

Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE

A06O0206



COLLISION EN VOL

**ENTRE LE CESSNA 172P C-GFGD
ET LE CESSNA 182T C-GCHN
À 1 NM À L'OUEST DE CALEDON (ONTARIO)
LE 4 AOÛT 2006**

Canada

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

Rapport d'enquête aéronautique

Collision en vol

entre le Cessna 172P C-GFGD
et le Cessna 182T C-GCHN
à 1 nm à l'ouest de Caledon (Ontario)
le 4 août 2006

Rapport numéro A06O0206

Sommaire

Le 4 août 2006, deux avions légers sont entrés en collision en vol à environ 1 nm à l'ouest de la ville de Caledon (Ontario). Les deux avions effectuaient un vol selon les règles de vol à vue (VFR) en espace aérien de classe E. Les deux avions accidentés sont le Cessna 172P, immatriculé C-GFGD, numéro de série 17275680, exploité par le Brampton Flying Club, avec à son bord un instructeur et un élève, ainsi que le Cessna 182T, immatriculé C-GCHN, numéro de série 18281612, avec à son bord le propriétaire de l'appareil. Le C-GFGD exécutait une descente progressive vers le sud-est, les ailes à l'horizontale. Le C-GCHN était en vol rectiligne en palier en direction nord. L'angle entre les trajectoires des deux avions était d'environ 120°.

Lors de l'abordage, l'aile droite du C-GCHN a été arrachée, et l'appareil est devenu impossible à contrôler. Le poste de pilotage et le nez du C-GFGD ont été endommagés. Les deux avions se sont écrasés près du point de collision. Les trois occupants des appareils ont subi des blessures mortelles. Les deux avions ont été détruits. Un petit incendie s'est déclaré après l'impact, les débris d'un des avions ayant sectionné une ligne de transport d'électricité. Aucun incendie ne s'est déclenché dans les épaves principales des deux avions. L'accident s'est produit à 12 h 34, heure avancée de l'Est, par 43°51'29.6" N, 080°1'12.8" W.

This report is also available in English.

Autres renseignements de base

L'abordage s'est produit de jour dans des conditions propices au vol à vue. Le soleil était haut dans le ciel. Les conditions météorologiques et le soleil n'ont joué aucun rôle dans l'accident.

Le Cessna 172, immatriculé C-GFGD, avait été autorisé à effectuer un vol d'instruction en vue du test en vol de l'élève-pilote pour l'obtention de sa licence de pilote privé. L'instructeur était le commandant de bord et il était responsable de l'ensemble de la conduite du vol. L'élève était fort probablement le pilote aux commandes, et il devait exécuter toutes les vérifications et fonctions pertinentes. Un des rôles de l'instructeur consiste à surveiller l'exécution des manœuvres et les techniques utilisées par l'élève pour s'acquitter de toutes les fonctions qui lui incombent dans le poste de pilotage. Le Cessna 182, immatriculé C-GCHN, suivait un plan de vol établi selon les règles de vol à vue (VFR). L'avion a décollé de l'aéroparc de Burlington (Ontario) pour se diriger vers l'aéroport de Collingwood (Ontario), puis vers l'aéroport municipal de Parry Sound (Ontario). L'altitude de croisière prévue était de 3500 pieds.

Les membres d'équipage des deux avions possédaient les qualifications nécessaires au vol, des certificats médicaux en règle ainsi qu'une vision normale (corrigée ou non) et ils connaissaient les conditions locales. Les résultats des autopsies et l'examen des antécédents médicaux n'ont pas révélé d'incapacités ou de déficiences avant la collision. Les deux avions étaient équipés de ceintures-baudriers à trois points. Le C-GCHN était également équipé de sacs gonflables intégrés à la ceinture-baudrier. Les forces d'impact ont dépassé les limites de conception des systèmes de retenue, et la violence de l'impact ne laissait aucune chance de survie aux occupants.

Les données radar indiquent que le C-GFGD effectuait une descente graduelle de 3800 à 2400 pieds sur un cap sud-est en direction de l'aéroport de Brampton, tandis que le C-GCHN se dirigeait au nord vers Collingwood en maintenant une altitude de 2400 pieds. Les deux avions convergeaient selon un angle de 120° et se rapprochaient à une vitesse d'environ 200 nœuds (340 pieds/seconde). Les trajectoires de vol et la géométrie de la collision sont représentées aux annexes A et B. Les avions présentaient un angle de 30° l'un par rapport à l'autre.

L'examen des épaves a permis de constater que les avions se sont heurtés les ailes à l'horizontale et sans changement de cap, comme le montre l'annexe C, ce qui indique qu'aucun des avions n'a exécuté une manœuvre d'évitement. L'aile droite du C-GCHN s'est détachée du fuselage. Les épaves principales des deux avions ont été trouvées dans la direction du vol. Il n'y avait aucun signe de dommages ou d'anomalies avant impact qui auraient pu nuire au pilotage de l'un ou l'autre des avions avant la collision. Les dossiers indiquent que les deux appareils étaient entretenus conformément à la réglementation en vigueur. L'accident a causé des dommages matériels à une ligne de transport d'électricité et à un champ de soja où l'un des avions s'est écrasé.

Les deux avions étaient équipés de feux anticollision à éclats. La pratique courante est d'allumer ces feux en vol. Les deux avions étaient munis de transpondeurs qui fonctionnaient. Le C-GCHN était aussi équipé d'un système TIS (service d'information sur le trafic) pouvant indiquer la présence des aéronefs à proximité grâce aux données fournies par un radar au sol; ce service n'est pas offert au Canada. Aucun des avions n'était équipé d'un système de

surveillance du trafic et d'évitement des collisions (TCAS), ce qui ne contrevenait pas à la réglementation. Les deux avions avaient un pare-brise monopiece en bon état. Le champ de vision ainsi que la position du soleil et des avions l'un par rapport à l'autre sont indiqués à l'annexe D.

La collision en vol s'est produite en espace aérien de classe E (voir l'annexe A) où il n'est pas nécessaire de recevoir des autorisations du contrôle de la circulation aérienne (ATC) ou de rester en communication avec un service de contrôle. Dans un tel espace aérien, les comptes rendus de position, les avis de circulation et l'utilisation d'une fréquence commune sur une radio à très haute fréquence (VHF) ne sont pas obligatoires. Les aéronefs ne sont pas tenus d'être équipés d'une radio, d'un transpondeur radar ou d'un système anticollision. Il est fort probable qu'il n'y a eu aucune communication entre les deux avions.

