



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

Brétigny sur Orge, le 14 septembre 2006

RAPPORT PUBLIC D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-X-2004-018-A

Date de l'événement 23 août 2004
Lieu Est de Clermont Ferrand

Abordage entre

l'ULM Sky Ranger identifié 63-RH (aéroclub d'Ambert)
et le Mirage 2000 N immatriculé 362 F-ULCU (armée de l'air)

AVERTISSEMENT

COMPOSITION DU RAPPORT

Les faits, utiles à la compréhension de l'événement, sont exposés dans le premier chapitre du rapport. L'analyse des causes possibles de l'événement fait l'objet du deuxième chapitre. Le troisième chapitre tire les conclusions de cette analyse et présente les causes certaines ou possibles. Enfin, dans le dernier chapitre, des propositions en matière de prévention sont présentées.

UTILISATION DU RAPPORT

L'objectif du rapport d'enquête technique est d'identifier les causes de l'événement et de formuler des recommandations de sécurité. En conséquence, l'utilisation exclusive de la deuxième partie de ce rapport et des suivantes à d'autres fins que celle de la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

TABLE DES MATIERES

<i>Avertissement</i>	2
<i>Table des matières</i>	3
<i>Table des illustrations</i>	5
<i>Glossaire</i>	6
<i>Synopsis</i>	8
1. Renseignements de base	11
1.1. Déroulement du vol	11
1.1.1. Synopsis	11
1.1.2. Types de missions	11
1.1.3. Reconstitution de la partie significative des trajectoires des vols	12
1.1.4. Localisation	13
1.2. Tués et blessés	14
1.3. Dommages aux aéronefs	14
1.4. Autres dommages	14
1.5. Renseignements sur le personnel	15
1.5.1. Pilote de l'ULM	15
1.5.2. Équipage du Mirage 2000 N de l'équipier	15
1.5.2.1. Pilote, commandant de bord du Mirage 2000 N	15
1.5.2.2. Navigateur officier système d'armes du Mirage 2000 N	16
1.5.3. Autres personnels	17
1.6. Renseignements sur les aéronefs	17
1.6.1. ULM	17
1.6.1.1. Caractéristiques / équipements	17
1.6.1.2. Montage de l'ULM n°63–RH	18
1.6.1.3. Utilisation / maintenance	18
1.6.2. Mirage 2000 N	19
1.6.2.1. Présentation	19
1.6.2.2. Caractéristiques / performances	19
1.6.2.3. Maintenance	20
1.7. Conditions météorologiques	20
1.7.1. Prévisions de Météo France	20
1.7.2. Observations	20
1.8. Aides à la navigation	20
1.9. Télécommunications	20
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	21
1.11. Enregistreurs de bord	21
1.12. Examen des aéronefs après l'événement	21
1.12.1. Examen du Mirage 2000 N	21
1.12.2. Examen de l'ULM	23
1.12.2.1. Examen de la zone de l'impact de l'ULM avec le sol	23
1.12.2.2. Examen de l'épave de l'ULM	23
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	27
1.13.1. Pilote de l'ULM	27
1.13.2. Pilote du Mirage 2000 N équipier	28
1.13.3. Navigateur officier système d'armes du Mirage 2000 N équipier	28
1.14. Incendie	28
1.15. Survie des occupants / Organisation des secours	28
1.16. Essais et recherches	29
1.17. Renseignements sur les organismes	29
1.18. Renseignements supplémentaires	29
1.18.1. Éléments spécifiques à la CAG VFR	29
1.18.2. Éléments spécifiques à la CAM V	30
1.18.3. Dispositions particulières	30
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	31

2. Analyse	32
2.1. Description de l'événement	32
2.1.1. Éléments de vol des aéronefs jusqu'à la manœuvre d'évitement du pilote du Mirage 2000 N	33
2.1.2. Manœuvre d'évitement du pilote du Mirage 2000 N	35
2.1.3. Position relative des aéronefs au moment de l'abordage et mécanisme de la perte de contrôle de l'ULM	37
2.1.3.1. Reconstitution de la position relative des deux aéronefs au moment de l'abordage	37
2.1.3.2. Mécanisme de la perte de contrôle de l'ULM	38
2.1.4. Parachute de l'ULM	38
2.1.4.1. Principe de fonctionnement	39
2.1.4.2. Examen de l'ensemble parachute	39
2.1.5. Conclusion sur la description de l'événement	41
2.2. Étude des mesures visant à prévenir les risques d'abordages	42
2.2.1. Préambule	42
2.2.2. Étude du dispositif réglementaire	42
2.2.3. Incomplétude et efficacité limitée des dispositions visant à prévenir le risque d'abordage	44
2.2.3.1. Incomplétude du dispositif réglementaire visant à prévenir le risque d'abordage	44
2.2.3.2. Efficacité limitée du dispositif réglementaire visant à prévenir le risque d'abordage	46
2.2.3.3. Respect de réglementations – Suivi de recommandations	48
2.2.4. Conclusion sur l'étude des mesures visant à prévenir le risque d'abordage	50
2.3. Facteurs contribuant à l'efficacité de la règle « voir et éviter »	51
2.3.1. Facteurs contribuant à l'efficacité de l'acquisition visuelle	52
2.3.1.1. Mobilisation des ressources attentionnelles des occupants des aéronefs pour la surveillance du ciel	52
2.3.1.2. Efficacité de la surveillance du ciel	54
2.3.1.3. Facteurs dimensionnant pour l'acquisition visuelle	57
2.3.2. Facteurs contribuant à l'efficacité de la manœuvre d'évitement	62
2.3.2.1. Paramètres psychomoteurs	62
2.3.2.2. Performances de l'aéronef	62
2.3.2.3. Conclusion sur les facteurs contribuant à l'efficacité de la manœuvre d'évitement	62
3. Conclusion	63
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'Évènement	63
3.1.1. Cadre des missions	63
3.1.2. Abordage	64
3.2. Causes de l'événement	65
4. Recommandations de sécurité	66
4.1. Préambule	66
4.2. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	67
4.2.1. Cadre réglementaire et procédural	67
4.2.2. Entraînement	69
4.3. Mesure de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	70
Annexes	72
1. Synchronisation des enregistrements et estimation du moment de l'abordage	73
2. Visualisation tête haute	74
3. Limitations of the See-and-Avoid Principle (ATSB)	75
4. Collision avoidance (Civil aviation authority)	112
5. Étude du BEA sur les abordages	124
6. Documents DIRCAM	147
6.1. Circulaire d'information aéronautique NMR 01 du 17 juillet 2003	147
6.2. Note express 260/DIRCAM/DRP/SV du 03 février 2004	150
6.3. Lettre NMR 01290/DIRCAM/DIR du 16 juin 2004	153
7. Relevé de décisions	156

