuds.

À 12 h 26 min 35 s, la spécialiste de la FSS à CYGR a signalé que les vents soufflaient du 060 °M à 18 nœuds avec des rafales à 24 nœuds; l'altimètre était à 28,84 in. Hg et la surface de la piste 07/25 était nue et mouillée sur 100 %. Le passager-pilote a accusé réception de ces renseignements.

À 12 h 27 min 6 s, le pilote a demandé au passager-pilote à quelle altitude il pouvait descendre au point de cheminement DAVAK; le passager-pilote a indiqué que l'altitude de franchissement publiée dans la procédure était de 3000 pieds ASL. La spécialiste de la FSS à CYGR a ensuite communiqué avec l'équipage de conduite pour l'informer que le balisage lumineux d'approche était réglé à l'intensité maximale.

À 12 h 27 min 14 s, l'aéronef a franchi le point de cheminement DAVAK sur un cap de 114 °M à 4500 pieds ASL – 1500 pieds au-dessus de l'altitude de franchissement publiée dans la procédure. L'aéronef descendait à un taux de 1600 pi/min et à une vitesse anémométrique de 238 nœuds – environ 100 nœuds au-delà de la vitesse d'approche recommandée de

⁹ Les vitesses anémométriques indiquées dans le présent rapport ont été enregistrées par le système d'avertissement et d'alarme d'impact embarqué. L'enquête a permis de conclure que les indicateurs de vitesse anémométrique dans le poste de pilotage affichaient probablement des valeurs de 5 à 10 nœuds plus élevées que les valeurs enregistrées.

¹⁰ Le klaxon de train d'atterrissage retentit lorsque l'on recule la manette des gaz à la butée de ralenti de vol et que le train d'atterrissage se trouve en position rentrée et verrouillée.

¹¹ Avec ce changement du réglage de l'altimètre, l'altitude indiquée serait inférieure de 1000 pieds.

140 KIAS¹². L'aéronef s'était donc amplement écarté de la trajectoire de rapprochement de 072° et il a ensuite suivi une trajectoire de vol sinueuse.

À ce stade, la charge de travail du pilote avait considérablement augmenté. Il n'y avait pas de temps durant l'approche pour passer en revue la liste de vérification d'approche ou la liste de vérification avant atterrissage.

À 12 h 27 min 36 s, la vitesse anémométrique était de 226 nœuds – environ 85 nœuds au-delà la vitesse d'approche recommandée de 140 KIAS. Les manettes des gaz ont alors été réduites au ralenti de vol, ce qui a déclenché le klaxon de train d'atterrissage. Le pilote a alors annulé le klaxon.

À environ 7 nm de la piste, le vent a tourné alors que l'aéronef descendait de 3600 pieds ASL à 2800 pieds ASL, passant de vents effectifs du sud à des vents effectifs de face d'environ 20 à 25 nœuds.

À 12 h 28 min 23 s, à 5,8 nm de la piste, l'aéronef était à environ 3000 pieds ASL, et le pilote a indiqué au passager-pilote qu'étant donné l'altitude très élevée de l'aéronef, le taux de descente serait augmenté.

À 12 h 28 min 45 s, le pilote a indiqué qu'il allait ralentir à la vitesse de sortie des volets et du train d'atterrissage, sans quoi l'aéronef ne pourrait pas atterrir. Le pilote a également fait remarquer que l'aéronef volait trop haut.

Presque aussitôt, l'aéronef a franchi le point de cheminement d'approche finale IMOPA, à 4,2 nm de la piste, à 2200 pieds ASL, soit 790 pieds au-dessus de l'altitude de franchissement publiée de 1410 pieds ASL. L'aéronef descendait à un taux de 1900 pi/min, sa vitesse était de 188 nœuds – environ 50 nœuds au-delà de la vitesse d'approche recommandée de 140 KIAS – et les manettes des gaz étaient toujours au ralenti de vol.

À 12 h 29 min 22 s, alors que l'aéronef était à 2,7 nm de la piste, sa vitesse anémométrique était descendue à 175 nœuds – 35 nœuds au-delà de la vitesse d'approche recommandée de 140 KIAS – et son taux de descente avait diminué à 1200 pi/min. Le train d'atterrissage a été sorti et les volets ont été réglés à 5°. L'aéronef a poursuivi sa descente, et sa vitesse anémométrique a continué de diminuer.

À 12 h 29 min 34 s, l'aéronef volait à 1250 pieds ASL; 6 secondes plus tard, il volait à 1000 pieds ASL. Le pilote a indiqué qu'il devait réduire davantage le taux de descente et a fait remarquer que le radioaltimètre de l'aéronef était réglé à 600 pieds AGL.

À 12 h 29 min 58 s, alors que l'aéronef se trouvait à 1,6 nm de la piste et volait à environ 600 pieds AGL, le passager-pilote a indiqué qu'il pouvait voir le sol du côté droit de l'aéronef. Le pilote a accusé réception de ce renseignement, mais n'a pas indiqué qu'il avait

¹² *Special Federal Aviation Regulation (SFAR) n°108 des États-Unis: Mitsubishi MU-2B Series Special Training, Experience, and Operating Requirements, Appendix D – Maneuver Profiles.*

établi le contact visuel avec l'environnement de piste. Quatre secondes plus tard, le pilote a affirmé qu'il allait poursuivre l'approche et piloter l'aéronef manuellement.

Il a alors débrayé le pilote automatique au moment où le système audio automatisé du radioaltimètre annonçait « 500 », signifiant que l'aéronef se trouvait à 500 pieds AGL. Au même moment, le pilote a insisté sur la nécessité de veiller à ce que la vitesse anémométrique ne diminue pas trop. À ce stade, la vitesse anémométrique avait diminué à 99 nœuds, à quelques nœuds à peine de la vitesse de décrochage de 95 nœuds. Le pilote a rapidement avancé les manettes des gaz à leur position avant maximale, ce qui a augmenté à son maximum la puissance moteur.

Immédiatement après cette application des gaz, l'aéronef a eu un déséquilibre, a effectué un mouvement de lacet, puis un roulis rapide vers la droite à un angle d'inclinaison dépassant 70°, et a rapidement perdu de l'altitude. Surpris, le pilote a réagi pour tenter de contrer ces conditions. À environ 150 pieds AGL, l'aéronef est revenu ailes à l'horizontale. Toutefois, il descendait toujours à un taux élevé et n'avait pas repris l'altitude perdue par suite du déséquilibre. Durant ce temps, le taux de descente de l'aéronef avait augmenté de 1350 pi/min, atteignant un maximum de 4600 pi/min. L'altitude était insuffisante pour qu'une reprise soit effectuée.

À 12 h 30 min 12 s, l'aéronef a percuté le relief à 1,4 nm à l'ouest-sud-ouest de CYGR, dans une assiette de cabré avec l'aile gauche abaissée, sur un cap de 130 °M (figure 1). L'aéronef s'est immobilisé à environ 300 pieds du point du premier impact, sur le même cap, à environ 1100 pieds au sud du prolongement de l'axe de la piste 07 (figure 2). L'aéronef a été détruit, et tous les occupants ont été mortellement blessés.

À aucun moment durant l'approche le pilote n'a discuté de la possibilité d'interrompre l'approche pour réduire sa charge de travail. De plus, ni le pilote ni le passager-pilote n'ont mentionné que l'aéronef s'était trouvé dans des conditions de givrage, que le voyant du détecteur de givrage s'était allumé, ou que d'autres systèmes de dégivrage ou d'antigivrage devraient être activés.

Figure 1. Trajectoire de vol (Source : Google Earth, avec annotations du BST)



1. À 4,7 nm du point de cheminement DAVAK, 6800 pieds ASL, 240 nœuds, descente à 2500 pi/min
2. Au point de cheminement DAVAK, 4500 pieds ASL, 238 nœuds, descente à 1600 pi/min (1500 pieds au-dessus de l'altitude de franchissement publiée, environ 100 nœuds au-delà de la vitesse d'approche recommandée)
3. Au point de cheminement IMOPA, 2200 pieds ASL, 188 nœuds, descente à 1900 pi/min (790 pieds au-dessus de l'altitude de franchissement publiée, environ 50 nœuds au-delà de la vitesse d'approche recommandée; le train d'atterrissage et les volets devraient être sortis)
4. À 2,7 nm de la piste, 1440 pieds ASL, descente à 1200 pi/mi, 175 nœuds, train d'atterrissage et volets sortis (l'aéronef devrait voler en palier à 620 pieds ASL, ralentissant à 125 KIAS)
5. Impact à 1,4 nm de la piste et à environ 1000 pieds au sud de l'axe de piste

Plusieurs résidents des alentours ont été témoins de l'écrasement; le service d'urgence 9-1-1 a reçu un appel à 12 h 31. Des résidents locaux ont également appelé la FSS à CYGR pour signaler qu'un aéronef s'était écrasé. Peu après l'accident, la FSS a reçu un appel du standardiste 9-1-1 qui cherchait à déterminer le nombre d'occupants à bord de l'aéronef. La spécialiste de la FSS a examiné le plan de vol et a constaté que la section contenant ce renseignement n'y était pas jointe; par conséquent, elle ne pouvait pas pour l'instant indiquer le nombre d'occupants.

La spécialiste de la FSS a informé le contrôleur de l'ACC à Moncton que l'aéronef s'était écrasé. Elle a ensuite communiqué avec l'ACC de NAV CANADA à Montréal¹³, là où le plan de vol initial avait été déposé, pour obtenir le nombre d'occupants à bord de l'aéronef. Cependant, ce renseignement n'était pas disponible.

À 13 h 45, les premiers intervenants ont déterminé qu'il y avait 7 occupants à bord de l'aéronef.

¹³ Le service de planification des vols de NAV CANADA à Montréal est situé près de l'ACC de Montréal.

Figure 2. Lieu de l'accident



1.2 Victimes

Tableau 1. Victimes

	Équipage	Passagers	Autres	Total
Tués	1	6	-	7
Blessés graves	0	0	-	0
Blessés légers/indemnes	0	0	-	0
Total	1	6	-	7

1.3 Dommages à l'aéronef

L'aéronef a été détruit.

1.4 Autres dommages

Environ 1000 livres de carburant ont contaminé le sol sur les lieux de l'accident, un champ à côté d'un secteur résidentiel. Une dépollution environnementale a été faite sur place.

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Pilote

Tableau 2. Renseignements sur le pilote

Licence de pilote	Licence de pilote de ligne
Date d'expiration du certificat médical	1 ^{er} décembre 2016
Heures totales de vol*	2500
Heures de vol sur ce type*	125
Heures de vol – 7 derniers jours	0
Heures de vol – 30 derniers jours*	4,3
Heures de vol – 90 derniers jours*	19,1
Heures de vol sur type – 90 derniers jours*	19,1

* Le carnet de bord du pilote n'a pas été retrouvé; toutes les heures sont fondées sur le carnet de bord électronique du pilote et les dossiers électroniques de l'aéronef.

Le pilote avait obtenu une licence de pilote de ligne canadienne et une qualification de vol sur multimoteurs en 2010. Une annotation de vol aux instruments de groupe 1 avait été renouvelée le 2 mai 2014; elle était valide jusqu'au 1^{er} juin 2016.

Le pilote était également titulaire d'un certificat de pilote privé de la Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis délivré le 12 juin 2014.

Il avait piloté divers aéronefs monomoteurs et multimoteurs, mais le MU-2B était le premier avion à hautes performances¹⁴ qu'il pilotait.

1.5.1.1 Commandant de bord d'un aéronef MU-2B immatriculé aux États-Unis

Pour agir à titre de commandant de bord (CdB) d'un MU-2B immatriculé aux États-Unis, un pilote doit être titulaire [traduction] « d'une qualification sur aéronefs multimoteurs sur terre et avoir accumulé au moins 100 heures de vol à titre de CdB aux commandes d'un aéronef multimoteur¹⁵ ». Le pilote doit également avoir achevé la formation SFAR n° 108¹⁶, et son carnet de pilote doit être annoté par un instructeur de vol certifié qui atteste que le pilote satisfait aux exigences SFAR.

¹⁴ Un « avion à hautes performances, [à] l'égard d'une qualification, s'entend [...] d'un avion qui, selon le document relatif à l'équipage de conduite minimal, ne requiert qu'un pilote et dont la vitesse maximale (Vne) est de 250 KIAS ou plus ou dont la vitesse de décrochage (Vso) est de 80 KIAS ou plus [...] [source : *Règlement de l'aviation canadien* (RAC), paragraphe 400.01(1)] ».

¹⁵ Federal Aviation Administration, Special Federal Aviation Regulation No. 108 – Mitsubishi MU-2B Series: Special Training, Experience, and Operating Requirements (5 février 2009), section 4 – Aeronautical Experience.

¹⁶ Voir à la section 1.18.1.1 une description des exigences du règlement spécial SFAR n° 108.

En juillet 2014, le pilote avait achevé l'entraînement initial sur aéronef MU-2B-60 aux États-Unis, y compris la formation d'appoint du règlement SFAR n° 108. En juin 2015, le pilote avait achevé l'entraînement périodique MU-2B-60 sur un simulateur MU-2B, conformément aux exigences du règlement SFAR n° 108.

Le pilote dans l'événement à l'étude avait satisfait à toutes les exigences d'exploitation d'un MU-2B selon les privilèges que lui conférait son certificat de pilote privé délivré par la FAA. Le pilote possédait les licences et les qualifications nécessaires pour effectuer le vol à l'étude, conformément à la réglementation américaine en vigueur.

1.5.1.2 Expérience du pilote aux commandes des aéronefs MU-2B

L'expérience du pilote aux commandes du MU-2B-60 comprenait 100 heures accumulées sous la supervision d'un pilote qualifié sur le MU-2B. Même si l'aéronef était certifié pour l'exploitation monopilote, le pilote avait accumulé ces heures de vol supervisées pour se conformer aux exigences relatives à l'assurance de l'aéronef en vue d'agir à titre de CdB de l'aéronef. Par la suite, le pilote avait piloté l'aéronef environ 25 heures comme CdB, le plus souvent accompagné par d'autres passagers-pilotes qui détenaient une qualification de vol IFR.

1.5.1.3 Habitudes d'exploitation d'un MU-2B du pilote

Le pilote avait l'habitude de piloter l'aéronef en compagnie d'autres pilotes titulaires d'une qualification IFR sur aéronef multimoteur; ils sont désignés sous le nom de « passagers-pilotes » dans le présent rapport. Ces passagers-pilotes n'étaient chargés d'aucune tâche de vol particulière et n'étaient pas rémunérés pour accompagner le pilote; ces vols étaient pour eux l'occasion de se familiariser avec l'aéronef. Même si ces passagers-pilotes n'avaient pas obtenu la qualification de type sur MU-2B, ils exerçaient néanmoins certaines fonctions élémentaires d'équipage, comme la revue des listes de vérification, les communications radio et l'utilisation du GPS.

Aucun des passagers-pilotes qui accompagnaient habituellement le pilote n'était disponible pour le vol à l'étude vers CYGR. Celui qui a accepté l'invitation à prendre part au vol n'avait jamais volé avec le pilote en cause.

1.5.2 Passager-pilote

Le passager-pilote était titulaire d'une licence de pilote professionnel (avion) canadienne avec qualification multimoteur et d'instructeur de classe 3. La licence du passager-pilote était également annotée avec une qualification de vol aux instruments de groupe 1, valide jusqu'au 1^{er} décembre 2017. Au moment de l'événement, le passager-pilote avait accumulé 834,2 heures de vol en tout, dont 111,3 heures sur des aéronefs multimoteurs et 85,4 heures de vol IFR. Il était également titulaire d'un certificat de pilote professionnel de la FAA, délivré le 18 mars 2014. Il n'avait aucune expérience antérieure sur le MU-2B.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

1.6.1 Généralités

Le MU-2B-60 est un bimoteur à turbopropulseurs de haute performance certifié pour être exploité par un seul pilote (figure 3)¹⁷. Il s'agit d'un aéronef à voilure haute et à cabine pressurisée, muni d'un train d'atterrissage tricycle escamotable et d'hélices à rotation antihoraire. L'aéronef a un système de déporteurs¹⁸ au lieu d'ailerons¹⁹ pour contrôler le roulis, ce qui permet un volet de courbure qui fait toute l'envergure de l'aile.

Figure 3. L'aéronef en cause (Source : Daniel Villeneuve)



D'après la fiche de données du certificat de type du MU-2B-60, cet aéronef a été certifié à l'origine avec une configuration de sièges pour 8 à 11 passagers.

¹⁷ Federal Aviation Administration, Special Federal Aviation Regulation No. 108—Mitsubishi MU-2B Series: Special Training, Experience, and Operating Requirements, Appendix C(II)(B) (5 février 2009), annexe A au règlement SFAR n° 108 - MU-2B General Training Requirements.

¹⁸ Les déporteurs font saillie au-dessus de la surface de l'aile. Lorsqu'ils sont déployés, ils perturbent l'écoulement de l'air au-dessus de l'aile, avec un accroissement de la traînée et une réduction de la portance, ce qui fait rouler l'aéronef dans ce sens.

¹⁹ Les ailerons sont fixés au bord de fuite des deux ailes. Leur mouvement fait pivoter l'aéronef sur son axe longitudinal.

1.6.2 Renseignements sur l'aéronef en cause

Tableau 3. Renseignements sur l'aéronef

Constructeur	Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.*
Type, modèle et immatriculation	Mitsubishi MU-2B-60 (N246W)
Année de construction	1982
Numéro de série	1552S.A.
Date d'émission du certificat de navigabilité	13 mai 1982
Nombre total d'heures de vol cellule	11 758,5 heures**
Type de moteur (nombre de moteurs)	Honeywell TPE-331 (2)
Hélice (nombre)	Hartzell, HC-B4TN-5JL (2)
Masse maximale autorisée au décollage	11 575 livres
Type(s) de carburant(s) recommandé(s)	Jet A, Jet A-1, Jet B
Type de carburant utilisé	Jet A-1

* D'après la fiche de données du certificat de type, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. autorise sous licence Mitsubishi Heavy Industries America Inc. à maintenir la définition de type des aéronefs de série modèle MU-2B indiqués sur la fiche.

** Nombre d'heures déterminé à partir de l'horomètre Hobbs de l'aéronef.

L'aéronef en cause comprenait 6 sièges pour passagers configurés en 3 rangées de 2 sièges : 2 rangées tournées vers l'arrière et 1 rangée tournée vers l'avant.

Il était muni d'une radiobalise de repérage d'urgence de 406 mégahertz, qui s'est déclenchée durant l'accident et a transmis un signal.

1.6.3 Masse et centrage

L'enquête n'a pas permis de trouver les renseignements sur la masse et le centrage pour le vol à l'étude.

Le plan de vol indiquait un total de 6 personnes à bord, mais en réalité 7 personnes étaient à bord de l'aéronef au décollage : 5 hommes et 2 femmes.

Dans l'enquête, la masse de l'aéronef a été calculée en supposant que les réservoirs de carburant étaient pleins au départ et en tenant compte des bagages et de l'équipement de bord récupérés après l'événement. Ces calculs ont également tenu compte de diverses configurations de poids (réels/normalisés²⁰, nombre d'occupants, proportions hommes/femmes²¹) (tableau 4).

²⁰ Les poids normalisés utilisés étaient ceux du *Manuel d'information aéronautique de Transports Canada*, selon lequel le poids normalisé en été est de 200 livres pour un homme et de 165 livres pour une femme [source : Transports Canada, TP 14371, *Manuel d'information aéronautique de Transports Canada* (AIM de TC) (12 octobre 2017), RAC tableau 3.1].

²¹ En l'absence de renseignements précis sur la proportion hommes/femmes qui a servi au calcul par le pilote, les calculs du BST ont pris en considération tous les cas possibles.