Le Brampton Flying Club utilise une zone d'entraînement à l'ouest d'Orangeville (Ontario) (voir l'annexe A) pour l'instruction en vol. Il a recours à une procédure normalisée qui consiste à voler parallèlement à l'autoroute 10 entre l'aéroport de Brampton et la zone d'entraînement. De cette façon, les aéronefs demeurent au nord-est de l'autoroute en se dirigeant vers la zone d'entraînement, et ils reviennent à l'aéroport en volant au-dessus de gravières, à environ un mille au sud-ouest de l'autoroute. La zone d'entraînement et les routes utilisées pour quitter l'aéroport de Brampton et y revenir ne sont pas publiées, mais elles sont très fréquentées. L'élévation dans la région varie de 1400 à 1500 pieds au-dessus du niveau de la mer (asl). On trouve des zones bâties ainsi que des zones sensibles au bruit à proximité, et les aéronefs maintiennent habituellement une altitude de 1000 pieds au-dessus du sol (agl) dans ce secteur. Le plancher de l'espace aérien de classe C qui se trouve à proximité est de 2500 pieds asl. Par conséquent, les aéronefs qui ne reçoivent pas d'autorisations de l'ATC doivent maintenir une altitude égale ou inférieure à 2400 pieds asl. Les données radar de cette zone, recueillies au cours de la période de 10 jours entourant la date de l'accident, indiquent un volume important de trafic VFR sous le plancher de l'espace aérien de classe C, ainsi que plusieurs cas d'aéronefs avec un espacement horizontal d'environ 1500 pieds et un espacement vertical de 200 pieds.

Le *Règlement de l'aviation canadien* est fondé sur le principe voir et éviter pour l'évitement des collisions et la priorité de passage. La capacité d'un pilote à repérer visuellement un autre aéronef est influencée par de nombreux facteurs, notamment les limites physiologiques liées aux réactions motrices et au système de vision de l'être humain (voir l'annexe D), les obstacles dans le champ de vision, la perceptibilité des aéronefs, les techniques d'observation des pilotes, la charge de travail et l'avertissement de la présence d'un autre aéronef. Il existe de nombreux documents d'orientation et de recherche sur le sujet (voir les notes en fin d'ouvrage à l'annexe F). Voici les faits saillants de ces documents :

- Caractéristiques de perceptibilité
 - Des couleurs et des marques extérieures particulières peuvent offrir un avantage dans certaines conditions, mais aucun agencement n'offre un avantage considérable par rapport à un autre^{i, ii, iii}.
 - Les feux anticollision ou à éclats n'ont pas d'effets notables par jour très ensoleillé^{iv}.
 - Les phares d'atterrissage sont utiles si l'autre avion se trouve directement dans leur faisceau^v.

- Technique d'observation des pilotes
 - La Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis recommande aux pilotes de passer 75 % de leur temps à regarder à l'extérieur du poste de pilotage et à balayer un champ de vision de 180° sur 30°.
 - On estime qu'il faut de 54 secondes à 9 minutes pour balayer un tel champ de vision.
 - Le pilote a besoin de 12,5 secondes pour reconnaître et éviter une collision après avoir repéré un autre aéronef.
 - Dans les faits, les pilotes consacrent 33 % de leur temps à regarder à l'extérieur, et ils le font principalement dans un rayon de 10° de la direction du vol^{vi}.

- Effet d'un avertissement de trafic
 - Le temps consacré à regarder à l'extérieur du poste de pilotage tend à augmenter.
 - L'attention est dirigée vers la zone de conflit connue.
 - La probabilité et la portée de la détection augmentent.

- Probabilité de détection, compte tenu de la géométrie de la collision et de la vitesse de rapprochement dans le cas du présent accident
 - Portée maximale de détection pour une acuité visuelle de 6/6 : 8,5 km.
 - Portée de détection la plus grande et temps de détection le plus rapide : vraisemblablement 3,2 km et 28 secondes^{vii}.
 - Probabilité de détection si un pilote consacre 33 % de son temps à regarder à l'extérieur du poste de pilotage : 25 %.

Les dossiers du BST indiquent que 16 collisions en vol se sont produites au Canada au cours de la période de 10 ans précédant le présent accident; ces accidents ont fait 27 morts et 5 blessés graves. Sur les 16 accidents, 4 concernent des aéronefs volant plus ou moins en formation ou des planeurs évoluant dans des courants thermiques; les autres accidents concernent des aéronefs n'ayant aucun rapport entre eux. Aucun des accidents ne s'est produit en espace aérien de classe D ou de classe supérieure ou alors que les aéronefs étaient sous le contrôle d'une unité ATC ou qu'ils bénéficiaient de services de surveillance radar connus sous le nom de suivi des vols. En tout, 6 accidents se sont produits dans la zone de circulation d'un aéroport non contrôlé, et 6 sont survenus alors que les aéronefs volaient sous l'espace aérien contrôlé d'un grand aéroport.

Un des accidents a incité Transports Canada à faire un examen de la sécurité des vols VFR effectués dans l'espace aérien de Toronto¹ (Ontario) en 2001-2002. Voici les principaux points qui ont ressorti de cet examen.

- Les restrictions dans les cheminements et les dimensions verticales réduites contribuent à l'encombrement du trafic.

¹ Transports Canada, TP 13796E, *Safety Review of VFR Operations within the Greater Toronto Area, Final Report, July 2000-April 2001*, octobre 2004.

- Le système compte deux lacunes : la disponibilité et la qualité des renseignements aéronautiques, ainsi que le manque de procédures d'exploitation normalisées (SOP) pour les vols VFR.
- On a identifié un certain nombre de scénarios de risques pour lesquels il a été jugé qu'une collision en vol serait peu probable dans l'horizon prévisionnel des cinq ans de l'étude.
- Plusieurs recommandations ont été formulées pour tenir compte des lacunes et des risques.

Peu de progrès ont été réalisés pour mettre ces recommandations en œuvre.

Un des accidents s'est produit à environ 5 milles à l'ouest du lieu du présent accident et dans des conditions météorologiques semblables. Il s'agit d'une collision en vol entre un Cessna 172 qui exécutait un vol d'instruction et un avion ultra-léger effectuant un vol d'agrément. La roue principale droite du Cessna 172 a roulé sur l'extrados de l'aile gauche de l'ultra-léger. Ce dernier a été endommagé, mais le pilote a réussi à atterrir en toute sécurité. Le Cessna 172 n'a subi aucun dommage. Aucun des deux pilotes n'avaient vu l'autre avant l'abordage.

Il y a également eu des risques de collision en vol entre des aéronefs commerciaux en approche à Hamilton (Ontario) et des planeurs en espace aérien de classe E. Les planeurs ne sont pas tenus d'être équipés d'un transpondeur; ils ne peuvent donc pas être détectés par l'ATC et par les TCAS. Selon Transports Canada, ces événements révèlent également que la structure de l'espace aérien, la classification et les procédures d'exploitation ATC dans l'espace aérien contigu à l'espace aérien de classe C de Toronto² posent des problèmes.

Selon une entente internationale³, quel que soit le type de plan de vol, un pilote est tenu d'éviter tout abordage lors d'un vol à vue, conformément au principe voir et éviter. L'ATC assure l'espacement entre les aéronefs qui volent selon les règles de vol aux instruments (IFR) et les autres aéronefs connus. Les aéronefs VFR peuvent aussi recevoir des avis de circulation de l'ATC. La plupart des gros aéronefs commerciaux doivent être équipés d'un TCAS qui donne des avertissements de trafic informatisés et des avis de résolution fondés sur les renseignements fournis par les transpondeurs des aéronefs. Les aéronefs légers peuvent être équipés de dispositifs d'avertissement de proximité qui dépendent du signal envoyé par le transpondeur de l'autre aéronef. Actuellement, les systèmes susmentionnés ne fonctionnent que si les autres aéronefs sont équipés de transpondeur. Sans transpondeur, les aéronefs ne peuvent pas être détectés par l'ATC et par les TCAS. Le coût, la masse et la consommation d'énergie des transpondeurs ont nui à leur installation dans nombre d'aéronefs légers et de planeurs.

