

# Rapport

Accidents survenus

le **23 août 2004**

à **Aubusson-d'Auvergne (63)**

entre l'**ULM Sky Ranger** identifié **63-RH**

et le **Mirage 2000 N n° 362** immatriculé **F-ULCU**

et

le **12 juillet 2007**

à **Etrigny (71)**

entre l'**ULM Storm 300** identifié **71-GL**

et le **Mirage 2000 N n° 337** immatriculé **F-ULAK**

**BEA**

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses  
pour la sécurité de l'aviation civile

# **Avertissement**

*Ce rapport exprime les conclusions du BEA sur les circonstances et les causes de ces accidents.*

*Conformément à l'Annexe 13 à la Convention relative à l'Aviation civile internationale, à la Directive 94/56/CE et au Code de l'Aviation civile (Livre VII), l'enquête n'a pas été conduite de façon à établir des fautes ou à évaluer des responsabilités individuelles ou collectives. Son seul objectif est de tirer de cet événement des enseignements susceptibles de prévenir de futurs accidents.*

*En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.*



# Table des matières

<b>AVERTISSEMENT</b>	<b>1</b>
<b>GLOSSAIRE</b>	<b>5</b>
<b>SYNOPSIS</b>	<b>7</b>
<b>ORGANISATION DE L'ENQUETE</b>	<b>9</b>
<b>1. CIRCONSTANCES</b>	<b>11</b>
1.1 Circonstances du premier accident	11
1.2 Circonstances du second accident	11
1.3 Renseignements sur les aéronefs	12
1.3.1 L'ULM Sky Ranger	12
1.3.2 L'ULM Storm 300	12
1.3.3 Le Mirage 2000 N	13
1.4 Télécommunications	13
1.5 Enregistreurs de bord	13
1.5.1 Enregistrement VTH du Mirage 2000 N F-ULCU	14
1.5.2 Enregistrement VTH du Mirage 2000 N F-ULAK	14
1.5.3 L'ULM Sky Ranger 63-RH	14
1.5.4 L'ULM Storm 300 -GL	15
1.6 Renseignements sur les épaves et les impacts	15
1.6.1 L'ULM Sky Ranger 63-RH	15
1.6.2 Le Mirage 2000 N F-ULCU	16
1.6.3 L'ULM Storm 300 71-GL	16
1.6.4 Le Mirage 2000 N F-ULAK	19
1.7 Renseignements supplémentaires	20
1.7.1 Synthèse des témoignages	20
1.7.2 Les règles de la circulation aérienne	21
1.7.3 Groupe de travail DNA/DIRCAM « Basse altitude »	22
1.7.4 Surveillance du ciel	23
1.7.5 Examen du système de lancement du parachute de l'ULM 63-RH	24
<b>2 - ANALYSE</b>	<b>27</b>
2.1 Scénarios	27
2.1.1 Premier accident (F-ULCU/63-RH)	27
2.1.2 Second accident (F-ULAK/71-GL)	27
2.2 Un espace, deux systèmes	27
2.3 Les limites du concept « voir et éviter »	28
2.3.1 Défaillance de la détection	28
2.3.2 Amélioration de l'anticollision	29

<b>3 - CONCLUSION</b>	<b>31</b>
3.1 Faits établis par l'enquête	31
3.2 Causes identifiées	31
<b>4 - RECOMMANDATION</b>	<b>33</b>
<b>LISTE DES ANNEXES</b>	<b>35</b>

# Glossaire

AGL	Au-dessus du sol
AMSL	Au-dessus de la mer
ASFC	Au-dessus d'une surface
BEA	Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile
BEAD-Air	Bureau Enquêtes Accidents Défense - Air
CAG VFR	Circulation Aérienne Générale en règle de vol à vue
CAM V	Circulation Aérienne Militaire de type VICTOR (vol à vue)
DIRCAM	Direction de la Circulation Aérienne Militaire
DNA	Direction de la Navigation Aérienne
kt	Noeuds
MHz	Mégahertz
Nm	Mille marin
RCA	Règlement de la circulation aérienne
RCAM	Règlement de la circulation aérienne militaire
TCAS	Système d'évitement des collisions en vol
TMA	Région de contrôle terminale
VFR	Règles de vol à vue
VTH	Visualisation tête haute



# Synopsis

<b>Événement :</b>	collision en vol.	collision en vol.
<b>Conséquences et dommages :</b>	pilote et passager de l'ULM décédés, ULM détruit ; légers dommages sur l'élevon gauche du Mirage 2000 N.	pilote de l'ULM décédé, ULM détruit ; dérive du Mirage 2000 N sectionnée.
<b>Aéronefs :</b>	a) ULM Sky Ranger identifié 63-RH ; b) avion Dassault-Aviation Mirage 2000 N n° 362 immatriculé F-ULCU.	a) ULM Storm 300 identifié 71-GL ; b) avion Dassault-Aviation Mirage 2000 N n° 337 immatriculé F-ULAK.
<b>Date et heure :</b>	lundi 23 août 2004 à 07 h 25 <sup>(1)</sup> .	lundi 12 juillet 2007 à 13 h 57 <sup>(1)</sup> .
<b>Exploitant :</b>	a) aéroclub du Livradois Forez ; b) Armée de l'air Française, base aérienne 125 Istres-le-Tubé.	a) Ecole ULM- Centre Ulm Bourgogne ; b) Armée de l'air Française, base aérienne 116 Luxeuil-les-Bains.
<b>Lieu :</b>	Aubusson-d'Auvergne (63), lieu-dit Tournebize.	Etrigny (71).
<b>Nature du vol :</b>	a) local ; b) entraînement à l'assaut à deux avions, en vol à très basse altitude.	a) local ; b) entraînement à l'assaut en vol à très basse altitude.
<b>Personnes à bord :</b>	a) pilote + 1 ; b) pilote + officier système d'armes.	a) pilote ; b) pilote + officier système d'armes.
<b>Titres et expérience :</b>	a) pilote, 63 ans, UL multiaxe du 6 mai 2003, autorisation d'emport de passagers du 17 juin 2004, qualification radiotéléphonie du 29 juin 2004, 70 heures de vol dont 7 dans les trois mois précédents et 50 sur type.	a) pilote, 59 ans, en fin de formation, théorique UL obtenu le 7 février 2007, total de 28 heures de vol sur type dont 5 heures en solo et 8 heures dans les trois mois précédents.

<sup>(1)</sup>Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné (UTC). Il convient d'y ajouter deux heures pour obtenir l'heure en France métropolitaine le jour des événements.

	<p>b) pilote, 37 ans, Chef de patrouille, 2 240 heures de vol dont 1 236 sur Mirage 2000 N et aucune heure de vol dans les 30 jours.</p> <p>Navigateur officier système d'armes, 32 ans, Chef navigateur, 2 161 heures de vol dont 1 785 sur Mirage 2000 N et 15 sur type dans les trente derniers jours.</p>	<p>b) pilote, 30 ans, Chef de patrouille, 4 600 heures de vol dont 900 h sur type et 100 h dans les trois mois précédents.</p> <p>Navigateur officier système d'armes, 48 ans, Chef navigateur, 5 000 heures de vol dont 3 000 sur type et 80 heures dans les trois mois précédents.</p>
<b>Conditions météorologiques :</b>	<p>Estimées sur le site de l'accident : visibilité supérieure à 10 km, FEW à 9 000 ft, vent 120° / 7 à 10 kt, température 19 °C, humidité 50 %, QNH 1016 hPa. Position du soleil : azimuth 76,9° ; hauteur 3,1°.</p>	<p>Estimées sur le site de l'accident : visibilité supérieure à 10 km, BKN 3 600 ft, vent secteur ouest 10 à 12 kt, température 10 °C, humidité proche de 50 %, QNH 1020 hPa. Position du soleil : azimuth 211° ; hauteur 49°.</p>

## ORGANISATION DE L'ENQUETE

Une enquête technique a été menée par le Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA) et le Bureau Enquêtes Accidents Défense Air (BEAD-Air).

Les informations factuelles qui ont conduit à l'élaboration des rapports du BEAD-Air et du présent rapport sont identiques. Les observations sur les sites d'accident et sur les Mirage 2000 N ont été réalisées conjointement par les deux organismes d'enquêtes.

Ce rapport, comme ceux du BEAD-Air, fait référence à des études étrangères (FAA, Australian CAA, ATSB) dans le domaine « voir et éviter » et à celle réalisée en 1999 par le BEA sur les collisions en vol. Deux de ces études figurent en annexe.

Les rapports du BEAD-Air fournissent en plus des informations sur l'activité d'entraînement des équipages de l'Armée de l'air ainsi que des données techniques sur le Mirage 2000 N.



## 1. CIRCONSTANCES

### 1.1 Circonstances du premier accident

L'ULM décolle à 7 h 10 de l'aérodrome d'Ambert pour effectuer un vol local. Le passager souhaite prendre quelques photographies de la région. Avec une route au nord-nord-ouest, l'ULM se dirige vers le lac d'Aubusson en volant sous la TMA de Clermont-Ferrand, dont le plancher est à 1 000 ft AGL.

Une patrouille de deux Mirage 2000 N décolle de la base militaire d'Istres à 6 h 44. Le cahier d'ordres prévoit l'exécution d'un vol d'instruction à l'assaut (simulation de l'attaque d'un objectif) en basse altitude au bénéfice de l'équipage de l'avion leader (progression professionnelle, entraînement à la qualification de sous-chef de patrouille/sous-chef navigateur). Après un vol en haute altitude jusqu'à Avord, les deux avions descendent à basse altitude et font route vers l'objectif situé au sud d'Issoire en « formation de manœuvre défensive » (FMD) : ils volent de front, à la même altitude, avec une séparation latérale de deux milles marins, l'équipier étant à droite. La navigation s'effectue à une hauteur de 500 ft AGL. Les deux avions contournent la CTR de Clermont-Ferrand par l'est au cap magnétique 120°, puis virent à droite vers un cap 185°. L'avion leader est à une hauteur d'environ 500 ft. A l'issue du virage, celui de l'équipier est à une hauteur de 850 ft et à une vitesse d'environ 480 kt. Il descend afin de se replacer dans la formation. Après quelques secondes, il entre en collision avec l'ULM.

L'équipage de l'avion leader voit l'ULM s'écraser et transmet un message de détresse sur la fréquence « Garde militaire », 243 MHz.

L'équipage de l'équipier détecte visuellement une fuite de carburant. L'équipage de l'avion leader l'informe que le réservoir pendulaire largable gauche et l'élevon gauche sont endommagés et confirme la présence d'une fuite de carburant. Le pilote équipier vidange une partie du carburant restant (durée quinze minutes) et atterrit sur l'aérodrome de Clermont-Ferrand. L'avion leader retourne à Istres. L'épave de l'ULM est retrouvée à 8 h 40, ses deux occupants sont décédés.

### 1.2 Circonstances du second accident

Le Mirage 2000 N décolle de la base aérienne 116 de Luxeuil-les-Bains à 11 h 30 pour réaliser une mission d'assaut à vue comprenant un ravitaillement en vol à haute altitude, un assaut (simulation de l'attaque d'un objectif) à très basse altitude sur trois objectifs préparés et une montée en altitude au sud d'Avord pour un retour sur la base aérienne de Luxeuil-les-Bains.

Les deux premières phases de la mission se déroulent conformément aux ordres de vol. Compte tenu de la quantité de carburant restante, le commandant d'avion modifie la dernière phase et poursuit le vol en basse altitude. Il prévoit de traiter un objectif d'opportunité près de Tournus.

L'ULM, de type Storm 300, décolle à 13 h 15 de l'aérodrome de Chalon Champforgeuil. Le pilote, en accord avec son instructeur, prévoit d'effectuer un vol local vers le sud d'une durée de trente minutes.

A 13 h 56, le Mirage 2000 N, au cap magnétique 100°, effectue un virage à droite à environ 80° d'inclinaison en légère montée afin de s'aligner sur son objectif à un cap sud. Au cours du virage, passant le cap 160° à une vitesse de 420 kt et une hauteur de 950 pieds, le pilote voit l'ULM apparaître à sa droite et légèrement plus haut. Il tente de l'éviter par des actions simultanées à piquer et en roulis afin de ramener les ailes à l'horizontale mais ne peut empêcher la collision.

Après des essais de manœuvrabilité, le Mirage 2000 N se dérouta sur la base aérienne 102 de Dijon Longvic distante de 30 NM.

L'ULM tombe et percute le sol. L'épave est retrouvée à 14 h 30. Le pilote est décédé.

### **1.3 Renseignements sur les aéronefs**

#### **1.3.1 L'ULM Sky Ranger**

Le Sky Ranger est un ULM multiaxe biplace côte à côte à aile haute, de 5,50 m de longueur, de 9,50 m d'envergure et de 2,27 m de hauteur. Sa masse maximale est de 450 kg.

Il est équipé d'un moteur deux temps Rotax 582 d'une puissance de 60 chevaux et d'une hélice bipale en bois à pas fixe. Sa vitesse de croisière est d'environ 80 kt (150 km/h).

Le Sky Ranger 63-RH avait été acheté en kit. Sa construction a débuté en novembre 2002 et s'est achevée en juin 2003. Il totalisait environ 170 heures de vol le jour de l'accident.

Il était équipé d'un parachute de secours de type Alpha 1 050-SO, dont la vitesse maximale de déploiement est de 250 km/h et dont l'ouverture est assurée par un dispositif pyrotechnique. Le parachute de secours avait été installé début 2004.

Le 63-RH était de couleur jaune et rouge, il ne disposait pas de feux anticollision ni de feux de navigation. Il était équipé d'une radio VHF. Il n'était pas équipé d'un transpondeur.

#### **1.3.2 L'ULM Storm 300**

Le Storm 300 est un ULM multiaxe biplace côte à côte à aile basse, de 6,76 m de longueur, de 7,80 m d'envergure et de 2,12 m de hauteur. Sa masse maximale est de 450 kg. Il est équipé d'un moteur quatre temps Rotax 912 UL d'une puissance maximale de 80 chevaux et d'une hélice tripale en composite à pas fixe. Sa vitesse de croisière est d'environ 80 kt (150 km/h).

L'ULM avait été acheté en 1999. Il totalisait environ 4 200 heures de vol le jour de l'accident. Il était équipé d'une radio VHF. Il n'était pas équipé d'un transpondeur.

Il était de couleur blanche et bleue et disposait d'un feu anticollision situé sur le dessus du fuselage, juste derrière la verrière. Il n'a pas été possible de déterminer si ce feu était en fonctionnement au moment de la collision. Il n'était pas équipé de feux de navigation. Il n'avait pas de parachute de secours.

### 1.3.3 Le Mirage 2000 N

Le Mirage 2000 N est un avion biplace d'assaut nucléaire et conventionnel. Il est propulsé par un réacteur SNECMA M53 P2 de 10 600 daN de poussée avec postcombustion. Il dispose de commandes de vol électriques qui permettent des évolutions rapides sous facteurs de charge élevés (jusqu'à 9 g, limité à + 5,5 g dans la configuration d'emport de deux bidons de 2 000 litres de carburant) sans risque de perte de contrôle. Une partie du carburant est contenue dans deux réservoirs pendulaires largables d'une contenance unitaire de 2 000 litres.

Sa longueur est de 14,94 m, son envergure est de 9,13 m, sa hauteur est de 5,20 m. Dans la configuration du jour la masse au décollage est de 14,7 t.

Il dispose d'un transpondeur avec alticodeur, en fonctionnement au moment de l'accident. Le Mirage 2000 N dispose d'un radar Antilope de suivi de terrain. Cet équipement possède une fonction Air-Air limitée. Il ne peut pas travailler en mode suivi de terrain et Air-Air simultanément. Lors de vols en basse altitude, la fonction suivi de terrain est utilisée. L'avion est équipé de feux de navigation et de deux feux à éclats (un au-dessus du fuselage, l'autre au-dessous). Il n'est pas équipé de TCAS. La livrée correspond à un camouflage dit « Centre Europe » de couleur gris foncé et vert.

Le Mirage 2000 N, n° 362, totalisait 3 342 heures de vol le jour de l'accident. Le Mirage 2000 N, n° 337, totalisait 4 346 heures de vol le jour de l'accident. Leur entretien était réalisé conformément au plan de maintenance en vigueur dans l'Armée de l'air.

## 1.4 Télécommunications

Les équipages des deux Mirage 2000 N ont émis régulièrement des messages de position et de route suivie sur la fréquence militaire UHF dédiée à l'auto-information en basse altitude. Le dernier message a été émis vingt secondes avant la collision par l'équipage du F-ULCU et onze minutes avant par celui du F-ULAK.

La fréquence (commune d'aérodrome) 123,5 MHz était affichée sur l'équipement radio VHF de l'ULM Sky Ranger 63-RH.

L'enquête n'a pas pu déterminer la fréquence affichée sur l'équipement radio VHF du Storm 300 71-GL mais l'instructeur recommandait à ses élèves d'afficher la fréquence de l'aérodrome de Chalon-Champforgeuil (118,6 MHz) lors des vols locaux.

## 1.5 Enregistreurs de bord

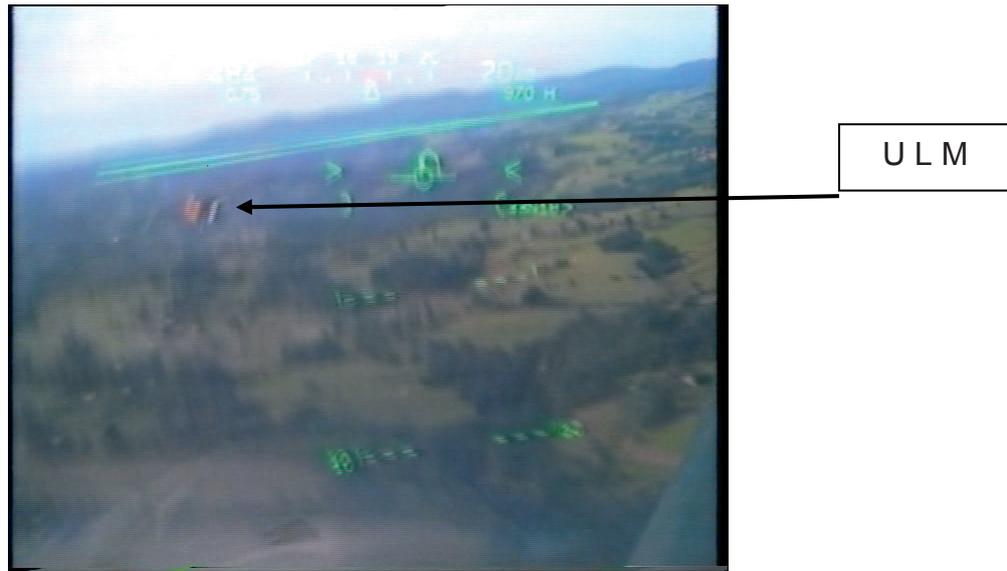
Les Mirage 2000 N sont équipés d'un enregistreur de paramètres (SSFDR). Les enregistrements du F-ULCU et du F-ULAK ont été exploités par la station RESEDA (Ministère de la Défense). Une copie des enregistrements a été transmise au BEA. Les trajectoires ont pu être reconstituées.

La visualisation tête haute (VTH) ainsi que les communications radio et internes sont enregistrées sur bande vidéo au format Hi8 (non protégée).

La réglementation n'impose pas l'emport d'enregistreurs de vol pour les avions de la catégorie ULM. Les deux ULM n'en étaient pas équipés.

### 1.5.1 Enregistrement VTH du Mirage 2000 N F-ULCU

L'enregistrement VTH du F-ULCU a été analysé. Une copie a été transmise au BEA. La photographie ci-dessous a été extraite de cet enregistrement. Elle montre la position de l'ULM environ une seconde avant l'instant estimé de la collision. Les informations affichées ont permis de reconstituer les trajectoires respectives des avions.



L'angle de convergence entre les trajectoires des deux aéronefs est d'environ 30°. La manœuvre d'évitement réalisée par le pilote du Mirage 2000 N a été débutée environ une demi-seconde avant la collision, par un virage à droite à grande inclinaison (45°) et une action importante à cabrer. Le facteur de charge subi par le Mirage lors de cette manœuvre a été d'environ + 5,7G. Aucune manœuvre d'évitement de la part de l'ULM n'est visible sur l'enregistrement.

### 1.5.2 Enregistrement VTH du Mirage 2000 N F-ULAK

Le temps de vol prévu pour la mission était de 2 h 30 min alors que la capacité totale d'enregistrement de la bande VTH est de 90 minutes. Au cours d'une mission, l'équipage doit, au moins, enregistrer le décollage et l'atterrissage. L'enregistrement avait donc été stoppé au cours du vol. La séquence de la collision n'a pas été enregistrée.

### 1.5.3 L'ULM Sky Ranger 63-RH

L'examen technique du GPS de type Magellan 315, retrouvé dans l'épave de l'ULM 63-RH, a montré qu'il n'était pas en fonctionnement au moment de l'accident. Aucun point de repère caractéristique de la région survolée n'était enregistré.

Un appareil photographique a été également retrouvé dans l'épave. Les photos extraites montrent un lac artificiel de régulation proche du lieu de l'abordage.

#### 1.5.4 L'ULM Storm 300 -GL

L'ULM Storm 300 n'était pas équipé de GPS.

### 1.6 Renseignements sur les épaves et les impacts

#### 1.6.1 L'ULM Sky Ranger 63-RH

L'épave a été retrouvée dans un bois en bas d'une pente. Elle reposait pratiquement à la verticale, le moteur enfoui dans le sol. L'aile droite était reliée au fuselage. L'aile gauche a été retrouvée à environ cinq mètres en contrebas à gauche de l'épave. Elle était fortement endommagée et désentoilée.



Des éléments de la structure métallique de l'aile gauche ont été retrouvés à environ deux cents mètres de l'épave.

L'aile gauche a été reconstituée à partir des éléments retrouvés sur le site. Le tube de bord d'attaque est rompu en quatre parties. La partie la plus extérieure n'a pas été retrouvée.

Le tube du bord d'attaque est sectionné à 64 cm de l'extrémité d'aile, selon un angle d'environ 30° par rapport à la corde. Le tube arrière est sectionné selon le même angle au niveau de la liaison avec le tube de saumon d'aile. Les plans des deux coupures sont alignés. Ils sont également alignés avec la déchirure observée sur la toile. Celle-ci présente des traces de frottement.

L'extrémité avant du tube de saumon est rompue et déformée, avec des traces de frottement.

Le tube du bord de fuite, les haubans, les deux tubes transversaux et un des deux câbles de tension sont rompus en statique.

Les ruptures observées sur le reste de la cellule, toutes de type statique, sont consécutives au choc au sol. Le moteur est désolidarisé de son support. Une pale de l'hélice en bois est rompue au niveau du moyeu. L'examen de l'hélice indique que le moteur ne délivrait pas de puissance à l'impact avec le sol.

L'aiguille de l'anémomètre indique 185 km/h. Le calage affiché sur l'altimètre est de 1 023 hPa.

Les commandes de vol sont continues.

Le pilote et le passager de l'ULM ont été retrouvés attachés. Les sièges étaient équipés de ceintures de sécurité ventrales.

L'ULM était équipé d'un parachute de secours. La goupille de sécurité a été retrouvée enlevée<sup>(2)</sup>. Le parachute de secours a été retrouvé en place dans son sac, derrière le siège gauche. La poignée de mise en œuvre était tirée de son logement. Il y a eu percussion du dispositif pyrotechnique. Compte tenu du cheminement du câble, il est probable que le déplacement de la poignée ne soit pas dû à l'impact. Le pilote ou le passager aurait pu tenter de déclencher le dispositif pyrotechnique.

### 1.6.2 Le Mirage 2000 N F-ULCU

Des traces de frottement sur environ un mètre de longueur et un enfoncement sont visibles sur le côté interne du réservoir supplémentaire d'aile gauche. L'empennage interne du réservoir est légèrement tordu vers le haut et présente des marques de frottement.

D'autres marques sont observées à la jonction aile gauche/élevon interne côté intrados. L'élevon porte une entaille de 90 cm de longueur côté intrados et de 50 cm côté extrados. La largeur de la déchirure est de 6 cm au bord de fuite.