Tableau 4. Calculs de la masse de l'aéronef

Poids utilisés*	Réel	Normalisé	Normalisé	Normalisé
Nombre d'occupants (pilote, passager-pilote et passagers)	7	7	6	6
Nombre de passagers (hommes/ femmes)	3 hommes, 2 femmes	3 hommes, 2 femmes	2 hommes, 2 femmes	3 hommes, 1 femme
Masse à vide de l'aéronef de base	7775,88	7775,88	7775,88	7775,88
Poids combiné du pilote et du passager-pilote	315	400	400	400
Poids des passagers	855	930	730	765
Poids des bagages et de l'équipement de bord	174	174	174	174
Carburant	2700	2700	2700	2700
Déduction du poids du carburant consommé au roulage	-50	-50	-50	-50
Masse totale au décollage	11 769,88	11 929,88	11 729,88	11 764,88
Poids excédant la masse maximale autorisée au décollage	195	355	155	190

* Tous les poids sont en livres.

Dans tous les cas, la masse de l'aéronef dépassait la masse maximale autorisée au décollage de 11 575 livres.

Parmi d'autres facteurs, le dépassement de la masse maximale autorisée au décollage nuit à la performance au décollage d'un aéronef. Même si la masse au décollage n'a pas été un facteur contributif dans l'événement à l'étude, lorsque la masse d'un aéronef dépasse la masse maximale au décollage certifiée, sa performance risque d'être dégradée, ce qui pourrait compromettre la sécurité du vol.

Dans le cas du vol à l'étude, si on utilise les poids réels de tous les occupants, l'enquête a permis de déterminer que le centre de gravité était en deçà des limites prescrites. Même si l'aéronef respectait les limites de poids au moment de l'accident, il dépassait de 195 livres la masse maximale autorisée au décollage lors de son départ.

1.6.4 Maintenance

1.6.4.1 Généralités

Les dossiers indiquent que l'aéronef était certifié et équipé conformément aux règlements et aux procédures approuvées.

À partir du moment où l'aéronef en cause a été immatriculé au nom de son propriétaire actuel (en juin 2014), tous les travaux d'entretien ont été effectués au Canada, soit par l'organisme de maintenance agréé du pilote, soit par des techniciens d'entretien d'aéronef

brevetés au Canada et possédant les qualifications et autorisations requises. Tous ces travaux ont été effectués conformément aux *Procédures de mise en œuvre de maintenance*²².

Aucune difficulté technique n'a été signalée avant le vol à l'étude, et il n'y a aucune indication de défectuosité d'un composant ou d'un système pendant le vol.

1.6.4.2 Consigne de navigabilité 2006-17-05

La FAA a émis la consigne de navigabilité 2006-17-05 pour les aéronefs de série MU-2B, indiquant [traduction] :

de détecter et corriger tout ajustement incorrect du débit de carburant au ralenti de vol. Non corrigé, cet état pourrait mener à une dégradation des performances et de la manœuvrabilité, et entraîner une perte de maîtrise de l'aéronef dans certaines situations²³.

On devait se conformer aux directives de cette consigne [traduction] « dans les 100 heures de temps en service suivant [la date d'entrée en vigueur de la consigne] et de nouveau, par la suite, à intervalles ne dépassant pas 100 heures de temps en service²⁴ ».

Les modalités à suivre pour se conformer à cette consigne étaient précisées dans le bulletin de service (SB) n° 097/73-001 émis par Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (MHI). Ce bulletin contenait l'information contextuelle suivante [traduction] :

MHI a appris que certains exploitants pourraient ajuster incorrectement le débit de carburant aux moteurs en ralenti de vol afin de permettre un taux de descente supérieur à la normale lorsque l'on sélectionne le ralenti de vol. [...] L'exploitation non conforme aux spécifications peut entraîner des caractéristiques de vol dangereuses durant l'atterrissage ou en cas de décrochage. En particulier, des ajustements incorrects pourraient faire passer une des hélices ou les deux en mode de détection de couple négatif (NTS), qui pourrait donner lieu à des caractéristiques de vol dangereuses²⁵.

Le système NTS d'un moteur à turbopropulseur empêche une traînée excessive de l'hélice d'un moteur en panne en contrôlant le pas de ses pales. En vol, s'il y a perte soudaine de puissance du moteur et application d'un couple négatif excessif au moteur, le système NTS

²² Les *Procédures de mise en œuvre de maintenance* donnent effet aux dispositions pertinentes stipulées dans l'Accord concernant la promotion de la sécurité aérienne conclu entre les États-Unis d'Amérique et le Canada et signé le 12 juin 2000; ces procédures visent à réduire le besoin de contrôles réglementaires redondants. Source : Transports Canada, *Procédures de mise en œuvre de maintenance*, <https://www.tc.gc.ca/fra/aviationcivile/normes/int-et-usaimp2006-menu-3700.htm> (dernière consultation le 7 décembre 2017).

²³ Federal Aviation Administration, Airworthiness Directive (AD) 2006-17-05 (entrée en vigueur le 22 septembre 2006), p. 1.

²⁴ *Ibid.*, p. 6.

²⁵ Mitsubishi Heavy Industries Ltd., bulletin de service MU-2 n° 097/73-001 : « Flight Check of the Flight Idle Fuel Flow Setting » (24 juillet 1998), p. 1.

commande par voie hydraulique la soupape de mise en drapeau de l'hélice pour déplacer automatiquement les pales de l'hélice vers leur mise en drapeau. Ce système est conçu de manière à ne pas être activé dans des conditions associées à une descente à vitesse élevée avec les manettes des gaz au ralenti de vol.

Le bulletin de service stipule qu'une vérification en vol doit être faite par un pilote qualifié [traduction] :

pour s'assurer que le réglage du moteur et de l'hélice est conforme aux spécifications du fabricant, pour prévenir toute dégradation potentielle de la manœuvrabilité en vol associée au réglage asymétrique ou trop bas de la puissance au ralenti de vol²⁶.

Dans la vérification en vol, le pilote doit également s'assurer qu'il n'y a aucune indication de déclenchement du système NTS²⁷.

Après la vérification en vol, une inscription est requise dans le carnet de bord pour indiquer la conformité à la consigne²⁸. En 2015, le pilote avait effectué la vérification en vol et avait fait l'inscription requise dans le carnet de bord. Il n'y avait aucune indication que la performance de l'aéronef n'était pas conforme aux spécifications ou que le système NTS des hélices avait été activé durant la vérification en vol.

Les dossiers ne comportent aucune trace de quelque ajustement apporté au réglage du moteur ou des commandes d'hélice dans l'intervalle entre la vérification en vol de 2015 et le vol à l'étude.

D'après les dossiers de maintenance, il était temps de répéter la vérification prescrite par la consigne de navigabilité 2006-17-05, car l'aéronef en cause avait accumulé environ 106 heures de temps en service depuis la dernière vérification en vol. Une inscription dans le livret technique indiquait qu'une vérification en vol était requise, mais rien n'indiquait qu'elle avait eu lieu. Les enquêteurs ont examiné les vols effectués après la date de l'inscription dans le carnet et ont déterminé que la vérification en vol n'avait pas eu lieu. Même si l'aéronef n'était pas conforme à la consigne de navigabilité 2006-17-05 au moment de l'événement, rien n'indique que son utilisation ne respectait pas les spécifications de cette consigne.

²⁶ *Ibid.*

²⁷ *Ibid.*, p. 5.

²⁸ Federal Aviation Administration, *Federal Aviation Regulations (FAR)*, section 43.9: [traduction] « Le contenu, la forme et la présentation des dossiers de maintenance, de maintenance préventive, de réusinage et de modification (sauf dans le cas d'inspections faites conformément à la partie 91, à la partie 125, à l'alinéa 135.411(a)(1) et à l'article 135.419 du présent chapitre). »

1.6.5 *Systèmes de bord*

1.6.5.1 *Système d'avertissement de décrochage*

Le *MU-2B-60 Pilot's Operating Manual* (manuel d'utilisation de l'aéronef) de Mitsubishi présente les renseignements suivants à propos du système d'avertissement de décrochage [traduction] :

Lorsque l'aéronef approche d'un décrochage, un détecteur d'angle d'attaque monté sur le bord d'attaque de l'aile droite réagit aux changements dans l'écoulement de l'air par-dessus l'aile [...] et active le vibreur de manche de 4 à 9 [nœuds] avant le décrochage. [...] Le détecteur d'angle d'attaque comprend un élément chauffant pour le protéger contre le givrage. Dans des conditions de vol où du givre s'accumule sur le bord d'attaque de l'aile, le système d'avertissement de décrochage pourrait ne pas toujours activer le vibreur de manche avant le décrochage. Toutefois, des essais en vol ont montré que des vibrations aérodynamiques naturelles précèdent le décrochage²⁹.

1.7 *Renseignements météorologiques*

1.7.1 *Généralités*

Un message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) est habituellement diffusé toutes les heures. Il décrit les conditions météorologiques à un endroit et à une heure précise, selon des observations au sol. Il est fondé sur des observations faites par des employés qualifiés.

À CYGR, les METAR horaires sont diffusés par les spécialistes de la FSS de NAV CANADA. En cas de changements importants aux conditions météorologiques entre ces observations, les spécialistes émettent un message d'observation météorologique spéciale d'aérodrome (SPECI)³⁰.

1.7.2 *Renseignements météorologiques reçus par le pilote avant le départ*

Un SPECI émis le 29 mars 2016 à 8 h 35 faisait état de vents du 070 °V à 23 nœuds avec rafales à 33 nœuds; visibilité de 3 sm dans de la faible pluie et de la brume; ciel couvert à 300 pieds AGL; température de 0 °C; point de rosée de -0 °C; et calage altimétrique de 28,87 in. Hg.

La prévision d'aérodrome (TAF)³¹ émise le 29 mars 2016 à 7 h 38 indiquait qu'à compter de 12 h et durant la période d'arrivée, les conditions seraient les suivantes : vents du 040 °V à

²⁹ Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., *Mitsubishi MU-2B-60 Pilot's Operating Manual*, document MR-0338-1, révision 7 (15 juillet 2004), p. 3-47.

³⁰ Un SPECI est un message d'observation météorologique spéciale d'aérodrome émis à d'autres moments qu'à l'heure juste en raison de changements importants des conditions météorologiques.

³¹ La période de validité des TAF peut varier et durer jusqu'à 30 heures.

30 nœuds avec rafales à 40 nœuds; visibilité de 1 ½ sm dans de la faible pluie et de la neige; ciel couvert à 300 pieds AGL et température de 1 °C.

Une fluctuation temporaire dans les conditions météorologiques (TEMPO) était prévue pour la période de 12 h à 14 h comme suit : visibilité prévue de 3 sm dans de la faible pluie et de la brume; ciel couvert à 600 pieds AGL. Les prévisions faisaient état de vents qui renforceraient à mesure que la journée avançait. À partir de 14 h, les prévisions faisaient état de vents du 360 °V à 40 nœuds avec rafales à 55 nœuds; visibilité de 1 sm dans de la neige légère et poudrière élevée. À partir de 16 h, les vents souffleraient du 350 °V à 45 nœuds avec rafales à 60 nœuds.

Au moment du décollage à CYHU, les conditions météorologiques à CYGR étaient propices à un départ et à une approche par l'aéronef à l'étude³². Les prévisions faisaient état de vents qui renforceraient considérablement à mesure que la journée avançait. Ce fait et d'autres facteurs opérationnels ont amené plusieurs exploitants commerciaux à annuler des vols prévus plus tard ce jour-là.

1.7.3 Conditions météorologiques à l'aéroport des Îles-de-la-Madeleine émises alors que l'aéronef était en route

La TAF émise le 29 mars 2016 à 10 h 41 pour CYGR faisait état de vents du 050 °V à 30 nœuds avec rafales à 40 nœuds; visibilité de 1 ½ sm dans de la faible pluie, de la neige et de la brume; et ciel couvert à 300 pieds AGL. Un avis TEMPO pour la période de 11 h à 14 h prévoyait une visibilité de 3 sm dans de la faible pluie et de la brume; ciel couvert à 800 pieds AGL; et, de 13 h à 14 h, 30 % de probabilité d'une visibilité de ¾ sm dans de la neige légère et poudrière élevée et une visibilité verticale de 600 pieds AGL.

Un SPECI pour CYGR émis le 29 mars à 12 h 17 faisait état de vents du 050 °V à 17 nœuds avec rafales à 27 nœuds; visibilité de 2 sm dans de la faible pluie et de la brume; couche fragmentée à 200 pieds AGL et ciel couvert à 800 pieds AGL; température de 0 °C; point de rosée de 0 °C; et calage altimétrique de 28,84 in. Hg.

Les conditions météorologiques réelles à CYGR, reçues de la FSS à CYGR le 29 mars à 12 h 23 min 54 s, se présentaient comme suit : vents du 070 °M à 19 nœuds avec rafales à 24 nœuds; visibilité de 2 sm; et une couche fragmentée à 200 pieds AGL. À 12 h 26 min 37 s, les vents soufflaient du 060 °M à 18 nœuds avec rafales à 24 nœuds.

1.7.4 Conditions météorologiques à l'aéroport des Îles-de-la-Madeleine émises après l'accident

Un autre SPECI émis pour CYGR le 29 mars à 12 h 48, environ 18 minutes après l'accident, faisait état de vents du 040 °V à 20 nœuds avec rafales à 27 nœuds; visibilité de 2 sm dans de la faible pluie et de la brume; ciel couvert à 200 pieds AGL; température de 0 °C; point de rosée de 0 °C; et calage altimétrique de 28,84 in. Hg.

³² Les aéronefs d'aviation générale sont autorisés à effectuer une approche lorsque la visibilité au sol est égale ou supérieure à ¼ mille, peu importe le plafond.

Le METAR de 13 h pour CYGR faisait état de vents du 040 °V à 20 nœuds avec rafales à 28 nœuds; visibilité de 2 sm dans de la faible pluie et de la brume; ciel couvert à 200 pieds AGL; température de 0 °C; point de rosée de 0 °C; et calage altimétrique de 28,84 in. Hg.

1.7.5 Aéroport de Charlottetown

À CYYG (l'aéroport de dégagement), le 29 mars à 13 h, on prévoyait des vents du 330 °V à 35 nœuds avec rafales à 50 nœuds; visibilité de 1 sm dans de la neige légère et poudrière élevée, et visibilité verticale de 800 pieds AGL. Un avis TEMPO pour la période de 13 h à 17 h prévoyait une visibilité de 3 sm dans de la neige légère et poudrière élevée, et un plafond couvert à 1200 pieds AGL.

1.7.6 Turbulence et givrage

À la demande du BST, après l'événement, Environnement et Changement climatique Canada a fait une évaluation des conditions météorologiques à CYGR avant l'heure de l'accident et autour de celle-ci. Cette évaluation a conclu que les conditions météorologiques au moment de l'accident présentaient un risque de givrage mixte modéré dans les nuages sous 10 000 pieds ASL, et une turbulence mécanique modérée sous 3000 pieds AGL³³.

Durant tout le vol, il n'y a eu aucune indication de turbulence, de conditions de givrage ou d'accumulation de givre sur l'aéronef. Par conséquent, la turbulence et le givrage n'ont pas été considérés comme des facteurs dans cet événement.

1.8 Aides à la navigation

Les aides à la navigation à CYGR qui desservent les 3 approches IFR disponibles des pistes 07, 25 et 16 comprennent les éléments suivants :

- RNAV (GNSS) pour les 3 pistes;
- LOC et DME pour la piste 07;
- radiophare omnidirectionnel très haute fréquence (VOR) et DME pour les pistes 16 et 25;
- VOR pour les pistes 16 et 25.

Ces aides à la navigation étaient en bon état de service au moment de l'événement.

L'aéronef en cause était muni de l'équipement nécessaire pour effectuer l'approche RNAV (GNSS) et l'approche LOC/DME de la piste 07, et cet équipement était en bon état de service au moment de l'événement.

Aux environs de CYGR, il n'y a aucune couverture radar pour effectuer le suivi des vols à des altitudes inférieures à 8000 pieds.

³³ Service météorologique du Canada, évaluation météorologique, 29 mars 2016, Îles-de-la-Madeleine (Québec).

1.9 Communications

On n'a relevé aucun défaut de qualité des transmissions radio durant le vol.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

CYGR compte 2 pistes asphaltées : la piste 07/25, qui mesure 4493 pieds, et la piste 16/34, qui mesure 3608 pieds.

La piste 07 suit le cap 072 °M, et l'altitude de la zone de toucher des roues est de 22 pieds ASL. La piste est desservie par un indicateur de trajectoire d'approche de précision qui projette une pente de 3°, ce qui convient aux aéronefs d'une hauteur entre les yeux du pilote et les roues de 25 pieds. La piste est munie de feux de seuil et d'extrémité de piste, de feux de bord de piste d'intensité moyenne, et d'un dispositif lumineux d'approche omnidirectionnel d'intensité moyenne, qui s'étend sur 1500 pieds à partir du seuil de piste.

Au moment de l'événement, un avis aux navigants indiquait que le dernier des feux à éclats séquentiels de la piste 07 était hors d'usage.

1.11 Enregistreurs de bord

L'aéronef n'était muni ni d'un enregistreur de données de vol (FDR) ni d'un enregistreur de conversations de poste de pilotage (CVR), selon la définition à l'article 605.33 du RAC. La réglementation n'exigeait ni l'un ni l'autre de ces appareils.

1.11.1 Système d'enregistrement de données de vol Wi-Flight GTA02

L'aéronef était muni d'un système FDR Wi-Flight GTA02 fabriqué par General Aviation Safety Network³⁴, qui le présente comme un FDR portable et automatique aux fins d'assurance qualité des opérations aériennes et de suivi des données de vol.

Le FDR Wi-Flight GTA02 fonctionne sur un téléphone intelligent et offre de nombreuses options de personnalisation du logiciel. Quoique ce système n'est ni conçu ni mis en marché pour satisfaire aux exigences du paragraphe 605.33 du RAC, il enregistre néanmoins les sons ambiants dans le poste de pilotage, l'intégralité des conversations dans le poste de pilotage à partir des microphones de la radio, les coordonnées GPS et les données d'accélération (annexe C). Ce système peut générer automatiquement des alertes après le vol en cas de dépassement de certains paramètres, soit en raison de commandes de pilotage, soit en cas de conditions de vol dangereuses. [Traduction] « Après l'atterrissage [l'enregistreur] télécharge automatiquement les données enregistrées par [...] points d'accès Wi-Fi, par toute connexion Wi-Fi ouverte ou par téléversement optionnel au moyen d'un service cellulaire 3G/4G³⁵ ».

³⁴ Le General Aviation Safety Network a été fondé par le pilote en cause. On trouvera des renseignements généraux sur <http://www.ga-safety.net/> (dernière consultation le 7 décembre 2017).

³⁵ Wi-Flight, brochure de renseignements, https://www.wi-flight.net/docs/Wi-Flight_pamphlet.pdf (dernière consultation le 17 août 2017).

Le système FDR GTA02 avait été installé par un organisme de maintenance approuvé par TC conformément aux *Procédures de mise en œuvre de maintenance*. L'enregistreur était installé dans le support de montage fourni par le fabricant, qui était fixé de façon permanente au-dessus du bâti d'installation de la radio. L'enregistreur était alimenté par une prise d'allumecigarette autonome qui avait été montée de façon permanente sous le tableau de bord, dans le poste de pilotage. Les fils d'alimentation électrique étaient fixés au moyen de ligatures de câble.

Toutes les données relatives au vol à l'étude ont été récupérées à partir du système FDR Wi-Flight GTA02.

1.11.2 Enregistrements de bord protégés par le BST

La *Loi sur le Bureau canadien d'enquête sur les accidents de transport et de la sécurité des transports* (Loi sur le BCEATST) définit les enregistrements de bord et leur protection à l'article 28, comme suit (caractères gras et italiques dans le document source) :

Définition de « enregistrement de bord »

28(1) Au présent article, *enregistrement de bord* s'entend de tout ou partie soit des enregistrements des communications orales reçues par le poste de pilotage d'un aéronef, [...] ou en provenant, soit des enregistrements vidéo des activités du personnel assurant le fonctionnement des aéronefs, [...] qui sont effectués à ces endroits à l'aide du matériel d'enregistrement auquel le personnel n'a pas accès. Y sont assimilés la transcription ou le résumé substantiel de ces enregistrements.

