

Bureau de la sécurité des transports
du Canada



Transportation Safety Board
of Canada

**RAPPORT D'ENQUÊTE SUR UN ACCIDENT AÉRONAUTIQUE
A99P0168**



COLLISION EN VOL

**ENTRE
L'ERCO AIRCOUPE 415C C-GHFB
ET
LE CESSNA 152 C-GPFE
DU PACIFIC FLYING CLUB
CLOVERDALE (COLOMBIE-BRITANNIQUE)
LE 20 NOVEMBRE 1999**

Canada

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet accident dans le seul 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 sur un accident aéronautique

Collision en vol

entre

l'ERCO Aircoupe 415C C-GHFB

et

le Cessna 152 C-GPFE

du Pacific Flying Club

Cloverdale (Colombie-Britannique)

le 20 novembre 1999

Rapport numéro A99P0168

Sommaire

À 15 h 52, heure avancée du Pacifique, l'Aircoupe portant le numéro de série 451 a décollé de l'aéroport de Langley (Colombie-Britannique) avec un pilote et un passager pour se rendre à l'aéroport de Pitt Meadows pour faire des posés-décollés. À 16 h 21, après avoir passé une quinzaine de minutes dans le circuit de Pitt Meadows, l'Aircoupe a quitté le circuit et s'est dirigé vers le sud-ouest dans la zone d'entraînement CYA 125 (T). À 16 h 19, le Cessna 152 portant le numéro de série 15279941 a quitté l'aéroport de Boundary Bay avec un instructeur et un élève-pilote et s'est dirigé vers le nord-est dans la zone CYA 125 (T) pour une séance de formation de base au pilotage. À 16 h 27, les deux aéronefs sont entrés en collision de jour dans des conditions météorologiques de vol à vue alors qu'ils se trouvaient à 1 300 pieds au-dessus du niveau de la mer sur des trajectoires pratiquement opposées. L'accident s'est produit près du centre de la zone CYA 125 (T). Les deux avions ont subi des dommages catastrophiques, ils se sont disloqués en vol et se sont écrasés au sol. Les deux avions ont été détruits; les quatre occupants ont subi des blessures mortelles. Il n'y a pas eu d'incendie.

This report is also available in English.

1.0	Renseignements de base	1
1.1	Déroulement du vol	1
1.2	Victimes	3
1.2.1	L'Aircoupe 415C	3
1.2.2	Le Cessna 152	3
1.3	Dommmages aux aéronefs	3
1.4	Autres dommmages	4
1.5	Renseignements sur le personnel	4
1.5.1	L'équipage du Aircoupe 415C	4
1.5.2	L'équipage du Cessna 152	4
1.5.2.1	L'instructeur	4
1.5.2.2	L'élève-pilote	5
1.6	Renseignements sur les aéronefs	5
1.6.1	L'Aircoupe 415C	5
1.6.2	Le Cessna 152	6
1.7	Renseignements météorologiques	6
1.8	Aides à la navigation	7
1.9	Télécommunications	7
1.10	Renseignements sur l'aérodrome et sur l'espace aérien	7
1.11	Enregistreurs de bord	8
1.12	Renseignements sur l'épave et sur l'impact	8
1.12.1	L'Aircoupe 415C	8
1.12.2	Le Cessna 152	8
1.13	Renseignements médicaux	9
1.14	Incendie	9
1.15	Questions relatives à la survie des occupants	9
1.16	Essais et recherches	9
1.16.1	Gisement relatif constant	9
1.16.2	Limites physiologiques de l'oeil humain	9
1.16.3	Champ de vision limité dû à la conception des aéronefs	10
1.16.4	Point de référence visuelle calculé	10
1.16.5	Le principe « voir et éviter »	10
1.16.6	Temps de reconnaissance et de réaction	11
1.16.7	Moyens de protection contre les collisions en vol	12
1.17	Renseignements supplémentaires	13
1.17.1	Aéronefs posant un danger après l'accident	13
1.17.2	Utilisation des phares d'atterrissage pour prévenir les accidents	13
1.17.3	Statistiques	14

2.0	Analyse	15
2.1	Généralités	15
2.2	Circonstances	15
3.0	Conclusions	17
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs	17
3.2	Faits établis quant aux risques	17
3.3	Autres faits établis	17
4.0	Mesures de sécurité	18
4.1	Mesures prises	18
4.1.1	Nav Canada	18
4.1.2	Transports Canada	18
4.1.3	Le Pacific Flying Club	18
5.0	Annexes	
	Annexe A - Limites physiologiques de l'oeil humain	19
	Annexe B - Sigles et abréviations	22

1.0 Renseignements de base

1.1 Déroutement du vol

L'Aircoupe a quitté l'aéroport de Langley et s'est dirigé vers l'aéroport de Pitt Meadows où le pilote a demandé l'autorisation d'effectuer des circuits à basse altitude avec posé-décollé. Le personnel de la tour de contrôle de la circulation aérienne (ATC) a ensuite autorisé le pilote à effectuer une approche directe vers la piste 26. Après avoir effectué un circuit à 600 pieds au-dessus du sol (agl), l'Aircoupe a poursuivi son vol à basse altitude pour faire un autre posé-décollé, pour lequel le pilote a viré trop tôt en étape de base. Peu après, le contrôleur de la tour a ordonné au pilote de remettre les gaz en raison d'un espacement insuffisant entre son appareil et l'avion qui était déjà en finale. L'Aircoupe a suivi les instructions du contrôleur, puis a effectué une seconde approche sans autre incident. Le pilote a ensuite quitté le circuit à 16 h 21, heure avancée du Pacifique (HAP)¹, et s'est dirigé dans la zone d'entraînement CYA 125 (T), située à une distance de quatre milles marins (nm). Il n'a pas été possible de déterminer pourquoi le pilote avait effectué ce segment de vol. De toute apparence, il s'agissait d'un vol de tourisme dans les environs.