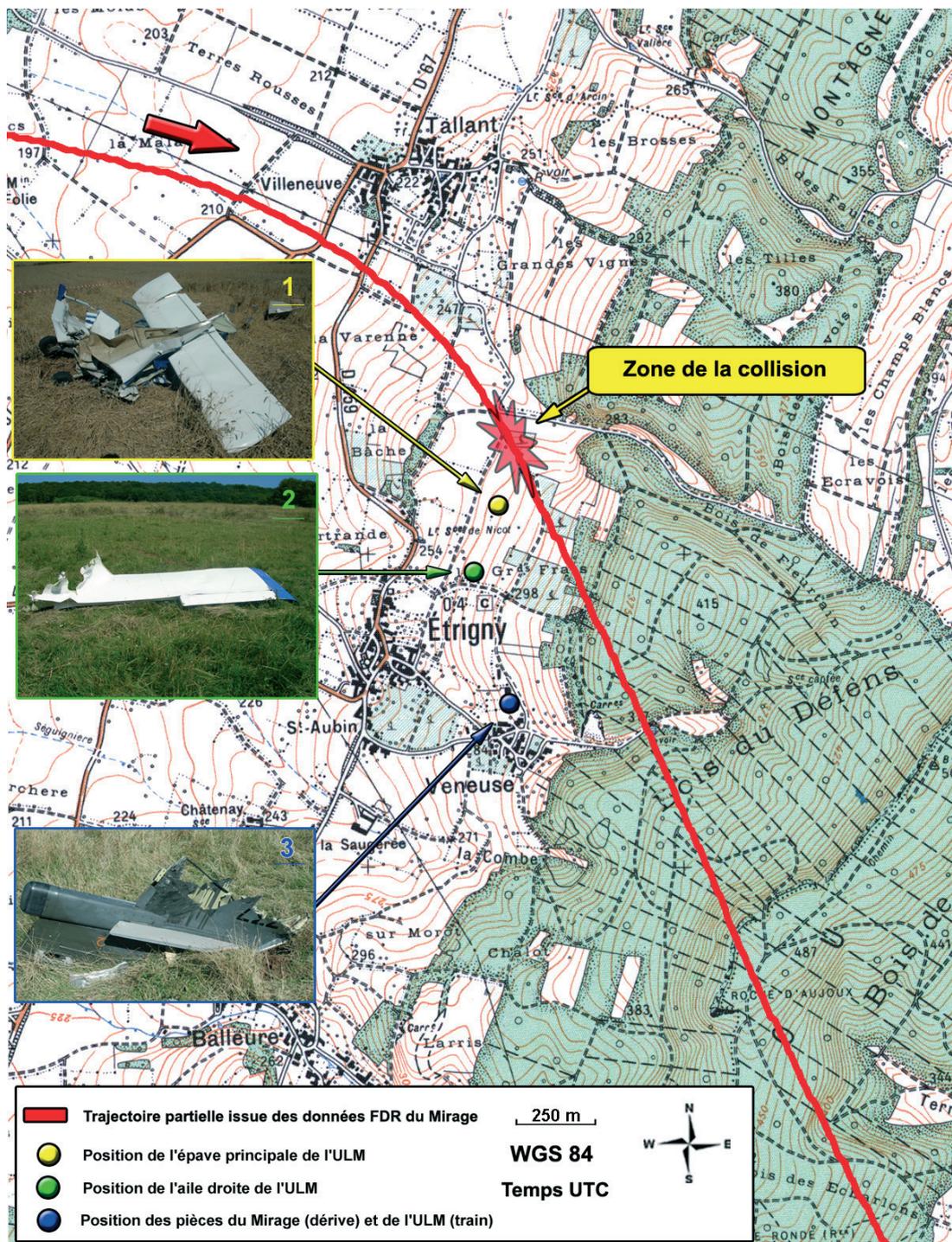
Ces observations ainsi que les enregistrements VTH permettent de conclure que lors de la collision les deux aéronefs avaient une trajectoire convergente d'environ 30°. Lorsque le Mirage 2000 est passé au-dessus de l'ULM, l'aileron du réservoir largable gauche a découpé l'extrémité de l'aile gauche de l'ULM.

### 1.6.3 L'ULM Storm 300 71-GL

L'épave de l'ULM a été retrouvée dans un champ de blé, le long du flanc d'une colline sur la commune d'Etrigny (71). L'impact avec le sol s'est produit sous un angle d'environ 45°. Le moteur était enfoui dans le sol. L'aile gauche était

<sup>(2)</sup>Avant chaque vol, la goupille est enlevée pour pouvoir actionner sans délai l'ouverture en vol du parachute en cas de besoin.

encore attachée au fuselage. Différents éléments de la structure de l'aile droite ont été retrouvés à environ deux cents mètres au sud de la zone d'impact principale. A six cents mètres au sud de la zone principale, une partie de la dérive du Mirage a été retrouvée enfouie dans le sol. La lame du train principal droit de l'ULM a été retrouvée au pied de la dérive.



L'aile droite de l'ULM a été reconstituée à partir des éléments retrouvés sur le site.



Aile droite reconstituée



Extrados de l'aile, côté de l'emplanture de l'aile droite.



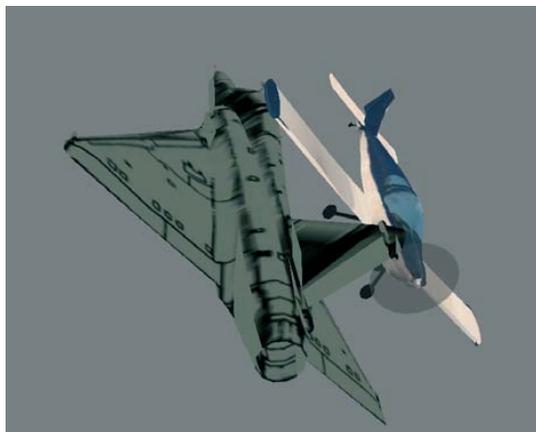
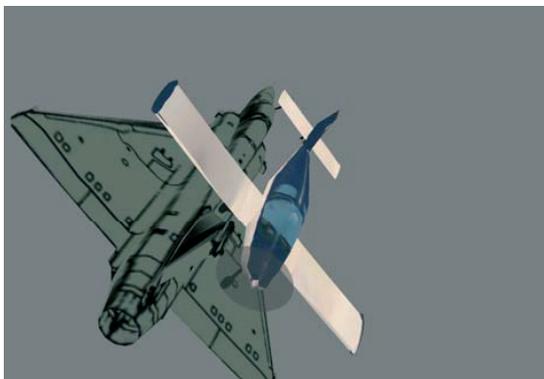
Carénage du bord d'attaque côté emplanture de l'aile droite.

#### 1.6.4 Le Mirage 2000 N F-ULAK

Le Mirage présentait des traces d'impact et des dégâts importants au niveau de la dérive. Des traces de frottements ont aussi été observées sur l'extrados de la voilure droite depuis les aérofreins jusqu'à l'emplanture des élevons.



La trajectoire exacte du Storm 300 étant indéterminée, la séquence exacte de la collision n'a pas pu être complètement reconstituée. Cependant, les marques et ruptures sur l'intrados et l'extrados, les déformations du longeron avant de l'aile droite de l'ULM et les dégâts sur la dérive du Mirage ont permis de reconstituer l'attitude la plus probable des deux avions au moment où la dérive du Mirage a heurté l'ULM. La dérive a traversé l'intrados du bord d'attaque de l'aile droite de l'ULM dont le longeron avant a été arraché puis plié vers le bord de fuite. L'aile droite s'est alors repliée vers le haut et vers l'arrière avant de se désolidariser du fuselage.



## **1.7 Renseignements supplémentaires**

### **1.7.1 Synthèse des témoignages**

Les témoignages des équipages des deux Mirage ont été recueillis par le BEAD-Air.

#### **Premier accident (F-ULCU/63-RH)**

##### ***1.7.1.1 Le pilote du F-ULCU***

En sortie de virage à droite vers la route magnétique 185°, l'avion était à une hauteur d'environ 850 ft. Le pilote estime que l'avion leader était à une hauteur de 500 ft, sur sa gauche. Afin de se positionner précisément en formation, il a regardé l'avion leader et a poussé légèrement sur le manche pour rejoindre son altitude de navigation (500 ft AGL). Il a tourné sa tête vers la droite pour débiter son circuit visuel de surveillance extérieure. Il a alors vu un point « à 11 heures », difficilement identifiable sur le fond sur lequel il se trouvait, plutôt légèrement en dessous. Ce point est resté sous relèvement constant puis s'est soudainement rapproché en face à face pour devenir dangereux. Il a immédiatement tiré sur le manche, a viré à droite et a « rentré la tête dans les épaules » par réflexe. Il n'a pas senti de choc. Il a averti son officier système d'armes de la quasi-collision avec un autre aéronef en rapprochement dangereux.

##### ***1.7.1.2 L'officier système d'armes du F-ULCU***

Au moment de l'abordage, il recalait les centrales à inertie. Il était donc « tête basse » et ne surveillait pas l'extérieur. Lorsque l'avion a cabré fortement, il a levé la tête et a vu une « masse » passer très près sous l'avion.

##### ***1.7.1.3 L'équipage de l'avion leader***

Au moment de la collision, l'officier système d'armes préparait l'affichage des fréquences radio. Il était donc « tête basse ». La surveillance extérieure était assurée uniquement par le pilote. Celui-ci n'a pas vu l'ULM avant la collision. Après le message du pilote de l'avion équipier, le pilote et l'officier système d'armes ont vu l'ULM tomber à la verticale.

#### **Second accident (F-ULAK/71-GL)**

##### ***1.7.1.4 L'équipage du F-ULAK***

En arrivant sur l'objectif, sur un cap 100, le pilote s'est mis en virage à droite avec un cap sud afin d'obtenir le visuel de l'objectif. L'officier système d'armes était « tête basse ». La surveillance extérieure était uniquement assurée par le pilote. Celui-ci a aperçu une « masse » qu'il a tenté d'éviter en agissant sur le manche à piquer et sur les commandes de gauchissement afin de remettre les ailes à l'horizontale.

### 1.7.1.5 Un habitant d'Etrigny

Un témoin se promenait sur la route entre de Saint-Aubin et Veneuse (au sud d'Etrigny). Il a aperçu l'ULM suivre une route est sud-ouest, de la Roche d'Aujoux en direction de Cormatin, puis effectuer un virage vers la droite et remonter vers le nord en direction de Tallant.

### 1.7.2 Les règles de la circulation aérienne

Les collisions se sont produites dans des espaces aériens non contrôlés de classe G. Dans cette classe d'espace, le contact radio avec un organisme de la circulation aérienne n'est pas obligatoire. Les services de contrôle et d'information de trafic n'y sont pas assurés.

Les vols des ULM relevaient de la circulation aérienne générale (CAG). Les pilotes devaient appliquer les règles de vol à vue (VFR). A l'endroit où se trouvaient les ULM et à la date des accidents, les conditions suivantes étaient requises :

- ❑ vitesse limitée à 250 kt<sup>(3)</sup> ;
- ❑ visibilité en vol au moins égale à la plus élevée des deux valeurs suivantes :
  - 1 500 mètres<sup>(4)</sup> ou
  - la distance parcourue en trente secondes de vol<sup>(5)</sup> ;
- ❑ vol hors des nuages et en vue de la surface<sup>(6)</sup>.

Le cartouche d'informations aéronautiques des cartes VFR IGN/OACI 1/500 000<sup>ème</sup> et de navigation 1/1 000 000<sup>ème</sup>, partie « Utilisation de l'espace », contient un « avis important » qui stipule :

*L'attention des pilotes est attirée sur le fait que durant le jour et au-dessus du territoire français, la plupart des vols d'avions d'armes à basse altitude et grande vitesse sont effectués en dessous de 1 500 pieds (450m) ASFC durant les périodes suivantes : lundi à vendredi, jours fériés exceptés de LS - 30 à CS + 30. En conséquence, il est recommandé aux pilotes en VFR, pour autant que cela soit possible et permis, de conduire leurs vol en croisière à partir de 1 500 pieds ASFC.*

L'espace aérien au-dessous duquel évoluait l'ULM 63-RH est une TMA de classe D dont le plancher est à 1 000 pieds sol. L'ULM ne disposant pas de transpondeur, il ne pouvait donc pas pénétrer cet espace.

De ce fait, il ne pouvait pas respecter la recommandation ci-dessus.

Remarque 1 : les entretiens réalisés au sein de l'aéro-club du pilote de l'ULM Sky Ranger 63-RH montrent que cet avertissement n'est pas connu de la plupart des pilotes.

Remarque 2 : les entretiens réalisés au sein de l'aéro-club du pilote de l'ULM Storm 300 montrent que cet avertissement était connu du pilote.

L'ULM 71-GL évoluait en espace de classe G, sans autre contrainte. Il évoluait à proximité de la zone réglementée R 45S (800 / 2 700 pieds SFC). Celle-ci n'était pas active au moment de l'accident. Le pilote avait connaissance de cette information.

<sup>(3)</sup>Cette limitation s'applique du sol jusqu'au FL100.

<sup>(4)</sup>800 mètres pour les hélicoptères.

<sup>(5)</sup>Soit environ 1 234 mètres à 80 kt.

<sup>(6)</sup>Ces trois dernières conditions s'appliquent pour tout vol effectué sous le plus élevé des deux niveaux suivants : 3 000 ft AMSL ou 1 000 ft AGL.

<sup>(7)</sup>RCAM 1-39,  
Chapitre 4.

<sup>(8)</sup>Soit environ  
6 750 mètres  
à 450 kt.

<sup>(9)</sup>Hauteur, au-dessus  
du sol ou de l'eau,  
de la plus basse  
couche de nuages  
qui, au-dessous de  
6 000 m (20 000 ft)  
couvre plus de la  
moitié du ciel.

Les vols des Mirage 2000 N relevaient de la circulation aérienne militaire (CAM). Les équipages devaient appliquer les règles de vol appelées COM V, relatives à la circulation opérationnelle militaire en vol à vue. Pour les avions à réacteur, pour tout vol effectué de jour hors espaces aériens contrôlés et sous le plus élevé des deux niveaux 3 000 ft AMSL ou 1 000 ft AGL, les conditions suivantes sont requises<sup>(7)</sup> :

- la vitesse est limitée à 450 kt ;
- la visibilité en vol doit être au moins égale à la plus élevée des deux valeurs suivantes :
  - 5 km ou
  - la distance parcourue en trente secondes de vol<sup>(8)</sup>.
- le plafond<sup>(9)</sup> doit être supérieur ou égal à 1 500 ft.
- le vol doit être effectué hors des nuages ;
- la hauteur minimale de vol est de 150 mètres (500 pieds) au-dessus de l'obstacle le plus élevé dans un rayon égal à la distance parcourue en dix secondes de vol ;
- pour les vols effectués en dessous de 1 500 pieds, la procédure d'auto-information est obligatoire en CAM V.

Ces règles permettent aux avions militaires d'effectuer des vols en espace de classe G en dehors des zones réservées défense.

Les règles applicables aux aéronefs dans cet espace aérien (RCA 1 chapitre 3, devenu RDA ) consistent essentiellement en l'exercice d'une vigilance visuelle permanente afin d'éviter un abordage avec un autre aéronef ou une collision avec un obstacle. C'est ce que l'on appelle le principe « voir et éviter ». Les règles de l'air définissent également la priorité de passage : « *lorsque deux aéronefs se trouvant à peu près au même niveau, suivent des routes convergentes, celui qui voit l'autre à sa droite doit s'en écarter. Toutefois, les aéroplanes motopropulsés doivent céder le passage aux dirigeables, aux planeurs et aux ballons, ...* ».

Le règlement de la circulation aérienne n'exige aucun compte rendu de position et n'attribue aucune fréquence à cet effet.

### 1.7.3 Groupe de travail DNA/DIRCAM « Basse altitude »

Les directeurs de la navigation aérienne et de la circulation aérienne militaire ont créé en juillet 2003 un groupe de travail DNA/DIRCAM chargé de proposer des solutions durables pour améliorer la compatibilité et la sécurité des deux circulations en basse et très basse altitude. Ainsi, les usagers militaires ont été sensibilisés par la DIRCAM sur la nécessité d'éviter de voler en CAM V aux limites des espaces aériens et des secteurs dans lesquels est susceptible de se dérouler une activité particulièrement dense et à proximité des aérodromes (circulaire du 17 juillet 2003). Par ailleurs, à l'approche de l'été 2004, une sensibilisation lancée simultanément par la DNA et la DIRCAM attirait l'attention des usagers civils et militaires sur l'augmentation des risques d'abordage à basse altitude liée à l'intensification de l'activité aérienne. A cette occasion, il était rappelé que la règle « voir et éviter », imposait une vigilance permanente et une recherche au plus loin des trafics potentiellement dangereux (lettre du 18 juin 2004).

## 1.7.4 Surveillance du ciel

### 1.7.4.1 Généralités

La circulaire 213-AN/130 de l'OACI traite des « meilleures techniques visuelles pour éviter les collisions en vol ». En introduction, il est précisé :

*Le principe « voir et éviter » présuppose que de sa place aux commandes le pilote puisse exercer tout autour de lui une surveillance visuelle lui permettant de repérer tout ce qui doit l'être. L'efficacité de ce principe peut être grandement améliorée si le pilote peut acquérir des aptitudes lui permettant de compenser les limites de l'œil humain par l'application d'une technique efficace de surveillance visuelle, l'aptitude à écouter sélectivement les radiocommunications des stations au sol et des autres aéronefs, de façon à se présenter la circulation dans le voisinage immédiat, l'ensemble de ces aptitudes constituant ce que l'on peut appeler les bonnes pratiques de pilotage.*

La circulaire précise que dans la plupart des cas d'accident déjà étudiés, l'un des pilotes au moins aurait pu voir l'autre s'il avait bien regardé.

### 1.7.4.2 Le système visuel humain

Les différentes études, et notamment celle sur les collisions en aviation générale réalisée en 1999 par le BEA, ont montré que le système visuel humain a des performances qui limitent l'efficacité du principe « voir et éviter ». Les trajectoires conflictuelles présentent des caractéristiques très particulières. Le rapprochement des deux aéronefs s'effectue à gisement constant et le faible contraste entre un appareil et son environnement peuvent prendre en défaut la vision périphérique surtout sensible au mouvement d'objets fortement contrastés. La petite taille apparente de l'autre avion jusqu'à très peu de temps avant la collision rend difficile la détection. De plus son soudain grossissement apparent crée un effet de surprise important.

La conclusion insistait sur la formation des pilotes et en particulier sur l'exécution méthodique de la veille extérieure privilégiant la recherche d'une cible, l'appréciation du mouvement relatif d'un autre aéronef et la conception puis l'exécution rapide de la bonne manœuvre d'évitement.

### 1.7.4.3 Surveillance du ciel exécutée par les équipages de l'Armée de l'air

La connaissance des limites de l'œil humain et la finalité de l'arme aérienne (détection d'un intrus) ont conduit à l'enseignement au sein des armées d'une méthode de recherche d'un avion potentiellement dangereux.

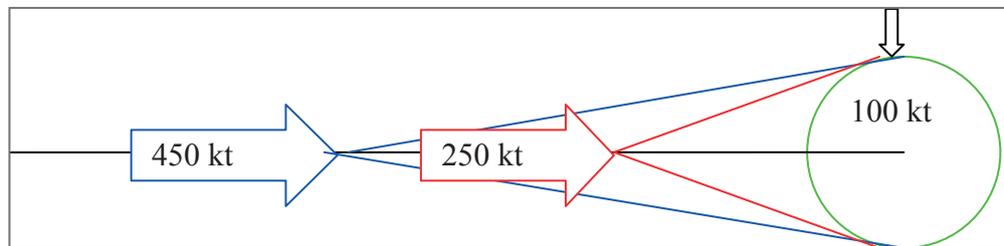
Elle est enseignée aux pilotes de l'Armée de l'air dès leur passage en école de début. Sa bonne application est contrôlée tout au long de la formation des navigants. Cette méthode impose, en particulier, de ne pas procéder à un simple balayage de l'espace mais repose sur un découpage de l'espace, chaque zone étant explorée successivement (saccade oculaire)<sup>(10)</sup>.

Cette méthode n'est pas systématiquement portée à la connaissance des pilotes de l'aviation générale.

<sup>(10)</sup>Voir études en annexe.

L'anticollision entre avions militaires est également améliorée par l'application d'une procédure d'auto-information sur une fréquence UHF. Elle est basée sur l'émission en l'air d'un message de position et de route. Les références géographiques sont listées et connues. Les messages sont émis toutes les dix minutes environ ou lors de changements importants de cap. L'information de position participe à la pré-orientation du regard dans la direction supposée d'arrivée du danger potentiel. Dans ces conditions, les collisions en vol entre avions militaires n'appartenant pas à la même patrouille sont rares.

Cependant, comme l'illustre le schéma ci-dessous, en cas de rapprochement entre deux avions de vitesses différentes, le cône de conflit potentiel de l'avion rapide est étroit, alors que celui de l'avion lent couvre tout l'espace. Ainsi pour la détection d'un avion lent, toutes les ressources visuelles du pilote de l'avion rapide peuvent être concentrées dans un secteur angulaire restreint devant lui alors que pour l'avion évoluant à faible vitesse, la zone de surveillance doit être beaucoup plus importante.



Cependant, cela nécessite de projeter loin devant le regard afin de détecter un mobile. La mise en œuvre de techniques particulières de recherche est donc nécessaire.

#### **1.7.4.4 Autres moyens d'anticollision**

Les différentes études dans le domaine préconisent également l'utilisation d'un certain nombre de moyens comme les feux à éclats, feux de navigation, phares, radio, transpondeur, etc. Si des améliorations dans la détection d'un mobile ont pu être constatées, certaines dispositions (couleurs, feux à éclats, par exemple) ne sont efficaces que dans certaines situations d'éclairage ou de contraste. Ainsi les feux à éclats ne sont efficaces que par situations de très faible luminosité, et les couleurs qui maximisent une détection sur fond de ciel sont moins favorables à une détection sur fond terrestre.

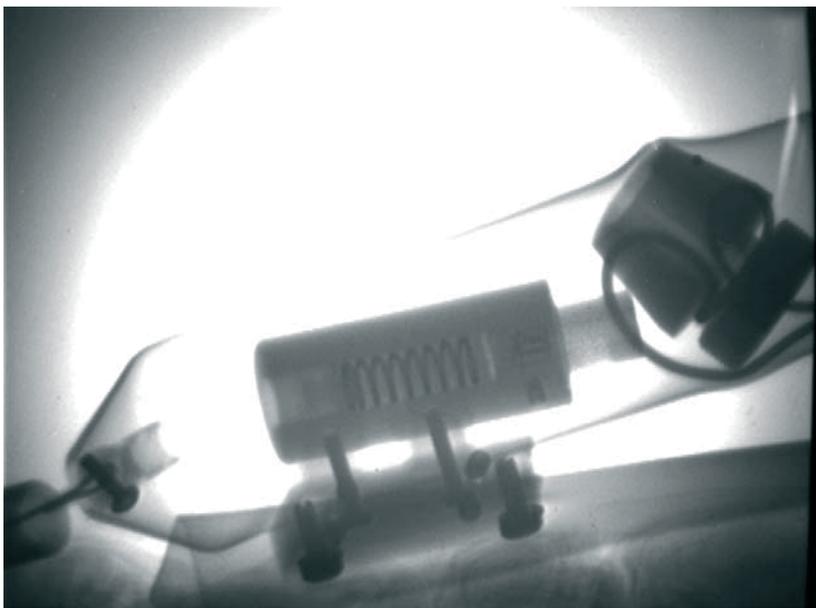
#### **1.7.5 Examen du système de lancement du parachute de l'ULM 63-RH**

Une radiographie du tube de lancement a été réalisée en laboratoire. A la mise à feu, une pièce s'est placée de guingois, empêchant la séquence d'extraction des suspentes. L'expertise du tube de lancement et du lanceur a été réalisée par des spécialistes de la Préfecture de Police de Paris, sous commission rogatoire. A ce jour, les conclusions de l'expertise et les causes du dysfonctionnement du système de lancement du parachute ne sont pas connues du BEA.

Remarque : ce matériel n'est ni certifié ni agréé par l'autorité.