² Lettre de M. Preuss, directeur général, Aviation civile, Transports Canada, adressée à K. McKenzie, vice-président, Développement opérationnel, Westjet, dossier de Transports Canada A 5400/1/SGDDI 1962111, en date du 3 août 2006.

³ Organisation de l'aviation civile internationale, Annexe 2 à la Convention relative à l'aviation civile internationale, *Règles de l'air*.

Le concept de NAV CANADA⁴ concernant la gestion de la circulation aérienne future correspond aux plans internationaux de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), et il comprend la mise en place d'une surveillance dépendante automatique en mode diffusion (ADS-B) ainsi que le remplacement des systèmes de surveillance radar à la fin de leur durée de vie utile, soit dans plus de 10 ans. La position des aéronefs équipés de l'ADS-B est transmise à des récepteurs au sol et aux aéronefs dûment équipés, grâce au Système mondial de navigation par satellites (GNSS). Les résultats sont semblables aux capacités des radars et des TCAS. On s'attend à ce que l'ADS-B favorise la mise en œuvre de technologies peu coûteuses permettant d'offrir aux aéronefs légers de meilleurs moyens d'évitement des collisions.

Nombre d'études internationales (voir l'annexe F) se sont penchées sur l'ensemble de la question des risques de collision et sur l'efficacité du principe voir et éviter. Elles ont toutes reconnu les limites physiologiques fondamentales qui entrent en jeu et le fait que, lors d'un abordage, [Traduction] « la défaillance du principe voir et éviter est, dans la plupart des cas, dû au fait que le pilote n'a pas pu voir l'autre appareil »⁵. Dans une étude, les données suggéraient que le taux relativement bas (bien qu'inacceptable) d'abordage entre aéronefs de l'aviation générale non équipés de TCAS dépendait autant de l'immensité du ciel que d'une observation visuelle efficace^{viii}. Voici certains résultats pertinents au présent accident :

- Une étude française^{ix} des abordages survenus sur une période de 10 ans a révélé que « la règle voir et éviter [comme] seul garant de l'anti-abordage ... ne suffit plus ».
- Une étude australienne^x a conclu que l'application du principe voir et éviter, en l'absence d'avertissement de trafic, avait de sérieuses limites et que le petit nombre d'abordages signalés jusqu'à maintenant était dû autant au faible trafic et à la chance, qu'à l'application du principe voir et éviter. La façon la plus efficace de remédier aux nombreuses lacunes liées à l'application du principe voir et éviter consiste à moins dépendre de ce principe.

⁴ NAV CANADA, *Air Navigation System Plan*, janvier 2007.

⁵ W. Graham, *See and Avoid/Cockpit Visibility*, rapport de la Federal Aviation Administration DOT/FAA/CT-TN89/18, octobre 1989.

- Une étude allemande^{xi} sur la détection des planeurs et des petits aéronefs à moteur a permis de constater que les mesures de perceptibilité passives ne permettaient pas de surmonter les limites sous-jacentes au principe voir et éviter. L'étude recommandait de développer et de promouvoir davantage l'utilisation du GNSS et du transpondeur mode S, puisque l'on offre déjà sur le marché un système GNSS compatible avec l'ADS-B : le FLARM⁶, un système utilisé sur des planeurs pour obtenir des renseignements pour l'évitement des collisions.
- Eurocontrol^{xii} a examiné des cas de risque de collision entre, d'une part, des aéronefs VFR non contrôlés de l'aviation générale, et d'autre part, d'autres appareils VFR non contrôlés et des appareils IFR commerciaux. Il a été conclu que l'application du principe voir et éviter comme seul moyen d'éviter les collisions était inefficace. On a préféré des solutions technologiques, plus particulièrement une plus grande utilisation des transpondeurs mode S, jumelés à des radars secondaires de surveillance (SSR), à des systèmes ACAS (système anticollision embarqué) et TCAS, à un service d'information sur le trafic (TIS) ou à l'ADS-B. À cette fin, Eurocontrol a appuyé le développement continu des transpondeurs SSR pour l'aviation légère (*Light Aviation SSR Transponder* ou LAST), y compris des versions qui consomment peu d'énergie. L'organisme considère que des systèmes comme le FLARM pourraient réduire le risque de collision entre les aéronefs VFR.
- Une étude britannique effectuée par la Royal Air Force^{xiii}, portant sur des abordages aléatoires, a permis de conclure que la probabilité de conflits est proportionnelle au carré de la densité du trafic, et a recommandé d'éviter les restrictions d'altitude qui engendrent une concentration du trafic.

Analyse

Rien n'indique que le comportement des équipages ait joué un rôle dans l'accident. Rien ne permet de penser que l'un ou l'autre des avions n'était pas équipé correctement en matière de dispositifs de perceptibilité ou que ces dispositifs ont été mal utilisés. La probabilité réaliste qu'un des avions détecte l'autre était de 25 %, et, en l'absence de détection, l'abordage était inévitable. Comme les deux avions maintenaient un cap constant, les pilotes ne pouvaient pas percevoir de mouvements angulaires relatifs au moyen de leur vision périphérique et voir l'autre avion. Il n'y avait aucun autre moyen d'alerter les pilotes de la présence de l'autre avion. L'ATC n'offre pas d'avis de circulation dans cet espace aérien, et le système TIS, qui peut donner des avertissements spécifiques (le C-GCHN était équipé d'un système TIS), dépend d'un service de radars au sol qui n'est pas offert au Canada. L'application du principe voir et éviter comme seul moyen de protection n'a pas permis d'éviter le présent abordage et montre le risque résiduel associé au principe voir et éviter non appuyé par un système d'avertissement.

⁶ FLARM est un nom commercial dérivé de « FLight AlaRM ». Ce système n'est pas homologué au Canada ni aux États-Unis.

La probabilité que deux avions soient sur une trajectoire de collision dépend essentiellement de la densité du trafic, et le risque d'abordage est proportionnel au carré à la densité du trafic. Le trafic devant contourner l'espace aérien de classe C situé à proximité de l'aéroport international de Toronto/Lester B. Pearson se trouve naturellement concentré dans la périphérie de cet espace. L'espace aérien au-dessus de l'arc entre Milton (Ontario) et Caledon favorise également une concentration du trafic dans le plan vertical. Comme l'élévation est de 1400 pieds, que les vols sont effectués à au moins 1000 pieds agl et que le plancher de l'espace aérien de classe C est de 2500 pieds, le trafic se trouve concentré dans le plan vertical à l'unique altitude de 2400 pieds.