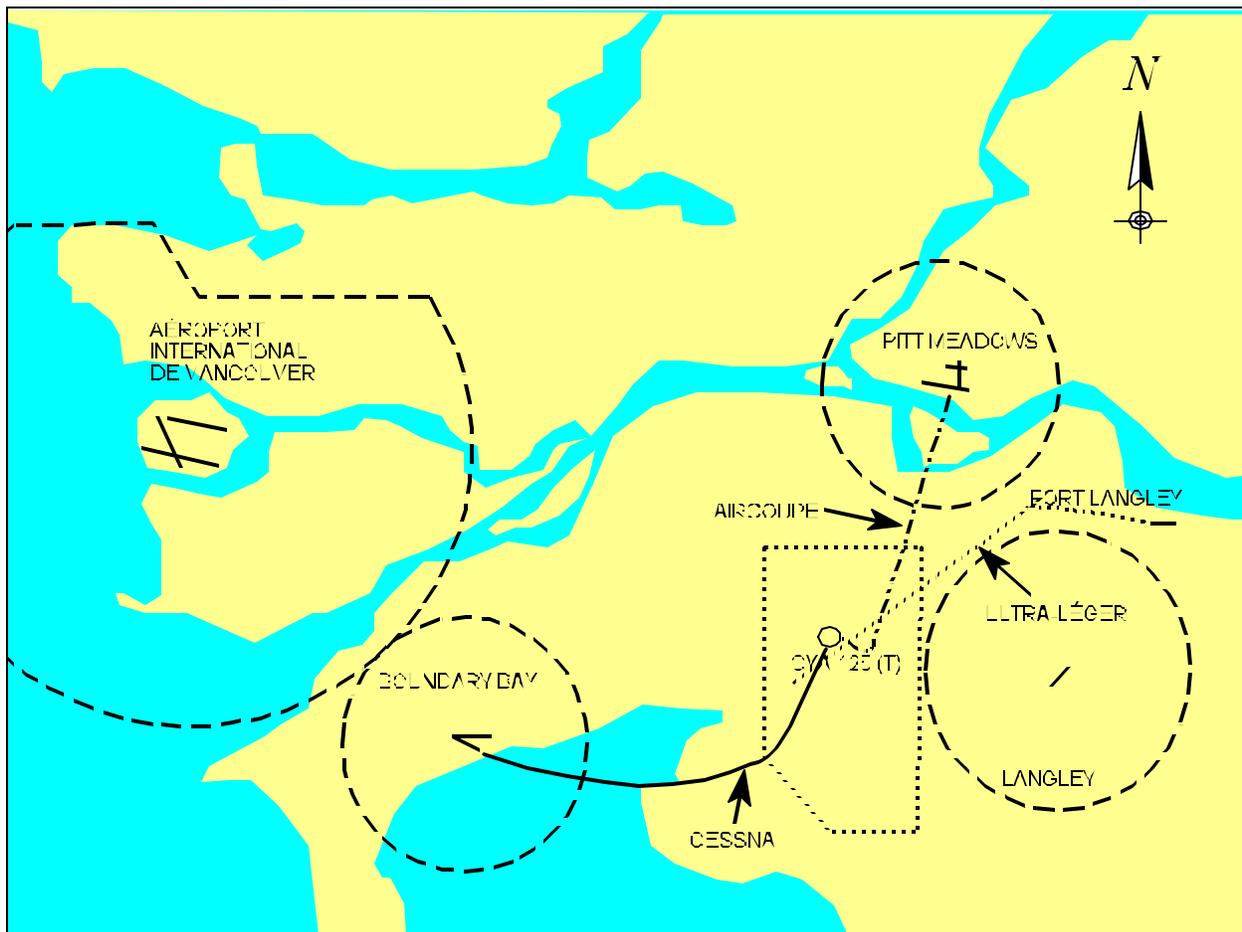


Figure 1 - Carte du lieu de l'accident

Le radar de l'ATC n'a pas enregistré l'ensemble de la trajectoire de l'Aircoupe avant la collision, mais seulement les deux dernières minutes. La trajectoire de vol de l'Aircoupe entre Pitt Meadows et la zone CYA 125 (T) a été reconstituée à partir de renseignements provenant

¹ Les heures sont exprimées en HAP (temps universel coordonné [UTC] moins sept heures).

de témoins au sol, de pilotes d'ultra-légers qui évoluaient dans les environs au moment de l'accident, des données radar et des communications de l'ATC, et des données de performances de vol des deux avions accidentés. Cette reconstitution indique que l'Aircoupe a suivi une trajectoire en ligne droite vers le sud entre le circuit de Pitt Meadows et le coin nord-est de la zone CYA 125 (T), où il a rencontré un ultra-léger à 16 h 24 min 30 s et a effectué une manoeuvre pour le contourner. La manoeuvre a duré environ une minute et quinze secondes. Au cours des 60 secondes qui ont précédé l'accident, les données radar indiquent qu'après avoir contourné l'ultra-léger, l'Aircoupe a poursuivi son chemin vers le sud-ouest pendant 40 secondes. L'Aircoupe a ensuite viré à droite vers le nord-ouest, se rapprochant ainsi rapidement de la trajectoire du Cessna. Il semble que l'Aircoupe ait ensuite viré à gauche, presque face à face avec le Cessna et, 10 secondes plus tard, les avions sont entrés en collision. Selon l'information recueillie, l'Aircoupe avait une assiette de vol presque rectiligne en palier quelque 5 secondes avant l'impact.

Les dommages relevés sur l'avion permettent de penser que l'Aircoupe se trouvait en léger cabré avec une inclinaison vers la droite au moment de la collision, ce qui est typique d'un virage en éloignement du Cessna. Selon l'information recueillie, l'Aircoupe aurait amorcé une manoeuvre d'évitement immédiatement avant l'impact avec le Cessna, cependant, ni les données radar, ni l'épave ne permettent de le confirmer avec certitude.

À 16 h 1, l'instructeur de vol et l'élève-pilote qui se trouvaient à bord du Cessna 152 ont commencé à rouler à partir de l'aire de trafic du Pacific Flying Club à l'aéroport de Boundary Bay. Le vol devait permettre à l'élève-pilote de cumuler des heures de vol et d'effectuer une révision des exercices de vol de base (comme le vol lent, les atterrissages de précaution et les virages serrés) en vue de l'obtention de son permis canadien de pilote de loisir - avion. Après avoir attendu au sol pendant 18 minutes en raison du nombre important d'appareils dans le circuit de Boundary Bay, le Cessna a décollé de la piste 12 et a fait route vers l'est pour ensuite entrer dans la zone CYA 125 (T) près du centre de la limite ouest. De là, l'avion a viré vers le nord à environ 45 degrés (°) et il s'est dirigé en ligne droite vers le nord-est pour atteindre le centre de la zone d'entraînement. Les données radar indiquent que le Cessna a maintenu un cap d'environ 25 degrés magnétique (°M), une vitesse-sol d'environ 110 noeuds et une altitude de 1 300 pieds au-dessus du niveau de la mer (asl). Personne n'a vu le Cessna dévier de sa trajectoire ni tenter une manoeuvre d'évitement avant la collision.

Les deux pilotes qui se trouvaient à bord d'un avion ultra-léger Spectrum Beaver RX550 ont été témoins des circonstances qui ont mené à la collision, mais ils n'ont pas été témoins de la collision en tant que telle. Vers 16 h 15, l'ultra-léger a décollé d'une piste en herbe située près de Fort Langley, localité située à 6 nm au nord-est du lieu de l'accident. Il s'est dirigé vers le sud-ouest dans la zone CYA 125 (T) à une altitude d'environ 1 100 pieds asl dans le but de se rendre à l'aéroparc de King George à Surrey, à la frontière ouest de la zone d'entraînement. Le radar ATC de Sea Island a enregistré la trajectoire de l'ultra-léger, et les données radar indiquent que l'appareil a fait route en ligne droite vers le sud-ouest à partir de Fort Langley à une vitesse sol d'environ 50 noeuds. La collision en vol serait donc survenue derrière l'ultra-léger, c'est-à-dire hors du champ de vision des occupants.

Environ trois minutes avant la collision, les pilotes de l'ultra-léger ont d'abord remarqué une lumière vive devant eux à l'horizon, lumière qui se trouvait à une distance d'environ 8 nm et qui se déplaçait dans leur direction. Ils se sont ensuite rendu compte que la lumière était en fait le phare d'atterrissage d'un avion qui s'approchait, avion qu'ils ont plus tard identifié comme étant un Cessna. Environ une minute plus tard, les pilotes ont vu le Cessna changer de

trajectoire pour se diriger légèrement plus au nord. Ils ont estimé que la trajectoire du Cessna n'entraîne pas en conflit avec la leur et qu'ils passeraient aisément au sud du Cessna. Les pilotes se souviennent que le phare d'atterrissage est resté allumé pendant tout le temps qu'ils ont eu le Cessna en vue.

Environ au même moment, les occupants de l'ultra-léger ont vu l'Aircoupe les dépasser sur la gauche, quelque 200 pieds plus haut, sur une trajectoire parallèle à la leur et avec un cap similaire d'environ 225 °M. L'Aircoupe a ensuite effectué un virage serré à droite en face d'eux, il a croisé leur trajectoire, il est passé à droite pour finalement disparaître derrière eux. Les pilotes de l'ultra-léger n'ont pas vu le phare d'atterrissage de l'Aircoupe allumé. Ils se rappellent toutefois avoir vu le feu anticollision rouge allumé situé sous le fuselage de l'Aircoupe ainsi que les deux occupants de l'Aircoupe qui regardaient l'ultra-léger pendant la manoeuvre de contournement. Les pilotes de l'ultra-léger ont continué jusqu'à l'aéroparc où ils ont atterri, ignorant tout de la collision qui venait de se produire derrière eux. L'ultra-léger n'était pas équipé d'une radio ni d'un transpondeur; la réglementation en vigueur ne l'exigeait pas.

1.2 Victimes

1.2.1 L'Aircoupe 415C

	Équipage	Passagers	Total
Tués	1	1	2
Blessés graves	-	-	-
Blessés légers/Indemnes	-	-	-
Total	1	1	2

1.2.2 Le Cessna 152

	Équipage	Passagers	Total
Tués	2	-	2
Blessés graves	-	-	-
Blessés légers/Indemnes	-	-	-
Total	2	-	2

1.3 Dommages aux aéronefs

Les deux avions ont été détruits par le choc et par l'impact avec le sol qui a suivi la collision.