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Photo 1 : flanc droit du RPL du Mirage 2000 N	22
Photo 2 : empennage droit du RPL (vue de dessus)	22
Photo 3 : empennage droit du RPL (vue de dessous)	22
Photo 4 : élévon interne gauche du Mirage 2000 N	23
Photo 5 : reconstitution de l'aile gauche de l'ULM	24
Photo 6 : dégâts sur l'aile gauche de l'ULM	25
Photo 7 : extrémité de l'aile gauche de l'ULM	26
Photo 8 : extrémité du tube de saumon de l'aile de l'ULM	27
Photo 9 : possibilité de discerner l'ULM au travers de la VTH	33
Photo 10 : estimation de l'écart de route entre le Mirage 2000 N et l'ULM	34
Photo 11 : début de la manœuvre d'évitement du Mirage 2000 N	35
Photo 12 : manœuvre d'évitement	36
Photo 13 : parachute équipant l'ULM	38
Photo 14 : photographie (rayons X) de l'ensemble lanceur du parachute	40
Photo 15 : tube de lancement du parachute de l'ULM	40

GLOSSAIRE

ASFC	<i>above surface</i> au-dessus de la surface
BA	base aérienne
BEA	bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile
BEAD-air	bureau enquêtes accidents défense air
CAG	circulation aérienne générale
CAM V	circulation aérienne militaire de type VICTOR (vol à vue)
CFAS	commandement de la force aérienne stratégique
DGAC	direction générale de l'aviation civile
DIRCAM	direction de la circulation aérienne militaire
DNA	direction de la navigation aérienne
EPI	enquêteur de première information
FMD	Formation de manoeuvre défensive
Ft	<i>Feet</i> (1 ft \approx 0,305m) Pied
GPS	<i>Global positioning system</i> Système de positionnement par satellite
Kt	<i>knots</i> (1 kt \approx 1,852 km/h) noeuds
MHz	méga hertz
Nm	<i>nautical miles</i> (1 Nm \approx 1852 m) mille nautique
RCA	règlement de la circulation aérienne
RCAM	règlement de la circulation aérienne militaire
RPL	réservoir pendulaire largable
SIV	secteur d'information de vol
TCAS	<i>traffic collision avoidance system</i> système d'évitement des collisions en vol
TMA	<i>terminal control area</i> région de contrôle terminale
ULM	ultra léger motorisé

VFR	<i>visual flight rules</i>
	règles de vol à vue
VTH	visualisation tête haute

SYNOPSIS

- Date de l'événement : 23 août 2004 vers 09h20¹ ;
- Lieu de l'événement : 15 Nm² Est Clermont-Ferrand – Lieu-dit Tournebize ;
- Aéronefs :
 - ⇒ ULM³ de type Sky Ranger identifié 63–RH ;
 - ⇒ Mirage 2000 N immatriculé 362 F–ULCU.
- Organismes d'appartenances :
 - ⇒ ULM : aéroclub du Livradois Forez (Ambert le Poyet – Puy de Dôme) ;
 - ⇒ Mirage 2000 N : armée de l'air / commandement de la force aérienne stratégique (CFAS).
- Nature du vol :
 - ⇒ ULM : vol local;
 - ⇒ Mirage 2000 N : vol d'instruction en très basse altitude.
- Nombre de personnes à bord :
 - ⇒ ULM : un pilote et un passager ;
 - ⇒ Mirage 2000 N : un pilote et un navigateur officier système d'armes.

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Le 23 août 2004, un ULM et un Mirage 2000 N, équipier d'une patrouille de deux Mirage 2000 N, s'abordent, à très basse altitude, à une quinzaine de nautiques à l'Est de Clermont-Ferrand dans un espace aérien non contrôlé de classe « G ».

L'ULM s'écrase au sol et ses deux occupants sont tués. Le Mirage 2000 N se dérouté sur l'aérodrome de Clermont-Ferrand ; l'équipage est sain et sauf.

¹ Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heures locales.

² Nm : *nautical miles* - mille nautique (1 Nm ≈ 1852m).

³ ULM : ultra léger motorisé.

Enquête technique

Une enquête technique a été instruite par le bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA) ainsi que par le bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air). Pour chacun des deux organismes, la composition du groupe d'enquête est la suivante :

➤ BEA :

- ⇒ un enquêteur ;
- ⇒ un adjoint à l'enquêteur ;
- ⇒ un enquêteur de première information (EPI) de la direction générale de l'aviation civile (DGAC).

➤ BEAD-air :

- ⇒ un officier enquêteur du BEAD-air ;
- ⇒ un EPI de la défense ;
- ⇒ un officier pilote ayant une expertise sur Mirage 2000 ;
- ⇒ un navigateur officier système d'armes ayant une expertise sur Mirage 2000 ;
- ⇒ un officier mécanicien ayant une expertise sur Mirage 2000 ;
- ⇒ un médecin du personnel navigant (armée de l'air) ;
- ⇒ un officier contrôleur aérien (armée de l'air).

Pour les besoins de l'enquête, plusieurs organismes ont été consultés :

- DNA (direction de la navigation aérienne)⁴,
- DIRCAM (direction de la circulation aérienne militaire),
- IMASSA (institut de médecine aérospatiale du service de santé des armées).

⁴ Suite à la réorganisation de la DGAC, en mars 2005, les compétences de la DNA ont été reprises par la DAST (direction des affaires stratégiques et techniques).

Organisation de l'enquête technique

Les permanences des deux organismes permanents, BEA et BEAD-air, sont prévenues téléphoniquement de l'abordage entre l'ULM et le Mirage 2000 N.

Des équipes d'enquêtes techniques sont immédiatement constituées et se répartissent sur plusieurs sites.

- Commune d'Aubusson d'Auvergne : l'EPI de la DGAC reçoit mandat du BEA pour effectuer les premières constatations sur l'ULM avant qu'il ne soit acheminé, dans la journée, sur l'aérodrome de Clermont-Ferrand ;
- Aérodrome de Clermont-Ferrand où le Mirage 2000 N accidenté s'est dérouté ;
 - ⇒ En fin d'après-midi, l'enquêteur du BEA, son adjoint et l'enquêteur du BEAD-air rejoignent Clermont-Ferrand ;
 - ⇒ En fin de soirée, le médecin du personnel navigant et l'expert mécanicien (BEAD-air) arrivent sur le site.
- Base aérienne 125 d'Istres : base de rattachement de l'équipage du Mirage 2000 N et sur laquelle l'avion du leader s'est posé.
 - ⇒ Dans la journée, les experts pilote et navigateur officier système d'armes (BEAD-air) rejoignent Istres.

Enquête judiciaire

- Le Parquet de Clermont-Ferrand s'est saisi de l'affaire ;
- Un officier de police judiciaire de la BGTA (brigade de gendarmerie des transports aériens) de Clermont Ferrand a été initialement commis. L'affaire a ensuite été confiée à un officier de police judiciaire de Lyon ;
- Un expert judiciaire a été commis.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. DEROULEMENT DU VOL

1.1.1. Synopsis

Type de vol	- ULM : CAG ⁵ VFR ⁶ - Mirage 2000 N : COM B ⁷ + COM V ⁸
Type de mission	- ULM : vol local - Mirage 2000 N : vol d'instruction très basse altitude (ASV 2)
Dernier point de départ	- ULM : aérodrome D'Ambert – Le Poyet (Puy de Dôme) - Mirage 2000 N : base aérienne 125 (BA 125) – Istres le Tubé (Bouche du Rhône)
Heure de départ	- ULM : vers 09h10 - Mirage 2000 N : 08h44
Point d'atterrissage prévu	- ULM : aérodrome D'Ambert - Mirage 2000 N : BA 125

1.1.2. Types de missions

- Le pilote de l'ULM effectue un vol au profit de son passager qui, selon des témoignages, souhaite prendre des photographies aériennes de lieux précis au Nord D'Ambert⁹.