Tube de lancement



Radiographie du tube de lancement



## 2 - ANALYSE

### 2.1 Scénarios

La reconstitution des trajectoires, les enregistrements vidéo et les témoignages des équipages militaires conduisent à élaborer les scénarios suivants :

#### 2.1.1 Premier accident (F-ULCU/63-RH)

- ❑ Le pilote du Mirage 2000 NF-ULCU aperçoit un objet arrivant dans un secteur avant gauche (11 h). Par réflexe, il débute une manœuvre d'évitement en inclinant rapidement à 45° par la droite et en cabrant.
- ❑ L'ULM vole à une altitude inférieure ou égale, probablement en vol horizontal rectiligne. Le pilote ne semble pas effectuer de manœuvre d'évitement.

#### 2.1.2 Second accident (F-ULAK/71-GL)

- ❑ Le pilote du Mirage 2000 N F-ULAK aperçoit un objet arrivant dans un secteur supérieur droit (1 h) alors qu'il est en virage serré à droite. Il débute une manœuvre réflexe d'évitement en diminuant l'inclinaison et en piquant.
- ❑ L'ULM vole à une altitude supérieure ou égale. L'enquête n'a pas pu déterminer si le pilote a tenté une manœuvre d'évitement.

### 2.2 Un espace, deux systèmes

En espace aérien de classe G circulent des aéronefs civils en CAG VFR ou IFR et des aéronefs militaires en CAM V. Les deux types de circulation sont régis par des réglementations différentes. Les différents accords établis entre la Défense et l'Aviation civile permettent une meilleure cohabitation des deux types de circulations par la rétrocession ou une meilleure gestion en temps réel des espaces aérien dédiés à la défense. Des recommandations visent également à améliorer la compatibilité des deux types de circulation, verticalement et horizontalement.

Ces collisions relativement rares, se sont produites alors que les avions évoluaient conformément aux règles qui s'appliquaient à chacun d'entre eux. Cependant, à 450 kt, la vitesse de rapprochement élevée constitue un facteur de risque dans ce type d'événement.

Les ULM, bien qu'équipés d'une radio VHF, ne disposaient pas de transpondeur. Cela interdisait au 63 RH la pénétration dans la TMA de classe D. Il évoluait donc sous le plancher de la TMA (1 000 pied sol) et se trouvait dans un espace susceptible d'être traversé par des avions évoluant à grandes vitesses.

D'après les témoignages recueillis, il semble probable que le pilote du 63-RH ignorait cette information. Quelques questions posées par sondage auprès d'un certain nombre de pilotes et d'instructeurs dans des clubs ou organismes de formation montrent que la plupart des pilotes ignorent que des vols d'avions militaires à basse altitude et grande vitesse sont exécutés, en semaine, sur l'ensemble du territoire national en dehors des zones réglementées.

Cependant, les pilotes habitués à survoler la zone du deuxième accident étaient sensibilisés à l'activité des avions militaires s'y déroulant, notamment du fait de la proximité de la zone réglementée R 45S.

Il est à noter que l'avertissement sur ce risque a été transférée du guide VFR au cartouche des cartes 1/500 000<sup>ème</sup>. La lecture de la légende des cartes ne se pratique pas systématiquement, surtout quand on évolue à une distance proche de sa base et que le recours à la carte n'est pas nécessaire (connaissance de la zone d'activité).

## **2.3 Les limites du concept « voir et éviter »**

Entre 1989 et 1999, dix-sept collisions en vol se sont produites entre des avions évoluant en aviation générale, en France. La majorité des collisions entre avions civils se produisent alors que les aéronefs travaillent dans une même zone, bien souvent en utilisant une même fréquence ou évoluant dans le même espace (circuit d'aérodrome, par exemple). L'étude du BEA relative à ces événements a montré que bien souvent la règle « voir et éviter » est le seul garant de l'anti-abordage et que cette règle de base ne suffit plus.

Les enquêtes réalisées citent généralement les défaillances du système visuel humain (notamment le rapprochement sous relèvement constant) ou l'absence d'informations mutuelles comme causes des collisions en vol.

Les collisions entre un avion militaire et un avion civil sont rares (un en 1995, un en 2004, un en 2007). La règle « voir et éviter » était le seul garant de l'anti-abordage ; elle n'a pas suffi à éviter l'accident.

### **2.3.1 Défaillance de la détection**

D'après les témoignages, les pilotes des Mirage 2000 N étaient les seuls membres de l'équipage à assurer la surveillance du ciel au moment des deux collisions.

L'ULM 63-RH évoluait à une hauteur inférieure à celle de la patrouille. Sa taille relativement petite ne permettait pas de le voir. Même sa couleur (jaune) ne fournissait pas suffisamment de contraste sur un fond de forêts et de champs très éclairés. La vitesse de rapprochement (484 + 80 kt) ne laissait qu'un temps de réaction extrêmement court (moins de deux secondes).

L'ULM 71-GL, évoluait à la même hauteur ou légèrement au-dessus du Mirage 2000 N F-ULAK. Sa couleur blanche sur un ciel bleu ne présentait pas suffisamment de contraste pour être détectée par le pilote du Mirage 2000 N, alors en virage à droite.

Dans les deux cas, la luminosité et la visibilité étaient bonnes et la position du soleil n'a pas ébloui les pilotes.

Les pilotes des Mirage ont vu l'ULM qui se présentait devant eux alors que la taille apparente de celui-ci était encore faible et ont débuté une manœuvre d'évitement. Cependant, en raison de la vitesse de rapprochement importante, la détection et la manœuvre d'évitement ont été trop tardives pour être efficaces.

Ceci montre qu'un entraînement poussé et performant à la surveillance du ciel ne peut suffire à éviter ce type de collision.

L'enquête n'a pas permis de déterminer si les pilotes des ULM ont détecté l'arrivée du M2000 et s'ils ont pu tenter une manœuvre d'évitement. La forte vitesse de rapprochement et la manœuvrabilité relativement faible des ULM rendait de toute façon peu probable le succès d'une telle manœuvre.

Aucun des aéronefs n'était équipé de systèmes embarqués dédiés à l'anticollision. Pourtant, des études ont montré qu'une alerte permettant d'orienter le regard améliorerait sensiblement l'efficacité de la règle « voir et éviter ».

Il est donc nécessaire d'avoir recours à d'autres moyens pour diminuer les risques de collision en vol.

## **2.3.2 Amélioration de l'anticollision**

### **2.3.2.1 Auto information**

Les avions en CAM V émettent des messages d'auto-information sur une fréquence UHF. Ces messages alertent les équipages militaires qui mettent en œuvre les méthodes de surveillance du ciel apprises. La patrouille a d'ailleurs émis un message vingt secondes avant l'abordage.

Cependant, ces messages d'information de position ne sont pas transmis aux avions en CAG VFR qui peuvent être à l'écoute d'une fréquence VHF.

En dehors des zones d'aérodrome, il n'existe pas de système équivalent d'auto-information en aviation générale.

La transposition directe d'un tel système dans l'aviation civile serait délicate, du fait du faible entraînement de la majorité des pilotes d'aviation générale, et du nombre de messages que cela impliquerait. En effet, la vitesse des avions de combat les conduit à parcourir environ 75 milles marins entre deux messages. Cette distance représente les limites d'un vol local en aviation générale. Les points géographiques utilisés sont parfois éloignés de la zone d'activité des pilotes civils, donc peu connus. Des émissions en auto information sur une même fréquence par l'ensemble des avions civils et militaires évoluant dans une même région conduirait à un effet de saturation qui ne permettrait pas aux pilotes de se représenter les trajectoires des autres avions.

Cependant, un système simplifié d'information des trafics militaire à destination des pilotes d'aviation générale pourrait être envisagé. Par exemple, les messages émis par les avions militaires, rediffusés en VHF sur une fréquence dédiée à l'auto-information, permettraient probablement d'alerter les pilotes d'aviation générale à l'écoute et évoluant dans le même secteur. La simple vérification de l'altitude pourrait amener ceux-ci à s'écarter de l'altitude précisée dans le message.

### **2.3.2.2 Autres moyens**

L'équipement TCAS a montré son efficacité en aviation de transport public. De nombreuses quasi-collisions dans les zones à très haute densité de trafic sont évitées grâce à cet équipement et à l'entraînement des pilotes. Le montage d'un TCAS sur l'avion le plus rapide et le plus manœuvrant permettrait l'alerte du pilote et une proposition de manœuvre d'évitement. Il est toutefois nécessaire pour cela que l'autre aéronef soit au moins équipé d'un transpondeur.

Certains aéronefs militaires sont équipés de systèmes (radar en mode interception aérienne) qui pourraient aussi être utilisés pour une fonction anticollision.

## 3 - CONCLUSION

### 3.1 Faits établis par l'enquête

- ❑ Les équipages des avions de combat et les pilotes des ULM détenaient les licences et les qualifications nécessaires à l'accomplissement de leur vol.
- ❑ Les aéronefs évoluaient dans le même espace, régis par des réglementations différentes (civile et militaire).
- ❑ Les avions militaires émettent des messages de position sur une fréquence UHF dédiée. Il n'existe pas de système équivalent en aviation générale hors circulation d'aérodrome. Il n'y a donc pas de communication entre pilotes évoluant dans un même espace.
- ❑ Aucun dispositif dédié à l'anti-abordage n'était installé à bord des aéronefs.
- ❑ Les manœuvres d'évitement entreprises par les pilotes des Mirage 2000 N n'ont pas suffi à empêcher la collision.
- ❑ Les dommages occasionnés aux ULM ne permettaient pas la poursuite du vol.
- ❑ La tentative d'ouverture du parachute de secours du 63-RH a échoué en raison d'un dysfonctionnement du lanceur.

### 3.2 Causes identifiées

- ❑ Les collisions sont dues à la défaillance du concept « voir et éviter » en raison de l'absence de détection mutuelle suffisamment précoce des deux aéronefs en rapprochement relatif très rapide.
- ❑ L'absence d'équipements de détection embarqués incluant une fonction anti-abordage ou facilitant l'acquisition visuelle est un facteur contributif.

Remarque : la défaillance du parachute de secours du 63 RH a vraisemblablement aggravé les conséquences de l'accident.



## 4 - RECOMMANDATION

Rappel : conformément à l'article 10 de la Directive 94/56/CE sur les enquêtes accidents, une recommandation de sécurité ne constitue en aucun cas une présomption de faute ou de responsabilité dans un accident ou un incident. L'article R.731 2 du Code de l'aviation civile stipule que les destinataires des recommandations de sécurité font connaître au BEA, dans un délai de quatre-vingt-dix jours après leur réception, les suites qu'ils entendent leur donner et, le cas échéant, le délai nécessaire à leur mise en œuvre.

Cet événement montre, s'il était encore nécessaire, les limites du concept « voir et éviter ». Les efforts consentis sur le plan réglementaire pour une meilleure cohabitation entre les activités militaires et civiles, les mises en garde et les améliorations introduites semblent insuffisantes pour diminuer le risque de collision entre aéronefs en vol. Les diverses études mentionnées dans ce rapport montrent le gain d'efficacité de la surveillance du ciel lorsque le pilote est avisé de la présence d'un trafic potentiellement conflictuel. L'introduction de nouveaux équipements de détection et de communication, l'amélioration des formations ou de l'entraînement des pilotes doivent être étudiés en prenant en compte le contexte opérationnel. Cependant, l'amélioration des moyens de communication (auto-information) et la formation et l'entraînement à la détection visuelle paraissent ne pouvoir offrir qu'un potentiel d'amélioration limité vis-à-vis du risque de collision entre un avion militaire rapide et un aéronef de loisir lent.

C'est pourquoi, le BEA recommande que :

- **les Etats-majors d'armée, la DGAC et les représentants des usagers de l'aviation légère étudient la possibilité d'installer un moyen de détection embarqué à bord des aéronefs les plus rapides.**



# ***Liste des annexes***

## **annexe 1**

Carte de navigation du Mirage 2000 N F-ULCU

## **annexe 2**

Trajectoire partielle du Mirage 2000N F-ULAK

## **annexe 3**

Etude australienne sur le concept « voir et éviter » (Autorité de l'aviation civile)

## **annexe 4**

Etude australienne sur le concept « voir et éviter » (Bureau de la Sécurité des Transports)

## **annexe 5**

Accident survenu le 22 septembre 1995



annexe 1

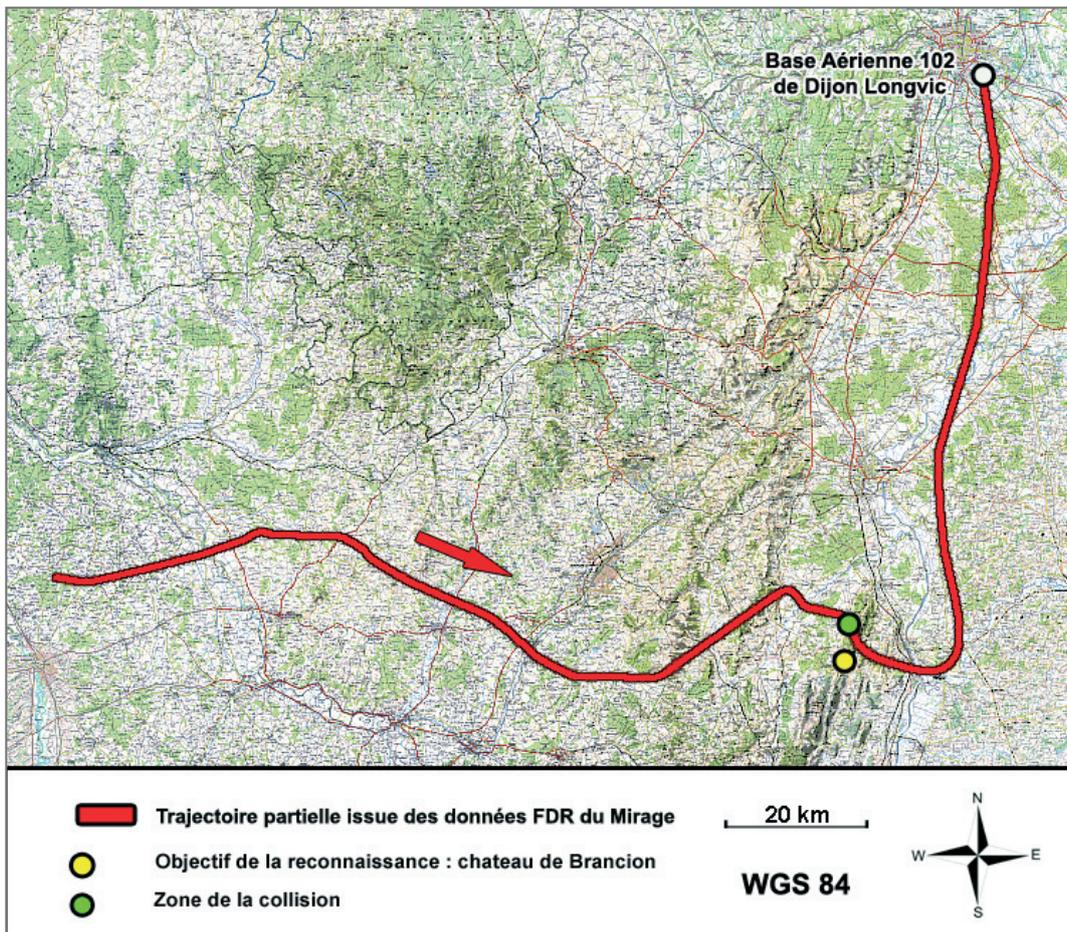
Carte de navigation du Mirage 2000 N F-ULCU





## annexe 2

### Trajectoire partielle du Mirage 2000N F-ULAK





annexe 3

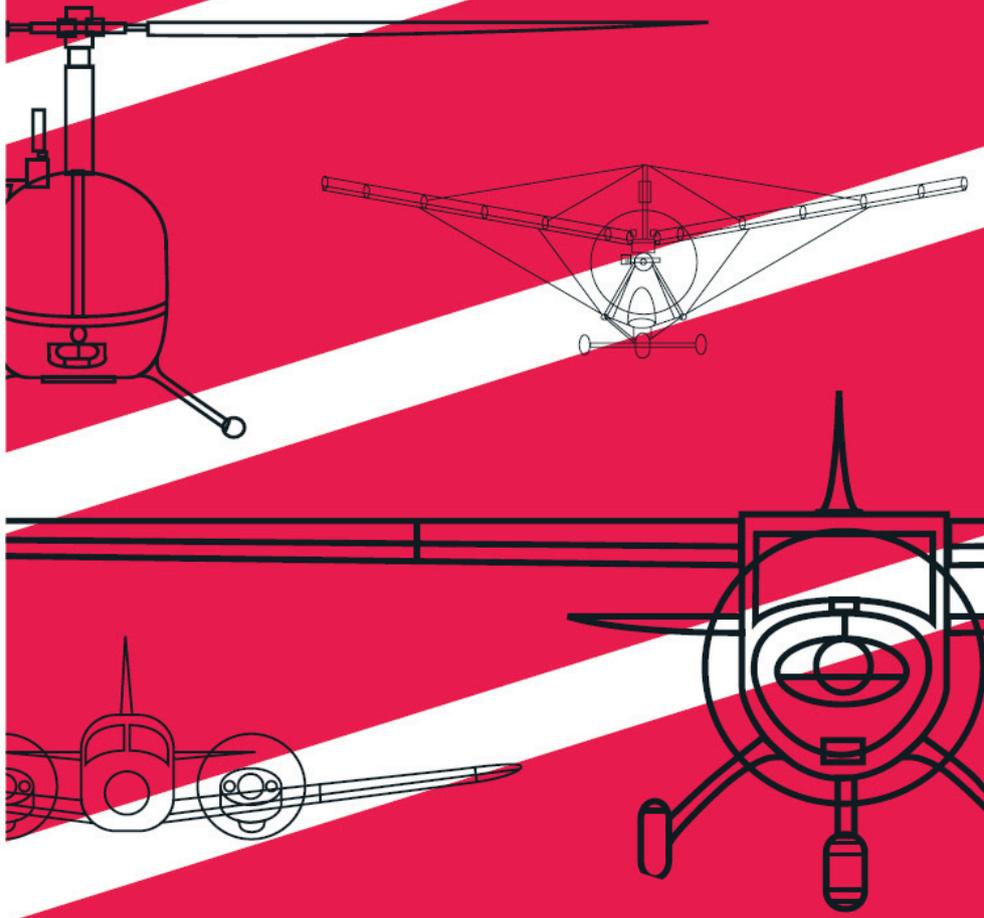
Etude australienne sur le concept « voir et éviter »  
(Autorité de l'aviation civile)

GENERAL AVIATION SAFETY SENSE



13A

COLLISION AVOIDANCE



## GENERAL AVIATION SAFETY SENSE LEAFLET 13A

# COLLISION AVOIDANCE



### 1 INTRODUCTION

- a. 'See-and-avoid' is recognised as the main method that a pilot uses to minimise the risk of collision when flying in visual meteorological conditions. 'See-and-avoid' is directly linked with a pilot's skill at looking outside the cockpit or flight deck and becoming aware of what is happening in his/her surrounding. Its effectiveness can be greatly improved if the pilot can acquire skills to compensate for the limitations of the human eye. These skills include the application of:
  - effective visual scanning, the ability to listen selectively to radio transmissions from ground stations and other aircraft,
  - creating a mental picture of the traffic situation, and
  - the development of 'good airmanship'.

- b. This Leaflet based on ICAO Circular 213-AN/130 aims to help pilots to make 'look-out' more effective and is mainly for pilots who do most of their flying under visual flight rules (VFR). It should be of interest to all pilots, however, regardless of the type of aircraft they fly and the flight rules under which they operate since **no pilot is immune to collisions**.
- c. A study of over two hundred reports of mid-air collisions in the US and Canada showed that they can occur in all phases of flight and at all altitudes. However, nearly all mid-air collisions occur in daylight and in excellent visual meteorological conditions, mostly at lower altitudes where most VFR flying is carried out. Collisions also can and do occur at higher altitudes. Because of the

concentration of aircraft close to aerodromes, most collisions occurred near aerodromes when one or both aircraft were descending or climbing. Although some aircraft were operating as instrument flight rules (IFR) flights, most were VFR.

- d. The pilots involved in the collisions ranged in experience from first solo to 15,000 hours, and the types of flight were equally varied. In one case a private pilot flying cross-country, legally VFR, in a single-engine aircraft collided with a turboprop aircraft under IFR control flown by two experienced airline pilots. In another case, a 7000 hour commercial pilot on private business in a twin-engine aircraft overtook a single-engine aircraft on its final approach piloted by a young instructor giving dual instruction to a student pilot. Two commercial pilots, each with well over 1000 hours, collided while ferrying a pair of new single-engine aircraft.

- e. Experienced or inexperienced pilots can be involved in a mid-air collision. While a novice pilot has much to think about and so may forget to maintain an adequate lookout, the experienced pilot, having flown many hours of routine flight without spotting any hazardous traffic, may grow complacent and forget to scan.

- f. There appears to be little difference in mid-air collision risk between high-wing and low-wing aircraft.

- g. If you learn to use your eyes and maintain vigilance, you can reduce the risk of mid-air collisions. Studies show that there are certain definite warning patterns.

### 2 CAUSES OF MID-AIR COLLISIONS

- a. What contributes to mid-air collisions? Undoubtedly, traffic congestion and aircraft speeds are part of the problem. In the head-on situation, for instance, a jet and a

light twin-engine aircraft may have a closing speed of about 650 kt. It takes a minimum of 10 seconds for a pilot to spot traffic, identify it, realise it is a collision risk, react, and have the aircraft respond. But two aircraft converging at 650 kt could be less than 10 seconds apart when the pilots are first **able** to see each other! Furthermore, the field of view from the flight deck of a large aircraft can be more restricted than that from the cockpit of a small aircraft.

- b. In addition, some air traffic control and radar facilities are overloaded or limited by terrain or weather. Thus they may not be able to offer the service you require.

- c. These factors are all contributory causes, but the reason most often noted in the mid-air collision statistics reads, 'failure of pilot to see other aircraft in time' — i.e. failure of the see-and-avoid system. In most cases at least one of the pilots involved **could** have seen the other aircraft in time to avoid the collision if that pilot had been watching properly. Therefore, it could be said that it is really the eye which is the leading contributor to mid-air collisions. Take a look at how its limitations affect you.

### 3 LIMITATIONS OF THE EYE

- a. The human eye is a very complex system. Its function is to receive images and transmit them to the brain for recognition and storage. About 80 per cent of our total information intake is through the eyes, thus the eye is our prime means of identifying what is going on around us.

- b. In the air we depend on our eyes to provide most of the basic input necessary for flying the aircraft, e.g. attitude, speed, direction and proximity to opposing traffic. As air traffic density and aircraft closing speeds increase, the problem of mid-air collision increases considerably, and so does the importance of

effective scanning. A basic understanding of the eyes' limitations in target detection is one of the best insurances a pilot can have against collision.

c. The eye, and consequently vision, is vulnerable to many things including dust, fatigue, emotion, germs, fallen eyelashes, age, optical illusions, and the effect of alcohol and certain medications. In flight, vision is influenced by atmospheric conditions, glare, lighting, windshield deterioration and distortion, aircraft design, cabin temperature, oxygen supply (particularly at night), acceleration forces and so forth. If you need glasses to correct your vision, make sure that you have regular checks that the prescription is still correct and that you carry any required second pair.

d. Most importantly, the eye is vulnerable to the vagaries of the mind. We can 'see' and identify only what the mind permits us to see. A daydreaming pilot staring out into space is probably the prime candidate for a mid-air collision.

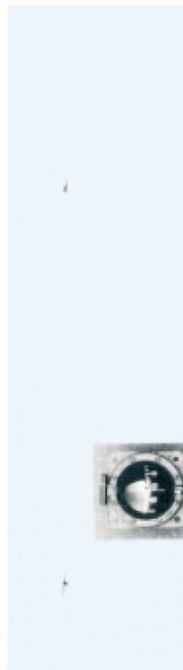
e. One inherent problem with the eye is the time required for accommodation or refocusing. Our eyes automatically accommodate for near and far objects, but the change from something up close, like a dark instrument panel two feet away, to a bright landmark or aircraft a mile or so away, takes one to two seconds. That

can be a long time when you consider that you need 10 seconds to avoid a mid-air collision. (See Figure 1.)

f. Another focusing problem usually occurs when there is nothing to specifically focus on, which happens at very high altitudes, as well as at lower levels on vague, colourless days above a haze or cloud layer with no distinct horizon. People experience something known as 'empty-field myopia', i.e. staring but seeing nothing, not even opposing traffic entering their visual field.

g. To accept what we see, we need to receive cues from **both eyes** (binocular vision). If an object is visible to only one eye, but hidden from the other by a windshield post or other obstruction, the total image is blurred and not always acceptable to the mind. Therefore, it is essential that **pilots move their head** when scanning around obstructions. (See Figure 2.)

h. Another inherent eye problem is the narrow field of vision. Although our eyes accept light rays from an arc of nearly 200°, they are limited to a relatively narrow area (approximately 10–15°) in which they can actually focus on and classify an object. Although movement on the periphery can be perceived, we cannot identify what is happening there, and we tend not to believe what we see out of the corner of our eyes. This, aided by the brain, often leads to 'tunnel vision'.