L'Aircoupe s'est disloqué en vol après la collision. L'avion s'est rompu en cinq parties principales : la partie avant, le poste de pilotage et la partie principale du fuselage, l'empennage et les deux ailes.

Le Cessna a été moins endommagé que l'Aircoupe, mais les dommages ont été catastrophiques et ont rendu l'avion ingouvernable. Au moment de la collision, l'aile gauche du Cessna a été arrachée de son emplanture. L'empennage s'est rompu, mais il ne s'est pas détaché, étant

retenu par les câbles de commande.

1.4 *Autres dommages*

Il n'y a pas eu d'autres dommages.

1.5 *Renseignements sur le personnel*

1.5.1 *L'équipage du Aircoupe 415C*

	Commandant de bord
Âge	57 ans
Licence	Pilote privé
Date d'expiration du certificat de validation	1 ^{er} janvier 2000
Heures de vol totales	2 210

Le pilote était âgé de 57 ans et il effectuait des vols de loisir depuis plus de 30 ans. Il était titulaire d'un certificat de validation de licence valable et d'une licence canadienne de pilote privé - avion en vertu de laquelle il était autorisé à piloter de jour et de nuit et comme seul pilote à bord de tout avion ou hydravion monomoteur. Le pilote était un passionné d'aviation. Il était propriétaire du Aircoupe et il le pilotait depuis cinq ans. Lors du vol ayant mené à l'accident, le pilote était accompagné d'un ami de longue date qui avait au moins 40 ans d'expérience de vol et qui avait possédé plus de 45 petits avions au fil des ans.

1.5.2 *L'équipage du Cessna 152*

	Instructeur	Élève-pilote
Âge	25 ans	15 ans
Licence	Pilote professionnel	Permis d'élève-pilote
Date d'expiration du certificat de validation	1 ^{er} avril 2000	1 ^{er} août 2001
Heures de vol totales	550	26
Heures de vol sur type	280	26
Heures de vol dans les 90 derniers jours	180	15
Heures de vol sur type dans les 90 derniers jours	105	15

1.5.2.1 *L'instructeur*

L'instructeur travaillait pour le Pacific Flying Club depuis juillet 1999. Ses superviseurs et ses collègues ont indiqué qu'il était compétent, prudent et professionnel. Il était titulaire d'une licence canadienne de pilote professionnel - avion et il possédait une qualification de vol aux instruments de groupe 1 qui était valable jusqu'en mars 2001. Son certificat de validation de licence était valable jusqu'en avril 2000. Il avait obtenu sa qualification d'instructeur de classe 4 le 30 juin 1999; depuis, il avait cumulé environ 250 heures comme instructeur. Son carnet de vol indique qu'il volait depuis juillet 1997. Il totalisait 550 heures de vol, dont 280 sur le

Cessna 152. Au moment de l'accident, il était en place droite, qui est la place habituelle de l'instructeur qui donne de l'instruction en vol.

1.5.2.2 L'élève-pilote

L'élève-pilote était âgé de 15 ans. Il avait commencé son cours de pilotage avec le Pacific Flying Club en juillet 1999. Les autres pilotes et ses compagnons de classe ont indiqué qu'il était un jeune homme compétent, dévoué et enjoué. Il était titulaire d'un permis d'élève-pilote et d'un certificat médical en état de validité. Il totalisait quelque 26 heures de vol et sa formation au pilotage se déroulait normalement. Au moment de l'accident, il était en place gauche, qui est la place habituelle du commandant de bord ou de l'élève-pilote en formation.

1.6 Renseignements sur les aéronefs

1.6.1 L'Aircoupe 415C

Constructeur	Engineering and Research Company (ERCO)
Type et modèle	Aircoupe 415C
Année de construction	1946
Numéro de série	451
Certificat de navigabilité	17 mars 1980
Heures de vol cellule	2 022
Type de moteur	Continental C-85-12
Type d'hélice	McCauley 1B90-CM
Masse maximale au décollage	1 260 lb
Type de carburant recommandé	Essence aviation 100 LL (à basse teneur en plomb)

L'ERCO Aircoupe 415C était un avion monomoteur biplace à aile basse de couleur jaune. Il était fait de métal et de toile. L'avion possédait en équipement standard un phare d'atterrissage fixe installé sur le bord d'attaque de l'aile gauche. Des témoins ont indiqué que le phare d'atterrissage de l'Aircoupe n'était pas allumé juste avant la collision, mais que le feu anticollision de couleur rouge situé sous le fuselage l'était.



Figure 2 - L'Aircoupe 415

D'après les documents retrouvés après l'accident, on a jugé que la masse et le centrage de l'Aircoupe se trouvaient dans les limites prescrites au moment du décollage de Langley. Les dossiers de maintenance de l'appareil et du moteur ainsi que d'autres documents ont été examinés, mais aucune anomalie n'a été décelée. D'après les dossiers, l'avion était certifié, équipé et entretenu conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures approuvées.

1.6.2 Le Cessna 152

Constructeur	Cessna Aircraft Company
Type et modèle	152
Année de construction	1977
Numéro de série	15279941
Certificat de navigabilité	23 août 1989
Heures de vol cellule	8 280
Type de moteur	Lycoming O-235-L2C
Type d'hélice	McCauley 1A103/TCM
Masse maximale autorisée au décollage	1 670 lb
Types de carburant recommandés	Essence aviation 100 et 100 LL
Type de carburant utilisé	Essence aviation 100 LL

Le Cessna 152 était un monomoteur biplace de couleur blanche, à aile haute cantilever et à train tricycle fixe. Il possédait en équipement standard un phare d'atterrissage fixe installé dans le nez de l'avion. Des témoins ont confirmé que le phare d'atterrissage du Cessna était allumé avant la collision.



Figure 3 - Le Cessna 152

D'après les documents retrouvés après l'accident, on a jugé que la masse et le centrage du Cessna se trouvaient dans les limites prescrites au moment du décollage de Boundary Bay. L'examen des dossiers de maintenance de l'appareil et du moteur et d'autres documents n'a révélé aucune anomalie. D'après les dossiers, l'avion était certifié, équipé et entretenu conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures approuvées.

1.7 Renseignements météorologiques

Au moment de l'accident, des conditions météorologiques de vol à vue favorables au vol à vue (VFR) prévalaient. Selon l'information recueillie, le ciel dans la zone CYA 125 (T) était plutôt couvert avec quelques nuages minces à basse altitude dans le secteur nord-ouest. Les bulletins d'observations météorologiques pour l'aviation de l'aéroport international de Vancouver, situé à 15 nm à l'ouest du lieu de l'accident, et pour l'aéroport d'Abbotsford, situé à 15 nm à l'est du lieu de l'accident, ne faisaient état d'aucune situation météorologique particulière qui aurait joué un rôle dans l'accident. On a jugé que les conditions météorologiques n'avaient pas contribué à l'accident.

En raison de la luminosité décroissante, il n'était pas facile de détecter et d'identifier les aéronefs. Le soleil couchant était partiellement caché par des nuages à l'ouest. L'éblouissement n'a joué aucun rôle dans l'accident. Ce jour-là, l'heure officielle du coucher du soleil était fixée à 16 h 26, et c'est à peu près à cette heure que s'est produit l'accident. L'heure officielle du crépuscule nocturne était fixée à 17 h 1. Les pilotes de l'ultra-léger ont indiqué que le ciel à l'ouest était éclairé à contre-jour par le coucher du soleil, ce qui permettait

encore de voir raisonnablement bien les avions à l'horizon, mais qu'à l'est, il y avait des nuages de diverses teintes aux formes compliquées et entremêlées. Le feuillage au sol dans les environs de la ceinture verte et dans de nombreux parcs adjacents au lieu de l'accident était lui aussi bigarré, ce qui créait un effet de camouflage au moment du coucher du soleil.