⁵ CAG : circulation aérienne générale.

⁶ VFR : *visual flight rules* -règles de vol à vue.

⁷ COM B : circulation opérationnelle militaire de type *Bravo* (suivi d'itinéraires de la circulation opérationnelle militaire)

⁸ COM V : circulation opérationnelle militaire de type *Victor* (vol effectué selon les règles de vol à vue).

⁹ Un appareil photo a été retrouvé dans l'ULM. Trois photos aériennes sont présentes sur la pellicule.

- La patrouille des deux Mirage 2000 N effectue une mission d'instruction en très basse altitude (ASV 2) au profit de l'équipage de l'avion leader¹⁰. La mission prévoit de traiter¹¹ un objectif, au Sud D'Issoire (Sud de Clermont-Ferrand), une première fois dans un cadre tactique simple puis une seconde fois dans un cadre pédagogique, l'équipier tenant le rôle d'un jeune pilote en instruction.

1.1.3. Reconstitution de la partie significative des trajectoires des vols

Le manque d'éléments objectifs concernant l'ULM n'a pas permis de reconstituer avec exactitude sa trajectoire. Celle des Mirage 2000 N a pu être estimée d'après les témoignages des équipages et le dépouillement des enregistreurs de bord des deux appareils.

Après un transit en haute altitude, la patrouille des deux Mirage 2000 N perce à Avord et poursuit sa mission en très basse altitude¹². Elle rejoint le Nord de Clermont-Ferrand et contourne la CTR associée (*control traffic region*, zone de contrôle) par l'Est. Après un virage du cap 120 vers le cap Sud, la patrouille évolue à une hauteur inférieure à 1000 ft¹³, dans un espace aérien non contrôlé de classe G, sous la TMA 1 (*terminal control area*, région de contrôle terminale) de Clermont-Ferrand de plancher 1000 ft au-dessus de la surface (ASFC). L'équipier est en formation de manœuvre défensive¹⁴ (FMD), à 2 Nm sur la droite.

¹⁰ Le pilote est en entraînement sous-chef de patrouille et le navigateur officier système d'armes est en entraînement sous-chef navigateur.

¹¹ Prononcer une attaque sur un point donné avec un armement fictif.

¹² L'ordre de vol précise que la hauteur minimale de vol est de 500 pieds.

¹³ Ft: *Feet*, Pied (1 ft ≈ 0,305m).

¹⁴ Les deux avions volent de front.

La patrouille étant stable au cap Sud, les deux navigateurs officiers systèmes d'armes tournent leur attention en cabine (l'un pour afficher une fréquence radio, l'autre pour contrôler le recalage des centrales à inertie), les deux pilotes se chargeant de la surveillance du ciel¹⁵. Moins de 30 secondes après avoir stabilisé au cap, le pilote du Mirage 2000 N équipier en vol à 850 ft/sol¹⁶, en légère descente, a son attention attirée par un point bas dans son secteur 11h00. Ce point, difficilement identifiable sur le fond sur lequel il se trouve, reste sous un relèvement constant et soudainement se rapproche en face à face pour devenir dangereux. Le pilote baisse instinctivement la tête tout en effectuant une manœuvre d'évitement par la droite.

L'équipage ne ressent aucun choc. Tout en manœuvrant, le pilote annonce à la radio, à l'intention du leader, qu'il a failli aborder un appareil. L'équipage de l'avion leader porte son regard vers l'équipier et voit un aéronef tomber à la verticale alors que du carburant s'échappe du Mirage 2000 N.

L'alerte est déclenchée, par le leader, auprès de l'organisme de contrôle de Clermont-Ferrand et par l'équipier, en montée vers le FL¹⁷ 100, auprès des centres de détection et de contrôle de la défense sur la fréquence de « détresse ».

1.1.4. Localisation

- Lieu où a été retrouvé l'ULM :
 - ⇒ pays : France ;
 - ⇒ département : Puy de Dôme ;
 - ⇒ commune : Aubusson d'Auvergne (près de Courpière), lieu dit Tournebize ;
 - ⇒ coordonnées géographiques :
 - N 45°44'49 ;
 - E 003°35'63.

¹⁵ La surveillance du ciel se distingue du simple fait de regarder à l'extérieur de la cabine par l'application d'une méthodologie, objet, dans les armées, d'une formation et de contrôles et apte à rendre efficace la recherche d'aéronefs potentiellement conflictuels.

¹⁶ Information provenant de la radio sonde et lue sur l'enregistrement de la visualisation tête haute.

¹⁷FL : *flight level*, niveau de vol.

➤ Abordage :

⇒ moment : jour ;

⇒ hauteur de vol : environ 850 ft/sol ;

⇒ aéroport le plus proche au moment de l'abordage : Clermont-Ferrand
à 15 Nm dans l'Est.**1.2. TUES ET BLESSES**

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles	1 (ULM)	1 (ULM)	/
Graves	/	/	/
Légères	/	/	/
Aucunes	2 (Mirage 2000 N)	/	/

1.3. DOMMAGES AUX AERONEFS

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
ULM		X		
Mirage 2000 N			X	

1.4. AUTRES DOMMAGES

Néant.

1.5. RENSEIGNEMENTS SUR LE PERSONNEL

1.5.1. Pilote de l'ULM

- Age : 63 ans ;
- Pilote d'ULM avec les qualifications « emport de passager » et « radio ».

En 2002, le pilote a débuté la formation sur avion au sein de l'aéroclub d'Ambert. Alors qu'il a déjà effectué l'ensemble des vols du programme de navigation en solo, il perd son aptitude médicale. Il suit alors une formation pour voler sur ULM tout en continuant les vols sur avion, en double commande, avec un instructeur.

Le pilote totalise près de soixante-dix heures de vol sur avion et une cinquantaine d'heures de vol sur ULM.

1.5.2. Équipage du Mirage 2000 N de l'équipier

1.5.2.1. Pilote, commandant de bord du Mirage 2000 N

Le pilote est responsable de la patrouille des deux Mirage 2000 N.

- Age : 37 ans ;
- Unité d'affectation : escadron de chasse 03.004 « Limousin » ;
 - ⇒ fonction dans l'unité : commandant d'escadron.
- Spécialité : pilote de chasse ;
 - ⇒ qualification : chef de patrouille ;
 - ⇒ école de spécialisation : École de l'aviation de chasse (EAC) – Tours ;
 - ⇒ année de sortie d'école : 1991.
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé	Dans les 30 derniers jours
	Sur tous types	Sur Mirage 2000 N	Sur Mirage 2000 N	Sur Mirage 2000 N
Total	2240h00	1236h00	72h25	0h00 ¹⁸

- Date du dernier vol comme pilote sur Mirage 2000 N : 21 juillet 2004 ;

¹⁸ Le pilote était en congé durant cette période.