Aircraft head-on, focus point straight ahead

Aircraft on crossing track, focus point 45° (right)

Figure 1. Apparent size of light aircraft at Quarter nm distance

i. Motion or contrast is needed to attract the eyes' attention, and tunnel vision limitation can be compounded by the fact that at a distance **an aircraft on a collision course will appear to be motionless**. The aircraft will remain in a seemingly stationary position, without appearing to move or to grow in size, for a relatively long time, and then **suddenly** bloom into a huge mass, almost filling up one of the windows. This is known as the 'blossom effect'.

**It is frightening that a large insect smear or dirty spot on the windshield can hide a converging aircraft until it is too close to be avoided.**

j. In addition to its inherent problems, the eye is also severely limited by environment. Optical properties of the atmosphere alter the appearance of aircraft, particularly on hazy days. 'Limited visibility' actually means 'reduced vision'. You may be legally VFR when you have 5 km visibility, but at that distance on a hazy day you may have difficulty in detecting opposing traffic; at that range, even though another aircraft may be visible, a collision may be **unavoidable** because of the high closing speeds involved.

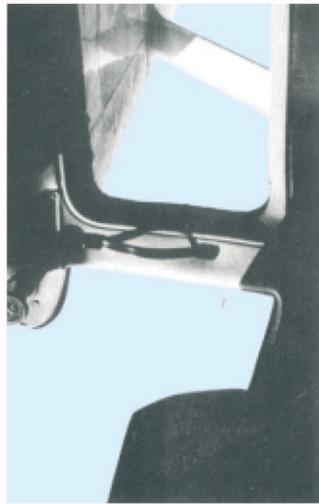
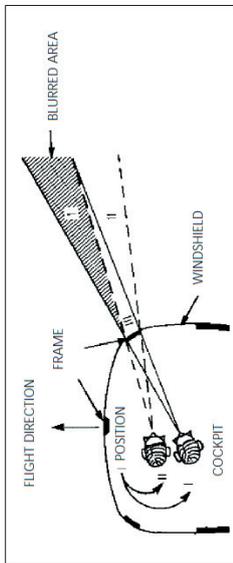
k. Light also affects our visual efficiency. Glare, usually worse on a sunny day over a cloud layer or during flight directly into the sun, makes objects hard to see and scanning uncomfortable. An aircraft that has a high degree of contrast against the background will be easy to see, while one with low contrast at the same distance may be impossible to see. In addition, when the sun is behind you, an opposing aircraft will stand out clearly but if you are looking into the sun, the glare of the sun will usually prevent you from seeing the other aircraft. **A dirty, scratched, opaque or distorted windshield will make matters worse. Keep it clean, and if it has deteriorated, consider fitting a new windshield or using a proprietary re-turfishing kit.**

l. Another problem with contrast occurs when trying to sight an aircraft

against a cluttered background. If the aircraft is between you and terrain that is varicoloured or heavily dotted with buildings, **it will blend into the background until the aircraft is quite close.**

m. In daylight, the colours and shapes are seen by 'cones' which are light sensitive cells occupying a small central area of the retina of the eye. At night, the cones become inactive, and vision is taken over by 'rods' which make up the rest of the retina, and which provide peripheral vision by day. The problem with rods is that they cannot distinguish colour; they are not as good at distinguishing shapes as cones, and at night there is now an area in the centre of the retina (populated by inactive cones) which cannot see anything. This explains why it is easier to see a faint star by looking away (by about 10 degrees) than straight at it. Rods take 30 minutes in the dark to reach their efficiency. They are insensitive to red light, and that was the reason why WWII night fighter pilots sat around in dim red rooms before jumping into dim red cockpits. Nowadays it is felt more important to interpret a normally lit instrument correctly, than run the risk of misinterpreting a dim red instrument, even though the pilot's outside night vision might be marginally better in the latter case. However, it obviously makes sense for pilots to try and avoid looking at bright lights at night. It is important to maintain a scan at night, but because peripheral rods are being used, it is better to use a continuous scan which will cause an image (aircraft lights) to move on the retina, rather than trying to focus on one area of sky (because the fine focusing cones are not working). Since the rods are sensitive to movement, they are more likely to be alerted by this technique.

n. Finally, there are the tricks that the mind can play, which can distract the pilot to the point of not seeing anything at all, or cause cockpit myopia — staring at one instrument without even 'seeing' it.



Aircraft is visible in the lower right hand windshield with the left eye



Aircraft is not visible with the right eye as it is obscured by the windshield post

Figure 2. Effect of binocular vision

#### 5. HOW TO SCAN

- The best way to develop effective scanning is by eliminating bad habits. Naturally, not looking out at all is the poorest scan technique! Glancing out at intervals of five minutes or so is also poor when considering that it takes only seconds for a disaster to happen. Check the next time the aircraft is climbing out or making an approach to see how long you spend without looking outside.
- Glancing out and 'giving the old once-around' without stopping to focus on anything is practically useless; so is staring out into one spot for long periods of time.
- There is no one technique that is best for all pilots. The most important thing is for each pilot to develop a scan that is both comfortable and workable.
- Learn how to scan properly by knowing where and how to concentrate your search on the areas most critical to you at any given time. In the circuit especially, **always** look out before you turn and make sure your path is clear. Look out for traffic making an improper entry into the circuit.
- During that very critical final approach stage, do not forget to scan all around to avoid tunnel vision. Pilots often fix their eyes on the point of touchdown. You may never arrive at the runway if another pilot is also aiming for the same runway threshold at that time!
- In normal flight, you can generally avoid the risk of a mid-air collision by scanning an area at least 60° left and right of your flight path. Be aware that constant angle collisions often occur when the **other aircraft initially appears motionless** at about your 10 o'clock or 2 o'clock positions. This does not mean you should forget the rest of the area you can see. You should also scan at least 10° above and below the projected flight path of

o. It can be realised that visual perception is affected by many factors. Pilots, like others, tend to **overestimate their visual abilities** and to **misunderstand their eyes' limitations**. Since a major cause of mid-air collisions is the failure to adhere to the practice of see-and-avoid, it can be concluded that the best way to avoid collisions is to learn how to use your eyes for an efficient scan.

#### 4. VISUAL SCANNING TECHNIQUE

- To avoid collisions you must scan effectively from the moment the aircraft moves until it comes to a stop at the end of the flight. Collision threats are present on the ground, at low altitudes in the vicinity of aerodromes, and at cruising levels.
- Before take-off, check the runway visually to ensure that there are no aircraft or other objects in the take-off area. Check the approach and circuit to be sure of the position of other aircraft. Assess the traffic situation from radio reports. After take-off, continue to scan to ensure that there will be no obstacles to your safe departure.
- During the climb and descent beware of the blind spot under the nose – manoeuvre the aircraft so that you can check.
- During climb or descent, listen to radio exchanges between air traffic and other aircraft and form a mental image of the traffic situation and positions of aircraft on opposing and intersecting headings, anticipating further developments. Scan with particular care in the area of airway (route) inter-sections and when near a radio beacon. You should remain constantly alert to all traffic within your normal field of vision, as well as periodically scanning the entire visual field outside the aircraft to ensure detection of conflicting traffic. Remember that the performance capabilities of many aircraft, in both speed and rates of climb/descent, result in high closure rates, limiting the time available for detection, decision, and evasive action.

your aircraft. This will allow you to spot any aircraft that is at an altitude that might prove hazardous to you, whether it is level with you, climbing from below or descending from above.

g. The more you look outside, the less the risk of a collision. Certain techniques may be used to increase the effectiveness of the scan. To be most effective, the gaze should be shifted and refocused at regular intervals. Most pilots do this in the process of scanning the instrument panel but it is also important to focus outside the cockpit or flight deck to set up the visual system for effective target acquisition. Proper scanning requires the constant sharing of attention with other piloting tasks, thus it is easily degraded by such conditions as distraction, fatigue, boredom, illness, anxiety or preoccupation.

h. **Effective scanning is accomplished by a series of short, regularly-spaced eye movements that bring successive areas of the sky into the central visual field.** Each movement should not exceed 10°, and each area should be observed for at least one second to enable detection. Although horizontal back-and-forth eye movements seem preferred by most pilots, each pilot should develop the scanning pattern that is most comfortable and then keep to it. Peripheral vision can be useful in spotting collision risks. It is essential to remember, however, that if another aircraft appears to have no relative motion, it is likely to be on a collision course with you. If the other aircraft shows no horizontal or vertical motion on the windshield, but is increasing in size, take immediate evasive action.

#### 6 SCAN PATTERNS

a. Two scanning patterns described below have proved to be very effective for pilots and involve the 'block' system of scanning. This system is based on the premise that

traffic detection can be made only through a series of eye fixations at different points in space. In application, the viewing area (windshield) is divided into segments, and the pilot methodically scans for traffic in each block in sequential order.

#### Side-to-side scanning method

Start at the far left of your visual area and make a methodical sweep to the right, pausing very briefly in each block of the viewing area to focus your eyes. At the end of the scan, return to and scan the instrument panel and then repeat the external scan. (See Figure 3.)

#### Front-to-side scanning method

Start in the centre block of your visual field (centre of front windshield); move to the left, focusing very briefly in each block, then swing quickly back to the centre block after reaching the last block on the left and repeat the performance to the right. Then after scanning the instrument panel, repeat the external scan. (See Figure 4.)

b. There are other methods of scanning, of course, some of which may be as effective as the two described above. However, unless some series of fixations is made, there is little likelihood that you will be able to detect all targets in your scan area. **When the head is in motion, vision is blurred and the mind will not register potential targets.**

#### 7 THE TIME-SHARING PLAN

a. External scanning is just part of the pilot's total visual work. To achieve maximum efficiency in flight, a pilot also has to establish a good internal scan and learn to give each scan its proper share of time, depending, to some extent, on the work-load inside the cockpit and the density of traffic outside. Generally, the external scan will take considerably longer than the look at the instrument panel.

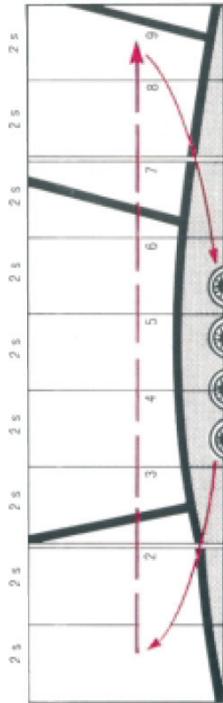


Figure 3. Side-to-side scanning method

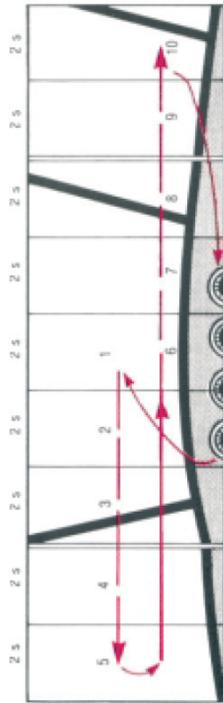


Figure 4. Front-to-side scanning method

b. During an experimental scan training course, using military pilots whose experience ranged from 350 hours to over 4000 hours of flight time, it was discovered that the average time they needed to maintain a steady state of flight was three seconds for the instrument panel scan and 18 to 20 seconds for the outside scan.

#### 8 AIRPROX REPORTING

If you consider that your aircraft has been endangered during flight by the proximity of another aircraft such that a risk of collision existed, report it by radio to the Air Traffic unit with which you are in communication. The call should be prefixed 'AIRPROX'. If this is not possible, immediately after landing (in the UK) telephone or by other means contact any UK ATS unit, but preferably an ATCC. Prompt action is important. Confirm in writing within 7 days using CA 1094 'Airprox Report Form'.

c. An efficient instrument scan is good practice, even when flying VFR. The ability to scan the panel quickly permits more time to be allotted to exterior scanning, thus improving collision avoidance.

d. **Developing an efficient time-sharing plan takes a lot of work and practice, but it is just as important as developing good landing techniques.** The best way is to start on the ground, in your own aeroplane or the one you usually fly, and then use your scans in actual practice at every opportunity.

e. During flight, if one crew member is occupied with essential work inside the cockpit, another crew member, if available, must expand his scan to include both his usual sector of observation and that of the other crew member.

## 9 OPERATIONAL TECHNIQUES

a. Collision avoidance involves more than proper scanning techniques. You can be the most conscientious scanner in the world and still have an in-flight collision if you neglect other important factors.

### Check yourself

Start with yourself – your eyesight, and consequently your safety, depend on your mental and physical condition. If you are preoccupied you should not fly – absent-mindedness and distraction are the main enemies of concentrated attention during flight. Age affects your eyes, so if you are a mature pilot have regular eye checks. **If you need glasses to correct your vision, then wear them and ensure that you have the required spare pair with you.**

### Plan ahead

To minimise the time spent 'head-down' in the cockpit, plan your flight, have charts folded in proper sequence and within reach. Be familiar with headings, frequencies, distances, etc. so that you **spend minimum time with your head down in your charts**. Pilots should record these things on a flight log before take-off. Check your maps, NOTAM, etc. in advance for potential hazards such as military low-level routes and other high-density areas. See Safety Sense Leaflet 18, Military Low Flying.

### Clean windows

During the pre-flight walk-around, **make sure your windshield is clean and in good condition**. If possible, keep all windows clear of obstructions such as opaque sun visors and curtains.

### Night Flying

Be aware of the limitations of vision at night and give your eyes time to adjust. Avoid blinding others with the careless use on

the ground of your strobes or landing lights.

### Adhere to procedures

Follow established operating procedures and regulations, such as correct flight levels (quadrantal or semi-circular) and proper circuit practices. You can get into trouble, for instance, by 'sneaking' out of your proper level as cumulus clouds begin to tower higher and higher below you, or by skimming along the tops of clouds without observing proper cloud clearance.

Some typical situations involving in-flight mishaps around airports include: entering a right-hand circuit at an airport with left-hand traffic or entering downwind so far ahead of the circuit that you may interfere with traffic taking off and heading out in your direction. Beware of pilots flying large circuits with long final approaches.

**In most in-flight collisions at least one of the pilots involved was not where he was supposed to be.**

### Avoid crowded airspace

Avoid crowded airspace, eg over a radio beacon. Aircraft can be training over navigation beacons, even in good weather. If you cannot avoid aerodromes en route, fly over them well above ATZ height and if appropriate give them a call stating your intentions.

### Compensate for blind spots

Compensate for your aircraft's design limitations. If you are short, or the aircraft has a high coaming, **a suitable cushion can be helpful**. All aircraft have blind spots; know where they are in yours. For example, a high-wing aircraft has a wing down in a turn that blocks the view of the area you are turning into, so **lift the wing slightly for a good look before turning**. One of the most critical potential mid-air collision situations exists when a faster low-wing aircraft is overtaking

and descending onto a high-wing aircraft on final approach.

### Equip to be seen

Your aircraft lights can help avoid collisions. High intensity strobe lights, which can be installed at relatively low cost, increase your contrast and conspicuity considerably by day and even more by night. In areas of high traffic density, strobe lights are often the first indication another pilot receives of your presence. Transponders, especially with altitude encoding (Mode C) allow radar controllers to identify your aircraft in relation to other traffic and provide you with traffic information. They also indicate your aircraft to commercial aircraft which carry ACAS (aircraft collision avoidance system). If you show mode C, ACAS can guide the commercial aircraft away from you! The carriage of transponders is now mandatory in some airspace, even when operating VFR. If ATC do not allocate you a code, use code 7000, but switch it off in the circuit. Aircraft with one high contrast colour can be seen more easily than those with a pattern or one low contrast colour. Recent tests have shown that matt black (or gloss black) gives greatest contrast. Consider the use of landing lights during the circuit and landing especially on hazy days.

### Talk and listen

Use your ears as well as your eyes by taking advantage of all the information that you receive over the radio (but beware, non-radio aircraft may also be in the same airspace). Pilots reporting their position to the tower are also reporting to you. Approaching an aerodrome, call the tower when you are 10 km from the airport, or such other distance or time prescribed by the ATS

authority, and report your position, height/altitude and intentions. When flying in areas where there are no air traffic services, change to the FIR or nearest aerodrome frequency.

### Make use of information

Since detecting a small aircraft at a distance is not the easiest thing to do, make use of any hints you get over the radio. Your job is much easier when you are told that traffic is 'three miles at one o'clock'. **Once that particular traffic is sighted, do not forget the rest of the sky**. If the traffic seems to be moving on the windshield, you're most probably not on a collision course, so continue your scan but watch the traffic from time to time. **If it has little relative motion you should watch it very carefully – he may not have seen you.**

### Use all available eyes

If you normally fly with another pilot, establish crew procedures which ensure that an effective scan is maintained at all times. Otherwise, use passengers to help in looking for traffic you have been made aware of, while you monitor the movement of other aircraft. Remember, however, that the responsibility for avoiding collisions is **yours** and you must maintain your vigilance at all times.

### Scan

The **most important** item, of course, is to keep looking out where you are going and to watch for other traffic. **Make use of your scan constantly**.

b. Stick to good airmanship; if you keep yourself and your aircraft in good condition, and develop an effective scan time-sharing system, you will have the basic tools for avoiding a mid-air collision.

## 10. SUMMARY

- If you need glasses, carry any required spare pair.
- Clean the windshield and side windows (if either is badly scratched, have a new one fitted).
- If you are short or the aircraft has a high coaming, use a cushion.
- Beware of blind spots, move your head or manoeuvre the aircraft.
- Spend the minimum time with your head down checking the charts (or GPS) changing radio frequencies etc.
- The aircraft with little or no relative motion is the one which is hard to see – and the most hazardous.
- Aircraft below you may blend into the background of buildings etc.
- High intensity strobes can be useful on dull days.
- Use the radio to form a mental picture of what is going on. Don't rely solely on it – someone could be NON-RADIO eg a glider.
- Develop and use an effective scan pattern.
- Don't move the eyes continuously. Stop and give them a chance to SEE.
- The external scan should take much longer than your instrument scan.
- When you have spotted another aircraft, do not fix on it and forget the rest of the surroundings.
- Use landing lights in the circuit.
- Encourage your passengers to assist in the look-out.
- Report any AIRPROX (formerly Airmiss).

## COMPLACENCY IS THE ENEMY OF SAFETY

Other leaflets in this series:

- 1C *Good Airmanship Guide*
- 2B *Care of Passengers*
- 3C *Winter Flying*
- 5D *VFR Navigation*
- 6C *Aerodrome Sense*
- 7B *Aeroplane Performance*
- 8D *Air Traffic Services Outside Controlled Airspace*
- 9A *Weight and Balance*
- 10A *Bird Avoidance*
- 11 *Interception Procedures*
- 12C *Strip Sense*
- 14A *Piston Engine Icing*
- 15B *Wake Vortex*
- 16A *Balloon Airmanship Guide*
- 17B *Helicopter Airmanship*
- 18A *Military Low Flying*
- 19 *Aerobatics*
- 20A *VFR Flight Plans*
- 21A *Ditching*
- 22 *Radiotelephony*
- 23 *Pilots – it's your Decision*
- 24 *Pilot Health*

There is no restriction on photo-copying and extracts can be published provided the source is acknowledged.

This leaflet does not supersede or replace any formal documents.

If clubs, organisations or individuals wish to receive further copies, please write to Westward Documenta Limited, 37 Windsor Street, Cheltenham, Glos GL52 2DG. Fax No. 01242 584139. Telephone 01242 235151.

Suggestions and technical queries to SRG Safety Promotion Section, Aviation House, Gatwick Airport, West Sussex RH6 0YR. Telephone 01293 573225/7.

ISSN 0266-1519

© Civil Aviation Authority 2000

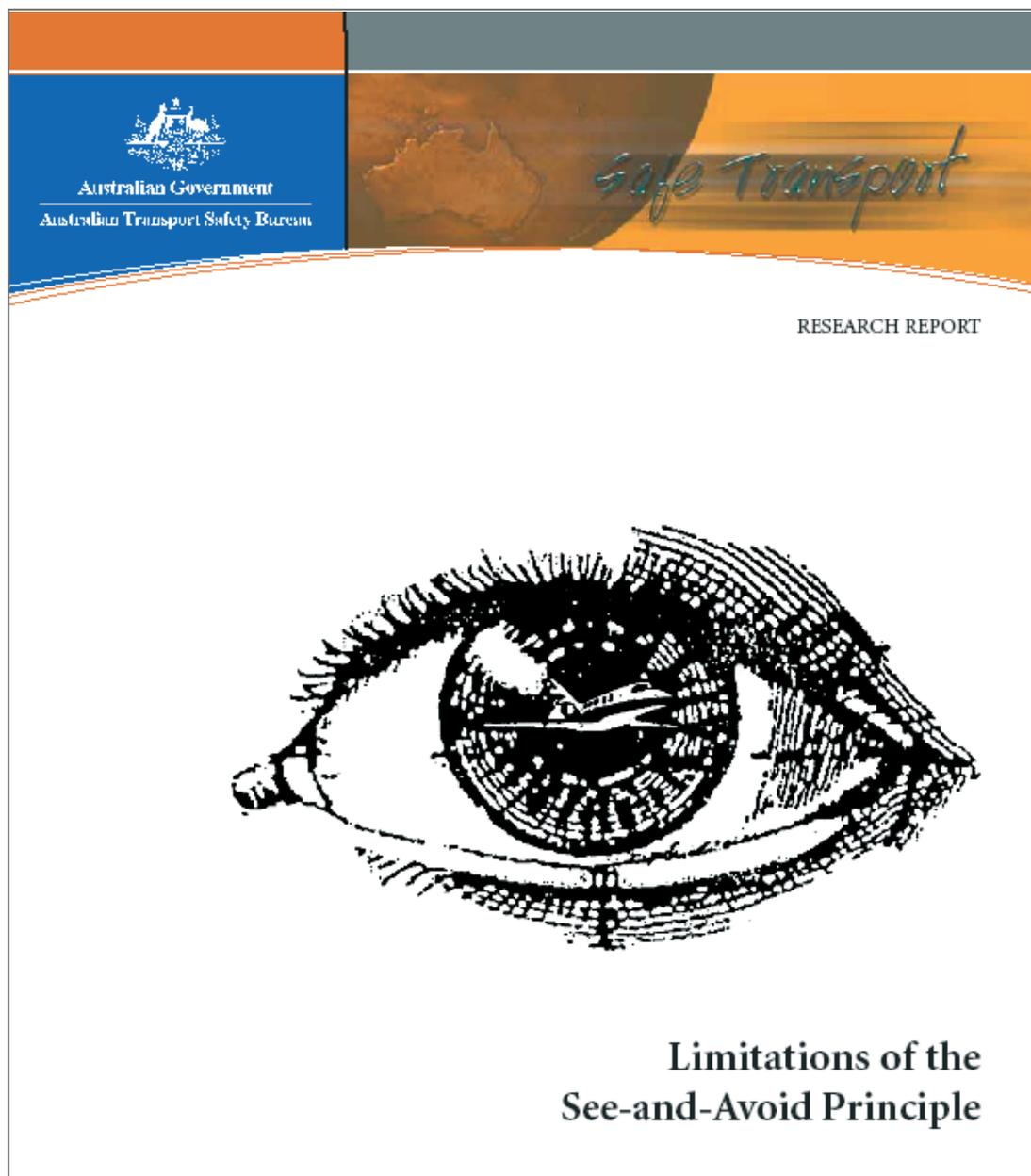
Prepared by the Safety Promotion Section and the Corporate Communications Department of the Civil Aviation Authority.

New leaflets will appear from time to time on a non-regular basis.