1.8 Aides à la navigation

Les aides à la navigation n'ont joué aucun rôle dans l'accident. Le Cessna était équipé d'un alticodeur-transpondeur qui, jusqu'au moment de l'accident, a transmis en mode C le code 1200. Les données radar indiquent que le Cessna volait en palier à 1 300 pieds asl. L'Aircoupe n'était pas équipé d'un transpondeur; la réglementation en vigueur ne l'exigeait pas. Les avions évoluant dans la zone CYA 125 (T) ne sont pas tenus d'être équipés d'un transpondeur.

La portée du radar de Sea Island dans la zone CYA 125 (T) a une limite inférieure (plancher) d'environ 600 pieds asl, sans doute en raison du relief qui fait écran. En raison de ce plancher, le radar n'a pas détecté de façon fiable les avions qui évoluaient à une altitude inférieure à 600 pieds. Par exemple, le radar n'a pas intercepté les avions qui effectuaient des circuits à basse altitude à Pitt Meadows ni la trajectoire de l'Aircoupe entre Pitt Meadows et l'endroit où celui-ci a franchi le plancher en montée juste avant l'accident.

1.9 Télécommunications

La radio de l'Aircoupe a été trouvée réglée sur la fréquence de 119,0 mégahertz (MHz), fréquence de la tour de Langley, et celle du Cessna, sur 123,0 MHz, fréquence souvent utilisée par les avions du Pacific Flying Club pour les communications internes avec la compagnie. Les communications radio bilatérales ne sont pas obligatoires pour les avions évoluant dans la zone CYA 125 (T). La brochure *Un instant* (TP 2228F), publiée en avril 1999 par la Sécurité du système de Transports Canada pour promouvoir la sécurité aérienne, indique que les pilotes qui évoluent dans la zone CYA 125 (T) devraient surveiller la fréquence commune de 123,5 MHz pour éviter les conflits de trafic dans cet espace encombré.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome et sur l'espace aérien

Les deux avions ont décollé d'aéroports homologués, mais les aérodromes en tant que tel n'ont joué aucun rôle dans l'accident.

L'accident s'est produit dans un espace aérien de classe F à l'intérieur duquel les activités doivent être confinées à cause de leur nature. Certaines restrictions peuvent être imposées aux aéronefs qui ne participent pas à ces activités. Il importe de savoir que les aéronefs ne bénéficient pas des services ATC et que chaque pilote a la responsabilité de détecter et d'éviter les autres aéronefs. Les pilotes doivent assurer leur propre espacement avec les autres aéronefs grâce au principe « voir et éviter »; bref, les pilotes doivent être vigilants et exercer une surveillance extérieure continue pour éviter les conflits.

La zone CYA 125 (T) est un espace aérien consultatif de classe F à l'intérieur duquel on dispense habituellement de l'instruction en vol. Il s'agit d'une zone bien connue servant à l'instruction en vol et aux vols de loisir; on y retrouve constamment des aéronefs provenant d'au moins trois aéroports des environs : Langley, Pitt Meadows et Boundary Bay. Cette zone d'entraînement VFR se situe sous un espace aérien de classe C contrôlé par l'unité de contrôle terminal de l'ATC de Vancouver. Une zone tampon d'au moins 500 pieds sépare les deux

espaces aériens. La limite supérieure de la zone CYA 125 (T) est établie à 2 000 pieds asl; le plancher de l'espace aérien de la zone terminale est établi à 2 500 pieds asl. Apparemment, les avions en VFR qui survolent la zone CYA 125 (T) passent souvent à une altitude médiane, par exemple 2 200 pieds, pour éviter les deux zones. Les dimensions physiques de l'espace aérien sont clairement indiquées sur plusieurs cartes aéronautiques que peuvent se procurer les pilotes.

1.11 Enregistreurs de bord

Aucun des deux avions n'était équipé d'un enregistreur de données de vol (FDR) ou d'un enregistreur de la parole dans le poste de pilotage (CVR); la réglementation en vigueur ne l'exigeait pas.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.12.1 L'Aircoupe 415C

L'Aircoupe s'est disloqué en vol sous le choc. Les parties principales de l'épave ont été trouvées dans un champ; la zone des débris mesurait environ 400 pieds sur 300 pieds. Des débris plus petits ont été transportés par le vent et jonchaient le sol sur plusieurs centaines de pieds dans des champs voisins. Un examen poussé de l'épave a révélé des dommages typiques d'une dislocation en vol. Aucun signe de défaillance mécanique ou d'anomalie antérieure à l'accident n'a été trouvé. L'Aircoupe était équipé d'une radiobalise de repérage d'urgence (ELT), mais elle a été détruite par le choc et ne s'est probablement pas déclenchée.

Bref, toutes les gouvernes ainsi que les câbles et les tiges de commande ont été retrouvés, et leur continuité a été vérifiée. Les dommages attribués à la collision indiquent que l'hélice du Cessna a percuté le pneu du train avant et la partie inférieure du fuselage de l'Aircoupe du côté droit du caisson de fixation du longeron d'aile. L'hélice a cisailé le longeron et a provoqué la rupture des deux ailes et de la partie avant de l'avion à peu près au niveau du plancher du poste de pilotage. Le logement de la batterie de couleur rouge, qui avait été installé à cet endroit, a été retrouvé à plusieurs mètres du Cessna accidenté. Un panneau de métal provenant de la partie inférieure du fuselage et se trouvant normalement au niveau du longeron d'aile a été trouvé coincé entre l'hélice et le moteur du Cessna.

1.12.2 Le Cessna 152

Après la collision, le Cessna est tombé en spirale dans le même champ où l'Aircoupe a été retrouvé. L'aile gauche du Cessna reposait à 200 pieds du point d'impact principal. Un examen poussé de l'épave du Cessna a révélé que les dommages étaient typiques d'une dislocation en vol. Aucun signe de défaillance mécanique ou d'anomalie antérieure à l'accident n'a été trouvé. L'ELT du Cessna s'est déclenchée au moment de l'impact.

Bref, toutes les gouvernes ainsi que les câbles et les tiges de commandes ont été retrouvés, et leur continuité a été vérifiée. Un examen a révélé que les volets étaient rentrés au moment de la collision en vol. Les dommages attribués à la collision indiquent que l'Aircoupe a heurté le côté arrière droit du fuselage du Cessna, ce qui a probablement sectionné l'empennage. Les dommages aux ailes du Cessna indiquent que l'impact avec l'Aircoupe a été violent. Le côté droit de la partie avant du Cessna porte des marques de peinture rouge qui proviennent sans doute du logement de la batterie de l'Aircoupe. Les mêmes marques de peinture ont été

relevées sur l'hélice du Cessna. L'hélice du Cessna a peut-être entraîné avec elle la batterie et son logement jusqu'à l'impact au sol. Puisque l'hélice a coincé le panneau de métal contre le moteur, le moteur se serait arrêté au moment où l'hélice a heurté la partie inférieure du fuselage de l'Aircoupe.

1.13 Renseignements médicaux

D'après les dossiers médicaux des pilotes et les résultats des autopsies et des analyses toxicologiques, rien n'indique que des facteurs physiologiques ou qu'une incapacité aient perturbé les capacités des pilotes.

1.14 Incendie

Il n'y a pas eu d'incendie.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

L'accident n'offrait aucune chance de survie à cause de l'importance des forces d'impact liées à la collision, à la dislocation en vol et à l'impact avec le sol. Les forces d'impact dépassaient les limites normales de la résistance humaine.

1.16 Essais et recherches

1.16.1 Gisement relatif constant

Lorsque deux avions se trouvent sur des trajectoires de collision et qu'ils ont un cap constant et une vitesse constante, ils ont aussi un gisement constant par rapport à l'autre.² Dans ces conditions, l'avion, s'il est détecté, semble immobile aux yeux du pilote. Cette illusion fait qu'il est plus difficile pour le pilote d'établir le contact visuel. Même si un des avions se déplace plus rapidement que l'autre, si le gisement relatif de chaque avion demeure constant, les avions entreront en collision. Si l'avion qui s'approche ne présente pas de mouvement relatif apparent aux yeux du pilote et si l'avion demeure au même endroit sur le pare-brise, il est probable qu'une collision va se produire à moins qu'une manoeuvre d'évitement ne soit prise.