- Carte de circulation aérienne :
 - ⇒ type : carte verte¹⁹ ;
 - ⇒ date d'expiration : 23 septembre 2004.

1.5.2.2. Navigateur officier système d'armes du Mirage 2000 N

- Age : 32 ans ;
- Unité d'affectation : escadron de chasse 03.004 « Limousin » ;
- Spécialité : navigateur officier système d'armes ;
 - ⇒ qualification : chef navigateur ;
 - ⇒ école de spécialisation : EAC – Tours ;
 - ⇒ année de sortie d'école : 1994.
- Heures de vol comme navigateur officier système d'armes :

	Total		Dans le semestre écoulé	Dans les 30 derniers jours
	Sur tous types	Sur Mirage 2000 N	Sur Mirage 2000 N	Sur Mirage 2000 N
Total	2161h10	1785h45	106h20	15h35

- Date du dernier vol comme navigateur officier système d'armes sur Mirage 2000 N : 19 août 2004.

¹⁹ Qualifie l'aptitude au vol aux instruments.

1.5.3. Autres personnels

L'avion leader était composé d'un équipage en entraînement sous-chef de patrouille pour le pilote, et sous-chef navigateur pour le navigateur officier système d'armes.

1.6. RENSEIGNEMENTS SUR LES AERONEFS

1.6.1. ULM

- Propriétaire : club d'ULM de l'aérodrome d'Ambert le Poyet ;
- Type d'ULM : *Sky Ranger* ;
- Identification : n°63–RH ;
- Heures de vol totales : environ 171 heures.

1.6.1.1. Caractéristiques / équipements

De conception française, le *Sky Ranger* est un ULM, multiaxe, biplace côte à côte, à aile haute. Conçu en 1990 il a bénéficié, en 1994, d'études réalisées par l'École nationale des ingénieurs de construction aéronautique de Toulouse (tests de ruptures de pièces, essais en soufflerie...).

Des essais complémentaires réalisés en 1996 et en 2001 démontrent une tenue à + 6 g / - 4 g sans déformation, et une capacité de voler à 16° d'incidence pendant plus de 10 secondes.

- Caractéristiques / performances :
 - ⇒ longueur : 5,50 mètres ;
 - ⇒ envergure : 9,50 mètres ;
 - ⇒ hauteur : 2,27 mètres ;
 - ⇒ masse maximale : 450 kg ;
 - ⇒ vitesse de croisière : environ 120 km/h ;
 - ⇒ finesse : 10.

➤ Équipements :

- ⇒ moteur deux temps Rotax 582 d'une puissance de 65 CV ;
- ⇒ hélice bipale en bois à pas fixe ;
- ⇒ radio ;
- ⇒ parachute de secours²⁰ de type Alpha 1050-SO dont la vitesse maximale de déploiement est de 250 km/h.

L'ULM n°63–RH est caréné et de couleur rouge et jaune. Il ne dispose ni de transpondeur, ni de feux de navigation et de feux anticollision.

1.6.1.2. Montage de l'ULM n°63–RH

Acheté en *kit* en novembre 2002 par un propriétaire privé, l'ULM n°63–RH est assemblé par les élèves d'une classe de troisième d'un lycée technique de la région sous la conduite du propriétaire²¹ et de deux autres personnes du club d'ULM.

Début 2004, l'ULM est vendu au club d'ULM de l'aérodrome d'Ambert le Poyet.

1.6.1.3. Utilisation / maintenance

L'ULM n° 63–RH est loué à des particuliers et est utilisé par l'instructeur du club pour la formation des pilotes d'ULM.

L'ULM a fait l'objet de trois opérations de maintenance à 50 heures, 100 heures et 150 heures.

Ces opérations ont été effectuées par le propriétaire initial de l'appareil, même après son rachat par le club.

²⁰ Le parachute, fixé à la cellule de l'ULM, est mis en œuvre par un système pyrotechnique à mise en œuvre manuelle.

²¹ Le propriétaire a assemblé un autre ULM quelques années auparavant.

1.6.2. Mirage 2000 N

- Organisme : armée de l'air ;
- Commandement organique d'appartenance : CFAS ;
- Base aérienne de stationnement : BA 125 – Istres ;
- Unité d'affectation : escadron de chasse 03.004 « Limousin » ;
- Type d'aéronef : Mirage 2000 N ;
 - ⇒ configuration : emport de deux réservoirs supplémentaires de 2000 litres ;
 - ⇒ armement : néant.

1.6.2.1. Présentation

Le Mirage 2000 N, fabriqué par Dassault Aviation, est un avion biplace polyvalent destiné en priorité à la pénétration tous temps en très basse altitude. Il peut également effectuer des missions d'attaques au sol avec des armements conventionnels.

Ses commandes de vol électriques permettent des évolutions à haute incidence et le vol en centrage arrière. Sa formule aérodynamique est basée sur une aile delta à forte flèche équipée de bords de bord d'attaque mobiles. Il a deux aigrettes et pas d'empennage. Sa propulsion est assurée par un réacteur SNECMA M53-P2 double flux à post-combustion de la classe des 10 tonnes.

1.6.2.2. Caractéristiques / performances

Les caractéristiques du Mirage 2000 N avec l'emport de deux réservoirs supplémentaires de 2000 litres sont :

- longueur : 14m36 ;
- envergure : 9m13 ;
- hauteur : 5m20 ;
- masse au décollage : 14 700 kg ;
- facteur de charge : $- 2,2 \leq g \leq + 5,5$;
- mach maximum : 0.95.

1.6.2.3. Maintenance

L'examen de la documentation technique montre que l'appareil est entretenu conformément aux plans de maintenance en vigueur.

1.7. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

1.7.1. Prévisions de Météo France.

➤ Situation en altitude : flux de Sud-Ouest modéré à l'avant d'un *talweg* axé sur l'Irlande.

Sur l'Auvergne, la masse d'air est instable avec la formation de cumulonimbus dans l'après-midi ;

➤ Situation en surface : le matin, sur la région des monts d'Auvergne, de bonnes conditions aéronautiques avec de rares brumes dans les vallées.

1.7.2. Observations

Les observations météorologiques, réalisées à Clermont-Ferrand et Courpière, indiquent une visibilité supérieure à 10 km, 2 à 3/8 d'altocumulus vers 3000 mètres, et un vent du secteur Est d'une dizaine de nœuds.

Les témoignages des deux équipages des Mirage 2000 N confirment ces observations.

1.8. AIDES A LA NAVIGATION

Le pilote de l'ULM a emporté un GPS (*Global positioning system*, système mondial de positionnement par satellite) personnel de type Magellan 315.

Le Mirage 2000 N est équipé de deux centrales inertielles et d'une présentation dynamique de cartes en visualisation tête basse (VTB).

1.9. TELECOMMUNICATIONS

➤ L'ULM est équipé d'un poste radio. La fréquence affichée est 123.5 Mhz (fréquence VHF²² à utiliser en auto information sur les terrains pour lesquels aucune fréquence radio n'est attribuée) ;

²² VHF: *very high frequency*, très haute fréquence.

- Le Mirage 2000 N est équipé de deux postes radio. Sur l'un est affichée la fréquence UHF²³ d'auto information réservée aux aéronefs en CAM V²⁴ et, sur l'autre, une fréquence interne à la patrouille.