L'espace aérien de classe C mène inévitablement à une concentration, dans sa périphérie, du trafic voulant le contourner. Selon les statistiques, cette concentration a été un facteur dans la moitié des abordages qui se sont produits entre des aéronefs n'ayant aucun rapport entre eux. Le risque d'abordage peut être réduit en dispersant le trafic latéralement, par exemple par l'établissement d'une structure de routes VFR prévoyant un espacement latéral entre les aéronefs évoluant dans des directions opposées. Une telle structure de routes devrait être clairement indiquée sur les cartes de région terminale VFR (VTA). Toutefois, cette structure n'éliminerait pas les conflits entre les aéronefs suivant des routes convergentes comme dans le présent accident.

Pour réduire le risque d'abordage entre les aéronefs suivant des routes convergentes, il faut disperser le trafic dans le plan vertical. Si, à l'endroit de l'abordage, les aéronefs avaient disposé d'un espacement vertical de 2000 pieds entre le relief et le plancher de l'espace aérien de classe C au lieu de 1000 pieds, ils auraient bénéficié d'un espacement vertical de 1000 pieds au lieu de l'espacement de 100 pieds dont ils disposaient lors du présent accident, ce qui aurait réduit la possibilité d'abordage. En outre, le risque pourrait être atténué davantage par la création de routes publiées et, le cas échéant, d'altitudes spécifiques, le tout présenté dans un format facilement accessible aux pilotes VFR.

Des mesures comme une meilleure perceptibilité des aéronefs, la technique d'observation des pilotes et la conscientisation des pilotes au trafic peuvent réduire le risque, mais elles ne peuvent pas surmonter les limites physiologiques sous-jacentes engendrées par le risque résiduel associé au principe voir et éviter non appuyé par un système d'avertissement. La possibilité de réduire davantage le risque par l'amélioration de ce principe est limitée, et une telle méthode ne suffirait pas à gérer le risque d'abordage entre les aéronefs légers en vol VFR et les aéronefs commerciaux en vol IFR dans les zones de trafic très fréquentées.

Une amélioration concrète de la capacité de voir et d'éviter pour les aéronefs VFR non contrôlés nécessite la mise en place d'une méthode matériellement possible et peu coûteuse capable d'alerter les pilotes de la proximité de tout trafic conflictuel. Pour réduire les conflits entre le trafic VFR et le trafic IFR, il faut faire en sorte que les aéronefs non équipés de transpondeur puissent être détectés par l'ATC ou par les aéronefs en vol IFR.

De récents développements en Europe, notamment en ce qui concerne les transpondeurs LAST, qui sont peu coûteux, légers et consomment peu d'énergie, et les systèmes de protection contre les collisions, comme le FLARM, qui sont compatibles avec l'ADS-B, indiquent que de nouvelles solutions technologiques peuvent nous permettre d'atteindre ces deux objectifs. Ces systèmes ne sont pas encore intégrés aux normes de navigabilité et des espaces aériens et ne sont pas

unaniment acceptés par les utilisateurs. Si l'on tient compte des inconvénients des transpondeurs existants, comme le coût, la masse et la consommation d'énergie, et de l'évolution prévisible de la gestion de la circulation aérienne d'un environnement radar à l'ADS-B, ces nouveaux systèmes offrent les moyens de réduire le risque d'abordage dans le futur, s'ils sont intégrés dans le cadre de la réglementation, de la navigabilité, de l'espace aérien et de la circulation au Canada, et s'ils reçoivent l'appui de l'aviation générale.

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. Comme la conception de l'espace aérien de Toronto offre seulement un espacement vertical limité sous l'espace aérien de classe C au nord-ouest de Toronto, les deux avions volaient à la même altitude lorsque leurs routes se sont croisées et ils sont entrés en collision.
2. Comme le principe voir et éviter comporte des limites et un risque résiduel, aucun des pilotes n'a vu l'autre avion suffisamment tôt pour éviter l'abordage.

Fait établi quant aux risques

1. Le principe voir et éviter non appuyé par un système d'avertissement comporte un risque résiduel élevé de défaillance quand l'évitement des abordages dans les espaces aériens très fréquentés repose uniquement sur l'application de ce principe.

Autres faits établis

1. Un moyen technologique permettant d'alerter les pilotes de tout conflit potentiel pourrait compléter l'application du principe voir et éviter pour l'évitement des abordages.
2. Comme les radars du contrôle de la circulation aérienne (ATC) au Canada n'assurent pas un service d'information sur le trafic (TIS), les aéronefs équipés d'un système TIS ne peuvent obtenir d'information sur le trafic.
3. Au Canada, les aéronefs légers ne sont pas tenus d'être équipés d'un système de surveillance du trafic et d'évitement des collisions (TCAS) ou de tout autre système de surveillance du trafic.
4. Grâce à des avancées technologiques, des dispositifs d'évitement des collisions permettant d'alerter les pilotes, ainsi que des transpondeurs pour radar secondaire de surveillance (SSR) matériellement possibles, sont en voie de développement pour les aéronefs légers et les planeurs.
5. Peu de progrès ont été réalisés dans la mise en œuvre des recommandations formulées après l'examen de la sécurité des vols VFR dans l'espace aérien de Toronto entrepris à la suite d'un abordage précédent.

Mesures de sécurité

Mesures prises

NAV CANADA

Depuis l'accident, NAV CANADA a pris les mesures suivantes, dont certaines font partie du cadre établi après un examen du niveau de service dans les espaces aériens du couloir Montréal-Toronto-Windsor :

- En plus de délimiter la zone d'entraînement de Claremont, les dernières cartes VFR de la région de Toronto (juin 2007) contiennent des symboles supplémentaires indiquant les zones réservées aux parachutistes, aux ultra-légers et à l'instruction en vol.
- La carte de région terminale VFR (VTA) de Toronto (juillet 2007) contient les nouvelles limites des zones d'approche finale pour les approches aux instruments (IFR) de Hamilton ainsi qu'une note qui met les pilotes en garde contre la présence d'aéronefs IFR en approche sur ces zones. La prochaine série de *Supplément de vol - Canada* comprendra aussi certaines de ces améliorations.
- Le 5 juillet 2007, l'espace aérien de classe E au-dessus de 6500 pieds et en deçà de 65 nm de Toronto a été désigné comme étant un espace aérien où le transpondeur est obligatoire à bord des aéronefs.
- Au cours de 2006-2007, NAV CANADA, en collaboration avec Transports Canada, offrait toujours aux pilotes VFR des séances d'information sur les opérations dans la région de Toronto.
- Par l'entremise de groupes de travail consultatifs sur l'examen de l'espace aérien et des services, NAV CANADA entretient le dialogue sur les types de routes VFR et les renseignements qui seraient les plus utiles à la collectivité VFR, notamment des discussions sur les renseignements figurant au verso des cartes VTA des États-Unis, les fréquences dans les zones communes ainsi que la publication des zones d'entraînement pour les vols VFR et des routes de transition.
- Une page Web détaillée a été créée pour la planification des vols, comprenant des schémas d'aérodrome et d'autres produits de planification des vols, pour assurer aux pilotes un libre accès à des données aéronautiques complètes et à jour.
- Un examen sur l'espace aérien et les services a été entrepris pour le couloir Montréal-Toronto-Windsor.