## annexe 4

# Etude australienne sur le concept « voir et éviter » (Bureau de la Sécurité des Transports)





**Australian Government**  
Australian Transport Safety Bureau

RESEARCH REPORT

## **Limitations of the See-and-Avoid Principle**

Released under the provisions of Section 19CU of Part 2A of the *Air Navigation Act 1920*.

ISBN 0 642 16089 9

April 1991  
Reprinted April 1991  
Reprinted November 2004

This report was produced by the Australian Transport Safety Bureau (ATSB), PO Box 967, Civic Square ACT 2608. Readers are advised that the ATSB investigates for the sole purpose of enhancing safety. Consequently, reports are confined to matters of safety significance and may be misleading if used for any other purpose.

As ATSB believes that safety information is of greatest value if it is passed on for the use of others, copyright restrictions do not apply to material printed in this report. Readers are encouraged to copy or reprint for further distribution, but should acknowledge ATSB as the source.

<b>CONTENTS</b>	v		
<b>PREFACE</b>	vii		
<b>SUMMARY</b>	1		
<b>1 INTRODUCTION</b>	1		
1.1 Role of See-and-Avoid	1		14
1.2 Potential for Mid-Air-Collisions	1		15
1.3 See-and-Avoid is an Important Safety System	2		16
1.4 See-and-Avoid is not 100 per cent Reliable	3		16
1.5 Seeing and Avoiding Involves a Number of Steps	5		18
<b>2 LIMITATIONS OF SEE-AND-AVOID</b>	5		18
2.1 Looking for Traffic	5		20
2.1.1 Workload	5		20
2.1.2 Crew numbers and workload	6		21
2.1.3 Glass cockpits and workload	6		21
2.1.4 Diffusion of responsibility	6		22
2.2 Visual Search	6		23
2.3 Obstructions and Available Field of View	8		25
2.3.1 Cockpit visibility	8		25
2.3.2 Obstructions	8		29
2.3.3 Glare	9		
2.4 Limitations of Visual Scan	9		
2.4.1 A traffic scan takes time	9		
2.4.2 Scan coverage	10		
2.5 Limitations of Vision	10		
2.5.1 Blind spot	10		
2.5.2 Threshold for acuity	10		
2.5.3 Accommodation	11		
2.5.4 Empty field myopia	12		
2.5.5 Focal traps	12		
2.6 Psychological Limitations	12		
2.6.1 Alerted search versus unalerted search	12		
2.6.2 Visual field narrowing	13		
2.6.3 Cockpit workload and visual field narrowing	14		
2.7 Target Characteristics	14		
2.7.1 Contrast with background	14		
2.7.2 Atmospheric effects	14		
2.7.3 Aircraft paint schemes			14
2.7.4 Lack of relative motion on collision course			15
2.7.5 An approaching aircraft presents a small visual angle			16
2.7.6 Effects of complex backgrounds			16
2.8 Anti-Collision Lighting			18
2.8.1 Effectiveness of Lights			18
2.8.2 Use of red lights			20
2.8.3 White lights superior to red			20
<b>3 EVASIVE ACTION</b>			<b>21</b>
Time Taken to Recognise Threat and Take Evasive Action			21
Evasive Manoeuvre May Increase Collision Risk			22
<b>4 CONCLUSIONS</b>			<b>23</b>
<b>5 RECOMMENDATIONS</b>			<b>25</b>
<b>6 REFERENCES</b>			<b>29</b>

## PREFACE

On the 20th May 1988 at approximately 1609 hours, a Cessna 172 collided with a Piper Tomahawk in the circuit area at Coolangatta, Queensland. The accident, in which four people died, occurred in conditions of good visibility.

This collision and others which occurred in the late 1980s drew attention to the deficiencies of the see-and-avoid concept.

The Coolangatta accident report stated that: 'As a result of this accident, the Bureau of Air Safety Investigation has undertaken to conduct an evaluation and prepare a report on the practicability of the see and be seen (see-and-avoid) principle in controlled and non-controlled airspace'. (BASI report 881/042).

This report, prepared in response to that undertaking, summarises the research relevant to unaltered see-and-avoid and is intended as a reference document for Civil Aviation Authority (CAA), Industry, and BASI personnel as well as a source of recommendations. The report does not analyse the Australian accident experience.

## SUMMARY

The see-and-avoid principle serves a number of important functions in the Australian air traffic system.

However, while it undoubtedly prevents many collisions, the principle is far from reliable. The limitations of the see-and-avoid concept demand attention because increases in air traffic may impose an accelerating level of strain on see-and-avoid and other aspects of the air traffic system.

Numerous limitations, including those of the human visual system, the demands of cockpit tasks, and various physical and environmental conditions combine to make see-and-avoid an uncertain method of traffic separation. This report provides an overview of the major factors which limit the effectiveness of unaltered see-and-avoid.

Cockpit workload and other factors reduce the time that pilots spend in traffic scans. However, even when pilots are looking out there is no guarantee that other aircraft will be sighted. Most cockpit windscreens severely limit the view available to the pilot. The available view is frequently interrupted by obstructions such as window-posts which totally obscure some parts of the view and make other areas visible to only one eye. Window-posts, windscreen crazing and dirt can act as 'focaltraps' and cause the pilot to involuntarily focus at a very short distance even when attempting to scan for traffic. Direct glare from the sun and veiling glare reflected from windscreens can effectively mask some areas of the view.

Visual scanning involves moving the eyes in order to bring successive areas of the visual field onto the small area of sharp vision in the centre of the eye. The process is frequently unsystematic and may leave large areas of the field of view unsearched. However, a thorough, systematic search is not a solution as in most cases it would take an impractical amount of time.

The physical limitations of the human eye are such that even the most careful search does not guarantee that traffic will be sighted. A significant proportion of the view may be masked by the blind spot in the eye, the eyes may focus at an inappropriate distance, due to the effect of obstructions as outlined above or due to empty field myopia/ in which, in the absence of visual cues/ the eyes focus at a resting distance of around half a metre. An object which is smaller than the eye's acuity threshold is unlikely to be detected and even less likely to be identified as an approaching aircraft.

The pilot's functional visual field contracts under conditions of stress or increased workload. The resulting 'tunnel vision' reduces the chance that an approaching aircraft will be seen in peripheral vision.

The human visual system is better at detecting moving targets than stationary targets, yet in most cases, an aircraft on a collision course appears as a stationary target in the pilot's visual field. The contrast between an aircraft and its background can be significantly reduced by atmospheric effects/ even in conditions of good visibility.

An approaching aircraft/ in many cases/ presents a very small visual angle until a short time before impact. In addition, complex backgrounds such as ground features or clouds hamper the identification of aircraft via a visual effect known as 'contour interaction'. This occurs when background contours interact with the form of the aircraft/ producing a less distinct image.

Even when an approaching aircraft has been sighted/ there is no guarantee that evasive action will be successful. It takes a significant amount of time to recognise and respond to a collision threat and an inappropriate evasive manoeuvre may serve to increase rather than decrease the chance of a collision.

Because of its many limitations/the see-and-avoid concept should not be expected to fulfil a significant role in future air traffic systems.

## 1 INTRODUCTION

### 1.1 Role of see-and-avoid

See-and-avoid serves three functions in Australian airspace:

1. Self-separation of aircraft outside controlled airspace
2. As a separation procedure for VFR aircraft in control zones, where the pilot is instructed to 'sight and avoid' or 'sight and follow' another aircraft as outlined in NOTAM C0311989  
This procedure only operates when the pilot can see the traffic and is therefore significantly different to other types of see-and-avoid which may involve unaltered searches for traffic.
3. Last resort separation if other methods fail to prevent a conflict, regardless of the nature of the airspace.

It is important to distinguish between unalerted and alerted see-and-avoid. In alerted see-and-avoid, the pilot of an aircraft in controlled airspace is assisted to sight the traffic and an important back up exists because positive control will be provided if the traffic cannot be sighted. Unalerted see-and-avoid on the other hand, presents a potentially greater safety risk because it relies entirely on the ability of the pilot to sight other aircraft. For these reasons, this report concentrates on unalerted see-and-avoid.

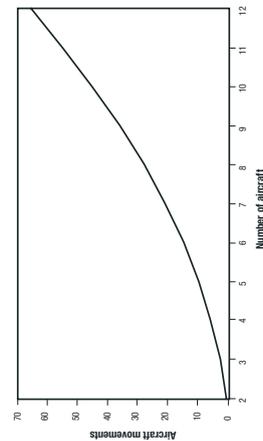
However, many of the problems of unalerted see-and-avoid apply equally to alerted see-and-avoid.

### 1.2 Potential for mid-air collisions

There have been relatively few mid-air collisions in Australia. However, there are reasons why the mid-air collision potential demands immediate attention.

At a time when aircraft movements are increasing, (Civil Aviation News September 1990) the probability of a mid-air collision in a given airspace grows faster than the traffic growth. One of the factors which determines the probability of a collision is the number of possible collision combinations in a particular airspace. The number of possible collision pairs is given by the formula:  $P = N \times (N-1)/2$  where N is the number of aircraft operating in a given airspace. For example, with only two aircraft there is only one possible collision pair, with five aircraft there

FIGURE 1:  
Number of possible collisions with increasing air traffic

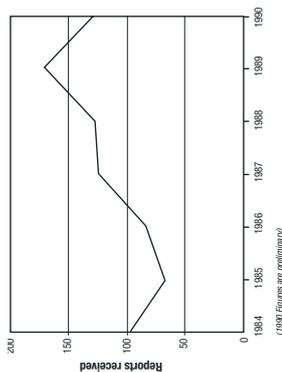


are ten possible pairs and with ten aircraft there are forty five. Figure 1 illustrates the increase in possible collisions which accompanies increasing traffic density.

Fortunately, the frequency of collisions has not increased as steeply as figure 1 would suggest because various safety systems have prevented the full expression of the collision potential. Air traffic services (ATS), flight rules and visual sighting are three such systems. As well as illustrating the increasing stress placed on the air traffic system by traffic growth, figure 1 also implies that the cost of traffic separation may follow an inverse 'economy of scale' rule.

In recent years there have been a number of mid-air collisions in Australia and an increase in reported breakdowns of separation (see figure 2). The actual number of separation breakdowns may be much higher as it is likely that many separation breakdowns are not officially reported.

**FIGURE 2.**  
Breakdowns in separation



### 1.3

#### **See-and-avoid is an important safety system**

The see-and-avoid principle is a significant feature of the Australian air traffic system. There is no doubt that safety features such as air traffic services and see-and-avoid prevent many collisions. It has been estimated that without ATIS and in the absence of any ability to see-and-avoid there would be thirty four times more mid-air collisions en route and eighty times more mid-airs in terminal areas (Machol 1979). However, although many collisions are averted by see-and-avoid, the concept is a flawed and unreliable method of collision avoidance.

### 1.4

#### **See-and-avoid is not 100 per cent reliable**

See-and-avoid has been described as a maritime concept originally developed for slow moving ships which is now out of place in an era of high speed aviation (Marthinsen 1989).

There is a growing case against reliance on see-and-avoid. A report released in 1970 concluded that although see-and-avoid was often effective at low closing speeds, it usually failed to avert collisions at higher speeds. It was estimated that see-and-avoid prevents 97 per cent of possible collisions at closing speeds of between 101 and 199 knots but only 47 per cent when the closing speed is greater than 400 knots (Graham and Orr 1970).

A 1975 FAA study concluded that although see-and-avoid was usually effective, the residual collision risk was unacceptable (Graham 1975). Accident investigations here and in the U.S. are

increasingly pointing to the limitations of see-and-avoid. The Americans, having recognised the limitations of the concept, are looking to other methods such as the automated airborne collision avoidance system (TCAS) to ensure traffic separation. TCAS equipment carried on board an aircraft will automatically provide information about any nearby transponder-equipped aircraft which pose a collision threat. It is planned that by the mid 1990s all large civil passenger aircraft operating in the U.S. will be fitted with this system.

Perhaps the most damning evidence against see-and-avoid comes from recent trials carried out by John Andrews in the United States which have confirmed that even motivated pilots frequently fail to sight conflicting traffic.

In one of these studies, twenty four general aviation pilots flew a Beech Bonanza on a VFR cross country flight. The pilots believed that they were participating in a study of workload management techniques. In addition to providing various information to a researcher on the progress of the flight, the pilots under study were required to call out any traffic sighted.

The pilots were not aware that their aircraft would be intercepted several times during the test by a Cessna 421 flying a near-collision course. The interceptions occurred when the Bonanza was established in cruise and the pilot's workload was low, however, the Bonanza pilots sighted the traffic on only thirty six out of sixty four encounters - or 56 per cent (Andrews 1977, 1984, 1987).

### 1.5

#### **Seeing and avoiding involves a number of steps**

See-and-avoid can be considered to involve a number of steps. First, and most obviously, the pilot must look outside the aircraft.

Second, the pilot must search the available visual field and detect objects of interest, most likely in peripheral vision.

Next, the object must be looked at directly to be identified as an aircraft. If the aircraft is identified as a collision threat, the pilot must decide what evasive action to take. Finally, the pilot must make the necessary control movements and allow the aircraft to respond.

Not only does the whole process take valuable time, but human factors at various stages in the process can reduce the chance that a threat aircraft will be seen and successfully evaded. These human factors are - not errors' nor are they signs of 'poor airmanship'. They are limitations of the human visual and information processing system which are present to various degrees in all pilots.

This report documents the known limitations of the see-and-avoid concept and outlines some possible solutions.

#### **CAPR Report Number 1158**

On return to Parafield via Dublin and the Lane of Entry, I encouraged two Tobagos (or Trinidads) travelling north. The first was at my eye level (1500 ft) and on a precise collision course. I waggled my wings and turned on my landing light as he got closer, then descended to 1300 ft and looked up as he went straight overhead. Five minutes later the second aircraft went by, also at 1500 ft. The frightening thing is that I am sure the pilots did not see me, as neither waved his wings in answer, turned on his lights or changed heading or height. Whatever happened to see-and-avoid especially in a Lane of Entry?

## 2 LIMITATIONS OF SEE-AND-AVOID

### 2.1 Looking for traffic

Obviously, see-and-avoid can only operate when the pilot is looking outside the cockpit. According to a U.S. study, private pilots on VFR flights spend about 50 per cent of their time in outside traffic scan (Suzler and Skelton 1976).

Airline pilots may possibly scan less than this. In the late 1960s it was estimated that American airline pilots spent about 20 per cent of their time in outside scan (Orlady 1969). Although this is an old figure it gives a rough idea of the likely amount of scanning by Australian pilots in the 1990s.

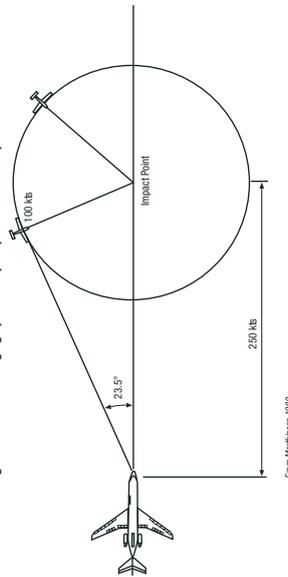
The time spent scanning for traffic is likely to vary with traffic density and the pilot's assessment of the collision risk. In addition, factors such as cockpit workload and the ATIS environment can influence traffic scanning.

### 2.1.1

#### Workload

Many tasks require the pilot to direct attention inside the aircraft. Cockpit workload is likely to be high near airports where traffic is most dense and where an outside scan is particularly crucial. Most of these cockpit tasks are essential, however some of the workload is less critical and could be performed at other times. It is a common complaint of pilots that air traffic services frequently impose unnecessary tasks in terminal areas.

FIGURE 3: Illustration showing two aircraft converging upon an impact point at different points



From Marchese 1989

In the case illustrated, two aircraft are converging upon an impact point at different speeds. The faster aircraft is travelling two and a half times faster than the slower aircraft. As a result of this, the faster aircraft will always have a slower aircraft in front of it. At all times leading up to the collision, any slower aircraft with which the faster aircraft will collide will appear at a point relatively close to the centre of the faster aircraft's scan. However, the faster aircraft will appear from any angle, even from a part of the sky not visible in the windscreen.

### 2.1.2

#### Crew numbers and workload

The widespread introduction of flight deck automation has meant that modern airliners are now frequently flown by only two crew-members. However, automation has not reduced the need for pilots to be vigilant for other air traffic and compared to twenty years ago, the average airliner now has fewer crew looking for more traffic. It has been suggested, sometimes as part of industrial campaigns, that two-crew aircraft have been involved in a disproportionate number of mid-air collisions (Marthinsen 1989). However, it is doubtful that any firm evidence would support this view.

### 2.1.3

#### Glass cockpits and workload

A recent survey (Weiner 1989) suggests that pilots of advanced 'glass cockpit' airliners are spending more time 'heads down', particularly at low altitudes as they interact with the flight management computers which were introduced to reduce workload. Yet there are reasons why in some circumstances, the pilot of a fast airliner has a better chance of detecting a conflicting slow aircraft than vice versa (see figure 3).

### 2.1.4

#### Diffusion of responsibility

Diffusion of responsibility occurs when responsibility for action is divided between several individuals with the result that each assumes that somebody else is taking the necessary action. Diffusion of responsibility has been a factor in a number of serious aviation accidents, for example the 1972 accident involving an L1011 in the Florida Everglades.

A frequent criticism of the see-and-avoid principle is that pilots flying in controlled airspace relax their traffic scans in the assumption that Air Traffic Control (ATC) will ensure separation. Yet as the Australian experience shows, mid-air collisions and near collisions can and do occur in controlled airspace. An analysis of U.S. Near Mid-Air Collisions (NMACs) showed that the great majority of reported NMACs occurred in controlled airspace (Right Safety Digest December 1989).

Diffusion of responsibility has been suggested as a contributing factor in a number of overseas mid-air collisions, for example the collision of a Cessna 340A and a North American SNI-4N at Orlando Florida May 1 1987 (NTSB Report 88/02). Pilot complacency when under air traffic control was also identified as a problem by a 1980 NASA report (Billings, Grayson, Hetch and Curry 1980).

At present, there is no reliable information on the amount of scanning done by Australian pilots in controlled airspace and outside controlled airspace.

### 2.2

#### Visual search

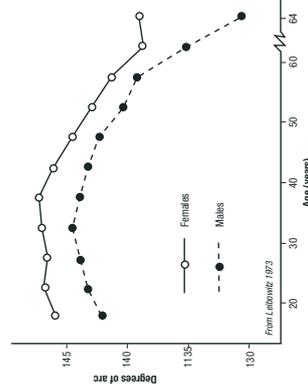
The average person has a field of vision of around 190 degrees, although field of vision varies from person to person and is generally greater for females than males (Leibowitz 1973). The field of vision begins to contract after about age 35.

In males, this reduction accelerates markedly after 55 years of age (see figure 4).

A number of transient physical and psychological conditions can cause the effective field of vision to contract even further. These will be discussed at a later point.

The quality of vision varies across the visual field, largely in accord with the distribution on the retina of the two types of light sensitive cells, rods and cones. Cones provide sharp vision and colour perception in daylight illumination and are concentrated at the fovea, the central part of

**FIGURE 4:**  
Right eye visual field for males and females

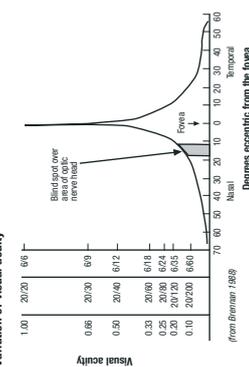


the retina on which an object appears if it is looked at directly. Rods are situated on the remainder of the retina surrounding the fovea on an area known as the peripheral retina. Although rods provide a black and white image of the visual field, they continue to operate at low light levels when the cones have ceased to function.

Vision can be considered to consist of two distinct systems, peripheral and foveal vision. Some important differences between the two systems are that colour perception and the detection of slow movement are best at the fovea, while detection of rapid movement is best in the periphery. In daylight, acuity (sharpness of vision) is greatest at the fovea, but with low light levels such as twilight, acuity is fairly equal across the whole retina. At night, acuity is greatest in the peripheral retina.

As figure 5 shows, acuity is dramatically reduced away from the direct line of sight, therefore a pilot must look at or near a target to have a good chance of detecting it.

**FIGURE 5:**  
Variation of visual acuity



The variation of visual acuity (expressed as decimal, British and USA notation) at retinal sites eccentric to the fovea. The acuity at 5-degree eccentricity on the fovea is only one-quarter that at the fovea.

Peripheral and foveal vision each perform different functions in the search process. An object will generally be first detected in peripheral vision but must be fixated on the fovea before identification can occur.

Searching for traffic involves moving the point of gaze about the field of view so that successive areas of the scene fall onto the high-acuity area of the retina.

The eye movements in a traffic search occur in rapid jerks called saccades interspersed with brief rests called fixations. We only see during the fixations, being effectively 'blind' during the saccades. It is not possible to move the eyes smoothly across a view unless a moving object is being tracked.

A number of factors can limit the effectiveness of visual searches.

## 2.3 Obstructions and available field of view

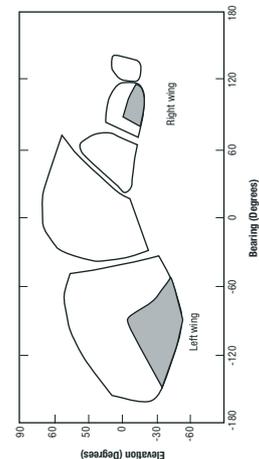
### 2.3.1 Cockpit visibility

Most aircraft cockpits severely limit the field of view available to the pilot. Figure 6 illustrates the limited cockpit visibility from a typical general aviation aircraft which because of its relatively slow speed, can be approached from any direction by a faster aircraft (figure 3). Visibility is most restricted on the side of the aircraft furthest away from the pilot and consequently, aircraft approaching from the right will pose a particular threat to a pilot in the left seat.

### 2.3.2 Obstructions

Obstructions to vision can include window-posts, windscreen bug splatter, sunvisors, wings and front seat occupants. The instrument panel itself may obstruct vision if the pilot's head is significantly lower than the standard eye position specified by the aircraft designers. The effects of obstructions on vision are in most cases self-evident. However there are some less obvious forms of visual interference.

**FIGURE 6:**  
Limited cockpit visibility from a typical general aviation aircraft



In response to the Zagreb mid-air collision of 1976, Stanley Roscoe investigated the effects of cabin window-posts on the visibility of contrails (Roscoe and Hull 1982). Two significant effects were described:

First, an obstruction wider than the distance between the eyes will not only mask some of the view completely, but will result in certain areas of the outside world being visible to only one eye. A target which falls within such a region of monocular visibility is less likely to be detected than a similar target visible to both eyes.

A second undesirable effect of a window-post or similar obstruction is that it can act as a focal trap for the eyes, drawing the point of focus inwards, resulting not only in blurred vision but distorted size and distance perception. This effect is dealt with in more detail in a later section.

The findings of Roscoe and Hull have recently been replicated by Chong and Triggs (1989).

#### CAIR Report Number 1034

While on downwind, a PA28 joined the circuit on a distorted crosswind in such a position that he should have joined behind us, but instead he turned early and flew a closed downwind leg, we moved out and slowed down to give separation, my student then continued a normal circuit. Meanwhile the PA28 extended his downwind to the extent that when he was on a long final, we were once again on a collision course, we manoeuvred behind him. Even though the circuit was irregular, the main concern is that the instructor was resting his head on his hand, with his elbow on the window sill, probably blocking his student's vision.

While they and us were on a parallel downwind legs I had a good view of the instructor's head. There is no way the instructor would have seen our C150. In fact I wonder if they saw us at all?

In my opinion, any occupant of the right seat should be instructed by the pilot to keep a look out, particularly in the circuit area. It is not the first time I have seen instructors joining a circuit to a number of touch and go's and disappear into the wild blue yonder without as much as lifting the head from its rest.

#### 2.3.3 Glare

Glare occurs when unwanted light enters the eye. Glare can come directly from the light source or can take the form of veiling glare, reflected from crazing or dirt on the windshield.

Direct glare is a particular problem when it occurs close to the target object such as when an aircraft appears near the sun. It has been claimed that glare which is half as intense as the general illumination can produce a 4.2 per cent reduction in visual effectiveness when it is 40 degrees from the line of sight.