1.16.2 Limites physiologiques de l'oeil humain

Dans certaines situations, les limites physiologiques de l'oeil peuvent aussi empêcher le pilote de voir un autre aéronef. L'annexe A présente les résultats de recherches qui ont été faites sur l'oeil humain ainsi que certaines limites qui peuvent empêcher le pilote de bien voir un autre aéronef. Cette information est fournie pour

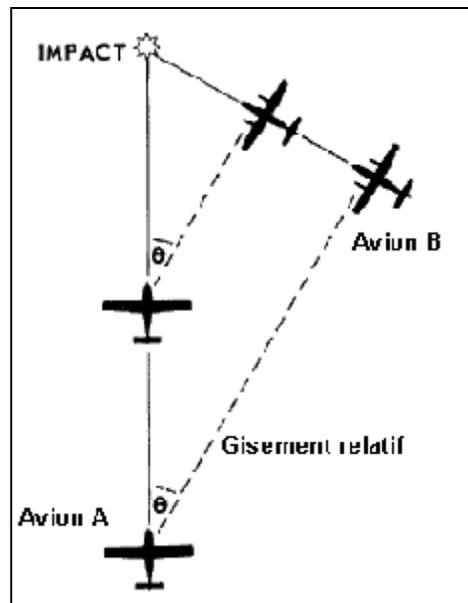


Figure 4 - Gisement relatif constant

² Pour de plus amples renseignements, voir Richard H. Woods et Robert W. Sweginnis, *Aircraft Accident Investigation*, Casper, Wyoming: Endeavor Books, 1995; Bureau of Air Safety Investigation (Australie), « *Relative Motion* » dans *See and Avoid*, 1998. La figure 4 a été tirée du deuxième document.

permettre au lecteur de mieux comprendre ces limites physiologiques; toutefois, il n'a pas été possible de déterminer si une de ces limites avait joué un rôle dans le présent accident.

1.16.3 Champ de vision limité dû à la conception des aéronefs

Lorsque le pilote d'un avion à aile basse fait un virage à droite, l'aile gauche qui monte bloque une partie du champ de vision à gauche. Le pilote d'un Aircoupe aurait donc plus de difficulté à voir un appareil qui pose un danger et qui se trouve sur sa gauche. Cependant, son champ de vision à droite ne serait pas bloqué, mais le pilote devrait quand même balayer du regard tout le poste de pilotage et la zone autour de la personne en place droite (si cette place est occupée). La situation inverse est également vraie pour un virage à gauche.

Lorsque le pilote d'un avion à aile haute effectue un virage à droite, l'aile droite bloque une partie du champ de vision du pilote. Le pilote d'un Cessna 152 aurait donc plus de difficulté à voir un aéronef qui pose un danger et qui se trouve sur sa droite. De plus, le pilote devrait quand même balayer du regard tout le poste de pilotage et la zone autour de la personne en place droite (si cette place est occupée). Le pilote, par contre, pourrait très bien voir le trafic se trouvant sur sa gauche.

1.16.4 Point de référence visuelle calculé

Certains constructeurs d'avions ajoutent des repères dans le poste de pilotage que le pilote peut utiliser comme point de référence visuelle pour pouvoir placer son siège dans la meilleure position possible. Cette particularité résulte du mariage entre la conception des aéronefs et les facteurs humains (ergonomie). Ces repères sont habituellement des points de couleur qui sont apposés près du tableau de bord ou de l'auvent et que le pilote peut aligner les uns sur les autres pour positionner son siège. Le pilote peut ainsi placer son siège de façon à pouvoir jouir de la meilleure visibilité à l'intérieur et à l'extérieur du poste de pilotage et pour avoir facilement accès aux interrupteurs et aux commandes. Cette position optimale, appelée point de référence visuelle calculé (DERP), est une position statique basée sur la conception du poste de pilotage.

Les avions plus petits, comme l'Aircoupe et le Cessna, ont eux aussi des DERP, mais il est peu probable que leurs repères soient bien visibles. On peut souvent obtenir des renseignements à propos du DERP auprès du constructeur de l'aéronef. Lorsque ces renseignements ne sont pas disponibles, le pilote règle la hauteur de son siège et la position de son siège vers l'avant ou vers l'arrière :

- a. pour avoir accès aux commandes de vol et à leur course complète;
- b. pour avoir accès aux commandes critiques;
- c. pour pouvoir voir tous les instruments et tous les voyants;
- d. pour avoir une bonne visibilité vers l'avant;
- e. pour se sentir à l'aise aux commandes.

Le pilote peut s'assurer qu'il aura une bonne visibilité extérieure en réglant son siège de cette manière. Cela lui permet également de déceler les endroits plus vulnérables pendant le balayage visuel à la recherche d'appareils qui posent un danger et de tenir compte de ces endroits.

1.16.5 Le principe « voir et éviter »

Au Canada, plusieurs types d'espaces aériens exigent que le pilote assure son propre espacement avec les autres aéronefs grâce au principe « voir et éviter » lorsqu'il effectue un vol VFR ou un vol selon les règles de vol aux instruments (IFR). Ce principe veut que le pilote assure son propre espacement avec les autres aéronefs en exerçant une bonne surveillance extérieure à la recherche des autres aéronefs et en effectuant des manoeuvres suffisamment tôt pour éviter les problèmes. Lorsqu'on évolue dans un environnement opérationnel qui change constamment, il n'est pas toujours facile d'avoir une bonne idée de la situation en surveillant les autres aéronefs qui pourraient poser un problème. Le vol dans une zone d'entraînement est plus risqué, et les pilotes doivent exercer une surveillance extérieure constante à la recherche des autres aéronefs.

Des études ont révélé que le pilote à qui on signale la présence d'un autre appareil a huit fois plus de chances de voir l'autre appareil.³ L'information peut être communiquée dans un message radio, ou grâce à la technologie d'un système anticollision embarqué (TCAS/ACAS) ou grâce à une simple pièce d'équipement passive comme un feu anticollision à éclats.

Dans les zones d'émissions obligatoires et dans les zones où le trafic est dense, les communications radio aident les pilotes à assurer leur propre espacement avec les autres aéronefs grâce au principe « voir et éviter ». Les avertissements transmis par radio permettent de prévenir le pilote et augmentent généralement le temps que le pilote consacre à la surveillance extérieure à la recherche d'autres aéronefs. Les avertissements permettent aussi aux pilotes de chercher dans la bonne direction. Le pilote qui ne reçoit pas d'avertissement par radio doit compter davantage sur le principe « voir et éviter » pour assurer son propre espacement avec les autres aéronefs. En dernier lieu, le pilote doit être capable de déceler l'aéronef qui pose un danger suffisamment tôt pour avoir le temps de faire une manoeuvre d'évitement.

La section RAC (Règles de l'Air et Services de la circulation aérienne) 2.5.1, Utilisation de l'espace aérien contrôlé par les vols VFR, de la *Publication d'information aéronautique*⁴ (A.I.P. Canada) stipule qu'« à cause de la densité du trafic à certaines altitudes, l'espacement VFR d'après la méthode « apercevoir et être aperçu » [sic, le principe « voir et éviter »] ne fournit pas toujours un espacement concret ». De plus, la section AIR (Discipline aéronautique) 3.7, Vue, de l'A.I.P. Canada stipule que de bonnes techniques de balayage visuel sont nécessaires à l'efficacité du principe « voir et éviter ». Les pilotes se doivent d'identifier le trafic qui pose un danger lorsqu'il est encore temps d'effectuer une manoeuvre d'évitement. Cette section précise aussi qu'une bonne technique de balayage visuel doit être apprise, car il ne s'agit pas d'une habileté naturelle. Des recherches effectuées par le Bureau of Air Safety Investigation d'Australie ont permis de conclure que le principe « voir et éviter » dénué d'avertissement signalant le trafic présente de sérieuses limites et que le principe « voir et éviter » passif ne doit être utilisé qu'en dernier recours pour assurer l'espacement à faible vitesse de rapprochement.⁵

1.16.6 Temps de reconnaissance et de réaction

³ Bureau de la sécurité des transports du Canada, *Rapport d'enquête sur accident aéronautique numéro A95H0008*, paragraphes 1.9.3 et 1.9.8.