Brampton Flying Club

Le Brampton Flying Club a pris les mesures de sécurité suivantes :

- Neuf avions Cessna 172 et un Piper Seminole de la flotte du Brampton Flying Club ont été équipés de feux à éclats pour être plus visibles pour les autres pilotes. Les autres appareils de la flotte seront également équipés de feux à éclats.
- Le club a rencontré des représentants de NAV CANADA pour demander une légère hausse du plancher de l'espace aérien de classe C au nord et à l'ouest de l'aéroport de Brampton. Le club souhaite également que la zone d'entraînement soit délimitée de façon semblable à la zone d'entraînement de Claremont sur les cartes VTA et les cartes aéronautiques de navigation VFR (VNC) de Toronto ainsi que dans le *Supplément de vol - Canada*.

Mesures requises

Structure verticale de l'espace aérien

Des recherches ont démontré que la probabilité que deux avions soient sur une trajectoire de collision dépend essentiellement de la densité du trafic et que le risque d'abordage est proportionnel au carré de cette densité. Des mesures comme une meilleure perceptibilité des aéronefs, la technique d'observation des pilotes et la conscientisation des pilotes au trafic peuvent réduire le risque, mais elles ne peuvent pas surmonter les limites physiologiques sous-jacentes engendrées par le risque résiduel associé au principe voir et éviter non appuyé par un système d'avertissement.

La conception actuelle de l'espace aérien de Toronto, à proximité du lieu de l'accident, aboutit à une concentration d'aéronefs dans une tranche d'altitude très étroite, immédiatement sous le plancher de l'espace aérien de classe C et immédiatement à l'extérieur du rayon où le plancher de l'espace aérien de classe C diminue graduellement à l'approche de l'aéroport international de Toronto/Lester B. Pearson. Comme l'élévation est de 1400 pieds au-dessus du niveau de la mer (asl), que les vols sont effectués à au moins 1000 pieds au-dessus du sol (agl) et que le plancher de l'espace aérien de classe C est de 2500 pieds asl, les aéronefs se trouvent concentrés dans le plan vertical à la seule altitude de 2400 pieds asl. Un changement de la structure verticale de l'espace aérien s'avère une des solutions possibles pour réduire la concentration du trafic.

Les données radar de cette zone, recueillies au cours de la période de 10 jours entourant la date de l'accident, indiquent un volume important de trafic VFR sous le plancher de l'espace aérien de classe C, ainsi que plusieurs cas d'aéronefs avec un espacement horizontal d'environ 1500 pieds et un espacement vertical de 200 pieds. Dans cet espace aérien très fréquenté comme dans d'autres, il a été démontré que l'application du principe voir et éviter par les aéronefs VFR pour l'évitement des collisions ne permettait pas toujours d'assurer la sécurité des vols. En conséquence, il existe toujours un risque élevé d'abordage entre les aéronefs VFR qui appliquent le principe voir et éviter dans cet espace aérien.

En conséquence, le Bureau recommande que :

Le ministère des Transports, en collaboration avec NAV CANADA, prenne des mesures pour réduire de façon substantielle le risque de collision entre les aéronefs en vol à vue dans l'espace aérien de classe E près de l'aéroport international de Toronto/Lester B. Pearson.

A08-03

Préoccupations liées à la sécurité

Systèmes de protection contre les collisions

En ce moment, un grand nombre d'aéronefs volant uniquement en VFR ne sont pas équipés de transpondeur mode C, un dispositif permettant d'alerter les pilotes de la présence d'autres aéronefs à proximité. En outre, le manque d'autres moyens technologiques, disponibles et installés, pour alerter les pilotes VFR de la présence d'autres aéronefs accroît le risque d'abordage, notamment dans les espaces aériens très fréquentés. Pour améliorer de façon notable la capacité de voir et d'éviter les autres aéronefs en vol VFR, il faut avoir recours à une méthode matériellement possible et peu coûteuse capable d'alerter les pilotes de la proximité de tout trafic conflictuel.

De récents développements en Europe, notamment en ce qui concerne les transpondeurs SSR [radar secondaire de surveillance] pour l'aviation légère (*Light Aviation SSR Transponder* ou LAST) qui sont peu coûteux, légers et consomment peu d'énergie, et les systèmes de protection contre les collisions, comme le FLARM, qui sont compatibles avec l'ADS-B (surveillance dépendante automatique en mode diffusion), indiquent que de nouvelles solutions technologiques peuvent permettre d'atteindre ces deux objectifs. Ces nouveaux systèmes offrent des moyens de réduire le risque de collision dans le futur, s'ils sont intégrés dans le cadre de la réglementation, de la navigabilité, de l'espace aérien et de la navigation au Canada, et s'ils reçoivent l'appui de l'aviation générale.

Les aéronefs volant en VFR dans des espaces aériens très fréquentés en appliquant uniquement le principe voir et éviter pour l'évitement des collisions présentent un risque d'abordage plus élevé, comme le prouvent le présent accident et d'autres cas d'abordage. Il a été démontré que l'application du principe voir et éviter comme seul moyen de protection ne suffisait pas à assurer la sécurité; toutefois, le Bureau croit que les nouvelles technologies, qui pourraient s'avérer un moyen peu coûteux de réduire ce risque, valent la peine d'être étudiées.

Le Bureau constate avec inquiétude que tant que la mise en œuvre de solutions technologiques comme des systèmes de protection contre les collisions ne sera pas obligatoire, il subsistera un risque important d'abordage entre les aéronefs en vol VFR dans les espaces canadiens très fréquentés et à haute densité de trafic. Le Bureau signale que le risque de collision augmentera du fait que le trafic continue de croître et que l'application du principe voir et éviter constitue le principal moyen de protection. En outre, le Bureau reconnaît que l'innovation technologique offre des solutions potentielles viables et peu coûteuses.

Le Bureau est conscient que Transports Canada doit examiner toutes les solutions possibles pour prendre la meilleure décision concernant la recommandation ou l'adoption obligatoire d'un ou de plusieurs systèmes. Dans ces conditions, le Bureau demande à Transports Canada d'assumer le rôle de chef de file, en collaboration avec l'industrie, pour étudier des solutions technologiques en vue de leur adoption éventuelle à grande échelle.

Le présent rapport met un terme à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 20 mai 2008.