Protection des enregistrements de bord

- (2) Les enregistrements de bord sont protégés. Sauf disposition contraire du présent article, nul ne peut, notamment s'il s'agit de personnes qui y ont accès au titre de cet article :
- a) sciemment, les communiquer ou les laisser communiquer [...] ³⁶.

Le BST a déterminé que comme le système FDR Wi-Flight GTA02 avait été installé à bord de l'aéronef en cause de manière à ne pas être contrôlé par le personnel navigant dans le poste de pilotage, les communications vocales enregistrées étaient protégées en vertu de la Loi sur le BCEATST.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

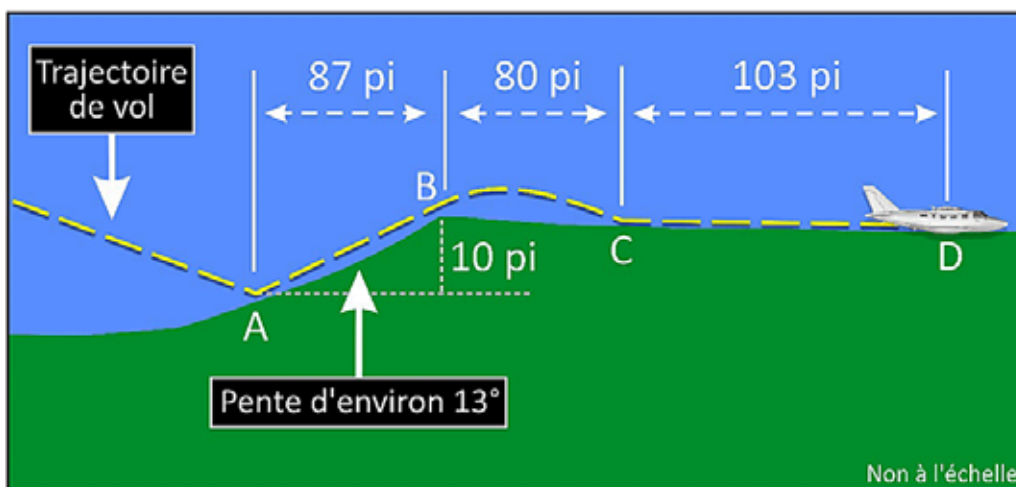
1.12.1 Généralités

Durant l'approche de la piste 07, l'aéronef a percuté la base d'une colline dans une assiette de cabré avec l'aile gauche abaissée, à 1,4 nm à l'ouest et à 1000 pieds au sud de l'axe de piste

³⁶ Gouvernement du Canada, *Loi sur le Bureau canadien d'enquête sur les accidents de transport et de la sécurité des transports*, (L.C. 1989, ch. 3), paragraphes 28(1) et (2).

(figure 4). L'aéronef a rebondi momentanément, puis a percuté le relief et a glissé sur une distance d'environ 100 pieds avant de s'immobiliser.

Figure 4. Séquence d'impact



- A Premier point d'impact
- B Sommet de la pente et fin des premières marques au sol (rebondissement de l'aéronef)
- C Deuxième point d'impact
- D Position définitive de l'épave principale de l'aéronef

On a relevé des marques d'hélice sur le sol des deux côtés du premier point d'impact : 3 marques du côté gauche et 2 du côté droit. Les mesures de ces marques indiquent que les moteurs entraînaient les deux hélices et produisaient de la puissance au moment de l'impact. L'analyse des marques d'hélices et des données de vol a permis à l'enquête de déterminer que l'aéronef a percuté le relief à une vitesse sol d'environ 100 nœuds et à un taux de descente d'environ 4000 pi/min.

Dans la séquence d'impact, le siège du pilote s'est arraché de ses rails de fixation au plancher. Le siège du passager-pilote est demeuré fixé au plancher du poste de pilotage. Le châssis inférieur des deux sièges était déformé, et des parties de l'armature des sièges avaient cédé. Les deux rangées de sièges passagers orientés vers l'arrière ont été arrachées de leur structure de soutien (plancher et paroi de cabine). Le siège passager orienté vers l'arrière du côté gauche avant n'était pas occupé durant le vol à l'étude. Les 2 sièges passagers orientés vers l'avant sont demeurés fixés à la paroi de la cabine, mais ont été arrachés du plancher.

La section centrale de l'aile est demeurée fixée au-dessus du fuselage, mais a été déplacée vers la gauche et a pivoté, ce qui indique la rupture de son jonctionnement au fuselage. La partie supérieure du fuselage sous l'aile a visiblement été écrasée par le poids de l'aile. La cabine était écrasée, et une brèche s'étendait sur tout le dessus du fuselage, jusqu'à tout près du coin inférieur avant de la porte principale. En conséquence de l'écrasement de la cabine, seul l'occupant du siège avant droit disposait d'un volume habitable suffisant. Le train d'atterrissage avant et le train principal gauche se sont séparés de la cellule, tout comme l'empennage.

L'enquête a permis de confirmer l'intégrité des circuits de commande de vol, dont tous les composants ont été retrouvés, ce qui indique qu'il n'y a pas eu de défaillance structurelle avant l'impact.

1.12.2 *Système d'avertissement de décrochage*

Le système d'avertissement de décrochage a été mis à l'essai au Laboratoire d'ingénierie du BST, avec le potentiomètre de position du volet réglé à 5° et le signal du train d'atterrissage réglé en mode « vol ». Quand on a déplacé la cloison de décrochage pour indiquer un décrochage de l'aile, le vibreur de manche s'est activé comme prévu. Même s'il n'a pas été possible de déterminer si l'avertissement de décrochage était correctement calibré, le système d'avertissement aurait été en mesure d'indiquer un décrochage durant l'approche à l'étude.

L'enquête n'a pas permis de déterminer si le vibreur de manche s'est actionné durant le vol à l'étude, étant donné que le système Wi-Flight n'est pas conçu pour enregistrer les alertes sonores de l'aéronef.

1.13 *Renseignements médicaux et pathologiques*

Selon l'enquête, rien ne donne à croire que des facteurs médicaux ou physiologiques aient pu nuire au rendement du pilote.

Toutes les blessures des occupants relevées par le coroner concordaient avec des forces d'accélération verticale de 80 g³⁷ à 100 g³⁸. Tous les occupants ont subi des blessures mortelles lors du premier impact avec le relief.

1.14 *Incendie*

Il n'y a aucun signe d'incendie avant ou après l'impact.

1.15 *Questions relatives à la survie des occupants*

Il y a eu 2 impacts distincts de l'aéronef avec le relief. Les enquêteurs ont calculé que l'accélération verticale maximale, atteinte lors du premier impact, était d'environ 78 g pendant 0,06 seconde. Des études ont établi qu'une force g verticale de cette ampleur cause

³⁷ La mesure normale de la charge g sur un objet est le facteur de charge, ou un multiple de la force g (gravité), lequel correspond au rapport entre la force subie en raison de l'accélération et la force qui existerait si cet objet était au repos à la surface de la Terre.

³⁸ U.S. Army School of Aviation Medicine, *Army Flight Surgeon Guide to Safety and Accident Investigations* (août 2015), à l'adresse https://safety.army.mil/Portals/0/Documents/REPORTINGANDINVESTIGATION/REGULATIONSGUIDANCE/Standard/Flt_Surgeon_Guide.pdf (dernière consultation le 27 juin 2017), « Impact tolerance limits », p. 27-28.

de graves blessures, même si la structure de l'aéronef et les dispositifs de retenue amortissent au maximum les forces d'impact³⁹.

Tous les occupants portaient les ceintures de sécurité installées.

1.16 Essais et recherches

1.16.1 Rapports de laboratoire du BST

Le BST a produit les rapports de laboratoire suivants dans le cadre de la présente enquête :

- LP073/2016 – Light Bulb Analysis [analyse des ampoules]
- LP075/2016 – Wreckage Examination [examen de l'épave]
- LP076/2016 – Audio Synchronization [synchronisation audio]
- LP077/2016 – Flight Data Analysis [analyse des données de vol]
- LP078/2016 – Crashworthiness Examination [examen de la résistance à l'impact]
- LP081/2016 – Site Survey [relevé des lieux]
- LP082/2016 – Propeller Examination [examen des hélices]
- LP083/2016 – Download of TAWS (terrain awareness and warning system) [téléchargement des données du système d'avertissement et d'alarme d'impact]
- LP084/2016 – Instrument Analysis [analyse des instruments]
- LP085/2016 – Flight Control Continuity [continuité des commandes de vol]
- LP281/2016 – Oxygen Bottle Pressure Gauge Examination [examen du manomètre de la bouteille d'oxygène]

1.17 Renseignements sur l'entreprise et sur la gestion

1.17.1 Généralités

L'aéronef en cause a été acheté en juin 2014 par Marquise Aviation Corp. Trustee (Marquise), société américaine enregistrée à Wilmington, au Delaware (États-Unis). Marquise autorisait le pilote à prendre des décisions au nom de la société. L'aéronef privé était immatriculé aux États-Unis et exploité en vertu du règlement 14 du *Code of Federal Regulations* (CFR), partie 91, General operating and flight rules.

1.17.2 Immatriculation de l'aéronef

L'aéronef à l'étude était toujours immatriculé aux États-Unis, mais depuis son achat, il avait son port d'attache permanent à CYHU et servait à effectuer des vols au Canada, et occasionnellement aux États-Unis.

³⁹ Simula Inc., Aircraft Crash Survival Design Guide, Volume II: Aircraft Design Crash Impact Conditions and Human Tolerances, U.S. Army Aviation Systems Command Report No. USAAVSCOM 89-D-22B (décembre 1989).

L'article 202.42 du RAC (section V – Utilisation d'un aéronef étranger) stipule la période durant laquelle les aéronefs immatriculés à l'étranger peuvent être utilisés au Canada. Toutefois, TC ne surveille pas le nombre de jours qu'un aéronef immatriculé à l'étranger passe au Canada au cours d'une période donnée de 12 mois, et n'en fait aucun suivi.

L'article 202.42 du RAC stipule (gras ajouté) :

- (1) Sous réserve de l'article 203.03, il est interdit d'utiliser au Canada un aéronef immatriculé dans un État étranger qui s'est trouvé au Canada pendant un nombre total de 90 jours ou plus dans les 12 mois précédents son utilisation, à moins que les conditions suivantes ne soient réunies :**
- a) l'État étranger est un État contractant;
 - b) l'utilisateur de l'aéronef est :**
 - (i) soit l'État étranger,
 - (ii) soit une personne physique qui n'est ni un citoyen canadien ni un résident permanent, mais qui est un citoyen ou un sujet de l'État étranger,
 - (iii) soit un organisme qui est constitué sous le régime des lois de l'État étranger;**
 - c) dans le cas où l'utilisateur de l'aéronef est un organisme tel que décrit au sous-alinéa b)(iii), l'aéronef est utilisé au Canada :**
 - (i) soit conformément à un certificat d'exploitation aérienne,
 - (ii) soit dans une activité autre qu'une activité qui exigerait le certificat d'exploitation privé si l'aéronef était immatriculé au Canada⁴⁰.**

L'article 604.03 du RAC établit les types d'aéronefs immatriculés au Canada qui requièrent un document d'enregistrement d'exploitant privé (DEEP)⁴¹ (gras ajouté) :

- (1) Sous-réserve du paragraphe (2), il est interdit d'utiliser l'un quelconque des aéronefs canadiens ci-après en vue de transporter des passagers ou des biens à moins d'être titulaire d'un document d'enregistrement d'exploitant privé :**
- a) les gros avions;
 - b) les avions à turboréacteurs;

⁴⁰ Transports Canada, *Règlement de l'aviation canadien* (DORS/96-433), article 202.42, Période durant laquelle l'aéronef se trouve au Canada.

⁴¹ Un nouveau règlement visant les exploitants privés a été adopté en 2014 dans la sous-partie 604 du RAC. Ce nouveau règlement remplaçait le certificat d'exploitation privée par le DEEP. Cependant, au paragraphe 202.42 du RAC, il est toujours question de « certificat d'exploitation privée ».

c) les avions pressurisés à turbomoteur dont la certification prévoit plus de six sièges passagers.

- (2) Le paragraphe (1) ne s'applique pas à l'utilisation d'un des aéronefs visés aux alinéas (1)a) à c) par les personnes suivantes :
- a) l'exploitant aérien qui l'utilise conformément aux exigences de la partie VII;
 - b) la personne qui l'utilise aux termes d'un permis de vol délivré en vertu de l'article 507.04⁴².

L'enquête a permis de déterminer que l'aéronef en question avait été exploité au Canada pendant plus de 90 jours au cours des 12 mois qui ont immédiatement précédé le vol à l'étude. Le pilote avait conclu que son immatriculation n'était pas nécessaire au Canada, d'après son interprétation des dispositions suivantes de l'article 202.42 du RAC :

- sous-alinéa (1)b)(iii) : l'exploitant de l'aéronef (Marquise) était un organisme constitué sous le régime des lois des États-Unis;
- sous-alinéa (1)c)(ii) : l'aéronef serait exploité au Canada dans une activité qui n'exigeait pas de DEEP, car il était équipé de 6 sièges seulement.

Quelques mois après l'accident, en juillet 2016⁴³, TC a émis la Circulaire d'information (CI) 604-004, Exploitant privé – sous-partie 604 du *Règlement de l'aviation canadien*, afin de donner « une interprétation et des directives en ce qui a trait aux exigences réglementaires de la sous-partie 604 du [RAC]⁴⁴ ».

La CI 604-004 comprend la remarque suivante (gras ajouté) :

En ce qui concerne l'alinéa 604.03(1)c) du RAC, le nombre maximal de passagers que peut transporter un aéronef est indiqué sur le certificat de type de chaque modèle d'aéronef. Les propriétaires d'aéronefs qui choisissent de réduire le nombre de passagers à six (6) ou moins en ayant recours à un certificat de type supplémentaire (CTS) sont quand même tenus d'obtenir un document d'enregistrement d'exploitant privé (DEEP) étant donné que **cette exigence est fonction du nombre maximal de passagers indiqué sur le certificat de type original de l'aéronef**⁴⁵.

Si l'aéronef à l'étude avait été immatriculé au Canada, l'exploitant aurait été tenu d'obtenir un DEEP.

⁴² Transports Canada, *Règlement de l'aviation canadien* (DORS/96-433), article 604.03, Interdiction.

⁴³ Bien que cette circulaire d'information ait été publiée en juillet 2016, Transports Canada en avait commencé la rédaction en décembre 2014.

⁴⁴ Transports Canada, Circulaire d'information (CI) 604-004 : « Exploitant privé – sous-partie 604 du *Règlement de l'aviation canadien* », numéro d'édition : 01 (en vigueur le 15 juillet 2016), paragraphe 1.1(1).

⁴⁵ *Ibid.*, paragraphe 4.1(2).

1.17.3 Enquête de l'Office des transports du Canada

L'Office des transports du Canada a préparé un rapport pour déterminer si le vol à l'étude constituait un service aérien public qui exigeait une licence de l'Office. Il a déterminé qu'aucune licence délivrée en vertu de l'article 57 de la *Loi sur les transports au Canada* n'était requise.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Special federal aviation regulations

1.18.1.1 Special Federal Aviation Regulation 108

De juillet 2002 à la fin de 2005, il y a eu 14 accidents mettant en cause des MU-2B aux États-Unis, dont 10 ont été mortels. Cette situation a incité la FAA à faire une évaluation rigoureuse et exhaustive de la sécurité qui comprenait un examen des aspects liés à la certification de cet aéronef, ainsi que de son exploitation, de sa maintenance et de la formation.

Au cours de cette évaluation, la FAA a conclu que [traduction] :

l'aéronef de série MU-2B est de plus en plus utilisé en exploitation privée et pour transporter du fret. Par suite de ce changement d'orientation opérationnelle, les aéronefs de série MU-2B, avions à hautes performances, sont désormais exploités par des pilotes et maintenus par des techniciens qui, en général, ont moins d'expérience des avions à hautes performances que ce n'était le cas quand ils servaient principalement comme avions d'affaires⁴⁶.

En conséquence de cette étude, la FAA a conclu que les pilotes devaient suivre une formation particulière sur le MU-2B, et qu'un règlement spécial d'aviation (SFAR)⁴⁷ était la meilleure solution pour aborder la formation particulière et la vérification des compétences des pilotes.

Le SFAR n° 108, *Mitsubishi MU-2B Series Special Training, Experience, and Operating Requirements*, est entré en vigueur le 5 février 2009. Il concernait [traduction] :

toutes les personnes qui exploitent un Mitsubishi de série MU-2B [immatriculé aux États-Unis], y compris celles qui agissent à titre de commandant de bord ou de commandant en second, ou d'autres personnes qui prennent les commandes sous la supervision d'un commandant de bord⁴⁸.

⁴⁶ Federal Aviation Administration (FAA), *MU-2B Series Airplane Safety Evaluation Report* (décembre 2005), p. 3.

⁴⁷ Un SFAR est habituellement un règlement temporaire qui vise une situation temporaire; de façon générale, il ne sert pas à remplacer ou à faire respecter une réglementation qui doit demeurer en vigueur pendant plusieurs années.

⁴⁸ Le SFAR n° 108 vise également [traduction] « les personnes qui donnent la formation de pilotage pour le Mitsubishi de série MU-2B. Les exigences de ce SFAR [s'ajoutaient] aux exigences des parties 61, 91 et 135, 14 CFR de ce chapitre ».

Le SFAR n° 108 prévoyait une formation initiale obligatoire, une formation de requalification et une formation périodique pour tous les pilotes de MU-2B.

D'après le SFAR n° 108 [traduction] :

Certains aspects des connaissances, des compétences et des habiletés des pilotes doivent recevoir une attention particulière et être évalués durant la formation et le processus de vérification du programme d'entraînement MU-2B.

- (1) Procédures accélérées de prise de conscience d'un décrochage à haute vitesse et les procédures de rétablissement, en insistant sur la gestion de la configuration. Durant toute la formation, on doit insister sur la conscience de la marge de décrochage dans toutes les opérations aériennes et configurations de vol.
- (2) Conscience et détection rapide de la V_{mc} [vitesse minimale de contrôle] doivent faire l'objet d'une formation et d'une vérification. [...]
- (3) Tout au long de la formation et de la vérification, on doit insister sur la gestion de la vitesse anémométrique et la reconnaissance de sa détérioration en deçà des vitesses recommandées et des méthodes de rétablissement, ainsi que sur les méthodes de reprise présentées dans ce programme. [...]
- (5) Caractéristiques de performance de l'aéronef avec tous ses moteurs fonctionnant [...] ⁴⁹.

1.18.1.2 Règlement 14, partie 91, sous-partie N, du Code of Federal Regulations des États-Unis

Pour améliorer la sécurité d'exploitation des aéronefs de série MU-2B, la FAA a mis à jour le contenu du SFAR n° 108 et l'a déplacé dans la sous-partie N, partie 91, du règlement 14 du CFR. Le règlement déplaçant ce SFAR est entré en vigueur le 7 septembre 2016.

La FAA a corrigé et mis à jour plusieurs profils de manœuvre inexacts pour refléter sa philosophie courante de formation. Elle a également ajouté de nouvelles procédures qui ne faisaient pas auparavant partie de la formation en vertu du SFAR n° 108. Le programme de formation qui figure dans les annexes du SFAR n° 108 a été déplacé dans la circulaire d'information 91-89, *Mitsubishi MU-2B Training Program* (22 juillet 2016).

1.18.2 Effet de la performance de l'hélice sur la dynamique de l'aéronef

1.18.2.1 Facteur P

Le facteur P est le terme désignant la charge asymétrique sur l'hélice qui entraîne un mouvement de lacet de l'aéronef à un angle d'attaque prononcé.