1.10. RENSEIGNEMENTS SUR L'AERODROME

Sans objet.

1.11. ENREGISTREURS DE BORD

- L'ULM ne dispose d'aucun moyen d'enregistrement qui lui soit propre. Sur le GPS, emporté par le pilote, la fonction « historique » n'est pas activée, aucune donnée pertinente n'a été sauvegardée ;
- Le Mirage 2000 N est équipé :
 - ⇒ d'un enregistreur d'accident à mémoires statiques ;
 - ⇒ d'un enregistrement, sur bande Hi-8, de la visualisation tête haute (VTH), des messages radio émis et reçus par le pilote, et des conversations internes au *cockpit*.

1.12. EXAMEN DES AERONEFS APRES L'EVENEMENT

1.12.1. Examen du Mirage 2000 N

Seuls le réservoir pendulaire largable (RPL) gauche et l'élevon interne gauche comportent des traces liées à l'abordage.

- Réservoir pendulaire largable gauche :
 - ⇒ le flanc inférieur droit du RPL comporte une trace de frottement sur une longueur de 105 cm. À l'arrière de cette trace, un rivet a été délogé permettant au carburant de fuir,

²³ UHF: *ultra high frequency*, ultra haute frequency.

²⁴ CAM V : circulation aérienne militaire de type *Victor* (règles de vol à vue).



○ Traces de frottement

○ Rivet délogé

Photo 1 : flanc droit du RPL du Mirage 2000 N

⇒ l'empennage droit du RPL est marqué et le bord d'attaque est déformé ;



Marquage et déformation

Photo 2 : empennage droit du RPL (vue de dessus)



Photo 3 : empennage droit du RPL (vue de dessous)

- Élevon interne gauche : il est déchiré en son centre sur trois quarts de sa largeur (dans l'axe de l'avion) ;



Vue de dessus



Vue de dessous

Photo 4 : élevon interne gauche du Mirage 2000 N

1.12.2. Examen de l'ULM

1.12.2.1. Examen de la zone de l'impact de l'ULM avec le sol

L'ULM est retrouvé au bas d'une pente, dans un terrain boisé²⁵. Il est quasiment à la verticale, le moteur enfoui dans le sol.

1.12.2.2. Examen de l'épave de l'ULM

L'aile gauche, désentoilée, est séparée du fuselage et repose en contrebas à une distance d'environ cinq mètres. Des éléments de sa structure métallique sont retrouvés à environ deux cents mètres de l'épave.

L'examen de l'ULM a été réalisé, à l'atelier industriel aéronautique (AIA) de Clermont-Ferrand, par les enquêteurs du BEA.

²⁵ L'épave de l'ULM a été évacuée vers l'AIA de Clermont-Ferrand avant l'arrivée, sur le site, des enquêteurs du BEA et du BEAD-air mais en présence de l'EPI du BEA.

La reconstitution de l'aile gauche de l'ULM, par le BEA, (*Photo 5 : reconstitution de l'aile gauche de l'ULM* et *Photo 6 : dégâts sur l'aile gauche de l'ULM*) montre que :

- le tube de bord d'attaque de l'aile gauche est rompu en quatre parties (la partie la plus extérieure n'a pas été retrouvée) ;



Photo 5 : reconstitution de l'aile gauche de l'ULM

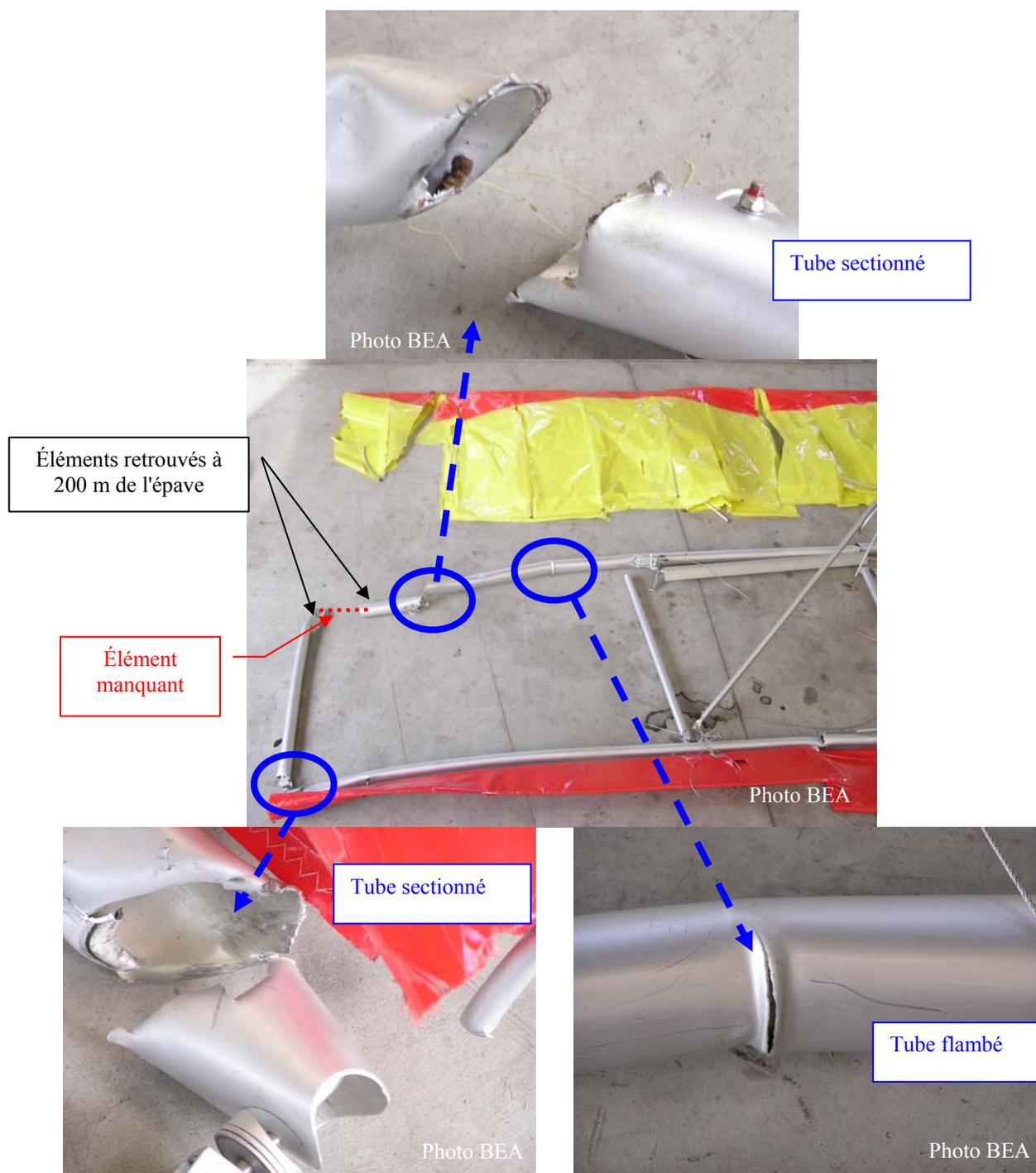


Photo 6 : dégâts sur l'aile gauche de l'ULM

- 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 avec la déchirure observée sur la toile. Celle-ci présente des traces de frottement ;



Photo 7 : extrémité de l'aile gauche de l'ULM

- l'extrémité avant du tube de saumon est rompue, déformée, et présente des traces de frottement ;



Photo 8 : extrémité du tube de saumon de l'aile de l'ULM

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

Les autres constats réalisés par le BEA indiquent que :

- toutes les ruptures observées sur le reste de la cellule sont de type statique et sont consécutives à l'impact au sol ;
- les commandes de vol sont continues ;
- le moteur est désolidarisé de son support. Il ne délivrait pas de puissance à l'impact au sol, seule une pale de l'hélice en bois est rompue au niveau du moyeu ;
- la fréquence affichée sur la radio de bord est 123.5 MHz ;
- l'aiguille de l'anémomètre indique 185 km/h ;
- le calage affiché sur l'altimètre est de 1023 hPa (hecto Pascal).