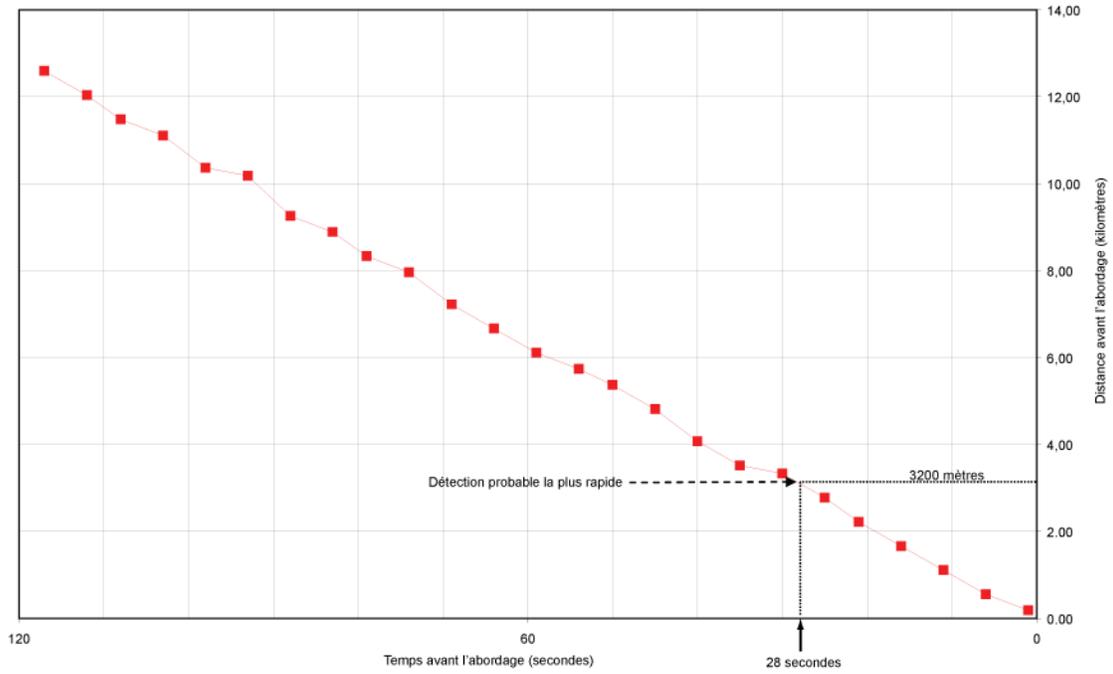
Visitez le site Web du BST (www.bst.gc.ca) pour plus d'information sur le BST, ses produits et ses services. Vous y trouverez également des liens vers d'autres organismes de sécurité et des sites connexes.

Annexe A – Trajectoires de vol des avions

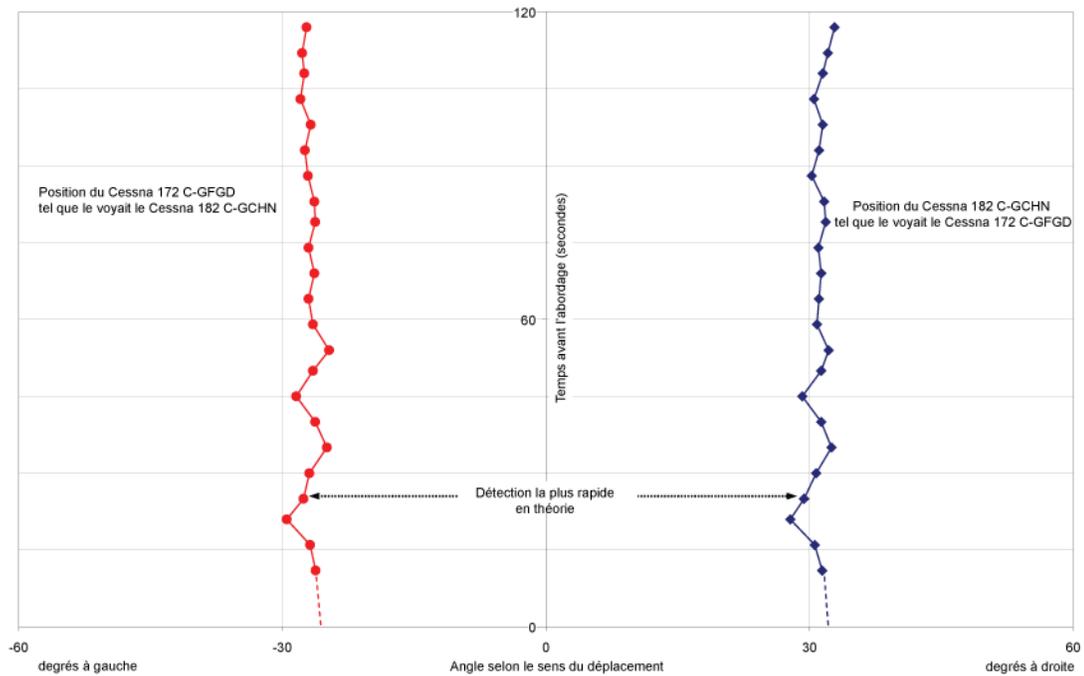


Annexe B – Géométrie et séquence de la collision en vol

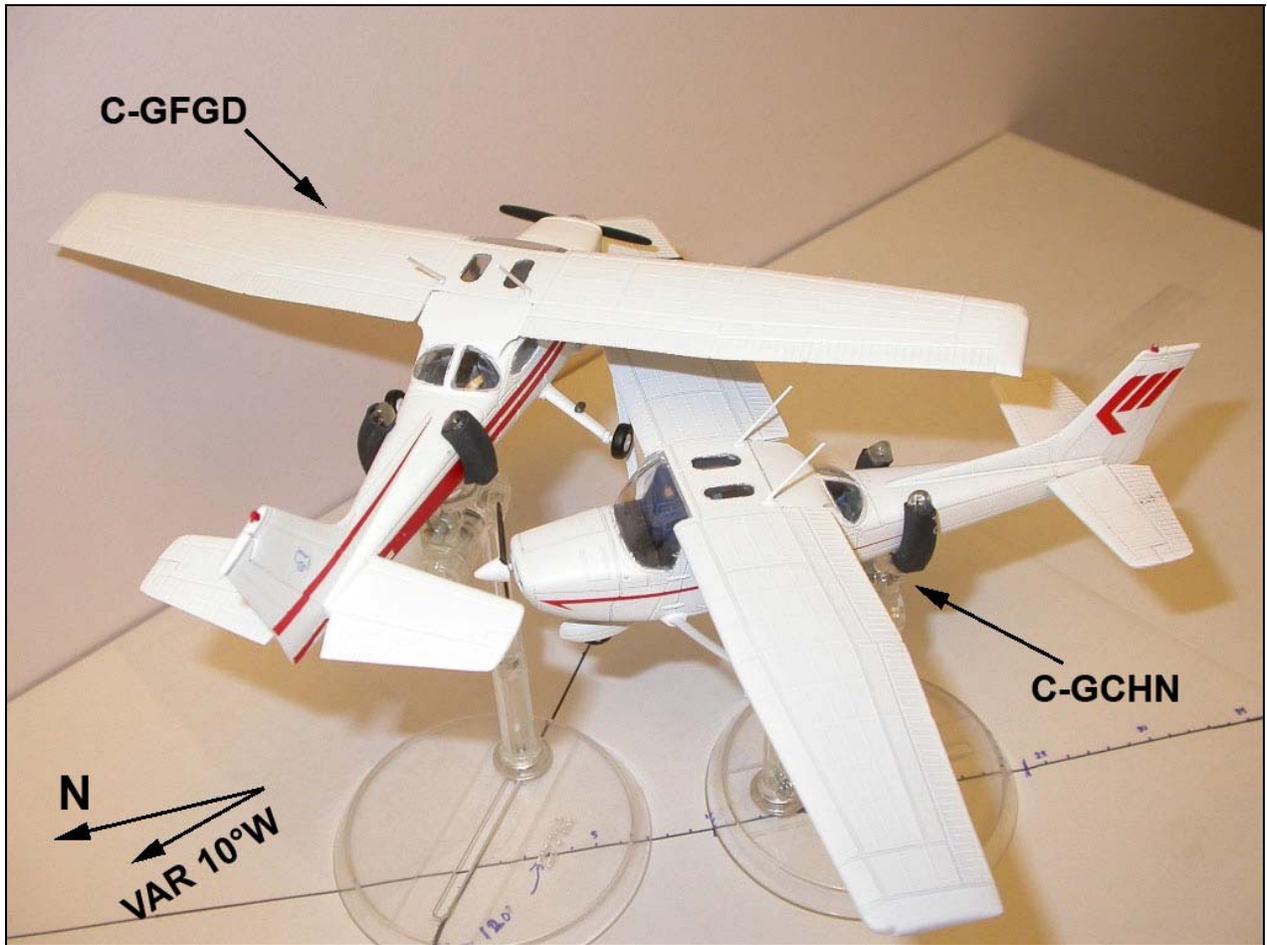
Distance entre les avions au cours des deux minutes précédant l'abordage