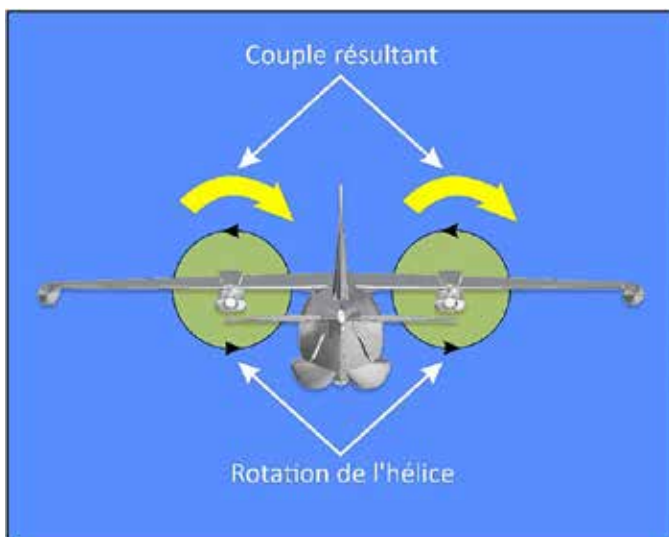
⁴⁹ Federal Aviation Administration, Special Federal Aviation Regulation No. 108—Mitsubishi MU-2B Series: Special Training, Experience, and Operating Requirements, Appendix C(II)(B) (5 février 2009).

Lorsqu'une hélice tourne en sens antihoraire (vue de l'arrière de l'aéronef), les pales descendantes (côté gauche de l'hélice) ont un plus grand angle d'attaque par rapport à l'air qu'elles traversent et génèrent une poussée plus grande que les pales ascendantes du côté droit. Ainsi, le centre aérodynamique de l'hélice se situe à gauche de l'axe central de l'aéronef. Par conséquent, si on augmente l'angle d'attaque ou la puissance, l'aéronef réagit par un mouvement de lacet à droite.

1.18.2.2 Couple de l'hélice

Le couple de l'hélice entraîne un mouvement de roulis de l'aéronef sur son axe longitudinal dans la direction opposée à celle de la rotation de l'hélice (figure 5). Habituellement, le pilote contre le couple de l'hélice en déplaçant ou en ajustant les ailerons ou les déporteurs. Par exemple, pour contrer un mouvement de roulis à droite, le pilote doit sortir le déporteur gauche. Cette correction entraîne un mouvement de lacet négatif, que l'on corrige en déplaçant ou en ajustant le gouvernail.

Figure 5. Effet du couple de l'hélice



Une augmentation soudaine de la puissance, par exemple si le pilote avance rapidement les manettes des gaz, entraîne également une augmentation soudaine du couple. Cette situation peut être critique durant l'atterrissage, car l'aéronef vole à vitesse relativement faible. Lorsque la vitesse d'écoulement de l'air par-dessus les ailes et le stabilisateur vertical est basse, les gouvernes sont beaucoup moins efficaces et peuvent être incapables de contrer l'effet de couple⁵⁰. Cet état peut être amplifié dans le cas d'aéronefs multimoteurs.

⁵⁰ FlightGear, wiki, « Understanding Propeller Torque and P-Factor », http://wiki.flightgear.org/Understanding_Propeller_Torque_and_P-Factor (dernière consultation le 17 août 2017).

1.18.2.3 Effet de l'hélice sur le moment de tangage

[Traduction] « Les hélices produisent une composante de portance vers le haut (perpendiculaire à l'axe de poussée) à cause du changement que subit le flux d'air en traversant l'hélice⁵¹. » Il en résulte un moment de tangage vers le haut, que le pilote doit contrer en déplaçant ou en ajustant les gouvernes de profondeur. Dans le cas d'un aéronef conventionnel à hélices tractives⁵², l'aéronef adopte une assiette en cabré sous l'effet de l'hélice. L'effet de l'hélice augmente à mesure que l'on accroît la puissance de l'aéronef ou l'angle d'attaque⁵³.

1.18.2.4 Effet de l'hélice sur le MU-2B

En appui à la présente enquête, Mitsubishi Heavy Industries America, Inc. (MHIA) a effectué des essais en vol⁵⁴ et sur simulateur⁵⁵ pour observer les effets du couple de l'hélice sur la dynamique de l'aéronef.

1.18.2.4.1 Essai en vol

Alors que l'aéronef volait en palier, le pilote d'essai a déplacé les manettes des gaz au ralenti de vol, a laissé la vitesse anémométrique diminuer à environ 110 KIAS, puis a rapidement déplacé les manettes des gaz pour augmenter la puissance moteur à son maximum.

Le pilote a dû contrer immédiatement un important mouvement de roulis à droite en sortant le déporteur gauche. À mesure que la vitesse de l'aéronef augmentait, le roulis a diminué jusqu'à ce que l'aéronef se stabilise.

1.18.2.4.2 Simulateur MU-2B

L'essai sur simulateur a reproduit une approche par un MU-2B jusqu'à la MDA, suivie d'une remise des gaz. Dans la simulation, l'aéronef était configuré avec les volets à 5°, le train d'atterrissage sorti et le pilote automatique débrayé. L'aéronef volant en palier, le pilote a déplacé les manettes des gaz au ralenti de vol, a laissé la vitesse anémométrique diminuer à environ 100 KIAS, puis a rapidement déplacé les manettes des gaz pour augmenter la puissance moteur à son maximum. Le pilote a alors intentionnellement attendu quelques secondes (pour représenter la lenteur de réaction causée par la surprise) avant de sortir le déporteur opposé.

⁵¹ Aircraft Spruce Canada, *Effect of Propeller on Airplane Dynamics*, <https://www.aircraftspruce.ca/catalog/pdf/13-09032.pdf> (dernière consultation le 17 août 2017).

⁵² En configuration tractive, le moteur est monté avec l'hélice devant lui pour tirer l'aéronef vers l'avant.

⁵³ Aircraft Spruce Canada, *Effect of Propeller on Airplane Dynamics*, <https://www.aircraftspruce.ca/catalog/pdf/13-09032.pdf> (dernière consultation le 17 août 2017).

⁵⁴ Vidéo des sons d'avertissement en vol propres au MU-2B, fournie par MHIA pour appuyer l'enquête du BST, 27 juin 2016.

⁵⁵ MHIA a fourni une vidéo d'un vol simulé d'un MU-2B où on a recréé une remise des gaz à bas régime suivie d'une perte de maîtrise.

Durant cet essai, l'aéronef s'est cabré légèrement, a roulé rapidement à droite, puis a immédiatement piqué avec l'aile droite abaissée jusqu'à ce qu'il percute le relief.

1.18.3 Gestion de l'énergie d'un aéronef

L'énergie d'un aéronef est fonction de sa vitesse anémométrique et de la tendance de celle-ci, de son altitude, de sa vitesse verticale, de la traînée aérodynamique (volets et trains d'atterrissage) et de la poussée. Une des principales tâches de tout pilote est d'utiliser les points de référence à sa disposition pour surveiller et contrôler la condition énergétique – le régime – de l'aéronef en fonction de la phase du vol, puis corriger les situations de régime bas ou élevé. Le contrôle de l'énergie repose sur un équilibre entre la vitesse, la puissance, la traînée aérodynamique et la trajectoire de vol⁵⁶.

La vitesse d'approche est d'ordinaire légèrement derrière la courbe de puissance minimale d'approche; la vitesse est donc instable en décélération⁵⁷ (annexe D). Afin de maintenir la trajectoire de vol malgré une réduction de la vitesse, on doit augmenter la puissance; par conséquent, sans augmentation de puissance, la tendance de décélération s'accroît.

D'après la Flight Safety Foundation (FSF) [traduction] :

L'incapacité de l'équipage de conduite d'évaluer ou de gérer la condition énergétique de l'aéronef durant l'approche est souvent citée comme étant une cause d'une approche non stabilisée.

Un manque d'énergie (voler bas et lentement) ou un excès d'énergie (voler haut et vite) peut entraîner un incident ou un accident à l'approche et à l'atterrissage [...]⁵⁸.

1.18.4 Perte de contrôle

L'OACI décrit une perte de contrôle comme suit :

Situation d'un avion en vol lorsque les paramètres normalement appliqués dans le service de ligne ou la formation sont involontairement dépassés. La perte de contrôle se définit normalement par la présence d'au moins un des paramètres suivants :

- a) assiette en tangage supérieure à 25° en cabré; ou
- b) assiette en tangage supérieure à 10° en piqué; ou

⁵⁶ Flight Safety Foundation, « Approach-and-Landing Accident Reduction (ALAR) Tool Kit », *Flight Safety Digest* (août-novembre 2000), Briefing Note 4.2 – Energy Management, p. 75.

⁵⁷ La courbe de puissance est une parabole où le point le plus bas de la courbe représente la poussée minimum requise pour maintenir une vitesse constante. Le segment de la courbe situé à droite de ce point (côté avant de la courbe de puissance) est la zone d'opération normale où l'équilibre de la puissance est stable. Le segment de la courbe située à gauche du point le plus bas (côté arrière de la courbe de puissance) est instable, et une diminution de la vitesse nécessite une augmentation de la puissance pour maintenir la trajectoire de vol souhaitée (*ibid.*, p. 77).

⁵⁸ *Ibid.*, p. 75.

- c) angle d'inclinaison latérale supérieur à 45°; ou
- d) angle compris à l'intérieur des paramètres ci-dessus, mais des vitesses anémométriques inappropriées aux conditions⁵⁹.

Par ailleurs, [traduction] « Une perte de contrôle ne signifie pas nécessairement une perte de maîtrise de l'aéronef (décrochage ou vrille), mais il comprend des assiettes anormales et des conditions prononcées de survitesse ou de sous-vitesse⁶⁰ ».

1.18.5 Caractéristiques de la maîtrise à basse vitesse du MU-2B

1.18.5.1 Généralités

Des renseignements sur le MU-2 sont disponibles sur le site Web de Turbine Aircraft Services, Inc. (TAS)⁶¹. Les renseignements ci-après ont été présentés dans le numéro d'avril 2016 de *MU-2 Magazine*, publié par TAS⁶² [traduction] :

[L]a capacité de garder la maîtrise consiste simplement à maintenir une vitesse anémométrique adéquate et à garder l'aéronef en vol équilibré. [...]

Les vitesses anémométriques de l'AFM [manuel de vol] et de la liste de vérification ont été testées en vol pour prévoir une marge suffisante par rapport au décrochage. On doit passer en revue ces vitesses dans le cadre de la planification de décollage et d'atterrissage, et éviter les vitesses inférieures. [...]

[U]ne augmentation soudaine de la puissance à des vitesses anémométriques très faibles peut également entraîner une perte de maîtrise, même quand les deux moteurs fonctionnent. Tout particulièrement à basse vitesse, une augmentation rapide de puissance entraîne un cabré et, s'il n'y a pas de correction, le décrochage de l'aile. L'augmentation de la puissance sans ajustement de l'assiette en tangage ni commandes du palonnier appropriées peut entraîner une vrille. À l'approche, alors que le pilote cherche la piste, il pourrait être surpris par l'activation du vibreur de manche pendant qu'il se concentre sur l'extérieur. Alors que l'aéronef vole à quelques centaines de pieds au-dessus de la piste, si le pilote augmente soudainement la puissance sans gouvernes, l'aéronef pourrait se cabrer, jusqu'à entraîner un décrochage ou une vrille. [...]

⁵⁹ Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), *Manuel sur la formation à la prévention des pertes de contrôle et aux manœuvres de rétablissement*, Doc 10011, AN/506 (2014), Glossaire, p. xvi.

⁶⁰ Royal Aeronautical Society, *Aeroplane Upset Recovery Training, History, Core Concepts & Mitigation*, p. 11.

⁶¹ Turbine Aircraft Services, Inc. (TAS) aide MHIA relativement au soutien des MU-2 en vertu d'une entente contractuelle. TAS distribue les publications de MHIA et assure la liaison entre MHIA et les centres de services, fournisseurs et agences de formation qui ont conclu des accords avec MHIA.

⁶² Quoique cet article ait été publié dans le numéro du 10 avril 2016 de ce magazine, il a été rédigé avant l'accident et n'a pas été publié comme suite à l'accident.

En somme, tous les accidents liés à une « perte de maîtrise » ou une « vitesse anémométrique non maintenue » ont deux facteurs en commun – l'aéronef volait trop lentement, et il était pilotable. Peut-être y a-t-il un troisième facteur commun – le pilote n'était pas bien préparé. Nous nous devons, comme nous le devons à nos passagers, d'être bien préparés afin d'éviter que nous arrivent ces accidents inutiles⁶³.

1.18.6 *Sortie de décrochage / façon d'aborder la sortie de décrochage*

La formation SFAR n° 108 d'origine sur la sortie de décrochage exigeait que les pilotes effectuent simultanément les manœuvres suivantes :

- appliquer la puissance maximale;
- ajuster l'assiette en tangage au besoin pour réduire au minimum la perte d'altitude;
- redresser les ailes à l'horizontale si l'aéronef est incliné.

En 2012, la FAA a révisé sa procédure de reconnaissance et de sortie de décrochage pour tous les aéronefs et tous les programmes de formation. La nouvelle procédure insistait sur la réduction positive de l'angle d'attaque en plaçant l'aéronef en position de piqué pour rétablir un écoulement de l'air régulier sur l'aile. Ce changement de procédure a réduit la probabilité que les pilotes se trouvent dans un décrochage secondaire alors qu'ils tentent de réduire au minimum la perte d'altitude. D'après la nouvelle procédure, on doit accepter une certaine perte d'altitude afin de se donner une marge de sécurité suffisante durant la sortie.

La nouvelle procédure de sortie de décrochage comprend les instructions suivantes :

- débrayer le pilote automatique;
- réduire l'angle d'attaque;
- redresser les ailes à l'horizontale si l'aéronef est incliné;
- augmenter la puissance.

La méthode de sortie de décrochage du règlement SFAR n° 108 a été modifiée par souci d'harmonisation avec la nouvelle procédure de sortie de décrochage de la FAA. Depuis 2012, les pilotes qui suivent la formation SFAR n° 108 sont tenus d'exécuter une sortie de décrochage selon la méthode révisée.

Quand on exécute la nouvelle procédure de sortie de décrochage avec un MU-2B, on peut s'attendre à perdre environ 450 pieds d'altitude durant la sortie d'un décrochage sans moteur avec les ailes à l'horizontale. Dans la sortie d'un décrochage avec moteur et les ailes à l'horizontale, on peut s'attendre à perdre environ 200 pieds d'altitude.

⁶³ R. Wheldon, « Loss of Control », dans *MU-2 Magazine*, Turbine Aircraft Services, Inc., 10^e édition (avril 2016), p. 4-5, <http://turbineair.com/wp-content/uploads/2016/04/MU-2-Magazine-10-April-2016.pdf> (dernière consultation le 17 août 2017).

1.18.7 *Prévention du décrochage, sortie de décrochage et façon d'aborder les situations de décrochage selon Transports Canada*

La Circulaire d'information CI 700-031 de TC, Prévention et sortie du décrochage d'un avion, est entrée en vigueur en novembre 2013.

Ce document avait pour objectif

de fournir aux exploitants, aux pilotes, aux équipages de conduite, ainsi qu'au personnel de Transports Canada des recommandations en matière de prévention et de sortie de décrochages.

La présente CI décrit les pratiques exemplaires et propose des recommandations en matière de formation, d'essais et de contrôle qui sont conformes à la réglementation en vigueur, afin de garantir que le personnel réagira de façon correcte et cohérente en cas d'avertissements de décrochage et d'activation du poussoir de manche inattendus.

La présente CI insiste notamment sur la réduction de l'angle d'attaque en tant que principale mesure à prendre en cas de décrochage. Les exploitants et organismes de formation y trouveront également des recommandations quant à l'élaboration de cours sur les événements de décrochage et d'activation du poussoir de manche⁶⁴.

Toujours d'après la CI 700-031 :

Il est prouvé que certains pilotes ne parviennent pas à éviter les conditions pouvant conduire à un décrochage, ou à reconnaître les signes d'une amorce de décrochage lors des opérations de routine, aussi bien en vol manuel qu'en vol automatique. Il est également prouvé que certains pilotes n'ont ni les aptitudes ni la formation requises pour réagir de manière appropriée en cas d'événement de décrochage ou d'activation du poussoir de manche, et notamment s'ils sursautent ou s'ils sont surpris. [...] Une formation efficace sur la prévention et la sortie de décrochage peut également empêcher les déséquilibres de l'avion découlant d'un évitement ou d'une réaction inappropriés du pilote lors d'un événement de décrochage. Les déséquilibres dans les virages ont causé des accidents de perte de maîtrise en vol (LOC-I), qui constituent aujourd'hui la principale cause mondiale de décès dans les accidents d'avion⁶⁵.

⁶⁴ Transports Canada, Circulaire d'information (CI) 700-031 : « Prévention et sortie du décrochage d'un avion », numéro d'édition : 01 (en vigueur le 8 novembre 2013), paragraphe 1.1, https://www.tc.gc.ca/media/documents/ac-opssvs/CIRCULAIRE_D_INFORMATION_700-031_-_PREVENTION_ET_SORTIE_DU_DECROCHAGE_D_UN_AVION.pdf (dernière consultation le 5 décembre 2017).

⁶⁵ *Ibid.*, paragraphe 4.1.

Les principales visées de la CI comprenaient les points suivants :

- a) La prévention des événements de décrochage par la reconnaissance efficace, l'évitement, ainsi que la sortie de décrochage si de tels événements surviennent;
- b) La réduction de l'angle d'attaque est la mesure la plus importante à prendre en cas de décrochage⁶⁶[.]

D'après cette CI,

[l]e terme « prévention » fait référence à toutes les mesures prises par le pilote pour s'informer de toute menace réelle ou potentielle et de son escalade, afin d'éviter un événement de décrochage. Le terme « sortie de décrochage » fait référence à toutes les mesures prises par le pilote pour revenir à l'état souhaité de l'avion en cas de décrochage imminent ou complet⁶⁷.

1.18.8 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 terme⁶⁸ ».

Une conscience situationnelle découle donc de 3 processus distincts chez un pilote. D'abord, un pilote doit percevoir l'information dans l'environnement; ensuite, il doit établir la pertinence de cette information pour sa capacité d'atteindre ses objectifs opérationnels; enfin, il doit utiliser cette information pour prévoir les états et les événements futurs. Ainsi, un pilote maintient 3 niveaux de conscience situationnelle qui lui permettent de [traduction] « planifier et se préparer aux imprévus⁶⁹ », et donc de prendre de meilleures décisions. Chacun des 3 niveaux comprend des étapes de traitement de l'information où des failles peuvent survenir et donner lieu à des évaluations incomplètes ou insuffisantes de la situation.

La formation, les connaissances, l'expérience et les idées préconçues d'un pilote sont certains des facteurs individuels qui influent sur la lecture qu'il fait d'une situation⁷⁰.

⁶⁶ *Ibid.*, paragraphe 3.0.

⁶⁷ *Ibid.*, section 4.1.

⁶⁸ M. R. Endsley, « Design and evaluation for situation awareness enhancement », Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting, Santa Monica (CA), 1988, p. 97 à 101.

⁶⁹ J. Orasanu, « Decision-making in the cockpit », dans : E. L. Wiener, B. G. Kanki, et R. L. Helmreich (dir.), *Cockpit Resource Management* (San Diego [Californie] : Academic Press, 1993).

⁷⁰ M. R. Endsley, « Toward a theory of situation awareness in dynamic systems », *Human Factors* (1995), vol. 37, n° 1 (1995), p. 32 à 64.