When the glare source is 5 degrees from the line of sight, visual effectiveness is reduced by 84 per cent (Hawkins 1987). In general, older pilots will be more sensitive to glare.

#### 2.4 Limitations of visual scan

##### 2.4.1 A traffic scan takes time

The individual eye movements associated with visual search take a small but significant amount of time.

At most, the eyes can make about three fixations per second (White 1964) however, when scanning a complex scene pilots will typically spend more time on each fixation.

FAA Advisory Circular 90-48 C recommends scanning the entire visual field outside the cockpit with eye movements of ten degrees or less to ensure detection of conflicting traffic. The FAA estimates that around one second is required at each fixation. So to scan an area 180 degrees horizontal and thirty degrees vertical could take fifty four fixations at one second each = 54 seconds. Not only is this an impracticable task for most pilots, but the scene would have changed before the pilot had finished the scan.

Harris (1979) presents even more pessimistic hypothetical calculations. He estimates that under certain conditions, the search of an area 180 degrees by thirty degrees would require 2700 individual fixations and take around fifteen minutes!

##### 2.4.2 Scan coverage

Visual scans tend to be unsystematic, with some areas of the visual field receiving close attention while other areas are neglected. An observer looking for a target is unlikely to scan the scene in a systematic grid fashion (Snyder 1973). Areas of sky near the edges of windcreens are generally scanned less than the sky in the centre (White 1964) and saccades may be too large, leaving large areas of unsearched space between fixation points.

#### 2.5 Limitations of vision

##### 2.5.1 Blind spot

The eye has an inbuilt blind-spot at the point where the optic nerve exits the eyeball. Under normal conditions of binocular vision the blind spot is not a problem as the area of the visual field falling on the blind spot of one eye will still be visible to the other eye. However, if the view from one eye is obstructed (for example by a window post), then objects in the blind spot of the remaining eye will be invisible. Bearing in mind that an aircraft on a collision course appears stationary in the visual field, the blind spot could potentially mask a conflicting aircraft.

The blind spot covers a visual angle of 7.5 degrees vertical and 5 degrees horizontal (Westheimer 1986).

At a distance of around 40 centimetres the obscured region is about the size of a twenty cent coin.

The obscured area expands to around 18 metres in diameter at a distance of 200 metres, enough to obscure a small plane.

The blind spot in the eye must be considered as a potential, albeit unlikely accident factor. It should be a particular concern in cases where vision is severely limited by obstructions such as window-posts, wings or visors.

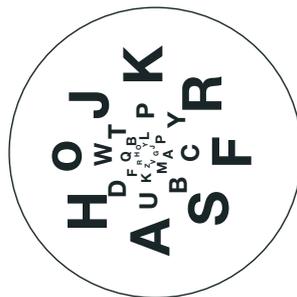
##### 2.5.2 Threshold for acuity

There are times when an approaching aircraft will be too small to be seen because it is below the eye's threshold of acuity.

The limits of vision as defined by eye charts are of little assistance in the real world where targets frequently appear in the corner of the eye and where acuity can be reduced by factors such as vibration, fatigue and hypoxia (Welford 1976, Yoder and Moser 1976). Certain types of sunglasses can also significantly reduce acuity (Dully 1990).

There have been attempts to specify how large the retinal image of an aircraft must be before it is identifiable as an aircraft. For example, the NTSB report into a mid-air collision at Salt Lake City suggested a threshold of twelve minutes of arc whereas a figure of between twenty four and thirty six minutes of arc has been suggested as a realistic threshold in sub-optimal conditions. Unfortunately it is not possible to state how large a target must be before it becomes visible to a pilot with normal vision because visual acuity varies dramatically across the retina. Figure 7 illustrates how poor vision can be away from the direct line of sight.

**FIGURE 7:**  
Chart showing how visual acuity varies across the retina



All the letters in the chart should be equally readable when the centre of the chart is fixated (Anstis 1986). It must be remembered that in most cases, an aircraft will be first noticed in peripheral vision.

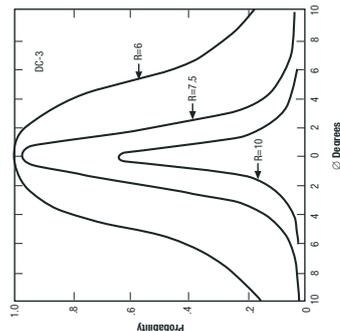
An effective way to visualise the performance of the eye in a visual detection task is with a visual detection lobe such as figure 8 which shows the probability of detecting a DC3 at various ranges and at various degrees away from the line of sight (Harris 1973). The figure illustrates that the probability of detection decreases sharply as the aircraft appears further away from the direct line of sight.

**2.5.3 Accommodation**

Accommodation is the process of focussing on an object. Whereas a camera is focussed by moving the lens, the human eye is brought into focus by muscle movements which change the shape of the eye's lens.

A young person will typically require about one second to accommodate to a stimulus (Westheimer 1986), however the speed and degree of accommodation decreases with age. The average pilot probably takes several seconds to accommodate to a distant object. Shifting the focus of the eyes, like all muscular processes can be affected by fatigue.

**FIGURE 8:**  
Detecting a DC3 aircraft at various ranges and at various degrees away from the line of sight



**2.5.4 Empty field myopia**

In the absence of visual cues, the eye will focus at a relatively short distance. In the dark the eye focuses at around 50 cm. In an empty field such as blue sky, the eye will focus at around 56 cm (Roscoe and Hull 1982). This effect is known as empty field myopia and can reduce the chance of identifying a distant object.

Because the natural focus point (or dark focus) is around half a metre away, it requires an effort to focus at greater distances, particularly in the absence of visual cues. However, the ability to accommodate to greater distances can be improved by training (Roscoe and Couchman 1987).

**2.5.5 Focal traps**

The presence of objects close to the eye's dark focus can result in a phenomenon known as the Mandelbaum effect, in which the eye is involuntarily 'trapped' at its dark focus, making it difficult to see distant objects. Window-posts and dirty windscreens are particularly likely to produce the Mandelbaum effect.

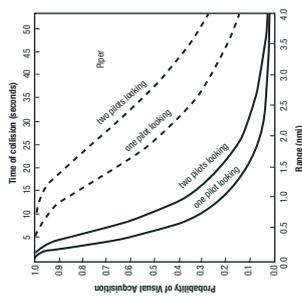
**2.6 Psychological limitations**

**2.6.1 Alerted search versus unalerted search**

A traffic search in the absence of traffic information is less likely to be successful than a search where traffic information has been provided because knowing where to look greatly increases the chance of sighting the traffic (Edwards and Harris 1972). Field trials conducted by John Andrews found that in the absence of a traffic alert, the probability of a pilot sighting a threat aircraft is generally low until a short time before impact. Traffic alerts were found to increase search effectiveness by a factor of eight. A traffic alert from ATIS or from a radio listening watch is likely to be similarly effective (Andrews 1977, Andrews 1984, Andrews 1987).

A mathematical model of visual acquisition developed by Andrews was applied by the NTSB to the Cerritos collision between a DC9 and a Piper PA28. Figure 9 shows the estimated probability that the pilots in one aircraft could have seen the other aircraft before the collision.

**FIGURE 9:**  
Estimated probability of visual acquisition



## 2.6.2

### Visual field narrowing

An observer's functional field of vision can vary significantly from one circumstance to another (e.g. Leibowitz 1973, Baddeley 1972, Mackworth 1965). For example, although a comfortable and alert pilot may be able to easily detect objects in the 'corner of the eye', the imposition of a moderate workload, fatigue or stress will induce 'tunnel vision'. It is as though busy pilots are unknowingly wearing blinkers.

Visual field narrowing has also been observed under conditions of hypoxia and adverse thermal conditions (Leibowitz 1973). However, in aviation, cockpit workload is likely to be the most common cause of visual field narrowing.

#### CAIR Report Number 1037

I was tracking north along the coast at 1000 ft, flying NOSAR no details. I was looking down at houses below when a shout from a passenger alerted me to an on-coming C172 or C182 on a collision course.

The other aircraft was tracking coastal on a southerly heading at the same height. We both banked sharply right and probably passed with less than fifty metres between us. Had we not sighted each other, a collision of some sort would have been a certainty. The passenger claims he heard the engine noise of the other aircraft as it shot past. Lack of vigilance on my part certainly contributed.

## 2.6.3

### Cockpit workload and visual field narrowing

The limited mental processing capacity of the human operator can present problems when there is a requirement to fully attend to two sources of information at the same time. An additional task such as radio work, performed during a traffic scan can reduce the effectiveness of the search, even to the extent of reducing the pilot's eye movements and effectively narrowing the field of view.

A number of researchers have shown that peripheral stimuli are more difficult to detect when attention is focussed on a central task (e.g. Leibowitz and Apelle 1969, Gausson and Peters 1965) or an auditory task (e.g. Webster and Haerud 1964).

Experiments conducted at NASA indicated that a concurrent task could reduce pilot eye movements by up to 60 per cent. The most difficult secondary tasks resulted in the greatest restriction of eye movements (Randle and Malmstrom 1982).

Talking, mental calculation and even daydreaming can all occupy mental processing capacity and reduce the effective field of vision.

## 2.7

### Target Characteristics

#### 2.7.1 Contrast with background

In determining visibility, the colour of an aircraft is less important than the contrast of the aircraft with its background. Contrast is the difference between the brightness of a target and the brightness of its background and is one of the major determinants of detectability (Andrews 1977, Duntley 1964). The paint scheme which will maximise the contrast of the aircraft with its background depends of course, upon the luminance of the background. A dark aircraft will be seen best against a light background, such as bright sky, while a light coloured aircraft will be most conspicuous against a dull background such as a forest.

## 2.7.2

### Atmospheric effects

Contrast is reduced when the small particles in haze or fog scatter light. Not only is some light scattered away from the observer but some light from the aircraft is scattered so that it appears to originate from the background, while light from the background is scattered onto the eye's image of the aircraft.

Even in conditions of good visibility, contrast can still be severely reduced (Harris 1979).

Figure 10 graphs the amount of contrast reduction when visibility is five nautical miles. The graph illustrates that even at distances less than five miles, contrast can be greatly reduced.

## 2.7.3

### Aircraft paint schemes

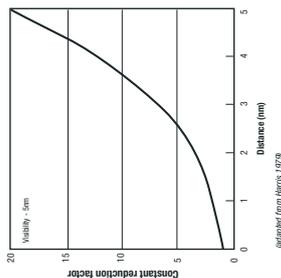
From time to time, fluorescent paint has been suggested as a solution to the contrast problem (Federman and Siegel 1973). However, several trials have concluded that fluorescent painted aircraft are not easier to detect than aircraft painted in nonfluorescent colours (Graham 1989).

Trials of aircraft detection carried out in 1961 indicated that in 80 per cent of first detections, the aircraft was darker than its background (Graham 1989). Thus a major problem with bright or fluorescent aircraft is that against a typical, light background, the increased luminance of the aircraft would only serve to reduce contrast.

In summary, particularly poor contrast between an aircraft and its background can be expected when:

- A light coloured aircraft appears against a light background
- A dark aircraft appears against a dark background
- The background luminance is low
- Atmospheric haze is present

**FIGURE 10:**  
Contrast reduction with distance



**2.7.4**

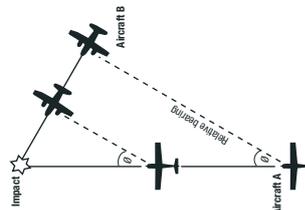
**Lack of relative motion on collision course**

The human visual system is particularly attuned to detecting movement but is less effective at detecting stationary objects. Unfortunately, because of the geometry of collision flightpaths, an aircraft on a collision course will usually appear to be a stationary object in the pilot's visual field.

If two aircraft are converging on a point of impact on straight flightpaths at constant speeds, then the bearings of each aircraft from the other will remain constant up to the point of collision (see figure 11).

From each pilot's point of view, the converging aircraft will grow in size while remaining fixed at a particular point in his or her windscreens.

**FIGURE 11:**  
Lack of relative motion on collision course



**2.7.5**

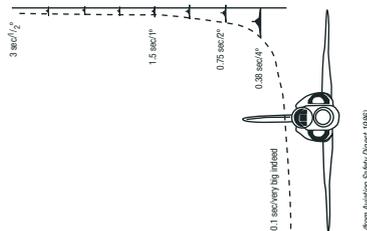
**An approaching aircraft presents a small visual angle**

An approaching high-speed aircraft will present a small visual angle until a short time before impact. The following diagram illustrates the case of a GA aircraft approaching a military jet where the closing speed is 600 knots.

Not all situations will be this severe, first because only about one quarter of encounters are likely to be head-on (Flight Safety Digest 1989) and second because many encounters involve slower aircraft.

Given the limitations to visual acuity, the small visual angle of an approaching aircraft may make it impossible for a pilot to detect the aircraft in time to take evasive action. Furthermore, if only the fuselage is used to calculate the visual angle presented by an approaching aircraft, i.e. wings are considered to be invisible, then the aircraft must approach even closer before it presents a target of a detectable size (S teenblik 1988).

**FIGURE 12:**  
Time to impact and angular size of oncoming aircraft



**2.7.6**

**Effects of complex backgrounds**

Much of the information on human vision has come from laboratory studies using eye charts or figures set against clear 'uncluttered' backgrounds. Yet a pilot looking out for traffic has a much more difficult task because aircraft usually appear against complex backgrounds of clouds or terrain.

It is likely that an aircraft will be noticed first in peripheral vision but only identified when fixated on the fovea. In such a situation, peripheral vision will pick up objects everywhere, some of which may be conflicting aircraft.

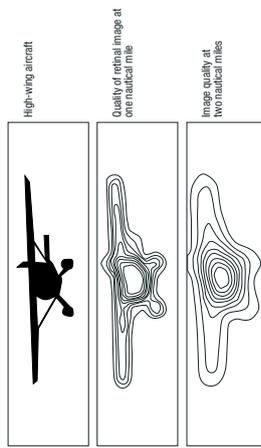
The pilot is faced with the complex task of extracting the figure of an aircraft from its background. In other words, the pilot must detect the contour between the aircraft and background.

Contours are very important to the visual system. The eye is particularly attuned to detecting borders between objects and in the absence of contours, the visual system rapidly loses efficiency.

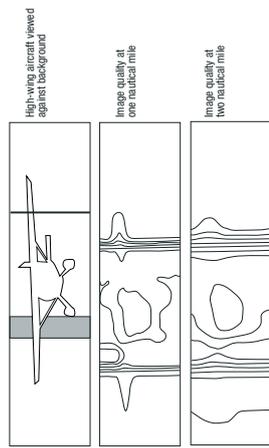
A finding of great importance to the visual detection of aircraft is that target identification is hampered by the close proximity of other objects (Wolford & Chambers 1984). A major cause of this interference is 'contour interaction' in which the outline of a target interacts with the contours present in the background or in neighbouring objects. Camouflage works of course, because it breaks-up contours and increases contour interaction. Contour interaction is most likely to be a problem at lower altitudes, where aircraft appear against complex backgrounds.

Contour interaction occurs in both foveal and peripheral vision but is a more serious problem in peripheral vision (Booma 1970, Jacobs 1979). Harris (1979) has highlighted the problem of contour interaction in aviation. Figures 13 and 14 illustrate the possible consequences of contour interaction on the received image of an aircraft.

**FIGURE 13:**  
The effect of background contours on aircraft recognition with no background



**FIGURE 14:**  
The effect of background contours on aircraft recognition with background contours



## 2.8

### 2.8.1

#### Anti-Collision Lighting

##### Effectiveness of lights

There have been frequent suggestions that the fitting of white strobe lights to aircraft can help prevent collisions in daylight. At various times BASI and the NTSB have each recommended the fitting of white strobe anticollision lights.

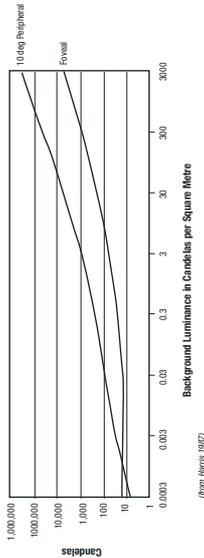
Unfortunately, the available evidence does not support the use of lights in daylight conditions. The visibility of a light largely depends on the luminance of the background and typical daylight illumination is generally sufficient to overwhelm even powerful strobes. Some typical figures of background luminance are:

Background	Candelas per Square Metre
<b>Sky</b>	
Clear day	3000.00
Overcast day	300.00
Very dark day	30.00
Twilight	3.00
Clear moonlit night	0.03
<b>Ground</b>	
Snow, full sunlight	16000.00
On sunny day	3000.00
On overcast day (approx.)	30.00 to 100.00

(From IES Lighting Handbook, page 325)  
\* A candela is approximately equal to a candlepower

In theory, to be visible at three nautical miles on a very dark day, a strobe light must have an effective intensity of around 5000 candelas (see figure 15). In full daylight, the strobe must have an effective intensity greater than 100,000 candelas (Harris 1987). Most existing aircraft strobes have effective intensities of between 100 and 400 candelas.

**FIGURE 15:**  
Required effective intensity in candelas



Field trials have generally confirmed the ineffectiveness of strobes in daylight. The following U.S. military trials are outlined in a US Air Force report (Schmidlapp 1977).

1. In 1958 the USAF Air Training Command conducted flight tests to compare strobe anti-collision lights with rotating beacons. It was concluded that in daylight conditions, no lighting system could be expected to prevent collisions.
2. Further tests in 1958 at the U.S. Air Force's Wright-Patterson Base again found that strobe lights were ineffective in daylight.
3. A major U.S. Army study was conducted in 1970 in which observers on a hilltop were required to sight approaching helicopters equipped either with strobes of 1800, 2300 or 3300 effective candlea or a standard red rotating beacon. It was found that none of the lights were effective against a background of daytime sky, however strobes were helpful when the aircraft was viewed against the ground.
4. U.S. Air Force tests in 1976 found extremely poor performance of strobe lights on aircraft. In all cases, the aircraft was sighted before the strobe. In addition, it was found that after two years service on aircraft, strobe lights were about half as intense as expected.
5. Extensive trials in 1977 by the US Air Force Aeronautical Systems Division used strobes fitted on a tower and observers at various distances and viewing angles. The results indicated that in daylight, even a strobe of 36000 candlea was not particularly conspicuous. However, strobes were more visible when the background illumination was less than 30 candlea per square metre, equivalent to a very dark day.

FAA studies have also concluded that there is no support for the use of strobes in daylight. A 1989 FAA study of the effectiveness of see-and-avoid concluded that Aircraft colours or lights play no significant role in first directing a pilot's attention to the other aircraft during daytime' (Graham 1989).

An earlier FAA study considered that there was 'little hope that lights can be made bright enough to be of any practical value in daylight' (Rowland and Silver 1972). A major FAA review of the aircraft exterior lighting literature concluded that 'During daytime, the brightest practical light is less conspicuous than the aircraft, unless there is low luminance of background...' (Burnstein and Fisher 1977).

In conclusion, while strobes are not likely to be helpful against bright sky backgrounds, they may make aircraft more visible against terrain or in conditions of low light.

## 2.6.2

### Use of red lights

Until 1985, the then Australian Air Navigation Regulation 181 required aircraft to display a red flashing anticollision light. After 1985, the requirement was changed to allow either a red or white light or both.

The use of red warning lights in transport has a long history. Red lights have been used in maritime applications since the days of sail and red became the standard colour for danger on railways. An 1841 convention of British railwaymen decided that white should represent safety, red danger and green caution (Ceratthewohl, Morris and Sirkis 1970).

It is likely that the widespread use of red as a warning colour in aviation has come about more because of common practice than any particular advantages of that colour.

## 2.8.3

### White lights superior to red

There are reasons why red is not the best colour for warning lights. Humans are relatively insensitive to red (Lebowitz 1988) particularly in the periphery (Knowles-Middleton and Wyzecki 1960).

About 2 per cent of males suffer from protan colour vision deficiency and are less sensitive to red light than people with normal vision. A protan is likely to perceive a red light as either dark brown, dark green or dark grey (Clarke undated).

Any colour involving a filter over the bulb reduces the intensity of the light and field trials have shown that intensity is the main variable affecting the conspicuity of warning lights (Connors 1975). Given a fixed electrical input, the highest intensities are achieved with an unfiltered white lamp. In a comparison of commercially available warning lights, white strobes were found to be the most conspicuous (Howett 1979).

If an aircraft does carry an anticollision light, then it should be an unfiltered white light rather than a red light.

#### Cairn Report Number 1133

I was given clearance by MC TMRP to track 1000 coastal and report abeam the airfield. While I was concentrating on looking at airfield to give my position report, I saw another aircraft straight ahead. Fortunately, I was able to make a sharp left turn to avoid a collision. The plane approached out of nowhere and my forward vision was only relaxed for thirty seconds. I was given no warning of this plane by ATC and was complying with instructions I don't know if the plane was doing circuits at MC or was transiting the zone.

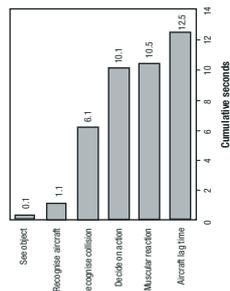
### 3 EVASIVE ACTION

The previous pages have dealt with the 'see' phase of see-and-avoid. However, it should not be assumed that successful avoiding action is guaranteed once a threat aircraft has been sighted.

#### 3.1 Time required to recognise threat and take evasive action

FAA advisory circular 90-48-C provides military-derived data on the time required for a pilot to recognise an approaching aircraft and execute an evasive manoeuvre. The calculations do not include search times but assume that the target has been detected. The total time to recognise an approaching aircraft, recognise a collision course, decide on action, execute the control movement and allow the aircraft to respond is estimated to be around 12.5 seconds (see figure 16).

FIGURE 16:  
Time to react to collision threat from FAA advisory circular



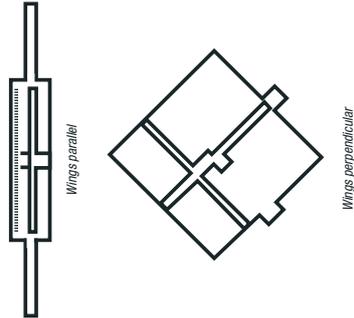
Therefore to have a good chance of avoiding a collision, a conflicting aircraft must be detected at least 12.5 seconds prior to the time of impact. However, as individuals differ in their response time, the reaction time for older or less experienced pilots is likely to be greater than 12.5 seconds.

#### 3.2

#### Evasive manoeuvre may increase collision risk

James Harris in his paper *Avoid, the unanalysed partner of see* focuses attention on the 'avoid' side of seeing and avoiding (Harris 1983). He stresses that an incorrect evasive manoeuvre may cause rather than prevent a collision. For example, in a head-on encounter, a bank may increase the risk of a collision. Figure 17 illustrates this. In the top diagram, two (stylised) high-wing aircraft are approaching head-on with wings parallel. There is a limited number of ways in which the aircraft can collide if they maintain a wings-level attitude, and the area in which the two aircraft can contact or the 'collision cross-section' is relatively small. However, if the pilots bank shortly before impact, as in the lower diagram, so that the aircraft approach each other with wings perpendicular, then there is a much larger collision cross section and consequently, a higher probability of a collision. This is not to suggest that banks are always inappropriate evasive manoeuvres, but that in some cases, evasive action can be unsuccessful or even counterproductive. At least one foreign airline accident has been attributed to an unnecessary evasive manoeuvre (Civil Aeronautics Board 1966).

FIGURE 17:  
Collision cross-sections



## 4 CONCLUSIONS

The see-and-avoid principle in the absence of traffic alerts is subject to serious limitations. It is likely that the historically small number of mid-air collisions has been in a large part due to low traffic density and chance as much as the successful operation of see-and-avoid.

Unalerted see-and-avoid has a limited place as a last resort means of traffic separation at low closing speeds but is not sufficiently reliable to warrant a greater role in the air traffic system. BASI considers that see-and-avoid is completely unsuitable as a primary traffic separation method for scheduled services.

Many of the limitations of see-and-avoid are associated with physical limits to human perception, however there is some scope to improve the effectiveness of see-and-avoid in other areas.

Although strobes cannot increase the visibility of an aircraft against bright sky, it is likely that high intensity white strobes would increase the conspicuity of aircraft against a dark sky or ground. There is no evidence that low intensity red rotating beacons are effective as anticollision lights in daytime.