1.13. RENSEIGNEMENTS MEDICAUX ET PATHOLOGIQUES

1.13.1. Pilote de l'ULM

Les raisons médicales de la perte de l'aptitude du pilote de l'ULM, pour le vol sur avion, sont sans rapport avec l'accident. Plus spécifiquement, elles ne concernent pas son acuité visuelle.

1.13.2. Pilote du Mirage 2000 N équipier

- Examens médicaux :
 - ⇒ visite d'aptitude au CEMPN²⁶ de Toulon :
 - date : 25 septembre 2003 ;
 - résultat : apte ;
 - validité : 1 an.
 - ⇒ visite systématique d'aptitude (VSA) :
 - date : 25 mars 2004 ;
 - aptitude : aptitude maintenue.
 - ⇒ examens biologiques : réalisés.

1.13.3. Navigateur officier système d'armes du Mirage 2000 N équipier

- Dernier examen médical :
 - ⇒ type : visite d'aptitude au CEMPN de Toulon ;
 - ⇒ date : 5 avril 2004 ;
 - ⇒ résultat : apte ;
 - ⇒ validité : 1 an.
- Examens biologiques : réalisés.

1.14. INCENDIE

Néant.

1.15. SURVIE DES OCCUPANTS / ORGANISATION DES SECOURS

Des secours terrestres et un hélicoptère de la sécurité civile ont été engagés. Les phases de recherche ont débuté à 9h36 pour les premiers, tandis que l'hélicoptère a décollé à 9h54 de Clermont-Ferrand.

L'épave de l'ULM a été localisée à 10h08 par l'équipage de l'hélicoptère.

²⁶ CEMPN : centre d'expertises médicales du personnel navigant.

1.16. ESSAIS ET RECHERCHES

Néant.

1.17. RENSEIGNEMENTS SUR LES ORGANISMES

Sans objet.

1.18. RENSEIGNEMENTS SUPPLEMENTAIRES

- Les aéronefs évoluent dans un espace aérien de classe G ;
- Les aéronefs sont dans un secteur d'information de vol (SIV) où est rendu le service d'information de vol²⁷ ;
- L'ULM applique les règles de vol à vue en CAG VFR définies dans le RCA²⁸ et plus spécifiquement dans le RCA 1, chapitre IV *Règles de vol à vue* ;
- La patrouille des Mirage 2000 N est en CAM V dont les règles sont définies dans le RCAM²⁹ et plus spécifiquement dans le RCAM 1, chapitre IV *Règles de vol à vue – La CAM V* ;
- L'ULM et la patrouille des deux Mirage 2000 N ont les minima météorologiques pour le vol à vue.

1.18.1. Éléments spécifiques à la CAG VFR

- La vitesse, en espace aérien non contrôlé de classe G, au-dessous du FL 100 ou de 10 000 ft AMSL (*above medium sea level*, au-dessus du niveau de la mer) si l'altitude de transition est supérieure à cette valeur, est limitée à 250 kt³⁰ ;
- Les cartes aéronautiques au 1/500 000 et le « guide VFR » attirent l'attention des pilotes sur le fait que, durant le jour, la plupart des vols d'avions d'armes à basse altitude et grande vitesse sont effectués en dessous de 1500 ft ASFC et ce, au-dessus de pratiquement tout le territoire français.

²⁷ Ce service est assuré dans le but de fournir les avis et renseignements utiles à l'exécution sûr et efficace des vols (RCA 1 - 7).

²⁸ RCA : règlement de la circulation aérienne.

²⁹ RCAM : règlement de la circulation aérienne militaire.

³⁰ kt : *knots* (nœuds).

Il est donc recommandé aux pilotes VFR, pour autant que cela soit possible et permis, de conduire leur vol en croisière au-dessus de 1500 ft ASFC.

1.18.2. Éléments spécifiques à la CAM V

- Pour les vols à une hauteur inférieure à 1500 ft ASFC, la procédure d'auto information est obligatoire³¹ (RCAM 1-34) ;
- Pour les réacteurs :
 - ⇒ la hauteur minimale de vol est de 150 mètres (500 ft) au dessus de l'obstacle le plus élevé situé dans un rayon égal à la distance parcourue en 10s de vol. Cette hauteur est majorée pour le survol de certaines agglomérations et installations (RCAM 1-40) ;
 - ⇒ pour les vols effectués a une hauteur inférieure à la plus élevée des deux valeurs 3000 ft (900 mètres) AMSL ou 1000 ft (300 mètres) AGL, la vitesse est limitée à 450 kt³² (Instruction IV-22 de l'armée de l'air, ordre 4E , annexe I: *limitations des vols CAM*³³).

1.18.3. Dispositions particulières

Au travers de publications, la DNA et la DIRCAM mènent des actions de sensibilisation pour la sécurité en basse altitude (notamment anti-abordage) qui peuvent concerner des risques particuliers à caractères ponctuel ou saisonnier.

³¹ Consiste à diffuser systématiquement ou périodiquement des messages de position en "BROADCAST" permettant d'orienter la surveillance du ciel et de faciliter les évitements entre aéronefs en vol à vue dans un même secteur.

³² Les documents consultés et les informations transmises par la DIRCAM ne permettent ni de savoir ce qui justifie cette limitation (réduction des nuisances sonores, limitation des abordages...) ni de connaître ce qui a prévalu à fixer cette valeur (performance des avions, étude...).

³³ Dans le RCAM, aucune limitation de vitesse n'est fixée. En revanche, dans son chapitre 2 : *Conditions spéciales de vol en CAM*, il est précisé que des conditions spéciales peuvent être définies par les différents états-majors ou directions et que celles-ci font l'objet de consignes particulières mentionnées dans le MILAIP France. Dans ce dernier document, au paragraphe 3 de la page ENR 1.2-3 : *restrictions pour les vols effectués à une hauteur inférieure à la plus élevée des 2 valeurs 3000 ft (900m) AMSL ou 1000 ft(300m) AGL*, il est mentionné que la vitesse est limitée à 450 nœuds, les grands commandements français concernés par des besoins particuliers pouvant accorder des dérogations. L'instruction IV-22, ordre 4 E, annexe I : *limitations des vols CAM*, limite la vitesse à 450 kt sauf sur dérogation des commandements concernés pour des besoins particuliers.