1.18.9 *Prise de décisions du pilote*

1.18.9.1 *Généralités*

La prise de décisions du pilote désigne le fait de faire le bon choix au bon moment et d'éviter les circonstances qui pourraient entraîner des choix difficiles. 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. Un élément important de la prise de décisions du pilote est une bonne conscience situationnelle, ce qui nécessite que le pilote fasse cadrer la réalité d'une situation avec ses attentes. Une prise de décisions du pilote inadéquate ou inefficace peut entraîner l'exploitation d'un aéronef au-delà de ses capacités ou des capacités d'un pilote.

Les interruptions et distractions dans le poste de pilotage perturbent le déroulement des activités dans le poste de pilotage (actions et communications), comme les procédures normales d'exploitation, les listes de vérification normales, les communications opérationnelles (écoute, traitement et réponse), les tâches de surveillance ou les activités de résolution de problème. Pour réduire au minimum le risque de diminution de son niveau d'attention opérationnelle, un pilote doit éviter les conversations qui ne sont pas essentielles.

Le détournement de l'attention à cause d'une interruption ou d'une distraction donne habituellement à un pilote l'impression d'être bousculé et d'avoir à composer avec des tâches concurrentes ou prioritaires. Cette perturbation et ce moment d'inattention peuvent entraîner des lacunes : omission de surveiller la trajectoire de vol, omission d'effectuer une action ou absence de détection et de correction de la condition ou de la configuration anormale qui en résulte⁷¹.

1.18.10 *Gestion de la charge de travail*

La charge de travail dépend du nombre de tâches à accomplir dans une certaine période de temps. Si le nombre de tâches à accomplir augmente, ou si le temps disponible diminue, la charge de travail augmente. Par conséquent, pour réduire la charge de travail, il faut soit diminuer le nombre de tâches à accomplir, soit augmenter le temps disponible pour les accomplir.

La saturation des tâches est une condition où le nombre de tâches à accomplir dans une période de temps donnée excède les capacités d'un pilote à les accomplir, et certaines tâches doivent être omises ou reportées.

Si des pilotes commencent à prendre du retard, ils peuvent rapidement se trouver plus pressés par le temps. La charge de travail peut alors atteindre un niveau critique. Lorsque cela se produit, la capacité mentale supplémentaire requise pour rattraper le retard peut empêcher la prise en compte d'indices extérieurs.

⁷¹ Flight Safety Foundation, « A Practical Guide for Improving Flight Path Monitoring: Final Report of the Active Pilot Monitoring Working Group » (novembre 2014), p. 12.

Si des pilotes se trouvent en situation de charge de travail excessive, ils doivent prendre des mesures pour la réduire, plus particulièrement pendant une phase critique du vol, comme l'approche et l'atterrissage. Une des techniques dont disposent les pilotes qui se trouvent presque saturés par les tâches ou dans une position dangereuse en approche finale consiste à remettre les gaz.

Du point de vue de la gestion de la charge de travail, une remise des gaz procure aux pilotes plus de temps pour se rattraper, et ainsi ramener la charge de travail à un niveau acceptable avant d'amorcer une autre approche.

La FAA décrit plusieurs pièges opérationnels qui peuvent mener à des situations dangereuses. En voici des exemples [traduction] :

Être en arrière de l'avion

Ce piège peut survenir lorsque le pilote laisse les événements ou situations dicter ses actions. Plutôt que d'être maître de la situation, il est constamment surpris par la tournure des événements.

Perte de conscience de la position ou de conscience situationnelle

Dans des cas extrêmes, le pilote qui est en arrière de l'avion peut perdre conscience situationnelle ou de sa position. Il peut ne plus savoir où l'aéronef se trouve, ou être incapable de se rendre compte que la situation se détériore⁷².

1.18.10.1 Tendances cognitives nuisant à la prise de décisions du pilote

Les pilotes travaillent dans un environnement complexe qui compte plusieurs sources et types de renseignements à surveiller. La charge de travail mental d'un pilote – les capacités de traitement de l'information qu'il applique à l'exécution d'une tâche en vol – est fonction de la quantité de renseignements dans la mémoire de travail. Les humains ont des capacités limitées de traitement de l'information et ne peuvent donc effectuer simultanément qu'un nombre limité de tâches dans une période donnée. Une charge de travail élevée peut entraîner une saturation des tâches, où la charge de travail ou d'information et les difficultés qu'elle occasionne dépassent les capacités disponibles de traitement de l'information. Une charge de travail élevée et une saturation des tâches sont liées à une réduction des marges de sécurité, de la conscience situationnelle et des capacités de prise de décisions⁷³.

⁷² Federal Aviation Administration (FAA), *Helicopter Flying Handbook* (2012), FAA-H-8033-21A, chapitre 14, figure 14-9, « Operational Pitfalls », https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/helicopter_flying_handbook/ (dernière consultation le 23 novembre 2017).

⁷³ D. Harris, *Human Performance on the Flight Deck* (Ashgate Publishing, 2012), chapitre 3 : Workload, p. 39 à 56.

Le numéro de janvier-février 2010 du bulletin *FAA Aviation News* comprenait des exemples de l'impact que peuvent avoir des facteurs humains sur la sécurité, y compris l'effet de la charge de travail sur les pilotes [traduction] :

Comme le savent tous les pilotes, dans chaque vol, il peut se passer en très peu de temps beaucoup de choses qui peuvent accroître la probabilité d'erreur. Dans trop d'accidents et d'incidents, les pilotes sont dépassés par les événements, deviennent captifs de circonstances changeantes ou accomplissent dans la précipitation des tâches conflictuelles.

La recherche a montré que les humains ont des capacités limitées de traitement de l'information. En cas de surcharge, nous sommes portés à abandonner certaines tâches et à accepter une approche moins planifiée et contrôlée de ce que nous faisons. Ces réactions « normales » peuvent créer des risques inacceptables – mais inaperçus – durant un vol⁷⁴.

Il est établi que plusieurs tendances cognitives, dont celles abordées ci-dessous, influent sur la façon de collecter et de traiter l'information, ainsi que sur la façon de prendre des décisions.

1.18.10.1.1 *Tendance à s'en tenir au plan*

La tendance à s'en tenir au plan se décrit comme [traduction] « une tendance profondément enracinée des gens à poursuivre leur plan d'action initial même quand les circonstances changent et requièrent l'adoption d'un nouveau plan⁷⁵ ». Une fois qu'un plan a été établi et mis en œuvre, il devient plus difficile de reconnaître des stimuli ou des conditions dans l'environnement comme étant des indices de changement que lorsqu'aucun plan n'est établi. Pour qu'un pilote reconnaisse qu'un changement de plan s'impose et réagisse à temps, il doit percevoir une condition ou un stimulus comme étant suffisamment importants pour qu'il agisse immédiatement.

La tendance à s'en tenir au plan est liée à la conscience situationnelle^{76,77,78}. Par exemple, il peut arriver que les pilotes ne détectent pas un changement environnemental menaçant la

⁷⁴ Federal Aviation Administration (FAA), « The Importance of the Human Element », *FAA Aviation News* (janvier-février 2010), p. 8, https://www.faa.gov/news/safety_briefing/2010/media/JanFeb2010.pdf (dernière consultation le 17 août 2017).

⁷⁵ B. Berman et R. K. Dismukes, « Pressing the approach », *Aviation Safety World*, vol. 1, n° 6 (décembre 2006), p. 28.

⁷⁶ L'Organisation de l'aviation civile internationale a adopté le terme « conscience situationnelle ».

⁷⁷ J. Goh et D. A. Wiegmann, « Visual flight rules flight into instrument meteorological conditions: An empirical investigation of the possible causes », *International Journal of Aviation Psychology*, vol. 11, n° 4 (2001).

⁷⁸ J. Orasanu, L. Martin et J. Davison, « Cognitive and contextual factors in aviation accidents: decision errors », dans E. Salas et G. A. Klein (dir.), *Linking Expertise and Naturalistic Decision Making* (Mahwah [New Jersey] : Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2001), p. 209 à 225.

sécurité de leur vol (baisse de conscience situationnelle), et décident de poursuivre une approche ou un atterrissage dans des conditions dangereuses.

La tendance à s'en tenir au plan est aussi liée à la charge de travail. Les pilotes ont davantage tendance à s'en tenir au plan dans des conditions de charge de travail élevée⁷⁹. Les ouvrages de référence en aviation font également état de cette relation : il est plus probable que la tendance survienne [traduction] « lorsqu'une tâche est près d'être achevée, par exemple durant l'exécution d'une approche en vue d'atterrir [...] »⁸⁰.

1.18.10.1.2 *Excès de confiance*

L'excès de confiance découle de la surestimation d'une personne de ses propres compétences ou connaissances ou de son propre jugement à propos d'une situation donnée et de ses conséquences⁸¹. La confiance excessive d'une personne dans la justesse de ses décisions peut l'amener à ne pas tenir compte de renseignements contradictoires mais importants, et peut mener à des décisions qui auront une issue indésirable.

1.18.10.1.3 *Rétrécissement de l'attention*

L'exactitude de la conscience situationnelle dépend grandement de l'attention portée à différents aspects de l'environnement de travail. Les personnes ont une capacité limitée de partager leur attention et peuvent tomber dans le piège du « rétrécissement de l'attention ». On se concentre sur certains indices dans l'environnement que l'on tente de traiter, tout en détournant l'attention, par inadvertance ou intentionnellement, d'autres indices ou tâches. Par exemple, des pilotes dans des conditions de charge de travail élevée peuvent se concentrer sur certains indicateurs, au détriment d'autres, dans le poste de pilotage. La conscience situationnelle peut rapidement se dégrader lorsque les pilotes omettent ou abandonnent certains aspects qu'ils devraient surveiller⁸².

1.18.10.1.4 *Erreur d'appréciation*

L'erreur d'appréciation est une tendance cognitive faisant que les personnes réagissent différemment à un choix particulier en fonction de la façon dont il leur apparaît.

Dans le contexte de l'aviation, cette tendance se manifeste lorsqu'un pilote doit choisir entre 2 options, la première paraissant mener à un « résultat négatif assuré », même si elle est moins dangereuse, et la seconde, à un « risque de résultat négatif ». Par exemple, dans des

⁷⁹ E. Muthard et C. Wickens, « Factors that mediate flight plan monitoring and errors in plan revision: Planning under automated and high workload conditions », présenté lors du 12^e International Symposium on Aviation Psychology, Dayton [Ohio] (2003).

⁸⁰ EUROCONTROL SKYbrary, « Continuation Bias », www.skybrary.aero/index.php/Continuation_Bias (dernière consultation le 17 août 2017).

⁸¹ R. J. Sternberg et K. Sternberg, *Cognitive Psychology*, 7^e édition (Cengage Learning, 2016), p. 450.

⁸² G. Salvendy, *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, 4^e édition (John Wiley & Sons, 2012), p. 559.

conditions difficiles, l'option plus sûre serait d'effectuer une remise des gaz et/ou se rendre à l'aérodrome de décollage (option « résultat négatif assuré »), au lieu de poursuivre une approche non stabilisée (option « risque de résultat négatif »). Lorsque les décisions sont présentées ainsi, il y a une tendance à opter pour la solution plus risquée⁸³.

Lorsque les pilotes reçoivent des renseignements contraires à leurs attentes, leur réaction est plus lente et peut être inappropriée⁸⁴.

1.18.11 Directives de Transports Canada relatives à la conscience situationnelle et à la prise de décisions des pilotes

Le *Guide de test en vol – Licence de pilote privé – Avion* de TC donne à tous les pilotes les renseignements suivants :

Résolution de problèmes et prise de décisions

- a) prévoit les problèmes assez longtemps à l'avance pour éviter une intervention en mode de crise;
- b) utilise un processus décisionnel efficace;
- c) fait des demandes de renseignements appropriées;
- d) établit l'ordre de priorité des tâches pour obtenir le plus possible de renseignements utiles à la prise de décisions;
- e) a recours avec efficacité à toutes les ressources disponibles pour prendre des décisions;
- f) considère les conséquences « en aval » pouvant découler de la décision envisagée.

Conscience de la situation

- a) surveille activement les conditions météorologiques, les systèmes de bord, les instruments, les communications avec les contrôleurs de la circulation aérienne;
- b) évite la « vision tubulaire » - sait que des facteurs comme le stress peuvent réduire la vigilance;
- c) a toujours « une longueur d'avance sur l'avion », c.-à-d. se prépare pour les situations prévues ou imprévues;
- d) demeure vigilant afin de déceler tout changement subtil de l'environnement.

Communication

- a) donne des exposés détaillés;
- b) demande renseignements et conseils;
- c) communique clairement ses décisions;
- d) fait bien valoir son point de vue.

⁸³ E. Salas, F. Jentsch et D. Maurino, *Human Factors in Aviation* (Academic Press, 2010), p. 187 à 188.

⁸⁴ M. R. Endsley, « Situation awareness in aviation systems », dans *Handbook of Aviation Human Factors*, 2^e édition (Boca Raton [Floride]: CRC Press, 2010) p. 12-1 à 12-22.

Gestion de la charge de travail

- a) organise bien les ressources du poste de pilotage;
- b) reconnaît une surcharge de travail comme telle;
- c) élimine les distractions dans les situations où la charge de travail est élevée;
- d) maintient sa capacité de s'adapter dans les situations où la charge de travail est élevée⁸⁵.

1.18.12 Conservation des compétences

Sans renforcement régulier, les compétences tendent à se dégrader. L'ampleur de cette dégradation dépend :

- du niveau de maîtrise atteint à l'achèvement de l'apprentissage;
- du laps de temps écoulé depuis l'apprentissage;
- de la mesure dans laquelle on exerce les compétences après la formation⁸⁶.

Essentiellement, on peut s'attendre à ce que les compétences soient maintenues de façon efficace si elles ont été bien maîtrisées lors de la formation, si elles sont rafraîchies périodiquement et si elles sont exercées régulièrement entre les séances de formation. Ce cycle de formation est particulièrement important pour les tâches procédurales, qui comprennent plusieurs étapes distinctes (par exemple, réagir à une situation d'urgence en vol, comme une panne moteur), car il a été établi que ce sont ces types de tâches qui se dégradent le plus avec le temps.

À l'inverse, les tâches continues, qui sont plus automatiques et pour lesquelles l'environnement fournit des indices (par exemple, piloter manuellement un aéronef durant une approche visuelle), affichent une dégradation minimale avec le temps.

1.18.13 Discipline relative aux listes de vérification

Les listes de vérification sont des sources d'information cruciales qui offrent aux pilotes des lignes directrices d'exploitation générale de l'aéronef. Elles aident les pilotes à prendre des décisions et leur fournissent des solutions toutes faites à diverses situations. Elles tiennent également compte de facteurs de risque qui pourraient ne pas être évidents pour le pilote au cours de l'exploitation normale ou dans une situation anormale ou d'urgence. Dans la plupart des cas, le fait de suivre la liste de vérification ou la procédure appropriée constitue pour les pilotes la ligne de conduite la plus sécuritaire et la plus efficace.

La liste de vérification pour les pilotes du MU-2B comprend le passage suivant [traduction] :

Une liste de vérification a pour but d'aider le pilote à exécuter une procédure de façon exacte. Une procédure est un ensemble d'actions ou de décisions

⁸⁵ Transports Canada, TP 13723F, *Guide de test en vol – Licence de pilote privé – Avion*, 4^e édition (avril 2016), p. 8, https://www.tc.gc.ca/media/documents/ac-publications/GUIDE_DE_TEST_EN_VOL_LICENCE_DE_PILOTE_PRIVÉ_AVION_TP13723F_Q_UATRIEME_EDITION_AVRIL_2016.pdf (dernière consultation le 17 août 2017).

⁸⁶ J. Patrick, *Training: Research and Practice* (Londres: Academic Press, 1992), p. 96 à 104.

prescrites pour atteindre un objectif particulier. Une liste de vérification est une aide physique pour surmonter les limites de la mémoire humaine. [...]

Lorsqu'ils suivent ces listes de vérification, les exploitants doivent toujours se rappeler que leur principale et ultime responsabilité est de conserver la maîtrise de l'aéronef. Ils doivent surtout se concentrer sur le contrôle de la vitesse anémométrique et de l'altitude. La conscience situationnelle doit être constante. Il est essentiel que l'exploitant maintienne l'aéronef à des altitudes et à des vitesses anémométriques appropriées en fonction des prévisions météorologiques courantes et prévues⁸⁷.

1.18.14 Approche stabilisée

1.18.14.1 Généralités

Les approches non stabilisées augmentent considérablement les risques d'accident à l'atterrissage. Si la conformité à la politique relative aux approches stables ne s'améliore pas, la plupart des approches non stabilisées se poursuivront jusqu'à l'atterrissage, augmentant le risque d'accidents à l'approche et à l'atterrissage⁸⁸.

D'après TC, une approche est considérée comme étant stabilisée si elle répond aux critères relatifs à l'approche stabilisée de l'exploitant aérien ou du fabricant⁸⁹.

1.18.14.2 Approche stabilisée du MU-2B-60

La formation au pilotage relative aux profils d'atterrissage normal et à volets réduits ou sans volets du règlement SFAR n° 108 comprend les critères détaillés d'approche stabilisée suivants :

- l'aéronef descend à un taux de 500 à 600 pieds par minute;
- avant 500 pieds AGL, l'aéronef est configuré (train d'atterrissage et volets);
- les pilotes ont vérifié que tous les éléments des listes de vérification ont été contrôlés;
- l'aéronef a ralenti pour atteindre la vitesse de référence d'atterrissage (V_{REF})⁹⁰.

D'après la liste de vérification pour les pilotes du MU-2B [traduction] :

Il est fortement recommandé de faire en sorte que l'aéronef soit dans une approche stable pour les 1000 derniers pieds de descente dans des conditions

⁸⁷ Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., *MU-2B-60 Pilot Checklist*, YET 06220E (acceptée par la FAA le 10 avril 2014), p. Intro-3 à Intro-4.

⁸⁸ Flight Safety Foundation, *Go-around Safety Forum – Findings and Conclusions* (Bruxelles [Belgique]; 18 juin 2013, publication le 26 juin 2013).

⁸⁹ Transports Canada, *Circulaire d'information (CI) n° 700-028*, « Contrôle de la trajectoire verticale pendant une approche de non-précision », numéro d'édition : 01 (en vigueur le 22 avril 2013), au https://www.tc.gc.ca/media/documents/ac-opssvs/AC700-28F_v2.pdf (dernière consultation le 7 décembre 2017).

⁹⁰ V_{REF} égale 1,3 fois la vitesse de décrochage dans la configuration d'atterrissage donnée et selon la masse réelle de l'aéronef.

météorologiques de vol aux instruments (ou pour le segment complet d'approche finale d'une approche de non-précision, si ce segment est à moins de 1000 pieds au-dessus du sol) ou pour les 500 derniers pieds de descente dans des conditions météorologiques de vol à vue. Une approche stabilisée signifie que l'aéronef est configuré pour l'atterrissage, que tous les éléments des listes de vérification ont été contrôlés, que la puissance est réglée de manière à maintenir une vitesse anémométrique de V_{REF} [vitesse de référence d'atterrissage] à V_{REF} plus 20 nœuds, que la vitesse anémométrique est stable entre V_{REF} à V_{REF} plus 20 nœuds, que l'alignement de descente approprié est maintenu, que l'aéronef est compensé, et qu'aucune manœuvre inhabituelle n'est requise pour effectuer l'atterrissage. On recommande d'interrompre l'approche en cas d'écart par rapport à un ou l'autre de ces paramètres⁹¹.

1.18.14.3 Approche stabilisée selon Transports Canada

1.18.14.3.1 Alerte à la sécurité de l'Aviation civile n° 2015-04

Le 6 août 2015, TC a publié l'Alerte à la sécurité de l'Aviation civile (ASAC) n° 2015-04, Approche stabilisée. Cette ASAC concernait les exploitants aériens certifiés en vertu des sous-parties 702, 703, 704 et 705 du RAC, et les exploitants privés enregistrés en vertu de la sous-partie 604 du RAC. Elle visait « à souligner l'importance d'une approche stabilisée et à préciser ses éléments⁹² ». Ce document résumait le concept d'approche stabilisée comme étant « le maintien d'une vitesse, d'un taux de descente et d'une trajectoire de vol verticale et latérale stables en configuration d'atterrissage⁹³ ».