⁴ Ministère des Transports (Canada), *Publication d'information aéronautique*, TP 2800F.

⁵ Bureau of Air Safety Investigation (Australie), *Limitations of the See-and-Avoid Principle*, 1991.

La détection des autres aéronefs en vol n'est pas le seul critère inhérent au principe « voir et éviter ». Le problème se complique en raison du temps dont l'être humain a besoin pour traiter l'information et y réagir, ainsi que du délai nécessaire pour surmonter l'inertie de l'avion en vol. Le Naval Aviation Safety Center des États-Unis a publié des données concernant les temps typiques de reconnaissance et de réaction (en secondes) des pilotes en situation de collision potentielle en vol. Ces données sont présentées dans le tableau ci-après.⁶

Stimulation / réaction	Temps de réaction	Temps total
Temps de voir un objet en avant	0,1 s	0,1 s
Temps de reconnaître qu'il s'agit d'un aéronef	1,0 s	1,1 s
Temps de se rendre compte qu'il existe une trajectoire de collision	5,0 s	6,1 s
Temps de prendre la décision de virer à gauche ou à droite	4,0 s	10,1 s
Temps de réaction musculaire	0,4 s	10,5 s
Temps de réponse de l'avion aux sollicitations du pilote	2,0 s	12,5 s
Temps nécessaire pour que l'avion commence à exécuter la manoeuvre	12,5 s	

En général, il s'écoule 12 secondes avant que l'avion commence à s'écarter de la trajectoire de collision après que le pilote s'est rendu compte du conflit. Cependant, lorsqu'un aéronef qui pose un danger se trouve à 0,5 nm, sa cible ne mesure que 1° de largeur. Selon toute vraisemblance, le pilote ne peut pas voir une cible de cette taille, surtout si l'aéronef a un gisement relatif constant, à moins que la cible de l'avion ne tombe directement sur la fovéa.

1.16.7 Moyens de protection contre les collisions en vol

La sécurité aérienne repose sur des moyens de protection intégrés au système. Trois moyens de protection importants permettent d'assurer l'espacement entre les aéronefs en vol VFR dans un espace aérien non contrôlé : les procédures, la technologie et le principe « voir et éviter ». Ces éléments se recoupent afin de réduire la probabilité qu'une seule défaillance mène à la catastrophe.

Si le pilote regarde dans la bonne direction, les chances qu'il détecte visuellement un objet dépend en grande partie de la taille de l'objet. Toutefois, dans certaines circonstances, les limites physiologiques de l'oeil, la taille angulaire de l'aéronef en rapprochement, les distractions dans le poste de pilotage, la charge de travail et de nombreux autres facteurs

⁶ Federal Aviation Administration (États-Unis), *How to Avoid a Midair Collision*, FAA-P-8740-51, AFS-800-0687.

peuvent empêcher le pilote de voir l'aéronef en rapprochement. Par conséquent, le principe « voir et éviter » est le moyen de protection le moins efficace, surtout s'il est appliqué de façon passive.

Les procédures, qu'elles soient recommandées ou obligatoires, offrent la meilleure protection et le plus de recoupement. Ces procédures sont publiées pour que les opérations s'effectuent d'une manière uniforme; toutefois, si les pilotes ne suivent pas les procédures ou s'ils ne signalent pas qu'ils ont l'intention de ne pas les suivre, les autres utilisateurs de l'espace aérien peuvent ne pas être au courant des mesures prises, et un conflit peut en résulter.

Les communications radio jouent également un rôle de protection et de recoupement lorsque les pilotes qui se trouvent à l'intérieur d'une zone définie doivent communiquer sur une fréquence préétablie. Cette procédure permet aux pilotes d'assurer leur propre espacement avec les autres aéronefs et d'évoluer prudemment et d'une manière ordonnée. Il existe également d'autres moyens de protection; il s'agit de systèmes qui font appel à la technologie comme les alticodeurs-transpondeurs, les TCAS/ACAS, les plus récentes avancées dans le domaine de la surveillance dépendante automatique en mode diffusion (ADS-B) et les services de diffusion d'information sur le trafic (TIS-B). Ces systèmes visent essentiellement l'amélioration du principe « voir et éviter » appliqué aux gros porteurs. Les recherches permettent de mettre au point des systèmes moins sophistiqués, donc abordables pour l'aviation générale. Par exemple, les découvertes dans le domaine des feux anticollision à éclats ont mené à un système de feux efficace et peu coûteux qui est de meilleure qualité que les équipements classiques que l'on trouve dans les petits avions.

En somme, en rendant les aéronefs plus visibles, on réduit les risques de collision dans les zones de trafic dense. Les feux à éclats, les phares d'atterrissage pulsés et la technologie de surveillance électronique aident les pilotes à repérer à temps les aéronefs qui posent un danger. La sensibilisation accrue des pilotes aux éléments qui peuvent gêner leur champ de vision et le fait d'encourager les pilotes à adopter de bonnes techniques de balayage visuel à la recherche d'aéronefs qui posent un danger peuvent également pallier les limites du principe « voir et éviter ».

1.17 Renseignements supplémentaires

1.17.1 Aéronefs posant un danger après l'accident

Dans les 15 minutes qui ont suivi l'accident, le radar a enregistré les données de cinq autres avions légers volant à basse altitude au-dessus du lieu de l'accident. Ces avions se sont rapprochés dangereusement les uns des autres à au moins trois reprises. Chaque fois, il existait un danger réel de collision. Les données radar révèlent que ces avions ont pénétré dans la zone CYA 125 (T) après l'accident et qu'ils se sont rendus vers le lieu de l'accident pour survoler cet endroit, en suivant des trajectoires de vol irrégulières et sinueuses qui s'entrecoupaient fréquemment. Aucun des avions qui a survolé le lieu de l'accident ne participait aux opérations officielles de secours après l'accident. Après avoir observé le lieu de l'accident, ces avions sont rentrés à l'aéroport de Boundary Bay.

1.17.2 Utilisation des phares d'atterrissage pour prévenir les accidents

La section AIR 4.5, Utilisation des phares d'atterrissage pour éviter les collisions, de l'*A.I.P. Canada*, stipule que « les pilotes ont remarqué que l'utilisation du ou des phares

d'atterrissage augmente considérablement les chances d'être aperçu ». Cette section recommande « que tous les pilotes volant à des altitudes inférieures à 2 000 pieds agl à l'intérieur d'une région terminale ou dans une zone de contrôle utilisent les phares d'atterrissage ». Il serait prudent et raisonnable d'adopter une procédure similaire pour les zones de trafic à forte densité, comme la zone CYA 125 (T).

1.17.3 Statistiques

Entre 1989 et 1999, on a enregistré 17 collisions en vol mettant en cause des aéronefs civils au Canada : 8 accidents concernaient des vols en formation et 9 concernaient des aéronefs n'ayant aucun lien entre eux; 3 des 9 accidents se sont produits à l'intérieur d'une zone d'entraînement, et 6, près d'aéroports non contrôlés. Des recherches effectuées par la Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis démontrent que presque toutes les collisions en vol se produisent de jour et dans des conditions de vol VFR.⁷

⁷ Federal Aviation Administration (États-Unis), *How to Avoid a Midair Collision*, FAA-P-8740-51, AFS-800-0687.

2.0 Analyse

2.1 Généralités

Le présent accident est ce qu'on appelle une collision en vol entre appareils indépendants⁸, c'est-à-dire que les pilotes des avions accidentés ne volaient pas proches l'un de l'autre délibérément, et qu'aucun des pilotes ne savait que l'autre se trouvait à proximité. La réglementation et les procédures traitent des questions de priorité de passage, mais elles ne s'appliquent pas aux collisions entre appareils indépendants. On ne peut s'attendre à ce qu'un pilote donne la priorité à un avion dont il ignore la présence.

Aucun des deux avions ne présentait de défaillances mécaniques. Par conséquent, l'analyse portera sur les questions opérationnelles d'un vol qui se déroule dans une zone d'entraînement exiguë et sur les limites inhérentes au principe « voir et éviter ».