Position des deux avions en conflit au cours des deux minutes précédant l'abordage



Annexe C – Maquette montrant la position des avions au moment de la collision en vol



Annexe D – Champ de vision de l'équipage de chaque avion

		Champ de vision ⁷ (en degrés par rapport à droit devant)				Position de l'autre avion	Position du soleil
		Vers la gauche	Vers la droite	Vers le haut	Vers le bas		
Cessna 172P C-GFGD	Place gauche (élève)	52°	85°	43°	11°	~30° à droite de la trajectoire 1 à 2° sous l'horizon (avion descendant selon un angle de ~1 à 2°)	~60° à droite de la trajectoire 63° au-dessus de l'horizon
	Place droite (instructeur)	85°	52°	43°	11°		
Cessna 182T C-GCHN	Place gauche (pilote)	55°	76°	51°	8°	~30° à gauche de la trajectoire 1 à 2° au-dessus de l'horizon	~180° de la trajectoire (directement derrière l'avion) 63° au-dessus de l'horizon

⁷

Le champ de vision est établi à partir du point de référence visuelle calculé pour chaque membre de l'équipage. (Source : Cessna Aircraft Company).

Annexe E – Limites physiologiques de l'œil humain

Généralités

L'œil humain enregistre le mouvement, la forme et la couleur des objets qu'il voit. La rétine (surface interne au fond de l'œil), qui reçoit ces renseignements, contient des millions de cellules photosensibles de deux sortes : les cônes et les bâtonnets. Les cônes sont stimulés par les fortes intensités lumineuses et sont sensibles aux couleurs. Ils peuplent surtout la fovea (partie centrale extrêmement sensible de la rétine), dont le champ visuel est d'environ 2°. Les bâtonnets, beaucoup plus nombreux que les cônes, sont sensibles au noir, aux faibles intensités lumineuses, aux formes et aux mouvements.

La lumière qui entre dans l'œil se concentre directement sur la fovea. Cette dernière est donc la zone où l'acuité visuelle est la meilleure, et la vision des détails, la plus précise. Le nerf optique transmet ensuite les renseignements visuels sous forme d'impulsions électriques au cerveau, qui transforme ces dernières en images.

Tache aveugle

Le nerf optique ne contient aucune cellule photosensible. Le nerf optique est relié à la rétine; à l'endroit même de cette liaison, il n'y a pas de cellule photosensible, et cette zone est appelée la tache aveugle. La tache aveugle occupe un champ de 5° à 10°, et c'est habituellement l'autre œil qui compense ce vide. Même si nous regardons un objet d'un seul œil, l'image paraît complète, car le cerveau remplit les vides au moyen d'un fond de couleurs et de textures en vue d'éliminer la tache aveugle. Par contre, un objet de la taille d'un petit avion à une distance de 600 pieds pourrait complètement disparaître à cause de cette tache aveugle.

La tache aveugle peut avoir des conséquences graves pour les pilotes, même une collision en vol. Par exemple, si une obstruction, comme un montant du pare-brise, cache la vision d'un œil alors que l'image du conflit potentiel atteint la tache aveugle de l'autre œil qui serait censé la voir, le pilote ne verrait pas le conflit potentiel, et il porterait son attention ailleurs. Le pilote peut bouger la tête pour régler le problème mais, en raison de l'effet de gisement constant, il est possible que le pilote ne voit toujours pas l'autre aéronef.

Acuité visuelle

Le mouvement relatif est important pour repérer un autre aéronef, car la rétine, et plus particulièrement la fovea, est très sensible aux mouvements de peu d'amplitude. Par contre, dans son ensemble, la surface de la rétine n'est pas aussi sensible que la fovea. Même si une image se fixe très près de la fovea, l'acuité visuelle diminue considérablement. Par exemple, l'acuité visuelle pour une image qui se fixe à 5° de la fovea équivaut seulement au quart

de celle de la fovea⁸. Par conséquent, à moins que l'image atteigne la fovea, il est peu probable qu'un pilote cherchant une petite cible ne voit celle-ci, surtout si la cible n'a aucun mouvement relatif.

Pour les aéronefs sur une trajectoire de collision, la taille apparente de l'aéronef qui s'approche augmente environ du double si la distance entre les aéronefs diminue de moitié⁹. Par exemple, à une vitesse de rapprochement de 180 nœuds, deux petits aéronefs de l'aviation générale se trouveront à une distance de 2 nm, 40 secondes avant l'impact; pour le pilote, la cible occupera seulement un champ de 0,25°. Dix secondes avant l'impact, les deux aéronefs se trouveront à 0,5 nm l'un de l'autre, et la taille de la cible occupera seulement un champ de 1°. En d'autres termes, la taille de l'image d'un aéronef qui se rapproche demeure extrêmement petite, et l'aéronef est presque impossible à repérer jusqu'à 5 secondes avant l'impact, alors que l'image occupe un champ d'environ 2°.

Myopie de l'espace vide

Sans stimulus visuel, comme dans un espace aérien vide, les muscles de l'œil se détendent, ce qui empêche le cristallin de faire la mise au point. Il s'agit d'un problème pour le pilote qui tente d'observer le trafic dans un ciel clair et dépourvu de repères visibles. Comme l'œil ne peut faire une mise au point dans un espace vide, la vision se brouille. Ce phénomène entrave la recherche et la détection de cibles potentielles¹⁰.

Mouvement de l'œil : la saccade

Lorsque les yeux ne suivent pas une cible en mouvement, ils se déplacent en saccades (série de mouvements brusques). En conséquence, l'équipage de conduite ne peut pas faire de mouvements oculaires lents et volontaires lorsqu'il observe un espace aérien dépourvu de repères visibles. Des études ont démontré que les saccades réduisent considérablement l'acuité visuelle, ce qui laisse de grands vides dans un vaste champ visuel¹¹.

⁸ Bureau of Air Safety Investigation, Australie, « Visual Acuity », *See and Avoid*, 1998.

⁹ Bureau of Air Safety Investigation, Australie, « Time, Distance and Size », *See and Avoid*, 1998.