Toujours d'après l'ASAC n° 2015-04 :

Les approches précipitées ou non stabilisées demeurent un facteur important en matière d'impacts sans perte de contrôle (CFIT) et accidents liés à l'approche et à l'atterrissage (ALA). Les avantages sur le plan de la sécurité d'une approche finale stabilisée sont reconnus par de nombreuses organisations, notamment l'OACI, la FAA, l'AESA et TCAC. Les avantages comprennent :

- une meilleure conscience de la situation de la part de l'équipage de conduite;
- plus de temps et d'attention pour surveiller les communications avec l'ATC, les conditions météorologiques et le fonctionnement des systèmes;
- plus de temps et d'attention pour la surveillance de la trajectoire de vol et du niveau d'énergie;

⁹¹ Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., *MU-2B-60 Pilot Checklist*, YET 06220E (acceptée par la FAA le 10 avril 2014), p. AX-8.

⁹² Transports Canada, Alerte à la sécurité de l'Aviation civile (ASAC) n° 2015-04, numéro d'édition : 01, « Approche stabilisée » (6 août 2015).

⁹³ *Ibid.*

- des limites d'écart des paramètres de vol et des hauteurs minimales de stabilisation définies pour appuyer la décision d'atterrir ou de remettre les gaz; et
- des performances d'atterrissage en ligne avec les valeurs de performance attendues⁹⁴.

TC a indiqué que tous les exploitants devraient définir des critères d'approche stabilisée pour toutes les approches qu'ils doivent effectuer, et qu'une approche est jugée stabilisée lorsque ces critères sont fondés sur les éléments suivants :

- [...] la plage de vitesses propre au type d'aéronef;
- [le] réglage de puissance propre au type d'aéronef;
- [...] la plage d'assiettes propre au type d'aéronef;
- [les] configurations propres au type d'aéronef;
- [les] tolérances quant aux écarts des altitudes de franchissement;
- [le] taux de descente;
- [...] l'exécution des listes de vérifications et des exposés des équipages de conduite⁹⁵.

Dans l'ASAC n° 2015-04, TC encourage les exploitants à toujours suivre leurs procédures d'approche stabilisée et recommande que ces procédures comprennent :

- « une surveillance étroite de la vitesse indiquée, du taux de descente et du niveau d'énergie durant une approche visuelle ou aux instruments⁹⁶ »;
- la surveillance de « l'état de l'aéronef et de sa trajectoire de vol » en utilisant le guidage latéral et vertical et des aides visuelles⁹⁷;
- une communication verbale « concernant l'état de l'aéronef et sa progression dans l'approche⁹⁸ »;
- une annonce et une correction rapide de « [t]out écart important de la trajectoire de vol, de la vitesse [anémométrique] indiquée ou du taux de descente prévu⁹⁹ ».

Si une approche ne peut pas continuer selon les paramètres d'approche stabilisée, une remise des gaz est alors nécessaire.

⁹⁴ *Ibid.*

⁹⁵ *Ibid.*

⁹⁶ *Ibid.*

⁹⁷ *Ibid.*

⁹⁸ *Ibid.*

⁹⁹ *Ibid.*

D'après TC :

Il est important de comprendre que la décision d'effectuer une remise des gaz ne signifie pas un mauvais rendement de l'équipage de conduite, mais reflète plutôt un processus décisionnel prudent¹⁰⁰.

1.18.14.3.2 Guide de test en vol

Le *Guide de test en vol – Qualification de vol aux instruments groupes 1, 2 et 3 – Avion* (TP 9939) « établit les techniques, les procédures ainsi que les critères de notation [...] pendant le test en vol nécessaire à l'obtention d'une qualification de vol aux instruments – groupes 1, 2 et 3 – avion¹⁰¹ ». Ce document est destiné aux inspecteurs de TC, aux pilotes-examineurs, aux unités de formation au pilotage, aux instructeurs de vol et aux candidats à l'obtention d'une qualification de vol aux instruments.

L'édition d'avril 2014 de ce guide comprend, pour la première fois, des critères d'une approche stabilisée. Ces critères indiquent que l'aéronef doit se conformer au bon alignement de piste en approche finale et respecter les conditions suivantes :

- Aéronef – en configuration d'atterrissage appropriée pour les conditions de vent et de piste;
- Seulement que des petits changements de cap et d'assiette de tangage requis;
- Vitesse – à l'intérieur de +20/-0 nœuds de la vitesse de référence;
- Taux de descente – à moins de 1000 pieds à minute;
- Puissance appropriée réglée;
- Le briefing et les listes de vérifications complétés; [...]
- En conditions IMC – être stable à 1000 pieds-sol;
- En conditions VMC – être stable à 500 pieds-sol;
- Approche visuelle – les ailes à l'horizontale à 500 pieds-sol¹⁰²

Durant le test en vol, un aéronef peut être stable à 1000 pieds AGL, mais peut par la suite devenir instable en raison de la manipulation ou des conditions de vol. L'inspecteur de TC ou le pilote-examineur tiendra alors compte des actions du pilote dans son évaluation.

1.18.14.4 Flight Safety Foundation

D'après la FSF, il est reconnu qu'une approche stabilisée suivant la trajectoire de descente optimale réduit la charge de travail et accroît la compréhension qu'a un pilote de sa situation

¹⁰⁰ *Ibid.*

¹⁰¹ Transports Canada, TP 9939, Guide de test en vol – Qualification de vol aux instruments groupes 1, 2 et 3 – Avion, 9^e édition (avril 2014).

¹⁰² *Ibid.*

en lui laissant plus de temps pour surveiller la trajectoire, la vitesse de descente et les tendances de la vitesse, et par conséquent le régime de l'aéronef¹⁰³.

La FSF a déjà conclu que [traduction] « ne pas reconnaître la nécessité d'une approche interrompue et ne pas en exécuter une, le cas échéant, est l'une des causes principales d'accidents à l'approche et à l'atterrissage¹⁰⁴ ».

La FSF a aussi avancé que [traduction] :

Ne pas prendre la décision de remettre les gaz est le principal facteur de risque en matière d'accidents à l'approche et à l'atterrissage et la principale cause de sortie de piste à l'atterrissage. Pourtant, moins de 5 % des approches non stabilisées conduisent à une remise des gaz. [...]

Une approche interrompue [ou remise des gaz] constitue une phase de vol normale¹⁰⁵.

Les procédures d'exécution d'une remise des gaz font partie de la formation initiale et des formations périodiques des pilotes. Quoiqu'une remise des gaz soit rarement exécutée, si elle s'avère nécessaire, le pilote doit immédiatement agir en conséquence. Plus l'aéronef se trouve proche du sol, plus cette décision et les mesures prises deviennent critiques, car le niveau d'énergie de l'aéronef est faible.

1.18.15 Liste de surveillance du BST

La Liste de surveillance du BST énumère les principaux enjeux de sécurité qu'il faut s'employer à régler pour rendre le système de transport canadien encore plus sûr.

Les approches non stabilisées figurent sur la Liste de surveillance 2016. Comme l'événement à l'étude l'a démontré, des accidents liés à des approches non stabilisées continuent de se produire aux aéroports canadiens¹⁰⁶.

Les approches non stabilisées resteront sur la Liste de surveillance jusqu'à ce que :

- les grandes compagnies aériennes fassent un suivi de la conformité à la politique sur les approches stables au moyen de leurs systèmes de gestion de la sécurité et prennent des mesures pour réduire le nombre d'approches non stabilisées qui se poursuivent jusqu'à l'atterrissage;
- l'on constate une baisse du nombre d'incidents d'approche non stabilisée et du nombre d'accidents pour lesquels la stabilité de l'approche figure parmi les causes ou les facteurs contributifs.

¹⁰³ Flight Safety Foundation, « Approach-and-Landing Accident Reduction (ALAR) Tool Kit », *Flight Safety Digest* (août-novembre 2000), Briefing Note 7.1 – Stabilized Approach.

¹⁰⁴ *Ibid.*, Briefing Note 6.1 – Being Prepared to Go Around.

¹⁰⁵ Flight Safety Foundation, *Go-around Safety Forum – Findings and Conclusions* (Bruxelles [Belgique]; 18 juin 2013, publication du 26 juin 2013).

¹⁰⁶ Rapports d'enquête aéronautique A11H0002, A12W0004, A13O0098, A14F0065, A15O0015 et A15A0054 du BST.

1.18.16 *Systèmes de détection d'angle d'attaque*

1.18.16.1 *Généralités*

Les indicateurs d'angle d'attaque donnent une représentation visuelle simple de l'angle d'attaque courant de l'aéronef et de sa proximité de l'angle d'attaque critique.

L'aéronef en cause n'était pas muni d'un système de détection d'angle d'attaque et n'était pas tenu de l'être.

1.18.16.2 *Avis de sécurité aérienne du BST – Avertisseurs de décrochage*

Dans son enquête sur l'événement d'octobre 2013 où il y avait eu perte de maîtrise et collision avec le relief d'un C-185E à West Cracroft Island (Colombie-Britannique)¹⁰⁷, le BST a déterminé que les renseignements de base collectés concordent avec un décrochage de l'aéronef durant le virage menant à l'approche finale et à l'amerrissage. L'aéronef avait percuté le relief avant que le pilote puisse sortir du décrochage.

Il serait judicieux de promouvoir l'utilisation d'indicateurs d'angle d'attaque afin de diminuer les risques de tels accidents d'aviation. C'est pourquoi le BST a émis à Transports Canada l'Avis de sécurité aérienne A13P0278-D3-A1 : Systèmes avertisseurs de décrochage, indiquant que TC pourrait encourager l'utilisation de ces dispositifs à bord des aéronefs canadiens. TC n'a pas répondu à cet avis de sécurité, et n'était pas tenu de le faire.

1.18.16.3 *Systèmes de détection d'angle d'attaque non requis ou supplémentaires – États-Unis*

Aux États-Unis, le National Transportation Safety Board¹⁰⁸ et la FAA, tout comme le milieu de l'aviation générale dans ce pays, s'efforcent de prévenir la perte de maîtrise dans l'aviation générale. Dans cette optique, un des moyens préconisés est de favoriser l'acceptation généralisée des systèmes de détection d'angle d'attaque, la formation sur ces systèmes et leur bonne utilisation.

En février 2014, la FAA a émis une note de service qui établissait les [traduction] « exigences et procédures pour délivrer une approbation de conception et de production à un fabricant [américain] [...] visant un système de détection [d'angle d'attaque] non requis/supplémentaire¹⁰⁹ ». On peut installer les systèmes de détection d'angle d'attaque fabriqués conformément à cette politique sur les petits aéronefs en complément aux indicateurs de vitesse anémométrique et aux systèmes avertisseurs de décrochage. Cette note de service et la politique connexe s'appliquent uniquement aux dispositifs installés sur des aéronefs immatriculés aux États-Unis, à l'exclusion des aéronefs de transport régional et de la catégorie transport.

¹⁰⁷ Rapport d'enquête aéronautique A13P0278 du BST.

¹⁰⁸ National Transportation Safety Board, « Most Wanted List 2017-2018 », <https://www.ntsb.gov/safety/mwl/Pages/default.aspx> (dernière consultation le 17 août 2017).

¹⁰⁹ Federal Aviation Administration, Memorandum No. AIR100-14-110-PM01 : Approval of Non-Required Angle of Attack (AOA) Indicator Systems (5 février 2014).

L'installation de ces systèmes ne représente pas une modification majeure à la définition de type d'un aéronef, et donc n'exige aucun certificat de type supplémentaire (CTS). Un technicien aux qualifications requises peut les installer en obtenant une approbation sur place (« field approval ») ou en tant que modification mineure.

1.18.16.4 Approbation de Transports Canada des systèmes de détection d'angle d'attaque non requis ou supplémentaires

TC considère l'installation discrétionnaire d'un système de détection d'angle d'attaque sur un aéronef immatriculé au Canada, de catégorie normale et pour lequel un certificat de type a été délivré comme une modification majeure qui exige l'approbation d'un CTS.

1.18.17 Enregistreurs de bord

1.18.17.1 Enregistreurs de données de vol, de conversations de poste de pilotage et d'images/vidéo

Depuis plusieurs décennies déjà, des enregistreurs de données de vol (FDR) et enregistreurs de conversations de poste de pilotage (CVR) ont été conçus, mis au point et installés à bord d'aéronefs pour enregistrer les données de vol et de poste de pilotage à des fins d'enquête sur les accidents. Les FDR enregistrent de nombreux paramètres de l'aéronef – comme l'altitude, la vitesse anémométrique, le cap – plusieurs fois par seconde. Les CVR enregistrent les transmissions radio et les sons dans le poste de pilotage, comme les voix des pilotes et le bruit des moteurs. Les enregistreurs d'images/vidéo fournissent des vidéos de l'équipage de conduite immédiatement avant, pendant et après un événement. À l'heure actuelle, les CVR et FDR sont considérés comme les moyens les plus complets pour saisir de grandes quantités de données de vol pour les enquêtes sur les accidents.

Les enquêteurs peuvent également obtenir les données téléchargées depuis les GPS, moniteurs de moteur ou autres sources de mémoire rémanente qui ne sont pas protégées contre les impacts.

Les enquêtes qui ont accès aux données de telles sources, ainsi que celles d'autres enregistreurs, ont de meilleures chances de cerner des lacunes de sécurité que les enquêtes qui n'ont pas de données de FDR et de CVR.

1.18.17.2 Exigences à l'égard des enregistreurs de données de vol et des enregistreurs de conversations de poste de pilotage

Les exigences relatives aux CVR et aux FDR à bord d'aéronefs sont semblables partout dans le monde et sont principalement fondées sur le nombre et le type de moteurs, sur le nombre de sièges de passagers dans l'aéronef et sur le type d'exploitation. Les grands aéronefs commerciaux doivent être munis d'un FDR et d'un CVR. Certains aéronefs commerciaux plus petits doivent être munis d'un FDR et d'un CVR, ou seulement d'un CVR. Les avions d'affaires plus petits ne sont pas tenus d'avoir ces dispositifs.

Au Canada, les exigences relatives aux FDR et aux CVR sont énoncées à l'article 605.33 du RAC, « Enregistreur de données de vol et enregistreur de la parole dans le poste de

pilotage ». Aucune réglementation n'exige que les petits aéronefs privés soient munis de quelque type d'enregistreur de données que ce soit.

1.18.17.3 *Systèmes légers d'enregistrement des données de vol*

Les aéronefs d'exploitation commerciale qui pèsent moins de 12 500 livres (5700 kg) ne sont pas habituellement munis d'origine de l'infrastructure du système nécessaire pour un FDR, et l'installation de FDR conventionnels exigerait des modifications pour cette catégorie d'aéronefs. Il existe actuellement sur le marché plusieurs systèmes légers d'enregistrement des données de vol capables d'enregistrer une combinaison de données vidéo et audio du poste de pilotage, de données paramétriques de l'aéronef et/ou de messages de liaison de données.

D'après l'OACI :

Les systèmes d'enregistreurs de bord légers se composent de quatre systèmes : système d'enregistrement de données d'aéronef (ADRS), système d'enregistrement audio de poste de pilotage (CARS), système embarqué d'enregistrement d'images (AIRS) et système d'enregistrement de communications par liaison de données (DLRS). [...] Les spécifications applicables aux enregistreurs de bord légers figurent dans le document EUROCAE [Organisation européenne pour l'équipement électronique de l'aviation civile] ED 155, *Minimum Operational Performance Specification (MOPS)*, ou dans des documents équivalents¹¹⁰.

La norme ED-155, *Minimum Operational Performance Specification for Lightweight Flight Recording Systems* de l'Organisation européenne pour l'équipement électronique de l'aviation civile [traduction] :

définit les spécifications minimales pour les aéronefs qui doivent être munis de systèmes légers d'enregistrement des données de vol [...]. Elle vise les systèmes d'enregistrement de bord robustes, l'équipement auxiliaire et leur installation à bord d'un aéronef.

Ce document peut également servir de lignes directrices aux fabricants qui entendent développer ou installer des systèmes légers d'enregistrement des données de vol qui pourraient servir à d'autres usages, comme la formation au pilotage ou le suivi des données de vol¹¹¹.

Au Canada, aucune réglementation n'exige que des aéronefs soient munis d'un système léger d'enregistrement des données de vol, selon la définition qu'en donne la norme ED-155.

¹¹⁰ Organisation de l'aviation civile internationale, Annexe 6 à la Convention relative à l'aviation civile internationale, *Exploitation technique des aéronefs, Partie I : Aviation de transport commercial international – Avions*, 9^e édition, juillet 2010, p. 6-4.

¹¹¹ Organisation européenne pour l'équipement électronique de l'aviation civile, ED-155, *Minimum Operational Performance Specification for Lightweight Flight Recording Systems* (juillet 2009), p. 2.

1.18.17.4 *Recommandation A13-01 du BST (mai 2013)*

En 2013, à l'issue de son enquête sur un incident de perte de maîtrise/désintégration en vol survenu en mars 2011 au nord-est de Mayo (Yukon)¹¹², le BST a constaté que l'absence de données enregistrées et d'enregistrements de conversations dans le poste de pilotage dans le cadre d'une enquête pourrait empêcher la détermination et la communication de lacunes au chapitre de la sécurité et ainsi l'amélioration de la sécurité des transports.

Dans le préambule à sa recommandation, le Bureau affirmait que, compte tenu des statistiques combinées sur les accidents impliquant les exploitations des sous-parties 702, 703 et 704 du RAC, il existe des arguments convaincants pour que l'industrie et l'organisme de réglementation déterminent les dangers et gèrent les risques inhérents à ces exploitations de façon proactive. Afin d'assurer une gestion efficace du risque, il faut savoir pourquoi les incidents se produisent et quelles pourraient être les lacunes de sécurité qui y ont contribué. En outre, une surveillance régulière des activités normales peut aider ces exploitants à la fois à améliorer leur efficacité opérationnelle et à déceler les lacunes de sécurité avant qu'elles ne causent un accident. En cas d'accident, les enregistrements de systèmes d'enregistrement des données de vol légers peuvent fournir des renseignements utiles, qui permettent de mieux cerner les lacunes de sécurité dans le cadre de l'enquête.

Le Bureau reconnaît qu'il faudrait régler certains enjeux pour faciliter l'utilisation réelle des enregistrements provenant des enregistreurs des données de vol légers, notamment des questions relatives à l'intégration de cet équipement dans un aéronef, à la gestion des ressources humaines et aux enjeux d'ordre juridique, comme la restriction concernant l'utilisation d'enregistrements des conversations et vidéo dans le poste de pilotage. Néanmoins, compte tenu de ce que cette technologie combinée à la surveillance des données de vol offre comme possibilités d'améliorer considérablement la sécurité, le Bureau croit qu'aucun effort ne doit être épargné pour surmonter ces obstacles. En conséquence, le Bureau a recommandé que :

le ministère des Transports, en collaboration avec l'industrie, élimine les obstacles et élabore des pratiques recommandées en ce qui a trait à la mise en œuvre du suivi des données de vol et à l'installation de systèmes d'enregistrement des données de vol légers par les exploitants commerciaux qui ne sont pas actuellement tenus de munir leurs aéronefs de ces systèmes.

Recommandation A13-01 du BST

TC a reconnu que les programmes de suivi des données de vol amélioreraient la sécurité. Depuis 2013, TC tente d'organiser un groupe de discussion avec le secteur de l'aviation pour aborder cette recommandation, mais en vain. Dans sa réponse de janvier 2017, TC a renouvelé sa proposition d'organiser un groupe de discussion en 2017, activité que le ministère projette depuis 2013. Cependant, d'ici à ce que ce groupe de discussion formule des conclusions quant aux défis et aux avantages de l'installation d'enregistreurs multifonctions légers dans les petits aéronefs et à ce que TC indique au BST le plan d'action

¹¹² Rapport d'enquête aéronautique A11W0048 du BST.

découlant de ces conclusions, on ignore quand et comment la lacune de sécurité soulevée par la recommandation A13-01 sera corrigée.