2.2 Circonstances

Au Canada, le principe « voir et éviter » est le principal moyen utilisé pour assurer l'espacement entre les aéronefs dans des conditions de vol à vue. Les recherches montrent que ce principe est le moyen le moins efficace à la portée des pilotes pour assurer leur propre espacement avec les autres aéronefs, et ce, en raison des limites physiologiques de l'oeil humain et des systèmes de réaction motrice. Par conséquent, il peut être insuffisant de ne compter que sur le principe « voir et éviter » surtout lorsque les avions sont proches l'un de l'autre et sont sur le point d'entrer en collision à des vitesses de rapprochement élevées.

Le profil de vol des deux avions accidentés révèle qu'aucun des deux pilotes n'a vu l'autre suffisamment tôt pour prendre des mesures d'évitement efficaces. L'enquête n'a pas permis d'établir toutes les activités dans le poste de pilotage des deux avions au moment de l'accident. Le pilote de l'Aircoupe était probablement concentré sur la manoeuvre de contournement de l'ultra-léger, tandis que les pilotes du Cessna se concentraient sans doute sur tout ce qui concernait l'entraînement. Bien qu'il soit impossible de prouver cette hypothèse, il s'agit d'un scénario que la plupart des pilotes connaissent et qui souligne l'importance d'être constamment vigilant, surtout à l'intérieur d'un espace aérien non contrôlé. Par conséquent, on peut dire qu'au moment de l'accident, les pilotes avaient moins de chances d'établir le contact visuel à cause des tâches qu'ils effectuaient.

Des études ont révélé que le pilote à qui on signale la présence d'un autre appareil a huit fois plus de chances de détecter l'autre appareil. Les avis de circulation aident beaucoup les pilotes à se faire une bonne idée la situation (une image mentale du trafic pertinent). L'absence de compte rendu de position de la part d'un pilote ou des comptes rendus de position incomplets ou inexacts, les problèmes de communication, l'encombrement des fréquences et la charge de travail des pilotes peuvent créer plus d'incertitude au moment où un pilote tente de se servir des renseignements dont il dispose pour reconnaître ou résoudre un conflit potentiel.

L'Aircoupe est un avion à aile basse, et le siège du pilote se trouve au-dessus des ailes. Au cours de l'inclinaison vers la droite pendant le virage, l'aile gauche aurait obstrué le champ de vision du pilote à sa gauche, d'où venait le Cessna. Il se peut donc qu'il ait été physiquement

⁸ Richard H. Woods et Robert W. Sweginnis, *Aircraft Accident Investigation*, Casper, Wyoming: Endeavor Books, 1995.

impossible pour les occupants de l'Aircoupe de voir le Cessna avant la collision.

Pour les pilotes du Cessna, l'Aircoupe se serait trouvé en rapprochement de la partie avant droite. L'image aurait été une petite vue de profil de l'avion. L'Aircoupe de couleur jaune s'est peut-être fondu dans l'arrière-plan bigarré. Rien n'indique que le phare d'atterrissage de l'Aircoupe était allumé. N'ayant pas été prévenu de la présence d'un autre aéronef, il se peut que les pilotes du Cessna n'aient pas détecté l'Aircoupe. L'Aircoupe leur aurait paru immobile pendant une dizaine de secondes en raison de leur gisement relatif constant, lequel a commencé lorsque la vitesse des avions et leur cap se sont réunis pour créer la trajectoire de collision.

La réglementation canadienne exige que tous les pilotes assurent leur propre espacement avec les autres aéronefs en vol de façon à éviter les collisions. Pour y arriver, les pilotes doivent exercer une bonne surveillance extérieure en balayant les environs du regard à la recherche d'autres aéronefs. Les pilotes doivent redoubler de vigilance dans les zones d'entraînement parce que les pilotes à l'entraînement suivent généralement des trajectoires de vol irrégulières et effectuent des manoeuvres imprévisibles. Les pilotes font un balayage visuel moins efficace quand leur charge de travail est lourde ou quand ils se concentrent sur des manoeuvres d'entraînement au pilotage.

La brochure *Un instant* de Transports Canada, créée en vue de promouvoir la sécurité aérienne, recommande aux pilotes qui évoluent dans la zone CYA 125 (T) de surveiller la fréquence de l'aérodrome de 123,5 MHz et de faire des comptes rendus de position. Si les pilotes des avions accidentés avaient suivi ces recommandations, ils auraient sans doute eu une meilleure idée de la situation et ils auraient couru moins de risques d'avoir un accident.

3.0 *Conclusions*

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

2. Les pilotes ne se sont pas vus assez tôt pour éviter la collision.
3. Les pilotes n'étaient pas en communication et ne surveillaient pas la fréquence recommandée à l'intérieur de la zone CYA 125 (T).

3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. Les conditions de luminosité décroissante au coucher du soleil, un arrière-plan favorisant le camouflage, la conception des aéronefs et les limites inhérentes à l'oeil humain peuvent ne pas permettre d'assurer un espacement suffisant grâce au principe « voir et éviter » entre des aéronefs qui sont sur une trajectoire de collision.
2. Aucun des avions accidentés n'avait à son bord de l'équipement additionnel de haute technologie pour détecter les conflits; la réglementation en vigueur ne l'exigeait pas.

3.3 *Autres faits établis*

1. Le phare d'atterrissage du Cessna était allumé avant l'accident; ce phare est un moyen de détection visuelle efficace.
2. La trajectoire de vol de l'ultra-léger était conforme aux opérations et procédures normales appliquées à l'intérieur d'un espace non contrôlé.
3. La trajectoire de vol de l'Aircoupe était inhabituelle puisqu'il contournait l'ultra-léger.
4. La trajectoire de vol du Cessna était conforme aux opérations et procédures normales appliquées à l'intérieur d'un espace non contrôlé.
5. Le cap, la vitesse et l'assiette du Cessna au moment de la collision révèlent que les pilotes à bord n'ont pas vu l'Aircoupe avant la collision.
6. L'enquête n'a pas permis d'établir si les occupants de l'Aircoupe ont vu le Cessna juste avant la collision.
7. Nav Canada n'offre pas de services de résolution de conflit dans la zone CYA 125 (T), et la réglementation et les ententes ne l'exigent pas.

4.0 *Mesures de sécurité*

4.1 *Mesures prises*

4.1.1 *Nav Canada*

Nav Canada fournit tous les services de contrôle de la circulation aérienne au Canada. À la suite du présent accident et d'autres incidents liés au contrôle de la circulation aérienne mais non liés au présent accident, Nav Canada a profité de l'occasion pour donner aux pilotes de l'aviation générale, aux écoles de pilotage et aux pilotes de loisir des localités environnantes de la formation sur la conscience de la situation et sur les procédures. Nav Canada a offert une série d'ateliers sur la conscience de la situation, en collaboration avec la Sécurité du système de Transports Canada et le bureau régional du Pacifique du BST. Tous les pilotes de l'aviation générale des basses terres de la Colombie-Britannique ont été invités à assister à ces ateliers. Pendant trois mois, des conférenciers des trois organismes sont venus discuter de plusieurs questions d'ordre opérationnel et de diverses questions liées à la conscience de la situation, dans le cadre de six ateliers. Des pilotes ayant des bagages différents et des niveaux d'expérience variés sont venus en grand nombre aux ateliers.

4.1.2 *Transports Canada*

En avril 1999, avant le présent accident, la Sécurité du système de Transports Canada a publié la brochure *Un instant* pour promouvoir la sécurité aérienne et dans l'espoir de réduire les risques de collision en vol dans la zone CYA 125 (T). Dans la brochure, on indique que cette zone est encombrée en raison du grand nombre d'ultra-légers, d'avions d'entraînement et d'avions en transit et qu'il s'agit d'un problème grave. On y souligne que les pilotes doivent exercer une surveillance extérieure étroite dans cette zone, mais qu'ils doivent également prendre d'autres précautions. La brochure recommande aux avions qui ne participent pas à des séances d'entraînement d'éviter la zone autant que possible. On recommande également aux pilotes évoluant dans la zone de surveiller la fréquence radio d'aérodrome de 123,5 MHz, puisque dans la zone d'entraînement il y a un terrain pour les ultra-légers. Finalement, on encourage les pilotes à faire des comptes rendus de position.