Plus spécifiquement :

- en 2004, à l'approche de l'été aéronautique, a eu lieu une démarche de sensibilisation de la part de la DNA et de la DIRCAM vers l'ensemble des usagers civils et militaires, sur l'augmentation du risque d'abordage en basse altitude lié à l'intensification de l'activité aérienne légère estivale³⁴. Rappel, à cette occasion, que la règle « voir et éviter » impose une vigilance permanente et une recherche au plus loin des trafics potentiellement dangereux ;
- en 2003, une action de sensibilisation, de la DIRCAM³⁵, a été conduite au profit des usagers militaires 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, notamment à proximité des aérodromes.

1.19. TECHNIQUES SPECIFIQUES D'ENQUETE

Néant.

³⁴ NE n° 260/DIRCAM/DRP/SV du 3 février 2004 relative à la sensibilisation aux risques d'abordages encourus lors des vols en basse altitude.

Lettre commune DNA/DIRCAM n°1290/DIRCAM/DIR, n° 10410/DNA du 18 juin 2004 relative à l'action de sensibilisation sur la sécurité en basse altitude pour l'été 2004.

³⁵ Circulaire militaire d'information aéronautique n°1 du 17 juillet 2003.

2. ANALYSE

L'analyse de l'abordage survenu le 23 août 2004 entre un ULM et un Mirage 2000 N se décompose en trois parties :

- description de l'événement ;
- étude des mesures visant à prévenir les risques d'abordages ;
- limites de la règle « voir et éviter ».

2.1. DESCRIPTION DE L'ÉVÉNEMENT

Ce chapitre présente :

- les éléments de vol des aéronefs jusqu'à la manœuvre d'évitement du pilote du Mirage 2000 N ;
- la manœuvre d'évitement du Mirage 2000 N ;
- la position relative estimée des aéronefs au moment de l'abordage ;
- le mécanisme de la perte de contrôle de l'ULM ;
- le défaut de fonctionnement du parachute de l'ULM.

Ces différentes études ont été conduites à partir des constats effectués sur les aéronefs et de l'analyse des dépouillements, après leur synchronisation (annexe 1 : *Synchronisation des enregistrements et estimation du moment de l'abordage*, page 73). Les enregistrements analysés concernaient :

- l'enregistreur d'accident et l'enregistrement de la VTH qui équipent le Mirage 2000 N de l'équipier de la patrouille ;
- l'enregistrement audio de l'avion du Mirage 2000 N leader, à partir de l'enregistrement de sa VTH ;
- les enregistrements audio des organismes de contrôle de Clermont-Ferrand.

2.1.1. Éléments de vol des avions jusqu'à la manœuvre d'évitement du pilote du Mirage 2000 N

Des éléments relatifs à l'ULM et au Mirage 2000 N, dans les secondes qui ont précédé l'abordage³⁶ et jusqu'à la manœuvre d'évitement par le pilote du Mirage 2000 N, ont pu être dégagés de l'étude de l'enregistrement de la VTH et du dépouillement de l'enregistreur d'accident.

Nota : la présentation de la VTH fait l'objet de l'annexe 2 : Visualisation tête haute, page 74.

Deux secondes avant le moment estimé de l'abordage, $T_0 - 2s$, l'ULM commence à pouvoir être discerné sur l'enregistrement de la VTH. Compte tenu de la vitesse du Mirage 2000 N et de celle de l'ULM, estimée à une soixantaine de nœuds (120 km/h), la distance séparant les deux avions est d'environ 500 mètres.



Photo 9 : possibilité de discerner l'ULM au travers de la VTH

³⁶ On notera T_0 le moment de l'abordage.

➤ Concernant l'ULM

Pendant la phase de rapprochement et jusqu'à au moment de l'abordage, l'ULM :

- ⇒ est en étagement négatif par rapport au Mirage 2000 N ;
- ⇒ a une attitude qui ne semble pas varier, tout au moins, jusqu'au moment où il sort du champ de la VTH du Mirage 2000 N ;
- ⇒ suit une route stable qui peut être estimée entre le 310° et le 340°.

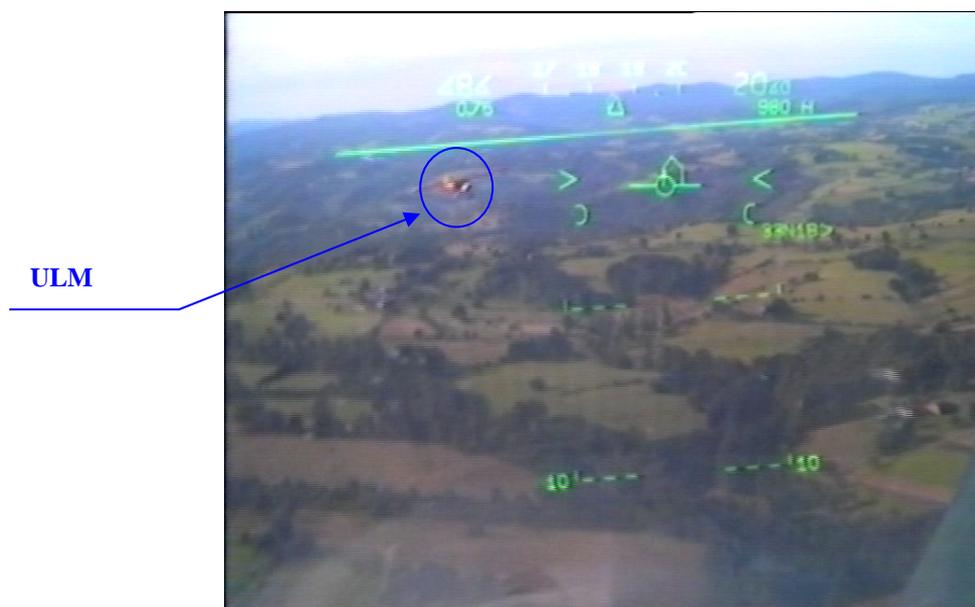


Photo 10 : estimation de l'écart de route entre le Mirage 2000 N et l'ULM

- Concernant le Mirage 2000 N de l'équipier
 - ⇒ $T_0 - 1mn20s$: le pilote vire du cap 120° vers le cap 185° ; sa vitesse est de 484 kt ;
 - ⇒ $T_0 - 45s$: fin du virage au cap 185° . L'équipier manœuvre en roulis pour affiner sa position en FMD droite par rapport au leader ;
 - ⇒ $T_0 - 20s$: l'équipier est stable au cap 185° , en FMD droite. Pour suivre le relief, il met son avion en descente sous une pente d'un peu moins de 5° ;
 - ⇒ $T_0 - 2s$: stable au cap 185° , le pilote diminue la pente de descente vers $2,5^\circ$.

2.1.2. Manœuvre d'évitement du pilote du Mirage 2000 N

À $T_0 - 0,5s$: le pilote du Mirage 2000 N a débuté la manœuvre d'évitement (mise en roulis visible sur la VTH, *Photo 11 : début de la manœuvre d'évitement du Mirage 2000 N*, ci-dessous) ; sa vitesse est de 484 kt. La distance séparant les deux aéronefs peut être estimée à un peu plus d'une centaine de mètres.