Par conséquent, à l'égard de la réponse à la recommandation A13-01, le Bureau a estimé que son évaluation était impossible.

Même si cette recommandation visait les exploitants commerciaux, l'enquête sur cet accident illustre la valeur que peuvent procurer les systèmes légers d'enregistrement des données de vol pour les aéronefs privés.

1.18.17.5 Absence de données d'enregistreurs de bord

De nombreux rapports d'enquête aéronautique du BST ont fait état de l'incapacité des enquêteurs de déterminer les raisons pour lesquelles un accident s'était produit, en raison de l'absence de dispositifs d'enregistrement de bord. Les avantages des données de vol enregistrées dans les enquêtes sur les accidents d'aéronefs sont bien connus et documentés.

Si une enquête ne bénéficie pas d'enregistrements des données de vol, du poste de pilotage ou d'images/de vidéos, il peut être impossible de cerner d'importantes lacunes de sécurité et d'en faire état en vue d'améliorer la sécurité des transports.

1.18.18 Planification de vol en ligne

Le pilote a fait appel à un fournisseur de planification de vol sur Internet pour déposer son plan de vol. Le plan de vol comprenait le choix de la route et de l'altitude, la consommation de carburant et le temps de vol. Dans la section des renseignements complémentaires (rubrique 19), le pilote a indiqué la quantité de carburant dans les réservoirs, le nombre de personnes à bord et le nom du CdB du vol.

Une fois le plan déposé, des messages de plan de vol sont transmis par le réseau du service fixe des télécommunications aéronautiques (RSFTA) aux unités de contrôle de la circulation aérienne qui vont fournir les services consultatifs, de contrôle et d'alerte. Le RSFTA relie les centres de contrôle régionaux (ACC), les tours de contrôle, les stations d'information de vol (FSS) et les centres d'information de vol au Canada entre eux ainsi qu'avec des installations aéronautiques partout dans le monde.

Les plans de vol IFR sont transmis à l'ACC dans la région d'information de vol où se trouve l'aérodrome de départ afin que l'ACC puisse fournir des services de contrôle et d'alerte. Ils sont ensuite transmis d'un ACC à l'autre, à mesure que progresse le vol, et chaque ACC successif assume la responsabilité des services d'alerte.

L'adresse unique de laquelle le RSFTA a reçu le plan de vol du vol à l'étude ne fonctionne pas comme adresse courriel. Le fournisseur de planification de vol ne peut être joint que par téléphone; le numéro de téléphone figure normalement dans le message RSFTA. Cependant, dans ce cas-ci, le pilote avait remplacé le numéro de téléphone du fournisseur de planification de vol par son propre numéro.

Lorsqu'un plan de vol est déposé par voie électronique, la personne qui l'a déposé doit être accessible par téléphone dans les 30 minutes qui suivent la réception par NAV CANADA au cas où des clarifications seraient nécessaires.

Les renseignements indiqués dans la section des renseignements complémentaires (rubrique 19) sont obligatoires d'après le formulaire de plan de vol de l'OACI; toutefois, d'après les directives de planification de vol des *Procédures pour les services de navigation aérienne – Gestion du trafic aérien* (PANS-ATM)¹¹³, la rubrique 19 ne doit pas être transmise dans les messages de plan de vol. Aucun renseignement de cette rubrique n'est envoyé quand le plan de vol est transmis par le RSFTA à l'ACC.

Ces renseignements figuraient dans le plan de vol lorsqu'il a été déposé, mais n'étaient pas compris dans le plan de vol qui a été transmis à NAV CANADA pour le vol à l'étude. Ainsi, la FSS à CYGR n'avait pas ces renseignements complémentaires lorsque l'accident s'est produit, et donc le nombre de personnes à bord, la quantité de carburant embarquée et le nom du pilote ne pouvaient pas être communiqués à la spécialiste de la FSS et aux premiers intervenants. Les coordonnées du fournisseur de planification de vol n'étaient pas disponibles non plus, car le pilote les avait remplacées par les siennes.

L'enquête a permis de déterminer que plusieurs fournisseurs de plan de vol sur Internet n'ajoutent pas les renseignements complémentaires de la rubrique 19 lorsqu'ils transmettent les plans de vol aux unités de contrôle de la circulation aérienne.

1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces

1.19.1 Récupération et analyse des données

Les enquêteurs ont pu récupérer les données du système d'avertissement et d'alarme d'impact et du dispositif d'enregistrement Wi-Flight. Ces données ont servi à reconstituer le profil de vol dans toutes les étapes du vol. Les enquêteurs ont ainsi pu mieux comprendre et analyser les derniers instants du vol l'impact. Les données audio récupérées du dispositif Wi-Flight étaient intactes et ont été un facteur crucial pour comprendre les événements qui ont mené à l'accident.

¹¹³ Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), *Procédures pour les services de navigation aérienne – Gestion du trafic aérien*, Doc 4444 ATM/501, 15^e édition (2007).

2.0 *Analyse*

2.1 *Introduction*

L'aéronef était équipé et entretenu conformément à la réglementation; durant l'examen, aucune anomalie mécanique qui aurait pu empêcher son fonctionnement normal n'a été signalée ou relevée.

Le pilote avait suivi toute la formation nécessaire pour piloter un MU-2B en vertu de son certificat de pilote privé délivré par la Federal Aviation Administration.

Les données et enregistrements audio récupérés du dispositif Wi-Flight ont été un facteur crucial pour comprendre la chronologie des faits qui ont mené à l'accident. Bien que la réglementation ne prévoie pas d'exigences en ce sens, l'installation et l'utilisation d'un système d'enregistrement des données de vol léger à bord de l'aéronef à l'étude, puis la récupération de ses données par les enquêteurs, ont permis de mieux comprendre cet accident.

L'analyse portera surtout sur les événements, les conditions et les facteurs sous-jacents qui ont causé l'accident ou y ont contribué. En feront partie la planification de l'approche, la descente, l'approche, la gestion de la charge de travail durant l'approche finale, la conscience de la situation et la mesure dans laquelle le pilote a été « en arrière de l'avion », l'expérience du pilote sur ce type d'aéronef et la planification de vol en ligne. En outre, l'analyse examinera les risques pour le réseau de transport dans le but d'améliorer la sécurité dans l'aviation.

2.2 *Planification de l'approche*

Lorsqu'il était en vol de croisière, le pilote a constaté qu'il y aurait de forts vents arrière durant la descente. Il a élaboré son plan d'approche, qui comprenait l'amorce de la descente à un taux de 1500 pieds par minute (pi/min) lorsque le système de positionnement mondial (GPS) de l'aéronef le lui indiquerait, afin de franchir le point de cheminement d'approche initiale (DAVAK) à 3000 pieds au-dessus du niveau de la mer (ASL). Le radioaltimètre a été réglé à l'altitude minimale de descente (MDA) de 620 pieds ASL, et l'altitude d'approche interrompue de 1900 pieds ASL a été notée. À part l'exposé sur l'altitude minimale de descente et l'altitude d'approche interrompue, il n'y a eu aucun exposé pour préciser à quel moment et dans quelles conditions une remise des gaz serait effectuée.

Le pilote avait subséquemment décidé de retarder la descente pour minimiser la consommation de carburant et le temps passé dans les nuages, en adoptant une vitesse anémométrique et un taux de descente plus élevés. Le pilote a donc dû réviser de nouveau son plan pour effectuer la descente à 250 nœuds de vitesse indiquée et à un taux de descente de 2000 pi/min. Ce nouveau plan aurait toujours permis à l'aéronef de franchir le point de cheminement DAVAK à plus ou moins 3000 pieds. Cependant, la descente plus rapide et plus abrupte placerait l'aéronef dans une situation de régime élevé, ce qui exigerait une surveillance plus vigilante de la part du pilote.

Le plafond de nuages fragmentés à 200 pieds se trouvait à environ 400 pieds en deçà de la MDA; cependant, il n'y a eu aucune discussion des risques potentiels associés à la poursuite de l'approche. Aucun plan de contingence n'a été discuté, comme une remise des gaz au cas où les circonstances l'imposeraient. Le pilote a maintenu son plan initial, soit d'atterrir à CYGR.

Si les pilotes ne sont pas prêts à exécuter une remise des gaz à chaque approche, ils risquent de ne pas réagir adéquatement aux situations qui exigent cette manœuvre.

2.3 *Descente et approche*

La descente a commencé alors que l'aéronef se trouvait à 51 milles marins (nm) de CYGR. On a commencé à passer en revue la liste de vérification de descente presque immédiatement après l'amorce de la descente. Pendant la revue de la liste de vérification, le pilote a eu des communications non essentielles avec le passager-pilote, lui expliquant les systèmes de bord et leur fonctionnement. Ces communications ont interrompu le déroulement des activités nécessaires dans le poste de pilotage et se sont poursuivies tout au long de la revue de la liste de vérification.

Par conséquent, le taux de descente réel a commencé à 800 pi/min, mais plus de 4 minutes plus tard il avait augmenté à seulement 1800 pi/min, toujours 200 pi/min de moins que le taux de descente de 2000 pi/min établi durant l'exposé et prévu par le plan. L'aéronef s'est ainsi retrouvé au-dessus du profil de descente prévu, ce qui a réduit encore plus le temps disponible pour achever les autres activités de la liste de vérification, et par conséquent augmenté la charge de travail du pilote.

Si les pilotes ont des communications non essentielles durant les étapes critiques de vol, il y a un risque accru de distraction, ce qui réduit le temps qu'ils ont pour achever les tâches dans le poste de pilotage et augmente leur charge de travail.

Une des principales tâches d'un pilote consiste à maintenir un régime de l'aéronef approprié pour l'étape du vol et, au besoin, à sortir l'aéronef d'une situation de bas régime ou de régime élevé.

Environ 6 minutes après le début de la descente, le pilote a constaté que l'aéronef volait trop haut et qu'il lui faudrait accroître considérablement le taux de descente pour réaliser son plan initial de franchir le point de cheminement DAVAK à la bonne altitude. Il a donc réduit la puissance moteur et augmenté le taux de descente à plus de 2000 pi/min. À peine plus d'une minute plus tard, après que le pilote eut changé le réglage de l'altimètre, ce qui avait effectivement fait perdre environ 1000 pieds d'altitude, l'aéronef descendait à 2500 pi/min et à 240 nœuds, ce qui est considéré comme un régime élevé. Lorsque l'aéronef a franchi le point de cheminement DAVAK, il volait 1500 pieds trop haut et environ 100 nœuds trop vite, et il continuait de descendre à 1600 pi/min.

Durant la descente et l'approche, la vitesse anémométrique était constamment supérieure aux valeurs publiées pour le MU-2B, et les taux de descente dépassaient ceux qui correspondent normalement aux critères d'une approche stabilisée.

Bien que le pilote ait fait un exposé d'approche convenable au passager-pilote et constaté qu'il volait haut et vite, et que l'aéronef n'était pas configuré pour l'atterrissage, il a poursuivi l'approche non stabilisée.

Si les pilotes n'appliquent pas les critères d'une approche stabilisée, il y a un risque qu'ils poursuivent une approche non stabilisée jusqu'à l'atterrissage, ce qui peut entraîner un accident à l'approche et à l'atterrissage.

2.4 *Gestion de la charge de travail durant l'approche finale*

Durant l'approche finale, le pilote s'est concentré principalement sur des tâches individuelles – portant son attention sur la vitesse anémométrique, le taux de descente et l'altitude – en fonction de ce qu'il jugeait critique à un moment donné, sans planifier et se préparer aux imprévus. Cet état mental concorde avec le rétrécissement de l'attention.

Plus précisément, le pilote s'est d'abord assuré que la vitesse anémométrique était réduite de manière à ce que l'aéronef soit configuré pour atterrir lorsqu'il atteindrait le point de cheminement d'approche finale IMOPA. Cependant, au moment où il a franchi le point de cheminement IMOPA, l'aéronef volait environ 790 pieds trop haut et 50 nœuds trop vite, et il descendait à 1900 pi/min. À 2,7 nm de CYGR, la vitesse anémométrique avait diminué à 175 nœuds, et le taux de descente, à 1200 pi/min, lorsque le pilote a réglé les volets à 5° et sorti le train d'atterrissage.

L'incapacité du pilote à gérer efficacement le régime de l'aéronef a mené à une approche non stabilisée.

La charge de travail du pilote avait considérablement augmenté, ce qui aurait nui à sa capacité de prendre des décisions; le pilote n'a probablement pas reconnu qu'il avait l'option de remettre les gaz pour réduire sa charge de travail. Si les pilotes ne reconnaissent pas qu'un nouveau plan s'impose lorsque les circonstances changent, la tendance à s'en tenir au plan peut les amener à poursuivre leur plan initial, même s'il peut être dangereux d'agir ainsi.

À moins de 2,7 nm de la piste, l'attention du pilote a été détournée : plutôt que la vitesse anémométrique, il surveillait surtout l'altitude afin d'éviter que l'aéronef ne passe sous la MDA. Le passager-pilote a affirmé que le sol était visible du côté droit de l'aéronef, mais à aucun moment durant la descente le pilote n'a indiqué qu'il voyait la piste.

Dans les derniers instants du vol, lorsque le pilote avait de nouveau porté son attention sur la vitesse anémométrique, l'aéronef était déjà à bas régime, et la vitesse anémométrique avait diminué à 99 nœuds, à quelques nœuds de la vitesse de décrochage de 95 nœuds.

Lorsque le pilote a débrayé le pilote automatique, il a constaté que la vitesse anémométrique était dangereusement basse. Alors que l'aéronef se trouvait à bas régime et s'approchait du début d'un décrochage, le pilote a rapidement avancé les manettes des gaz, ce qui a entraîné un déséquilibre causé par une application de puissance. L'aéronef a roulé abruptement à droite et a rapidement perdu de l'altitude. Il y a eu perte de maîtrise de l'aéronef, lequel a

réagi de la façon décrite dans les documents sur le MU-2B, correspondant à l'effet causé par les hélices qui tournent en sens antihoraire. Le pilote n'était probablement pas préparé pour ce déséquilibre causé par une application de puissance. Bien qu'il ait réussi à remettre les ailes à l'horizontale, l'aéronef volait trop bas pour qu'il puisse effectuer un rétablissement avant de percuter le relief.

2.5 Conscience situationnelle et « être en arrière de l'avion »

La conscience situationnelle exige que le pilote fasse cadrer la réalité d'une situation avec ses attentes. Le maintien de la conscience situationnelle permet au pilote de planifier et se préparer aux imprévus, ce qui favorise une meilleure prise de décisions. Toute réduction de la capacité d'un pilote de traiter efficacement l'information peut entraîner une perte de conscience situationnelle.

Le pilote a constaté qu'au moment de franchir le point de cheminement d'approche finale, l'aéronef volait trop haut et trop vite, et n'était pas configuré pour atterrir. La tendance à s'en tenir au plan, l'excès de confiance, le rétrécissement de l'attention et l'erreur d'appréciation ont contribué à ce que le pilote décide de poursuivre l'approche.

Lorsque les tâches requises pour piloter un aéronef dépassent la capacité du pilote de les accomplir, l'aéronef « prend les devants » sur le pilote – ou le pilote est « en arrière de l'avion ». Ainsi, ce sont les événements ou les situations qui déterminent les actions du pilote.

Dans l'événement à l'étude, une planification inadéquate de l'approche et la distraction causée par des discussions ne concernant pas directement le vol ont contribué à ce que le pilote se trouve « en arrière de l'avion », comme le montrent les signes suivants :

- descente tardive;
- faible taux de descente initial;
- changement tardif du réglage de l'altimètre;
- corrections minimales au taux de descente et à la vitesse anémométrique;
- défaut d'achever la revue des listes de vérification;
- configuration tardive de l'aéronef en vue de l'atterrissage.

Le nombre de tâches à accomplir dans le temps qu'il restait dépassait la capacité du pilote à les accomplir. Par conséquent, il n'y avait pas de temps durant l'approche pour passer en revue la liste de vérification d'approche ou la liste de vérification avant atterrissage.

La charge de travail élevée du pilote et le peu de temps dont il disposait ont mené à une saturation des tâches, ce qui a réduit sa conscience situationnelle et nuï à sa prise de décisions.

Le pilote a été « en arrière de l'avion » en permettant aux événements de déterminer ses actions, et les tendances cognitives l'ont amené à poursuivre une approche non stabilisée.

2.6 *Expérience*

L'aéronef en cause était le premier avion à hautes performances et le seul muni d'hélices tournant en sens antihoraire que le pilote ait piloté.

Durant l'approche finale, la vitesse de l'aéronef a diminué à quelques nœuds à peine de la vitesse de décrochage avant que le pilote se rende compte de la situation. Dans le cas du MU-2B, l'application soudaine d'une forte puissance à faible vitesse anémométrique produit une tendance à rouler à droite qui peut entraîner une perte de maîtrise si le pilote ne prévoit pas et ne corrige pas ce roulis. Le pilote a été surpris par le roulis à droite et a tardé à le corriger; l'aéronef s'est ainsi incliné à plus de 70° avant de revenir les ailes presque à l'horizontale au moment de l'impact. Une perte de maîtrise est survenue lorsque le pilote a rapidement appliqué la pleine puissance à faible vitesse anémométrique et à basse altitude. Cette manœuvre a entraîné un déséquilibre causé par une application de puissance, et l'aéronef a roulé abruptement à droite, puis a rapidement perdu de l'altitude.

Même si des renseignements expliquant le comportement de l'aéronef en cas de forte application de puissance à faible vitesse anémométrique étaient publiés, la réaction du pilote durant l'événement laisse croire que cette situation ne lui était probablement pas familière. Le pilote avait à son actif environ 2500 heures de vol au total et détenait une licence de pilote de ligne depuis environ 6 ans, mais son expérience de vol était principalement aux commandes d'aéronefs monomoteurs et multimoteurs autres qu'à hautes performances. Au cours des 20 mois durant lesquels le pilote avait piloté l'aéronef en cause, il avait accumulé environ 125 heures de vol, dont au moins 100 heures sous la supervision d'un pilote qualifié et chevronné. Au cours des 3 mois précédents, il n'avait accumulé qu'environ 19 heures de vol, et au cours des 30 jours précédents, seulement 4 heures de vol. L'enquête n'a pas permis de déterminer le nombre d'heures où le pilote volait à titre de commandant de bord (CdB) et était accompagné d'un autre pilote.

Les compétences sont plus efficaces si elles ont été bien maîtrisées durant la formation et si elles sont régulièrement rafraîchies. La dégradation des compétences de vol dépend du degré de maîtrise atteint, du temps écoulé depuis qu'elles ont été acquises, et de leur utilisation répétée après la formation.

La descente amorcée lentement, l'absence de gestion efficace du régime de l'aéronef, un pilote en arrière de l'avion, et un plafond bas constituaient des conditions de vol difficiles.

Par conséquent, il est peu probable que le pilote ait suffisamment mis en pratique ses compétences et procédures de vol pour assurer sa compétence à titre de CdB d'un MU-2B en exploitation monopilote dans les conditions du vol à l'étude.

2.7 *Planification de vol en ligne*

On fait de plus en plus appel à des fournisseurs de planification de vol sur Internet. L'information est transmise par voie électronique du pilote au fournisseur de planification de vol, puis au centre de contrôle régional (ACC) de la région d'information de vol, au moyen du réseau du service fixe des télécommunications aéronautiques.

Les renseignements complémentaires (rubrique 19) indiqués sur le plan de vol aux fins de recherche et sauvetage comprennent la quantité de carburant à bord, le nombre d'occupants à bord, le nom du CdB, et tout équipement d'urgence à bord en cas d'atterrissage forcé ou d'urgence ailleurs qu'à un aéroport. Le transfert de renseignements complémentaires de recherche et sauvetage n'est pas considéré comme obligatoire dans la transmission du plan de vol. À l'heure actuelle, ces renseignements sont conservés à la base d'exploitation du fournisseur de planification de vol, qui peut se trouver dans un autre pays; par conséquent, il peut être difficile de récupérer des renseignements de recherche et sauvetage quand ils seraient nécessaires.