Après l'accident, la Sécurité du système de Transports Canada a participé à plusieurs ateliers sur la conscience de la situation offerts par Nav Canada. La Sécurité du système de Transports Canada prévoit offrir des ateliers similaires sur une base plus régulière.

4.1.3 *Le Pacific Flying Club*

Peu après l'accident, le Pacific Flying Club a installé des phares d'atterrissage pulsés sur tous ses avions pour rendre ses appareils plus visibles. Le Pacific Flying Club a aussi parrainé deux ateliers sur la conscience de la situation qui ont été présentés par Nav Canada.

Le présent rapport met fin à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports sur cet accident. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 3 juillet 2001.

Annexe A - Limites physiologiques de l'oeil humain

Généralités

L'oeil humain reçoit de l'information sur le mouvement, la forme et la couleur des objets que l'on voit. Cette information atteint la rétine (la couche interne qui se trouve à l'arrière de l'oeil), laquelle contient des millions de cellules réceptrices sensibles à la lumière, en majeure partie des cônes et des bâtonnets. Les cônes sont stimulés par la lumière vive, ils permettent la perception de la couleur et sont surtout situés dans la fovéa (la zone très sensible située au centre de la rétine), laquelle occupe environ deux degrés de largeur. Les bâtonnets sont sensibles à la pénombre, à la lumière faible, aux formes et au mouvement et il sont plus nombreux que les cônes.

La lumière qui entre dans l'oeil se concentre directement sur la fovéa qui est la zone d'acuité maximale qui permet à l'oeil de voir les petits détails. Le nerf optique transmet ensuite cette information visuelle au cerveau sous la forme d'impulsions électriques, le cerveau transformant les impulsions en images.

Tache aveugle

Le nerf optique ne contient aucune cellule réceptrice sensible à la lumière. Une tache aveugle existe donc là où le nerf optique rejoint la rétine. Cette tache aveugle occupe 5 à 10 degrés de largeur et est normalement compensée par l'autre oeil. Lorsqu'on regarde un objet avec un oeil fermé, l'objet semble tout de même complet parce que le cerveau remplit l'arrière-plan de couleurs et de textures pour cacher la tache aveugle. Cependant, un objet de la taille d'un petit avion se trouvant à 600 pieds pourrait bien être complètement éliminé par cette tache aveugle.

Les taches aveugles peuvent avoir de graves conséquences pour les pilotes; elles peuvent notamment causer des collisions. Par exemple, si le champ de vision d'un oeil était obstrué par un objet, comme un montant de pare-brise, alors que l'image d'un conflit potentiel se dépose sur la tache aveugle de l'oeil qui est en mesure de voir au-delà de l'obstruction, le pilote ne pourrait pas voir ce conflit potentiel et regarderait peut-être ailleurs. Le pilote peut régler ce problème en bougeant la tête, mais en raison de l'effet du gisement relatif constant, il se peut que le pilote ne puisse pas voir l'autre avion.

Acuité visuelle

Le mouvement relatif est important pour la détection des autres avions parce que la rétine, et plus précisément la fovéa, est particulièrement sensible aux petits mouvements. La rétine n'est pas sensible de manière égale sur toute sa surface; même à un angle faible à partir de la fovéa, l'acuité visuelle diminue de beaucoup. Par exemple, l'acuité à un angle de 5 degrés de la fovéa est réduite du quart de ce qu'elle serait si l'image était directement sur la fovéa.⁹ Par conséquent, le pilote qui cherche des yeux un petit objet aura peu de chances de le voir si cet objet ne se dépose pas directement sur la fovéa, surtout si l'objet n'a pas de mouvement relatif.

⁹

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

Pour des avions qui se retrouvent sur une trajectoire de collision, la taille apparente de l'avion qui s'approche est multipliée par deux, chaque fois que la distance diminue de moitié.¹⁰ Par exemple, quand deux avions légers de l'aviation générale ont une vitesse de rapprochement de 180 noeuds et qu'il reste 40 secondes avant l'impact, c'est-à-dire quand ils sont à une distance de 2 nm l'un de l'autre, le pilote voit une cible qui a seulement 0,25 degré de largeur. Dix secondes avant l'impact, la distance entre les avions n'est plus que de 0,5 nm et la cible a 1 degré de largeur. En d'autres mots, l'avion en rapprochement demeure extrêmement petit et est presque impossible à voir jusqu'à ce qu'il ne reste que 5 secondes avant l'impact, alors que la cible a environ 2 degrés de largeur.

Myopie du champ visuel vide

En l'absence de stimuli visuel, comme dans un espace aérien vide, les muscles de l'oeil se relâchent, empêchant le cristallin de faire la mise au point. Cette situation pose un problème au pilote qui tente de balayer du regard les environs à la recherche d'éventuels avions sous un ciel clair et sans nuage. La vision se trouble et devient floue parce que l'oeil ne peut pas effectuer une bonne mise au point dans un espace vide. Ce phénomène nuit aux recherches et à la détection.¹¹

Mouvements par saccades des yeux

Les yeux de la personne qui ne suit pas un objet en mouvement se déplacent de façon saccadée (une série de mouvements brusques). Les membres d'équipage ne peuvent donc pas faire des mouvements uniformes avec les yeux lorsqu'ils scrutent un espace vide. Des recherches démontrent que les mouvements par saccades des yeux réduisent de beaucoup l'acuité visuelle, laissant de large vide dans le champ de vision éloigné.¹²

Vision stéréoscopique

La manière dont on détecte un objet est plus ou moins efficace selon les restrictions imposées au champ visuel, en partie. Dans un avion, la restriction la plus commune est la limite visuelle créée par la structure générale du poste de pilotage. Le champ de vision d'un oeil recoupe le champ de vision de l'autre oeil, ce qui donne la vision binoculaire qui permet la perception de la profondeur.¹³

Quand le champ de vision est réduit dans le poste de pilotage, le pilote peut ne pas voir certains objets. De par sa conception, le poste de pilotage crée des bordures de vision monoculaire (zones où un objet peut seulement être vu par un seul oeil), ce qui dilue l'acuité visuelle et incite le pilote à concentrer ses recherches près du centre du champ binoculaire

¹⁰ Bureau of Air Safety Investigation (Australie), « *Time, Distance and Size* » dans *See and Avoid*, 1998.

¹¹ Shari Stamford Krause, « *Collision Avoidance Must Go Beyond 'See and Avoid' to 'Search and Detect'* » dans *Flight Safety Digest*, 16, 5, mai 1997, p. 3.

¹² Krause, p. 3.

¹³ Krause, p. 4.

(droit devant)¹⁴. Un pare-brise classique, par exemple, est divisé par des montants qui produisent des bordures de champ monoculaire. En plus de la tache aveugle, les obstructions comme les pare-brise, les supports et les montants du poste de pilotage ainsi que les têtes des passagers constituent un véritable défi pour le pilote qui doit exercer une surveillance extérieure à la recherche d'aéronefs qui pourraient poser un danger.

¹⁴ Krause, p. 5.

Annexe B - Sigles et abréviations

ADS-B	surveillance dépendante automatique en mode diffusion
agl	au-dessus du sol
<i>A.I.P. Canada</i>	<i>Publication d'information aéronautique (TP 2800F)</i>
asl	au-dessus du niveau de la mer
ATC	contrôle de la circulation aérienne
BST	Bureau de la sécurité des transports
CVR	enregistreur de la parole dans le poste de pilotage
DERP	point de référence visuelle calculé
ELT	radiobalise de repérage d'urgence
FAA	Federal Aviation Administration
FDR	enregistreur de données de vol
HAP	heure avancée du Pacifique
h	heure
lb	livre
IFR	règles de vol aux instruments
LL	à basse teneur en plomb
MHz	mégahertz
nm	mille marin
RAC	Règles de l'air et services de la circulation aérienne
TCAS/ACAS	système anticollision embarqué
TIS-B	services de diffusion d'information sur le trafic
UTC	temps universel coordonné
VFR	règles de vol à vue
°	degré
° M	degré magnétique