¹⁰ S.S. Krause, « Collision Avoidance Must Go Beyond 'See and Avoid' to 'Search and Detect' », *Flight Safety Digest*, vol. 16, n° 5, mai 1997, p. 3.

¹¹ S.S. Krause, p. 3.

Vision binoculaire

La détection efficace d'une cible dépend en partie des restrictions dans le champ visuel. Dans un aéronef, les limites visuelles créées par l'ensemble de la structure du poste de pilotage sont souvent les restrictions les plus communes. Le champ visuel de chaque œil chevauche celui de l'autre, ce qui engendre une vision binoculaire et permet la perception de la profondeur¹².

Le champ visuel restreint du poste de pilotage peut nuire à la capacité du pilote à repérer des cibles. La conception du poste de pilotage crée des limites visuelles monoculaires (zones dans lesquelles on ne peut voir les objets que d'un seul œil), ce qui dilue l'acuité visuelle et force le pilote à surtout regarder près du centre du champ binoculaire (droit devant lui)¹³. Un pare-brise type, par exemple, est divisé par des montants qui créent des limites visuelles monoculaires. Si l'on ajoute à cela les limites naturelles de l'œil engendrées par la tache aveugle, des obstructions, comme le pare-brise, les supports et les montants du poste de pilotage ainsi que les têtes des passagers, représentent de sérieux défis pour le pilote qui tente de repérer visuellement tout trafic conflictuel.

¹² S.S. Krause, p. 4.

¹³ S.S. Krause, p. 5.

Annexe F – Bibliographie et documents de référence

Australian Transport Safety Bureau, rapport d'étude, *Limitations of the See-and-Avoid Principle*, avril 1991.

Bundeministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, *BEKLAS Final Report*, rapport de recherche L-6/2002-50.0300/2002, mai 2004.

Bureau de la sécurité des transports du Canada, Rapport d'enquête A95H0008, Collision en vol entre le Fairchild Metro 23 C-GYYB exploité par Bearskin Airlines et le PA-31 Navajo C-GYPZ exploité par Air Sandy Inc. survenue à Sioux Lookout (Ontario) le 1^{er} mai 1995.

Chappelow, J.W. et Belyavin, A.J., *Random Mid-Air Collisions in the Low Flying System*, rapport 702 de la Royal Air Force Institute of Aviation Medicine, avril 1991.

Chappelow, J.W. et Belyavin, A.J., *A Trial to Assess Aids to Conspicuity*, rapport 723 de la Royal Air Force Institute of Aviation Medicine, juillet 1992.

Chappelow, J.W., Belyavin, A.J. et Smith, P.R., *Aircraft Conspicuity and Paint Schemes: A Further Trial*, rapport 747 de la Royal Air Force Institute of Aviation Medicine, mai 1993.

Chappelow, J.W., Tate, L.H. et Woodward, M., *Training Helicopter Conspicuity*, rapport de la société QinetiQ CHS/CAP/CR020032, janvier 2002.

Colvin, K.W., Dodhia, R.M., Belcher, S.A. et Dismukes, R.K., « Scanning for Visual Traffic: An Eye Tracking Study », *Proceedings of the 12th International Symposium on Aviation Psychology*, Dayton (Ohio), The Wright State University, 2003, p. 255-260.

Colvin, K.W., Dodhia, R.M. et Dismukes, R.K., « Is Pilots' Visual Scanning Adequate to Avoid Mid-air Collisions? », *Proceedings of the 13th International Symposium on Aviation Psychology*, Oklahoma City, 2005, p. 104-109.

Eurocontrol, *Study to Address the Detection and Recognition of Light Aircraft in the Current and Future ATM Environment, Final Report*, numéro 1.0, 2 mai 2005.

Federal Aviation Administration, *Pilots' Role in Collision Avoidance*, circulaire d'information 90-48C, 18 mars 1983.

Federal Aviation Administration, *How to Avoid a Mid-Air Collision*, dépliant P8740-51, juin 1987.

Federal Aviation Administration, *Medical Facts for Pilots - Pilot Vision*, publication AM-400-98/2, révisée en août 2002.

Graham, W., *See and Avoid Cockpit Visibility*, rapport de la Federal Aviation Administration DOT/FAA/CT-TN89/18, octobre 1989.

Ministère de l'équipement, des transports et du logement, *Abordages 1989-1999, étude du Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile.*

Morris, C.C., « Midair Collisions: Limitations of the See-and-Avoid Concept in Civil Aviation », *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, vol. 76, n° 4, avril 2005.

Transports Canada, TP 13796E, *Safety Review of VFR Operations within the Greater Toronto Area, Final Report, July 2000-April 2001*, octobre 2004.

Notes de fin d'ouvrage

- i Chappelow, J.W. et Belyavin, A.J., *A Trial to Assess Aids to Conspicuity*, rapport 723 de la Royal Air Force Institute of Aviation Medicine, juillet 1992.
- ii Chappelow, J.W., Belyavin, A.J. et Smith, P.R., *Aircraft Conspicuity and Paint Schemes: A Further Trial*, rapport 747 de la Royal Air Force Institute of Aviation Medicine, mai 1993.
- iii Chappelow, J.W., Tate, L.H. et Woodward, M., *Training Helicopter Conspicuity*, rapport de la société QinetiQ CHS/CAP/CR020032, janvier 2002.
- iv Graham, W., *See and Avoid/Cockpit Visibility*, rapport de la Federal Aviation Administration DOT/FAA/CT-TN89/18, octobre 1989.
- v Chappelow, J.W. et Belyavin, A.J., *Random Mid-Air Collisions in the Low Flying System*, rapport 702 de la Royal Air Force Institute of Aviation Medicine, avril 1991.
- vi Colvin, K.W., Dodhia, R.M., et Dismukes, R.K., « Is Pilots' Visual Scanning Adequate to Avoid Mid-air Collisions », *Proceedings of the 13th International Symposium on Aviation Psychology*, Oklahoma City, 2005, p. 104-109.
- vii Morris, C.C., « Midair Collisions: Limitations of the See-and-Avoid Concept in Civil Aviation », *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, vol. 76, n° 4, avril 2005.
- viii Colvin, K.W., Dodhia, R.M., et Dismukes, R.K., « Is Pilots' Visual Scanning Adequate to Avoid Mid-air Collisions », *Proceedings of the 13th International Symposium on Aviation Psychology*, Oklahoma City, 2005, p. 104-109.
- ix Ministère de l'équipement, des transports et du logement, *Abordages 1989-1999*, étude du Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile,
- x Australian Transport Safety Bureau, rapport d'étude, *Limitations of the See-and-Avoid Principle*, avril 1991.
- xi Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, *BEKLAS Final Report*, rapport d'étude L-6/2002-50.0300/2002, mai 2004.
- xii Eurocontrol, *Study to Address the Detection and Recognition of Light Aircraft in the Current and Future ATM Environment*, rapport final, numéro 1.0, 2 mai 2005.
- xiii Chappelow, J.W. et Belyavin, A.J., *Random Mid-Air Collisions in the Low Flying System*, rapport 702 de la Royal Air Force Institute of Aviation Medicine, avril 1991.