Dans le cas du vol à l'étude, les renseignements complémentaires de recherche et sauvetage (rubrique 19) n'ont pas été transmis par le fournisseur de planification de vol par l'intermédiaire du réseau du service fixe des télécommunications aéronautiques, et donc n'étaient pas disponibles lorsque la région d'information de vol qui couvrait le lieu de l'accident les a demandés à l'ACC. L'ACC n'avait pas le numéro de téléphone du fournisseur de planification de vol, puisque le pilote l'avait retiré. Les premiers intervenants ne savaient pas combien de personnes auraient besoin d'aide du personnel de recherche et sauvetage ou de secours médicaux, avant qu'ils n'arrivent sur place et ne commencent à retirer les occupants de l'aéronef.

Si un plan de vol ne contient pas les renseignements complémentaires de recherche et sauvetage, et si ces renseignements ne sont pas transmis ou facilement accessibles, les premiers intervenants risquent de ne pas avoir l'information dont ils ont besoin pour agir adéquatement.

3.0 *Faits établis*

3.1 *Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs*

1. L'incapacité du pilote à gérer efficacement le régime de l'aéronef a mené à une approche non stabilisée.
2. Le pilote a été « en arrière de l'avion » en permettant aux événements de déterminer ses actions, et les tendances cognitives l'ont amené à poursuivre une approche non stabilisée.
3. Une perte de maîtrise est survenue lorsque le pilote a rapidement appliqué la pleine puissance à faible vitesse anémométrique et à basse altitude. Cette manœuvre a entraîné un déséquilibre causé par une application de puissance, et l'aéronef a roulé abruptement à droite, puis a rapidement perdu de l'altitude.
4. Le pilote n'était probablement pas préparé pour ce déséquilibre causé par une application de puissance. Bien qu'il ait réussi à remettre les ailes à l'horizontale, l'aéronef volait trop bas pour qu'il puisse effectuer un rétablissement avant de percuter le relief.
5. La charge de travail élevée du pilote et le peu de temps dont il disposait ont entraîné une saturation des tâches, ce qui a réduit sa conscience situationnelle et nuï à sa prise de décisions.
6. Il est peu probable que le pilote ait suffisamment mis en pratique ses compétences et procédures de vol pour assurer sa compétence à titre de commandant de bord d'un MU-2B en exploitation monopilote dans les conditions du vol à l'étude.

3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. Lorsque la masse d'un aéronef dépasse la masse maximale au décollage certifiée, sa performance risque d'être dégradée, ce qui pourrait compromettre la sécurité du vol.
2. Si les pilotes ont des communications non essentielles durant les étapes critiques de vol, il y a un risque accru de distraction, ce qui réduit le temps qu'ils ont pour achever les tâches dans le poste de pilotage et augmente leur charge de travail.
3. Si une enquête ne bénéficie pas d'enregistrements des données de vol, du poste de pilotage ou d'images/de vidéos, il peut être impossible de cerner d'importantes lacunes de sécurité et d'en faire état en vue d'améliorer la sécurité des transports.
4. Si les pilotes ne reconnaissent pas qu'un nouveau plan s'impose lorsque les circonstances changent, la tendance à s'en tenir au plan peut les amener à poursuivre leur plan initial, même s'il peut être dangereux d'agir ainsi.

5. Si les pilotes n'appliquent pas les critères d'une approche stabilisée, il y a un risque qu'ils poursuivent une approche non stabilisée jusqu'à l'atterrissage, ce qui peut entraîner un accident à l'approche et à l'atterrissage.
6. Si les pilotes ne sont pas prêts à exécuter une remise des gaz à chaque approche, ils risquent de ne pas réagir adéquatement aux situations qui exigent cette manœuvre.
7. Si un plan de vol ne contient pas les renseignements complémentaires de recherche et sauvetage, et si ces renseignements ne sont pas transmis ou facilement accessibles, les premiers intervenants risquent de ne pas avoir l'information dont ils ont besoin pour agir adéquatement.

3.3 *Autres faits établis*

1. Transports Canada ne surveille pas le nombre de jours qu'un aéronef immatriculé à l'étranger passe au Canada au cours d'une période donnée de 12 mois, et n'en fait aucun suivi.
2. La turbulence et le givrage n'ont pas été considérés comme des facteurs dans cet événement.
3. Transports Canada considère l'installation discrétionnaire d'un système de détection d'angle d'attaque sur un aéronef immatriculé au Canada, de catégorie normale et pour lequel un certificat de type a été délivré comme une modification majeure qui exige l'approbation d'un certificat de type supplémentaire.
4. Même si l'aéronef n'était pas conforme à la consigne de navigabilité 2006-17-05 au moment de l'événement, rien n'indique que son utilisation ne respectait pas les spécifications de cette consigne.
5. Bien que la réglementation ne prévoie pas d'exigences en ce sens, l'installation et l'utilisation d'un système d'enregistrement des données de vol léger à bord de l'aéronef à l'étude, puis la récupération de ses données par les enquêteurs, ont permis de mieux comprendre cet accident.

4.0 Mesures de sécurité

4.1 Mesures de sécurité prises

4.1.1 NAV CANADA

NAV CANADA a collaboré directement avec 2 fournisseurs de planification de vol pour corriger leurs processus de dépôt et les harmoniser avec les instructions du *Manuel d'information aéronautique de Transports Canada* relativement au dépôt de plans de vol au Canada. NAV CANADA collabore également avec tous les autres tiers fournisseurs pour s'assurer qu'ils se conforment à ce manuel et aux *Procédures pour les services de navigation aérienne – Gestion du trafic aérien* de l'Organisation de l'aviation civile internationale concernant le format des messages de plan de vol. On a constaté une réduction des erreurs de format, et les nouveaux problèmes sont corrigés au fur et à mesure.

NAV CANADA reçoit désormais des plans de vol complets et les renseignements complémentaires. Ces renseignements complémentaires sont saisis dans les champs indiqués et dans le bon format. Les renseignements de recherche et sauvetage sont inscrits dans le champ destiné aux commentaires sur l'équipement de survie.

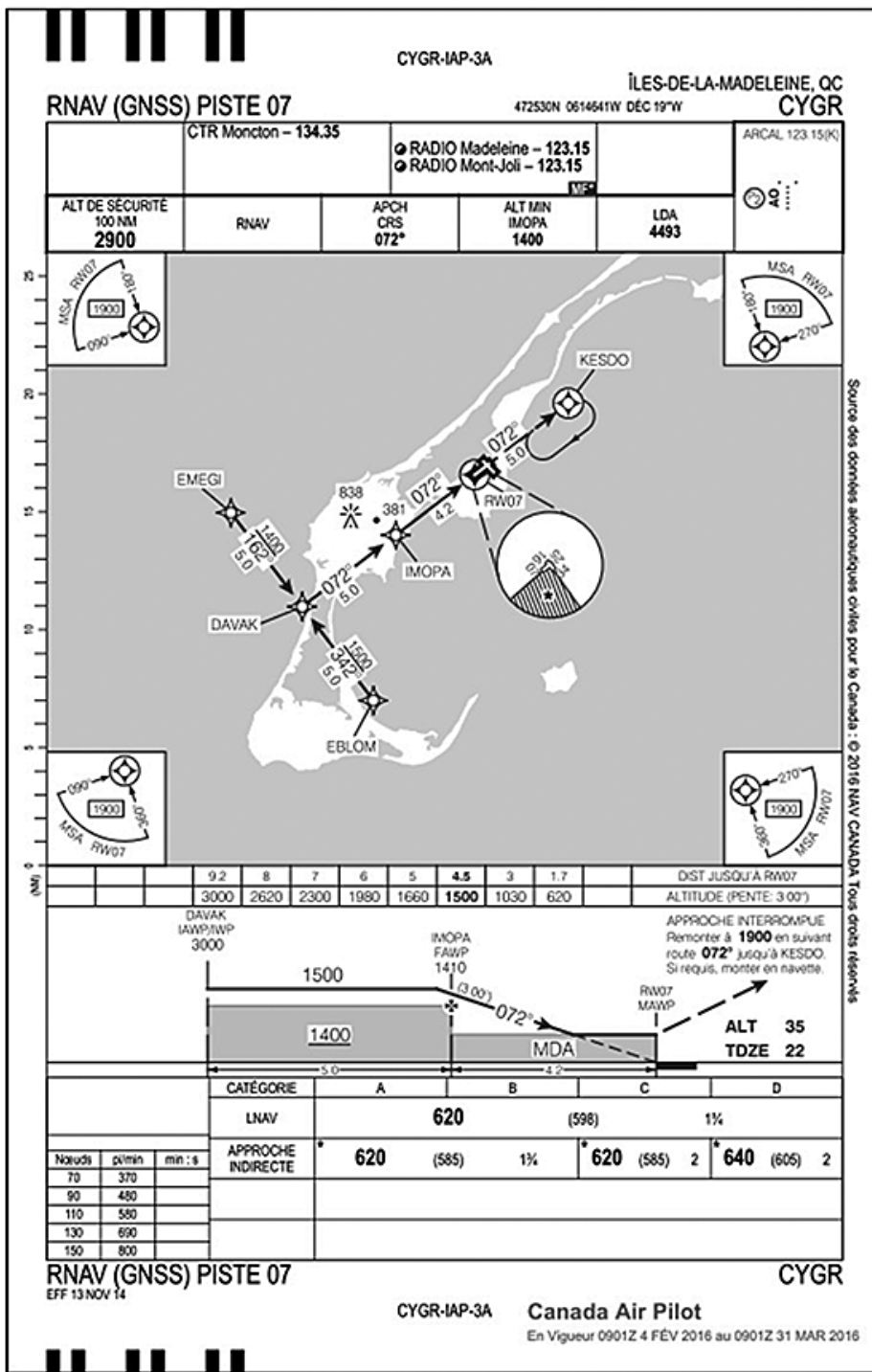
Comme suite à cet événement, NAV CANADA a également avancé la publication des procédures révisées du système mondial de navigation par satellite pour l'aéroport des Îles-de-la-Madeleine. Ces procédures ont été publiées en mars 2017.

Le présent rapport conclut l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 6 décembre 2017. Le rapport a été officiellement publié le 10 janvier 2018.

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

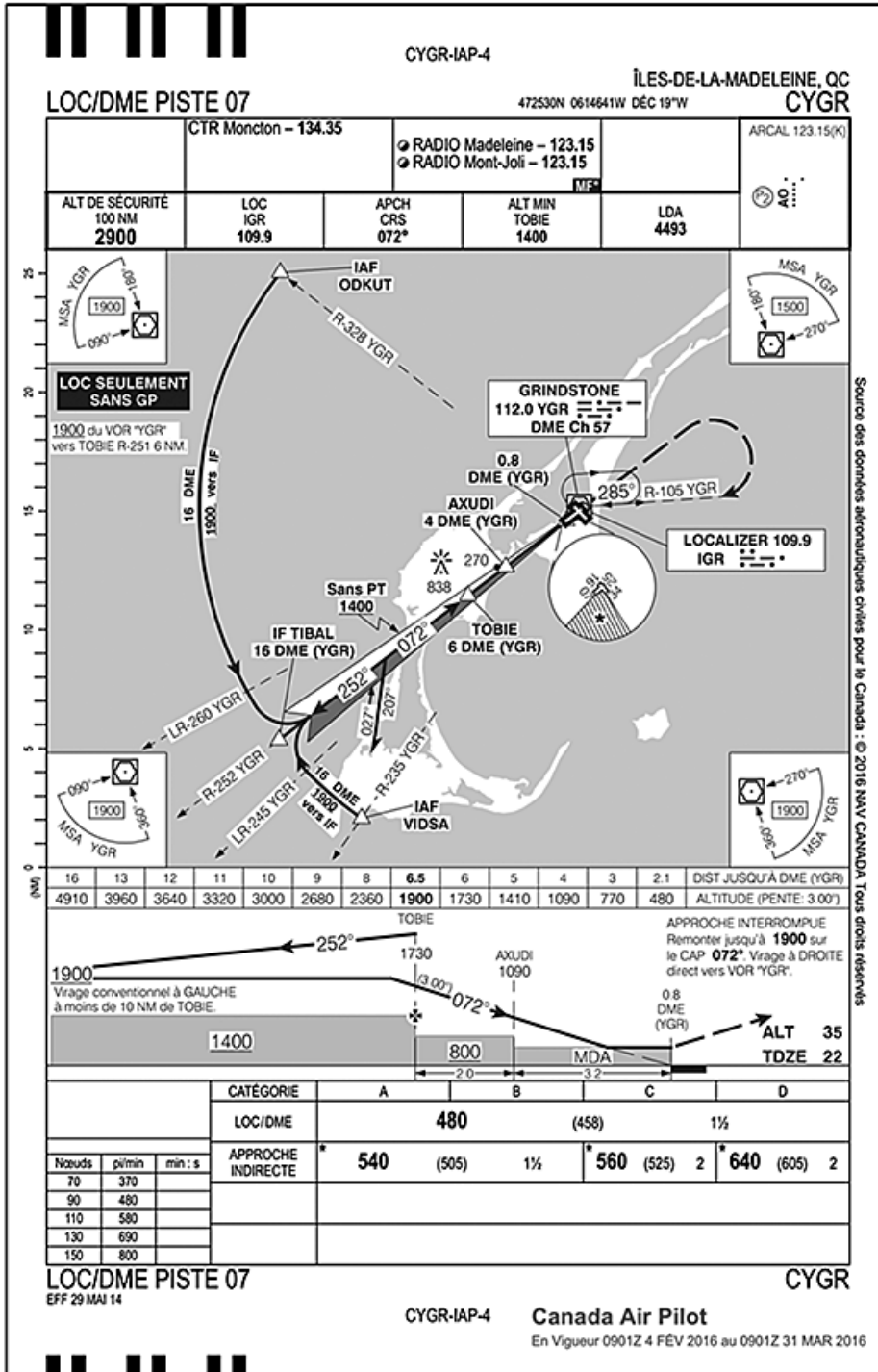
Annexes

Annexe A – Carte d’approche en navigation de surface (système mondial de navigation par satellite) de la piste 07 de l’aéroport des Îles-de-la-Madeleine (CYGR) du Canada Air Pilot



Source : NAV CANADA, *Canada Air Pilot*, Procédures aux instruments, Québec, AIP Canada (OACI) Partie 3—Aérodromes (AD), en vigueur à partir de 0901Z le 4 février 2016 jusqu'à 0901Z le 31 mars 2016. NE DOIT PAS ÊTRE UTILISÉE POUR LA NAVIGATION.

Annexe B – Carte d'approche avec radiophare d'alignement de piste/équipement de mesure de distance de la piste 07 de l'aéroport des Îles-de-la-Madeleine (CYGR) du Canada Air Pilot



Source : NAV CANADA, *Canada Air Pilot*, Procédures aux instruments, Québec, AIP Canada (OACI) Partie 3—Aérodromes (AD), en vigueur à partir de 0901Z le 4 février 2016 jusqu'à 0901Z le 31 mars 2016. NE DOIT PAS ÊTRE UTILISÉE POUR LA NAVIGATION.

Annexe C – Données enregistrées par le système d'enregistrement de données de vol Wi-Flight GTA02

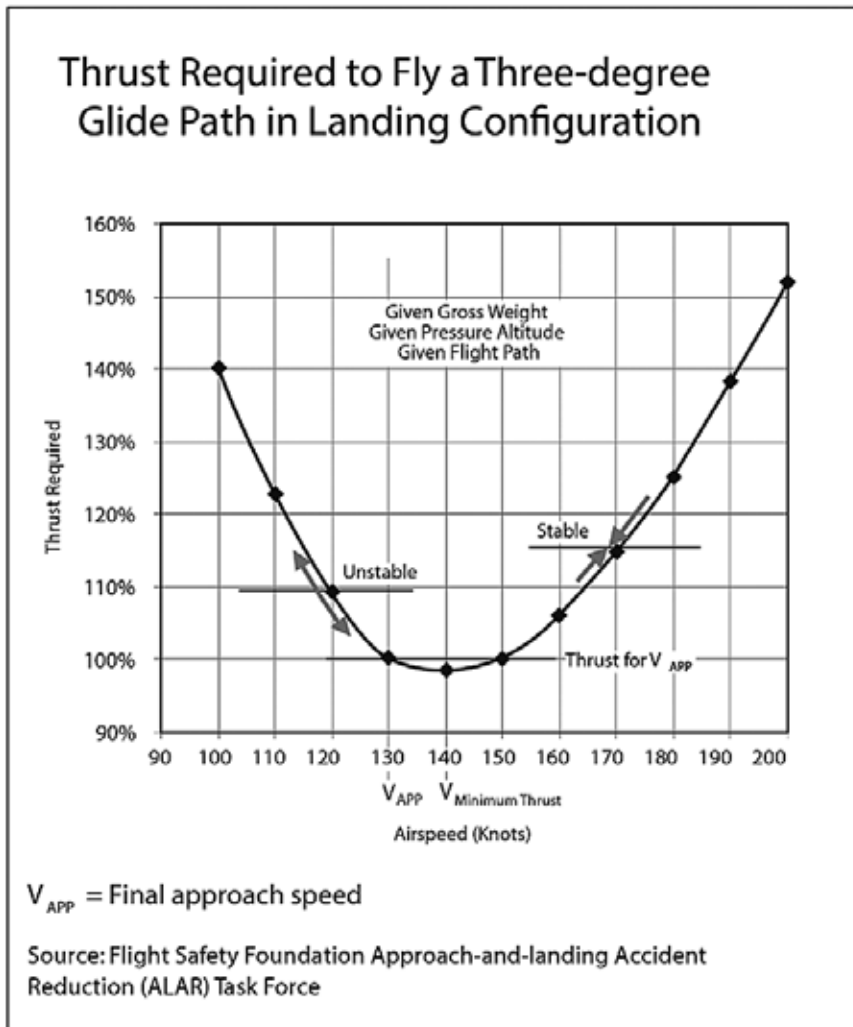
Paramètre	Remarques
Données d'accélération à haute fréquence (25 hertz)	
Date et heure	Temps universel coordonné
Accélération	Accélération dans 3 axes en g*
Échelle d'accélération	plage de l'accéléromètre de 2,3 g ou 9,2 g
Toutes les autres données (4 hertz)	
Temps écoulé	secondes
Route-sol	radians
Accélération verticale	g
Vitesse estimée du moteur	tours/minute**
Exactitude du GPS**	verticale, horizontale et position (3D) en mètres, enregistrées toutes les 6 secondes
Latitude et longitude	degrés
Altitude (2x)	altitude et « altitude WGS84*** » en mètres
Hauteur au-dessus du niveau du sol	mètres
Vitesse sol	mètres par seconde
Vitesse verticale	pieds par minute

* g : accélération due à la pesanteur

** GPS : système de positionnement mondial

*** WGS84 : Système géodésique mondial 1984

Annexe D – Poussée nécessaire pour suivre un alignement de descente de 3° en configuration d'atterrissage



Source : Flight Safety Foundation, Approach-and-landing Accident Reduction (ALAR) Task Force, *Briefing Note 4.2—Energy Management*, figure 2 (p. 77).

Anglais	Français
Thrust Required	Poussée nécessaire
Given Gross Weight	Masse brute donnée
Given Pressure Altitude	Altitude-pression donnée
Given Flight Path	Trajectoire de vol donnée
Unstable	Instable
Stable	Stable
Thrust for V_{APP}	Poussée pour V_{APP}
$V_{Minimum Thrust}$	$V_{Poussée minimale}$
Airspeed (Knots)	Vitesse anémométrique (nœuds)
V_{APP} = Final approach speed	V_{APP} = vitesse d'approche finale