Pilots and ATS personnel should be made aware of the limitations of the see-and-avoid procedure, particularly the psychological factors which can reduce a pilot's effective visual field. Pilots may be trained to scan more effectively and to accommodate to an appropriate distance when searching for traffic. Simply ensuring that the windscreen is clean and uncracked will greatly increase the chance of sighting traffic.

There are important questions about the operation of see-and-avoid which can be answered by future BASI research. These include the question of how frequently Australian pilots scan for traffic and whether they scan significantly less in controlled airspace due to an over-reliance on ATS. The traffic scan training received by student pilots should be assessed. The visibility from aircraft should also be examined, with particular reference to windows and cabin obstructions.

The most effective response to the many flaws of see-and-avoid is to minimise the reliance on see-and-avoid in Australian airspace.

## 5 RECOMMENDATIONS

The following recommendations were issued as part of the BASI Research Report - 'Limitations of the See-and-Avoid Principle', 1991. At the time of the issue of that report the six recommendations were not assigned formal recommendation numbers. To facilitate publication of the recommendations and the responses to them, they have been entered into the OASIS database. As a result, the recommendation numbers assigned to them do not reflect the actual recommendation issue date.

### Recommendation R200-40015

The CAA should take into account the limitations of see-and-avoid when planning and managing airspace and should ensure that unalerted see-and-avoid is never the sole means of separation for aircraft providing scheduled services.

*Note: The Recommendation was issued to the [then] Civil Aviation Authority (CAA) in 1991 and in 2001 the ATSB and CASA agreed that the word 'never' had been overtaken by the Australian Risk Management Standard.*

### CAA response received 29 April 1998

Firstly, we will be using our existing cost benefit formula (which is based on the proven FAA Formula) to mandate Class D airspace where traffic densities require.

CASA also proposes a complete package to address this important issue. Unfortunately, unalerted see and avoid can not be eliminated entirely, as even if primary and secondary radar, Class A airspace, mandatory radio, TCAS and transponders were deployed, there can always be a time, because of human factors or technical breakdown, that unalerted see and avoid becomes the primary means of separation.

The CASA proposal is to do everything we can, while still allocating the safety dollars effectively, to reduce the chance of unalerted see and avoid being the primary means of separation, whilst at the same time educating pilots on how they can improve their scan to improve the effectiveness of both alerted and unalerted see and avoid.

In relation to our package to improve the availability of alerted see and avoid, we have proposed to the airlines that in future, all airports serviced by scheduled services of over 10 passengers must have third party confirmation that the radio is on frequency. This will reduce the chance of an airline/aircraft being on the wrong frequency or the speaker is being deslected. We are also encouraging the fitment of Aerodrome Frequency Response Units which will operate 24 hours per day and reduce the chance of unalerted see and avoid. We are proposing to increase the number of recommended calls at non-tower aerodromes to seven, following the USA procedure. This will greatly assist alerted see and avoid.

In order to reduce the necessity to rely on see and avoid, we will be training VFR pilots to remain clear of areas of IFR traffic density, such as IFR air routes or IFR approach paths. These will be marked on maps in future. In relation to IFR aircraft, we will be training pilots to follow a recommendation to fly .1 nm to the right of track when flying on a marked air route between navigational aids or reporting points when the airway is used for two-way traffic.

In places where a tower is not cost effective and that have RPT services of over 10 passengers, we will have mandatory procedures in relation to alerting.

ATSB classification: OPEN

<p><b>Further CAA response received 12 November 2001</b> At our meeting on November 3, I undertook to follow up CASA's response to the outstanding recommendations contained in the 1991 BASI research report on the <i>Limitations of See-and-Avoid</i>. As you would be aware, most of the recommendations - including those concerning TCAS and the education initiatives - have been implemented and continue to provide positive safety outcomes for Australian aviation.</p> <p>In respect of the remaining recommendations, CASA provides the following response.</p> <p>'The CAA should take into account the limitations of see-and-avoid when planning and managing airspace....'</p> <p>CASA agrees that the limitations of see-and-avoid should be taken into account when planning and managing airspace. Where traffic densities are such that see-and-avoid does not provide the required level of safety, CASA will require Class D or a higher level of airspace.</p> <p>....and should ensure that unaltered see-and-avoid is never the sole means of separation for aircraft providing scheduled services.'</p> <p>CASA understands the intent of this recommendation but does not agree with its absolute form. The wording of the recommendation reflected its time and was prior to the 1995 Standards Australia AS/NZS466 Risk Management Standard. CASA also understands that the use of the absolute 'never' is not consistent with current ATSB practice.</p> <p>To accept the absolute form of the recommendation would require the allocation of Class D or higher airspace wherever scheduled services operate. This would result in an allocation of resources that is not commensurate with risk.</p> <p>ICAO Class E and G airspace specifically has no radio requirement for VFR aircraft. ICAO has introduced both of these classifications with the full knowledge of the limitations of see-and-avoid. ICAO makes no recommendation in relation to scheduled services not operating in these airspace classifications.</p> <p>Overly discounting the effectiveness of see-and-avoid and devising unique procedures has itself led to unintended consequences that are unresolved. Pilots may scan significantly less and become over reliant on radio alerting through a concept known as diffusion of responsibility.</p> <p>The BASI report RP/93/01 (December 1993) and the continuing incident reports that are being filed listing near misses in mandatory radio Class E and G airspace may support this concern. CASA believes that radio alerting is only effective when the alerting area is small with readily identifiable reporting points so that the alert is specific.</p> <p>ATSB classification: CLOSED-ACCEPTED</p> <p><b>Recommendation R20040016</b> In light of the serious limitations of the see-and-avoid concept, the CAA should continue to closely monitor the implementation of TCAS in the US and should consider the system for Australia.</p> <p><i>Note: The Recommendation was issued to the [then] Civil Aviation Authority (CAA) in 1991.</i></p> <p><b>CAA response received 28 April 1998</b> Agreed and will be introduced where cost effective.</p> <p>ATSB classification: CLOSED-ACCEPTED</p>	<p><b>Recommendation R20040017</b> The CAA should ensure that pilots are trained in effective traffic scans.</p> <p><i>Note: The Recommendation was issued to the [then] Civil Aviation Authority (CAA) in 1991.</i></p> <p><b>CASA response received 29 April 1998</b> Agreed and CASA will continue to emphasise that see-and-avoid is a key factor in collision avoidance and pilots should be vigilant.</p> <p>ATSB classification: CLOSED-ACCEPTED</p> <p><b>Recommendation R20040018</b> The CAA should require white strobes rather than red rotating beacons to assist visibility when the aircraft appears against dark backgrounds.</p> <p><i>Note: The Recommendation was issued to the [then] Civil Aviation Authority (CAA) in 1991.</i></p> <p><b>CASA response received 29 April 1998</b> CASA feels that rotating beacons and strobe lights should be used whenever an aircraft is airborne or is taking off, landing, or taxiing or being towed (including temporarily stopped while being towed) on an active runway. Pilots are not always able to assess when the display of these lights is effective, so CASA recommends their use on every flight.</p> <p>ATSB classification: OPEN</p> <p><b>Further CASA response received 12 November 2001</b> CASA does not accept this recommendation. Whilst it is acknowledged that there are some circumstances in which visibility would be enhanced by the use of white strobe lights in place of red rotating beacons there would only be a marginal reduction in the level of risk when taken in the total context of collision avoidance strategies. CASA would not be able to sustain with industry, the argument for such equiptage on a demonstrable cost benefit basis.</p> <p>ATSB classification: CLOSED-ACCEPTED</p> <p><b>Recommendation R20040019</b> The CAA should ensure that pilots are aware of the physiological and psychological limitations of the visual system.</p> <p><i>Note: The Recommendation was issued to the [then] Civil Aviation Authority (CAA) in 1991.</i></p> <p><b>CASA response received 29 April 1998</b> CASA agrees with both the above recommendations. However CASA believes that the limitations have been promoted to the extent that benefits of the visual system may have become seriously discounted. As a consequence, CASA will continue to emphasise the requirement to be vigilant.</p> <p>ATSB classification: CLOSED-ACCEPTED</p>
--	--

**Recommendation R20040020**

Pilots should recognise that they cannot rely entirely on vision to avoid collisions. Consequently, they should attempt to obtain all available traffic information, whether from Air Traffic Services or a listening watch, to enable them to conduct a directed traffic search.

**CASA response received 29 April 1988**

CASA agrees with both the above recommendations. However CASA believes that the limitations have been promoted to the extent that benefits of the visual system may have become seriously discounted. As a consequence, CASA will continue to emphasise the requirement to be vigilant.

ATSB classification: CLOSED-ACCEPTED

**6 REFERENCES**

- Andrews, J.W. 1977, *Air to Air Visual Acquisition Performance with PMVI*, FAA-RD-77-30.
- Andrews, J.W. 1984, *Air to Air Visual Acquisition Performance with TCAS*, IDOT/FAA/PM-84-17.
- Andrews, J.W. 1984, *Undertared Air to Air Visual Acquisition*, FAA-RD-PM-87/84.
- Anstis, S.M. 1974, A Chart Demonstrating Variations in Acuity with Retinal Position, *Vision Research*, vol. 14, pp. 589-592.
- Aviation Safety Digest 1986, En route mid-air collisions: how to avoid them, *Special VFR Issue Aviation Safety Digest*, pp. 22-25.
- Baddley, A.D. 1972, Selective Attention and Performance in Dangerous Environments, in *British Journal of Psychology*, vol. 63, pp. 537-546.
- Billings, C., Grayson, R., Hecht, W., & Curry, R. 1980, *A Study of Near Mid-air Collisions in MS Terminal Air Space*, in NASA Technical Memorandum 81225.
- Bouma, H. 1970, Interaction Effects in Parafoveal Letter Recognition, in *Nature*, vol. 226, pp. 171-177.
- Brennan, D.H. 1988, *Vision in Flight*, in *Aviation Medicine*, Butterworths, London.
- Bureau of Air Safety Investigation 1988, *Accident Investigation Report 88/1/042, Mid-Air Collision between Cessna 172-N, VH-HIZ, and Piper PAM-112, VH-MHQ, Near Tweed Heads, New South Wales*, p. 11.
- Chong, J. & Triggs, T. 1989, Visual Accommodation and Target Detection in the Vicinity of a Winduppost, in *Human Factors*, vol. 31, pp. 63-75.
- Civil Aeronautics Board 1966, *Report No. SA-389, TWA B-707 and EAL Lockheed Constellation, Carmel, NY, December 4, 1965*, Washington DC.
- Civil Aviation Authority 1990, *Civil Aviation News*, September, Australia.
- Clarke, B.A.J. undated, *Simulation of Colour Vision Deficiencies for Aviation Purposes*, Aeronautical Research Laboratory, Melbourne.
- Connors, M.M. 1975, *Conspicuity of Target Lights: The Influence of Flash Rate and Brightness*, NASA Technical Note TN-D-7961.
- Duntley, S.Q. 1964, *Past Present and Future, Applied Optics*, vol. 3, p. 596.
- Edwards, G.D. & Harris, J.L. 1972, *Visual Aspects of Air Collision Avoidance: Computer Studies on Flar Warning Indicator Specifications*, Final report NASA Grant NGR-05-009-05 Report SIO72-3.
- FAA 1983, *FAA Advisory Circular 9048-C*.
- Federman, P.J. & Siegel, A.J. 1973, *Survey of Thin Film Fluorescent Material*, FAA-RD-74-9, December, Applied Psychological Services Inc.
- Flight Safety Digest 1989, *Near Mid-Air Collision Update*, December, pp. 9-13.
- Gerathewohl, S.J., Morris, E.W. & Strikis, J.A. 1970, *Anticollision Lights for the Supersonic Transport*, FAA Office of Aviation Medicine.
- Graham, W. 1975, *Aircraft Flar Warning Instrument Study*, FAA RD-75-59, March, FAA.

Roscoe, S.N. & Hull, J.C. 1982, Cockpit Visibility and Contrail Detection, *Human Factors*, vol. 24, pp. 659-672.

Rowland, G.E. & Silver, C.A. 1972, *Aircraft Exterior Lighting and Marking*, FAA Report FAA-RD-72-24, May.

Schmidlapp, P.L. 1977, *ASD Strobe Light Evaluation*, USAF Report ASD-TR-77-33, Aeronautical Systems Division, Wright Patterson AFB, June.

Snyder, H.L. 1973, Dynamic Visual Search Patterns, in *Visual Search*, National Academy of Sciences, Washington D.C.

Steenblik, J.W. 1988, The Eyes Don't Have It, *Air Line Pilot*, vol.57, pp. 10-16.

Suzler, R.L. & Skelton, G.E. 1976, *Visual Attention of Private Pilots, the Proportion of Time Devoted to Outside the Cockpit*, FAA report RD-76-80, May.

Webster R.G. & Haslerud, G.M. 1964, Influence on Extreme Peripheral Vision of Attention to a Visual or Auditory Task, *Journal of Experimental Psychology*, vol. 68, pp. 269-272.

Weiner, E.L. 1989, *Human Factors of Advanced Technology ('Glass Cockpit') Transport Aircraft*, NASA Contractor Report 177528, May.

Welford, A.T. 1976, *Skilled Performance: Perceptual and Motor Skills*, Glenview Scott, Foresman and Company.

Westheimer, G. 1986, The Eye as an Optical Instrument, in *Handbook of Perception and Human Performance*, vol.1, John Wiley and Sons, New York.

White, C.T. 1964, Ocular Behaviour in Visual Search, *Applied Optics*, vol. 3, pp. 569-570.

Wolford, G. and Chambers, L. 1984, Contour Interaction as a Function of Retinal Eccentricity, *Perception and Psychophysics* vol.36, pp. 457-460.

Yoder, J.E. and Moser, R. 1976, *Midair Collisions: Aeromedical Considerations*, USAF Report SAM-TR-76-29 August.

Graham W. 1989, *See and Avoid/Cockpit Visibility*, FAA Technical Note DOT/FAA/CT-TN89/18, October, FAA.

Graham, W. & On, R.H. 1970, Separation of Air Traffic by Visual Means: An Estimate of the Effectiveness of the See-and-Avoid Doctrine, in *Proceedings of the IEEE*, vol. 58, pp. 337-361.

Harris, J.L. 1973, *Visual Aspects of Air-Collision in Visual Search*, National Academy of Sciences, Washington D.C.

Harris, J.L. 1979, Cockpit and Visual Systems Limitations to See and Avoid, *ISASI Forum Winter 1979*.

Harris, J.L. 1983, Avoid the Unanalysed Partner of See, *ISASI Forum 1983*, vol. 2, pp. 12-17.

Harris, J.L. 1987, *Strobe Light Detection*, HSVI Technical Note 87001.

Hawkins, E.H. 1987, *Human Factors in Flight*, Gower, Aldershot.

Howett, G.L. 1979, *Some Psychophysical Tests of the Conspicuousness of Emergency Vehicle Warning Lights*, Special Publication 480-36, July, U.S. National Bureau of Standards.

Jacobs R.J. 1979, Visual Resolution and Contour Interaction in the Fovea and Periphery, *Vision Research*, vol. 19, pp. 1187-1195.

Kaufman J.E. (ed) 1981, *ZES Lighting Handbook*, Illuminating Engineering Society of North America, New York.

Knowles-Middleton, W.E. & Wysocki, G.W. 1961, Visual Thresholds in the Retinal Periphery for Red, Green and White Signal Lights, *Journal of the Optical Society of America*, vol. 51, pp. 54-56.

Leibowitz, H.L. 1988, The Human Senses in Flight, in Weiner E.L. & Nagel D.C. (eds) *Human Factors in Aviation*, Academic Press, San Diego.

Leibowitz, H.W. & Apelle, S. 1969, The Effect of a Central Task on Luminance Thresholds for Peripherally Presented Stimuli, *Human Factors*, vol. 11, pp. 387-392.

Liebowitz, H.W. 1973, Detection of Peripheral Stimuli under Psychological and Physiological Stress, in *Visual Search*, National Academy of Sciences, Washington D.C.

Machol, R.E. 1979, Effectiveness of the Air Traffic Control System, *Journal of the Operational Research Society*, vol. 30, pp. 113-119.

Mackworth, N.H. 1965, Visual Noise Causes Tunnel Vision, *Psychonomic Science*, vol. 3, pp. 67-68.

Marthinsen, H.F. 1989, Another Look at the See-and-Avoid Concept, *ISASI Forum December 1989*, pp. 82-103.

NTSB 1987, *Aircraft Accident Report 88/02*, Mid-Air Collision of Cessna-340A, N8716K, and North American SNJ-4N, N71SQ, Orlando Florida, May.

NTSB 1987, *Aircraft Accident Report 88/03*, Midair Collision of Skywest Airlines Swearingen Metro II, N163SW, and Mooney M20, N6485U, Kearns, UTAH, January 15.

Orlady, H.W. 1969, Selected Visual Problems of a Airline Pilot Committee on Vision, *Visual Factors in Transportation Systems*, National Research Council.

Randle, R.J. & Malmstrom, F.V. 1982, Visual Field Narrowing by Non Visual Factors, *Flying Safety*, July.

Roscoe, S.N. & Couchman 1987, *Human Factors*, pp. 311-325.

[www.atsb.gov.au](http://www.atsb.gov.au)

1800 621 372

Limitations of the See-and-Avoid Principle  
ISBN 0 642 16089 9

## annexe 5

### Accident survenu le 22 septembre 1995

entre le planeur Rolladen-Schneider LS6B immatriculé F-CGUF  
et l'avion Potez Fouga-Magister CM 170 immatriculé F-TEAL  
à Cruis (04)

Evénement :	abordage.
Conséquences et dommages :	trois morts, aéronefs détruits.
Aéronefs :	a) Planeur Rolladen-Schneider LS6B immatriculé F-CGUF, couleur blanche ; b) Avion Potez Fouga-Magister CM170 immatriculé F-TEAL, couleur gris métallisé.
Date et heure :	vendredi 22 septembre 1995 à 12 h 05 UTC <sup>(1)</sup> .
Exploitants :	a) Fédération Française de Vol à Voile ; b) Commandement des Ecoles de l'Armée de l'Air.
Lieu :	Cruis (04), Montagne de Lure.
Natures du vol :	a) Local ; b) Instruction.
Personnes à bord :	a) Pilote ; b) Instructeur + pilote stagiaire.
Titres et expériences :	a) Pilote 75 ans, licence de pilote de vol à voile de 1945, 4 053 heures de vol dont 97 dans les trois mois précédents et sept sur type effectuées dans les quatre jours précédents ; b) Instructeur 26 ans, 979 heures de vol dont 121 dans les six mois précédents et 596 sur type, diplômes de moniteur du 19 avril 1993, confirmé le 1 <sup>er</sup> juillet 1994. Elève pilote 23 ans, 173 heures de vol dont 66 dans les six mois précédents, toutes sur type.
Conditions météorologiques :	vent 180° à 200° / 5 à 10 kt (brise de vallée montante), visibilité supérieure à 10 km, cumulus épars vers 2 000 m (hauteur 1 000 m env.). Position du soleil : azimut 196° à partir du nord magnétique, site 43°.

<sup>(1)</sup>Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné. Il convient d'y ajouter deux heures pour obtenir l'heure en vigueur en France métropolitaine le jour de l'accident.

## 1 - CIRCONSTANCES

Tracté par un avion remorqueur, le LS6B décolle à 11 h 40 de l'aérodrome de Château-Arnoux Saint-Auban. L'attelage se sépare quelques minutes plus tard, dans le secteur de Peyruis, à une altitude d'environ 1 200 m. A partir de ce point, le pilote trouve des ascendances suffisantes pour monter vers 1 500 m. L'abordage se produit à 12 h 06 à proximité de Cruis, sur le versant sud de la Montagne de Lure, dans la région de Château-Arnoux (annexe).

L'équipage du Fouga-Magister est constitué d'un élève pilote en place avant et d'un instructeur en place arrière ; il doit réaliser un vol de formation à la navigation en conservant une hauteur de cinq cents mètres au-dessus du sol. Il décolle de la base aérienne de Salon-de-Provence à 11 h 39, puis quitte la fréquence de contrôle en passant sur un point de compte rendu. Après un transit dans la zone R 85 A, la route magnétique orientée au 350 doit le conduire vers Eyguians. Suivant la déclivité générale du relief, la pente de montée est d'environ 6°. L'enregistrement de la trace radar secondaire confirme cette trajectoire. C'est au cours de cette branche rectiligne, à une altitude d'environ 1 500 m, que l'abordage se produit.

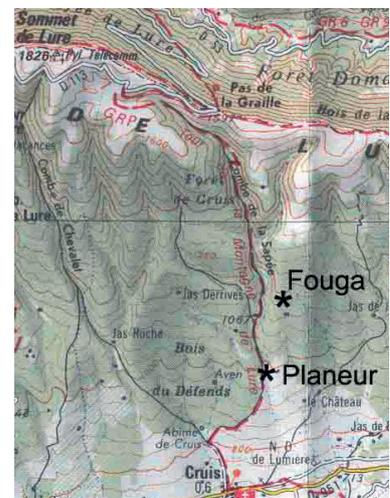
## 2 - EXAMEN DU SITE ET DE L'ÉPAVE

### 2.1 Le site de l'accident

Le terrain monte vers le nord avec une pente estimée à 20 % (12°). La ligne de crête de ce relief est orientée est-ouest et culmine à 1 826 m dans le secteur de l'accident. La végétation, constituée principalement de chênes verts et de conifères, est par endroit entrecoupée de ravines creusées par les eaux pluviales.

L'épave du LS6B se trouve à environ un kilomètre au nord du village de Cruis à une altitude topographique de 930 m environ. L'extrémité de l'aile droite du Fouga-Magister se trouve aussi dans ce secteur, alors que le reste de l'avion est un kilomètre plus loin vers le nord, à une altitude de l'ordre de 1 140 m.

Des débris sont dispersés vers l'ouest/sud-ouest pour le planeur et vers le nord pour le Fouga-Magister.



Position des principaux éléments des deux épaves (carte IGN 1 :100 000)

### 2.2 L'épave du planeur

Certains équipements du planeur (éléments de commandes, radio, batterie, parachute) sont éparpillés sur environ 250 mètres.

Le fuselage est sectionné au niveau du tableau de bord. La partie gauche et la partie inférieure de l'habitacle n'ont pas été retrouvées. Les câbles et les tringles de commande situés à gauche du fuselage sont sectionnés ou tordus vers l'intérieur. A droite, le revêtement a été déchiré par les câbles entraînés vers l'extérieur.

L'aile droite, montée sur la partie médiane du fuselage, porte des traces de sang sous l'intrados. Le bord d'attaque, l'intrados et l'extrados ont été endommagés par des débris métalliques tranchants qui ont laissé des marques grises.

Les autres ruptures ont été provoquées par le heurt avec le sol.

Le GPS et le calculateur associé, détruits, ne sont pas exploitables. La fréquence affichée sur la VHF de bord n'a pas pu être déterminée.

A l'examen de l'épave, il apparaît que le choc s'est produit selon une direction provenant de l'avant gauche du planeur, en faisant un angle d'environ 60° avec l'axe du fuselage. L'inclinaison au moment du choc ne peut être évaluée.

### **2.3 L'épave du Fouga-Magister**

L'extrémité de l'aile droite du Fouga-Magister a été coupée lors de l'abordage à une distance d'environ 1,50 m du saumon, soit immédiatement à droite de la deuxième nervure principale de l'aile. Le longeron est cassé avec des indices évidents de torsion vers l'arrière et légèrement vers le haut par rapport au plan de l'aile. La tôle du bord d'attaque a été fortement comprimée, ce qui a provoqué un plissement orienté également vers le haut. La géométrie de la déformation rappelle l'aspect du fuselage du planeur. La rupture et la torsion du longeron montrent la violence du choc. Le cockpit a pris feu à l'impact. Les pompiers ont maîtrisé l'incendie vers 13 heures.

Les verrières avant et arrière, qui semblent avoir été larguées en vol, ont été retrouvées respectivement à trois cents et à quarante mètres de l'épave.

## **3 - TÉMOIGNAGES**

Une personne, située à environ deux kilomètres du lieu de l'accident, a eu son attention attirée par le bruit du Fouga-Magister et a suivi des yeux sa trajectoire pendant quelques secondes, jusqu'au moment de l'accident : l'avion suivait une route du sud vers le nord, il s'est incliné fortement à gauche juste avant de heurter le planeur. L'observateur n'a vu ce dernier qu'au moment de la collision et n'a donc pu apporter aucune information sur sa trajectoire. Le ciel était dégagé au moment de l'accident.

Des personnes présentes sur l'aérodrome de Château-Arnoux Saint-Auban au moment du départ du planeur ont précisé que son pilote portait une casquette et des lunettes de vue équipées de verres teintés sur charnières. Des pratiquants du vol à voile ont indiqué que, compte tenu des conditions météorologiques au moment de l'événement, une utilisation normale du planeur correspondrait à une vitesse en ascendances de l'ordre de 105 km/h (57 kt) et une vitesse en transition de l'ordre de 125 km/h (67 kt).

Il ressort de divers entretiens que les occupants du Fouga-Magister disposaient de l'équipement adéquat pour effectuer la leçon en vol prévue. Ils réalisaient la première activité aéronautique de la journée, une mission en navigation à vue selon un itinéraire défini et connu de l'élève pilote depuis la veille. Les instruments de radionavigation ne devaient pas être utilisés. La vitesse était fixée à 240 kt de façon à simplifier les calculs et le suivi de la navigation. L'élève pilote devait avoir mémorisé les éléments du trajet ce qui devait lui procurer une meilleure disponibilité pour observer et surveiller l'environnement. Comme pour toutes les activités de formation, le phare de l'avion devait être allumé (l'enquête n'a pas pu déterminer s'il l'était effectivement).

## 4 - RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

### 4.1 Questions relatives à la survie des occupants

Lors de l'abordage, l'aile du Fouga-Magister a détruit la partie avant du fuselage du LS6B au niveau du tableau de bord. Le pilote est probablement décédé instantanément. Son corps, découvert non loin de l'épave, n'a pas été retenu par les harnais de siège ou par les sangles du parachute. L'ensemble pouvait être incomplètement bouclé au départ ou s'être débouclé sous l'effet de la collision.

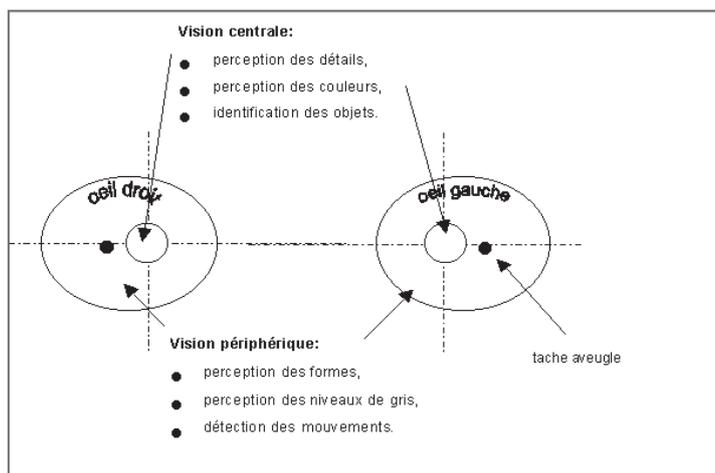
Le Fouga-Magister n'est pas doté de sièges éjectables. Son évacuation d'urgence se fait en vol dos, sur une trajectoire de montée ou de palier, avec une vitesse inférieure à 180 kt, à une hauteur d'au moins 450 mètres. L'abandon comporte le largage de la verrière avant puis de la verrière arrière et enfin le déverrouillage des harnais de siège. Avec une extrémité d'aile sectionnée, l'avion ne pouvait être stabilisé sur une trajectoire qui permette de réussir l'évacuation. Les deux pilotes ont pu larguer les deux verrières et se détacher mais ils n'ont pas eu le temps de quitter l'avion avant l'impact au sol.

### 4.2 La vision et le champ visuel des occupants

Les éléments relatifs à la perception visuelle chez l'homme ont été exposés dans l'étude du BEA intitulée « Abordages 1989-1999 ». Seules les caractéristiques de la vision et leurs implications pour les pilotes des deux aéronefs figurent ici.

#### 4.2.1 Particularités de la vision

Les propriétés optiques de l'œil se répartissent selon une symétrie de révolution autour de l'axe optique en se dégradant progressivement du centre vers la périphérie. Ainsi, la zone de vision centrale possède de bonnes performances en ce qui concerne l'acuité visuelle, la perception des détails et des couleurs.



Par contre, la zone de vision périphérique est caractérisée par une faible acuité visuelle, la non perception des couleurs et une faible détection d'objets immobiles.

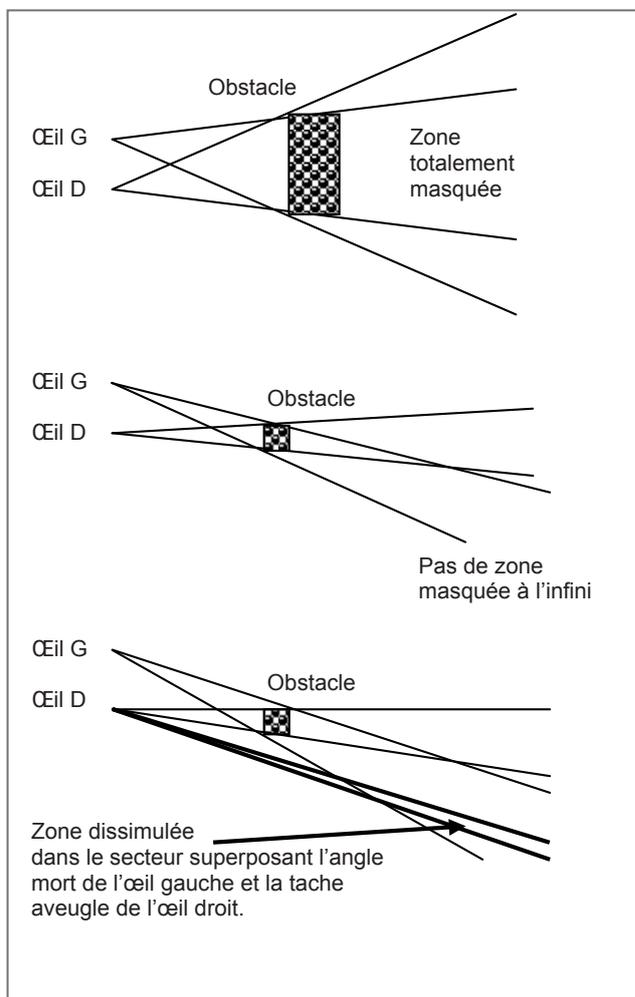
Pour chaque œil, une tache aveugle couvre un secteur angulaire de quelques degrés. Elle correspond à une zone centrée à gauche de l'axe optique pour l'œil gauche et à droite de l'axe optique pour l'œil droit, l'écart angulaire entre l'axe optique et la tache aveugle se situant entre 10° et 16° selon les individus. Les taches aveugles de chacun des deux yeux se trouvant dans des zones différentes du champ visuel, il n'y a pas de zone totalement dissimulée en vision binoculaire normale.

Un angle mort correspond à une zone de l'environnement masquée par un obstacle rapproché. Pour chacun des yeux, un obstacle peut provoquer un angle mort différent.

Si l'obstacle est de taille supérieure à la distance entre les deux yeux, il existe une zone totalement masquée, commune aux deux angles morts.

Si l'obstacle est de taille plus faible, la zone masquée n'existe généralement pas à l'infini. Le cerveau superpose les images provenant des deux yeux, éliminant ainsi la sensation d'angle mort dans le champ visuel.

Enfin, pour un obstacle de petite taille, l'angle mort pour un œil peut correspondre à la tache aveugle de l'autre œil. Il se crée alors une petite zone dissimulée de la dimension de la tache aveugle. Le cerveau n'a généralement aucune sensation de cette zone dissimulée. Pourtant, aucun objet ne peut y être détecté.



#### 4.2.2 Visibilité depuis le planeur

La verrière du LS6B est moulée en une seule pièce de Plexiglas. Le champ visuel du pilote n'est limité que par les ailes et la partie inférieure du poste de pilotage.

#### 4.2.3 Visibilité depuis la place avant du Fouga-Magister

La visibilité depuis la place avant du Fouga-Magister est gênée par des angles morts provenant notamment :

- ❑ des arceaux métalliques supportant les éléments de la verrière et situés vers 14° de part et d'autre du plan de symétrie de l'avion,
- ❑ du compas et du chronomètre, dispositifs fixés sur les arceaux de part et d'autre du pare-brise, au niveau de l'horizon.

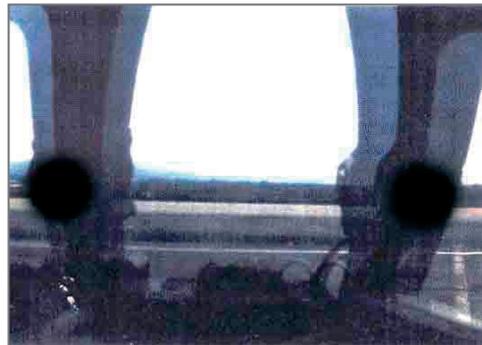
Les trois figures ci-après représentent la visibilité qui en résulte pour le pilote en place avant :



Vision par l'œil gauche vers l'avant



Vision par l'œil droit vers l'avant



Vision par les deux yeux vers l'avant. Il reste des zones totalement masquées à l'infini. De plus, les taches aveugles peuvent exister au niveau des points assombris sur la photo.

#### 4.2.4 Visibilité depuis la place arrière du Fouga-Magister

Les deux sièges étant alignés, le casque de l'élève pilote obstrue le champ visuel de l'instructeur vers l'avant. Pour palier ce problème, une lunette binoculaire fournit à l'instructeur des références visuelles vers l'avant, afin de maintenir par exemple un alignement sur une piste. Même si l'optique en est correcte, cette lunette fournit une vision de moins bonne qualité que la vision directe et, pour voir vers l'avant, l'instructeur est contraint de rester immobile en face de la lunette.

Les arceaux de verrière constituent également, pour l'occupant en place arrière, des angles morts de part et d'autre du plan de symétrie de l'avion. Les trois figures ci-après représentent la visibilité qui en résulte.



Vision par l'œil gauche vers l'avant



Vision par l'œil droit vers l'avant



Vision par les deux yeux vers l'avant. La vision est gênée par le pilote en place avant et par les éléments de l'avion. Il y a, sur les côtés, des zones totalement masquées à l'infini. Les taches aveugles peuvent exister au niveau des points assombris sur la photo.

### 4.3 Les règles de la circulation aérienne

L'abordage s'est produit dans un espace aérien non contrôlé de classe G.

Le pilote du planeur évoluait en circulation aérienne générale et devait appliquer les règles de vol à vue. Après avoir quitté le secteur de l'aérodrome de départ, il n'était tenu à aucun contact radio ; il pouvait cependant utiliser une fréquence d'auto information VHF.

De son côté, l'équipage du Fouga-Magister devait appliquer des règles dites COM V, circulation opérationnelle militaire en vol à vue, semblables aux règles VFR à l'exception des limitations en vitesse (250 kt en CAG au-dessous du niveau de vol 100). Les radiocommunications se font sur les fréquences VHF civiles dans les espaces aériens contrôlés et, dans les espaces aériens de classe G, sur des fréquences d'auto information UHF réservées pour l'activité militaire.

A l'altitude à laquelle se trouvaient les aéronefs, la réglementation impose les conditions suivantes : visibilité supérieure à cinq mille mètres, distance aux nuages de trois cents mètres verticalement et de mille cinq cents mètres horizontalement.

Les règles applicables aux deux aéronefs dans cet espace aérien (RCA 1 chapitre 3) consistaient essentiellement en une vigilance visuelle permanente afin d'éviter un abordage avec un autre aéronef ou une collision avec un obstacle. C'est ce que l'on appelle communément le principe « voir et éviter ».

Les règles de l'air définissent également la priorité de passage : « *lorsque deux aéronefs, se trouvant à peu près au même niveau, suivent des routes convergentes, celui qui voit l'autre à sa droite doit s'en écarter. Toutefois, les aéroplanes motopropulsés doivent céder le passage aux dirigeables, aux planeurs et aux ballons, ...* ».

Le règlement de la circulation aérienne n'exige aucun compte rendu de position et n'attribue aucune fréquence à cet effet. Les fréquences d'auto information ne sont pas enregistrées.

## **5 - ANALYSE**

Remarque : les écarts relatifs entre vitesse propre et vitesse indiquée sont faibles (de l'ordre de 8 %) et s'appliquent également aux deux aéronefs. Seul le terme vitesse sera utilisé dans l'analyse de l'accident.

### **5.1 Manœuvres possibles du planeur**

L'examen de l'épave du LS6B a montré que l'angle entre l'axe de son fuselage et la direction du Fouga-Magister était d'environ 60°. Le planeur devait donc voler à un cap magnétique de l'ordre de 230° au moment de l'abordage.

Deux hypothèses peuvent être retenues pour la trajectoire du planeur :

- avec un virage à gauche ou à droite, il pouvait évoluer dans une ascendance. Pour une vitesse de l'ordre de 57 kt et une inclinaison d'environ 30°, le rayon de son virage était alors de l'ordre d'une centaine de mètres ;
- il pouvait également effectuer une transition à la recherche d'une ascendance ou vers un point tournant. Dans ce cas, sa vitesse était d'environ 67 kt.

### **5.2 Charge de travail du pilote du planeur**

Un pilote de vol à voile est très dépendant de son environnement. Il doit exercer une attention soutenue notamment pour :

- piloter,
- se positionner dans l'espace,
- rechercher les indices d'ascendances lui permettant de poursuivre son vol,
- éviter les abordages.

### **5.3 Apparence du Fouga-Magister pour le pilote du planeur**

Le phare du Fouga-Magister était en principe allumé. Cependant, la détection de l'avion pouvait être gênée par :

- les dimensions réduites de sa silhouette vue de face,
- sa trajectoire située au-dessous du planeur,
- sa couleur gris métallisée qui réduisait son contraste sur un fond de paysage,
- la position du soleil qui rendait la vision inconfortable dans ce secteur.

## 5.4 Trajectoire du Fouga-Magister

On a vu que le Fouga-Magister suivait une route magnétique orientée au 350°, à la vitesse de 240 kt, sur une pente de montée d'environ 6°. En raison des vents faibles, son cap magnétique était également de 350°.

L'examen des épaves montre qu'il avait une forte inclinaison à gauche au moment de l'abordage. La forte inclinaison prise juste avant l'abordage a vraisemblablement été commandée par un des pilotes au moment où il apercevait le planeur mais cette manœuvre survenait trop tard pour modifier notablement la trajectoire et permettre l'évitement.

## 5.5 Charge de travail des occupants du Fouga-Magister

Le pilote en formation à la navigation devait assurer le pilotage, notamment en orientant son avion vers des points de repères éloignés, suivre la navigation en recherchant des repères au sol pour les comparer avec les symboles de sa carte et, enfin, surveiller l'environnement. Cette dernière tâche pouvait être affectée par deux phénomènes :

- ❑ momentanément, par la dispersion de l'attention vers la carte ou les instruments,
- ❑ à tout moment, par la présence d'angles morts.

L'instructeur en place arrière devait contrôler le travail de l'élève, apporter les explications nécessaires et surveiller l'environnement. Cette surveillance était gênée par la présence de secteurs masqués malgré la présence de la lunette binoculaire.

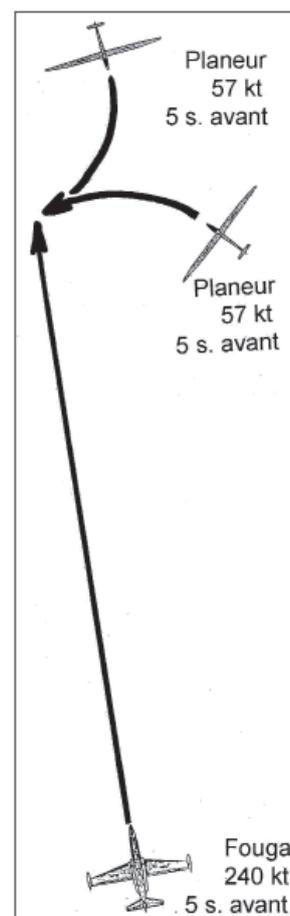
## 5.6 Apparence du planeur pour les occupants du Fouga-Magister

La détection du planeur pouvait être rendue plus difficile en raison de sa petite taille et de sa couleur blanche qui réduisait son contraste sur un fond de cumulus blancs présents dans cette région.

## 5.7 Première hypothèse : le planeur évoluait dans une ascendance

En virage à droite, environ cinq secondes avant l'abordage, le cap magnétique du planeur était de l'ordre de  $170^\circ$  et la distance entre les deux aéronefs était d'environ 700 m. Pour le pilote du planeur, le Fouga-Magister se présentait de face dans le même secteur que le soleil, avec un contraste faible et apparemment immobile sur un fond de paysage. Seule l'éventuelle lumière du phare pouvait aider à la détection du Fouga-Magister. Dans les secondes suivantes, le Fouga-Magister passait dans la zone de vision périphérique du pilote du planeur regardant devant. Le Fouga-Magister devenait alors très difficile à détecter. Dans ces conditions, seule une attention soutenue vers un trafic connu éloigné aurait pu permettre au pilote du planeur de détecter ce trafic et d'entreprendre une manœuvre d'évitement.

En virage à gauche, environ cinq secondes avant l'abordage, le cap magnétique du planeur était de l'ordre de  $290^\circ$  et la distance entre les deux aéronefs était d'environ 600 m. Le Fouga-Magister restait dans le secteur travers gauche du pilote du planeur, dans la zone de vision périphérique et dans le secteur où brillait le soleil. La détection du Fouga-Magister et par conséquent l'exécution d'une manœuvre d'évitement, étaient très peu probables.



### Vue depuis le Fouga-Magister

Le planeur évoluait dans le secteur avant du Fouga-Magister. Se présentant de face, la silhouette du planeur était de dimension réduite. Elle ressemblait à un trait blanc de 15 cm de long vu à une distance de sept mètres. Dans les secondes suivantes, elle changeait de forme en grandissant du fait du virage et du rapprochement. En même temps, elle rejoignait l'axe de symétrie de l'avion en présentant un contraste variable selon les parties éclairées par le soleil. Elle apparaissait alors dans la zone de vision centrale pour l'élève pilote et pouvait être perçue au travers de la lunette binoculaire par l'instructeur. Le planeur devenait ainsi facilement détectable pour les deux occupants du Fouga-Magister. Seule une inattention simultanée de leur part pendant plusieurs secondes pouvait conduire à une manœuvre d'évitement trop tardive pour être efficace.

## 5.8 Seconde hypothèse : le planeur effectuait un vol de transition rectiligne

Le planeur pouvait voler en transition à une vitesse indiquée de 125 km/h, soit 67 kt, au cap magnétique de l'ordre de 230°. Selon ces suppositions, cinq secondes avant l'abordage, les deux aéronefs étaient éloignés d'environ 700 m. Pour le pilote du planeur, le gisement du Fouga-Magister demeurant constant à environ 55° à gauche, il restait difficile à discerner, car il se trouvait apparemment immobile, dans une zone de vision périphérique, avec un faible contraste sur un fond de paysage, dans le même secteur que le soleil. S'il était allumé, le phare éclairait surtout dans l'axe du Fouga-Magister et restait peu visible pour le pilote du planeur.

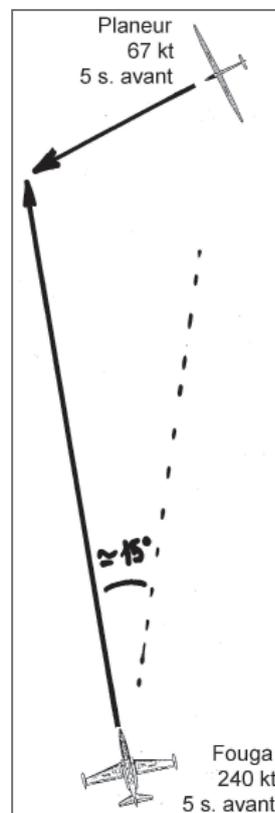
### Vue depuis le Fouga-Magister

Pendant le même temps, le gisement du planeur était d'environ 15° pour les occupants du Fouga-Magister. La détection par l'élève pilote pouvait être gênée par les angles morts créés par un arceau de verrière, un instrument (compas ou chronomètre) et par l'existence de la tache aveugle de l'œil droit dans ce même secteur de vision. Le gisement était trop important pour permettre la détection du planeur au travers de la lunette binoculaire de l'instructeur. L'observation directe du planeur par l'instructeur pouvait être gênée par les arceaux de verrière et par la tache aveugle de l'œil droit.

Quelques fractions de secondes avant l'abordage, la distance de séparation diminuant, la silhouette du planeur s'agrandissait rapidement. Ce grossissement était d'autant plus important que la distance était faible. Lorsque la silhouette a débordé des zones masquées ou dissimulées, le planeur est devenue visible par l'un des occupants. Celui-ci a tenté une manœuvre d'évitement. Cette détection était cependant trop tardive pour empêcher l'accident.

### Discussion de cette seconde hypothèse

Les deux aéronefs restaient en apparence immobile l'un par rapport à l'autre : le Fouga-Magister en zone périphérique du champ visuel du pilote du planeur, le planeur dans des zones masquées ou dissimulées pour les occupants du Fouga-Magister, sauf au dernier instant. L'évitement de l'accident dans de telles circonstances supposait des mouvements de tête permanents de la part des pilotes. Le pilote du planeur, en tournant sa tête d'une soixantaine de degrés à gauche, aurait peut-être pu détecté le Fouga-Magister en vision centrale. Les occupants du Fouga-Magister auraient pu améliorer la surveillance de l'environnement en déplaçant leur regard pour décaler les zones masquées ou dissimulées. Cette mobilité est nécessaire pour l'application permanente



de la règle « voir et éviter ». Elle constitue cependant une tâche contraignante pour être réalisée continuellement pendant la totalité d'un vol. Une telle activité est accomplie systématiquement dans des secteurs fréquentés par un grand nombre d'aéronefs, de temps à autre lorsque la charge de travail est faible, ponctuellement lorsqu'un pilote, préalablement averti d'un aéronef à proximité, cherche à éviter un danger immédiat. De plus, l'immobilisation des occupants du Fouga-Magister à l'aide de multiples harnais compromet la réalisation de tels mouvements.

Cette seconde hypothèse convient aux règles d'utilisation du Fouga-Magister et aux méthodes de formation de l'école militaire. L'explication de l'accident est alors basée d'une part sur la gêne causée par les angles morts et leur éventuelle coïncidence avec la tâche aveugle pour les occupants du Fouga-Magister et d'autre part sur les faiblesses de la vision périphérique pour le pilote du planeur. C'est l'hypothèse la plus probable.

## **6 - CONCLUSION**

L'accident, constitué par le choc entre l'aile droite du Fouga-Magister avec la partie avant du fuselage du LS6B, résulte de la défaillance simultanée de la part des occupants de deux aéronefs dans la perception visuelle réciproque des aéronefs en vol.

L'hypothèse relative à une trajectoire rectiligne pour les deux aéronefs semble la plus probable.

En effet, les particularités de la vision, son altération due à la position du soleil, les dimensions réduites et le faible contraste du Fouga-Magister peuvent être à l'origine d'une absence de détection ou d'une détection tardive par le pilote du planeur. Pour les occupants du Fouga-Magister, la surveillance habituelle de l'environnement a pu être mise en défaut par l'occultation prolongée de la silhouette du planeur par les arceaux de verrière, accentuée peut-être par la présence de la tache aveugle de l'œil.

Cet accident peut compléter les exemples présentés dans l'étude intitulée « Abordages 1989-1999 » illustrant notamment les limites de la règle « voir et éviter ». La conclusion de cette étude lui est entièrement applicable.

annexe  
Extrait de la carte IGN 1 / 500 000  
Navigation du Fouga-Magister / Edition 2002





# BEA

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses  
pour la sécurité de l'aviation civile

Zone Sud - Bâtiment 153  
200 rue de Paris  
Aéroport du Bourget  
93352 Le Bourget Cedex - France  
T : +33 1 49 92 72 00 - F : +33 1 49 92 72 03  
[www.bea.aero](http://www.bea.aero)

N° ISBN : 978-2-11-098269-8