- Simultanément, le pilote amène la commande de gauchissement en butée à droite tout en exerçant une action sur la commande de profondeur vers l'arrière ;
- Puis, il augmente la puissance du moteur ;



Photo 11 : début de la manœuvre d'évitement du Mirage 2000 N

- Les actions du pilote engagent alors l'avion dans un virage serré par la droite, la trajectoire du Mirage 2000 N revenant dans le plan horizontal (*Photo 12 : manœuvre d'évitement, ci-dessous*).

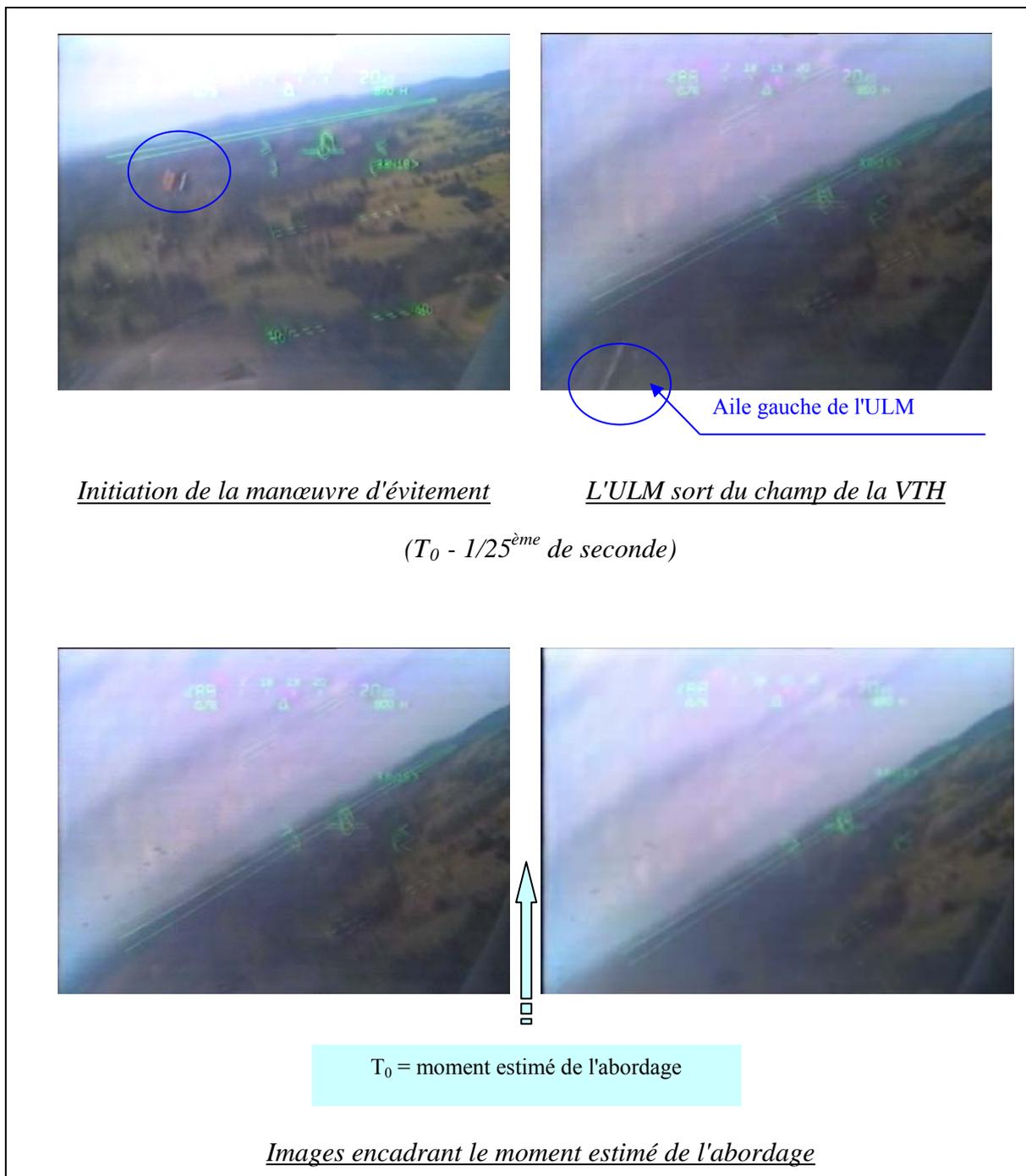


Photo 12 : manœuvre d'évitement

2.1.3. Position relative des aéronefs au moment de l'abordage et mécanisme de la perte de contrôle de l'ULM

La reconstitution de la position relative des deux aéronefs au moment de l'abordage et le mécanisme de la perte de contrôle de l'ULM ont été réalisés à partir :

- de l'examen du Mirage 2000 N et de l'épave de l'ULM ;
- des témoignages des équipages des deux Mirage 2000 N ;
- des éléments recueillis après dépouillement des enregistreurs du Mirage 2000 N de l'équipier.

2.1.3.1. Reconstitution de la position relative des deux aéronefs au moment de l'abordage

Au moment où le Mirage 2000 N et l'ULM s'abordent :

- le Mirage 2000 N est en virage par la droite dans le plan horizontal ;
- vraisemblablement, l'ULM a une attitude stable en vol rectiligne horizontal ;
- l'ULM et le Mirage 2000 N se touchent au niveau du flanc interne du RPL gauche du Mirage 2000 N ;
- l'aile gauche de l'ULM est probablement sectionnée par l'empennage droit du RPL du Mirage 2000 N ;
- puis des tubes de la structure de l'ULM entaillent, selon toute vraisemblance, l'élevon interne de l'aile gauche du Mirage 2000 N.

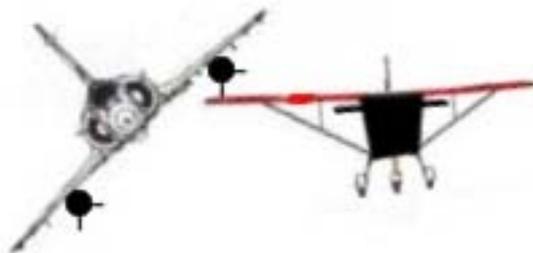


Figure 1: schéma de l'abordage

2.1.3.2. Mécanisme de la perte de contrôle de l'ULM

Après que l'extrémité de l'aile gauche de l'ULM ait été sectionnée, il est vraisemblable que le vent relatif, s'engouffrant par l'ouverture ainsi créée, ait provoqué le désentoilage de l'aile³⁷. La perte subite de portance aurait alors conduit à la perte de contrôle de l'ULM.

2.1.4. Parachute de l'ULM

Le parachute qui équipe l'ULM est fixé à la cabine et est conçu pour assurer la descente de l'appareil complet. Il est composé d'un container qui contient la toile du parachute et d'un tube de lancement dans lequel est enfermé le système pyrotechnique assurant l'extraction de la voile à travers l'aile de l'ULM (Photo 13 : parachute équipant l'ULM, ci-dessous).

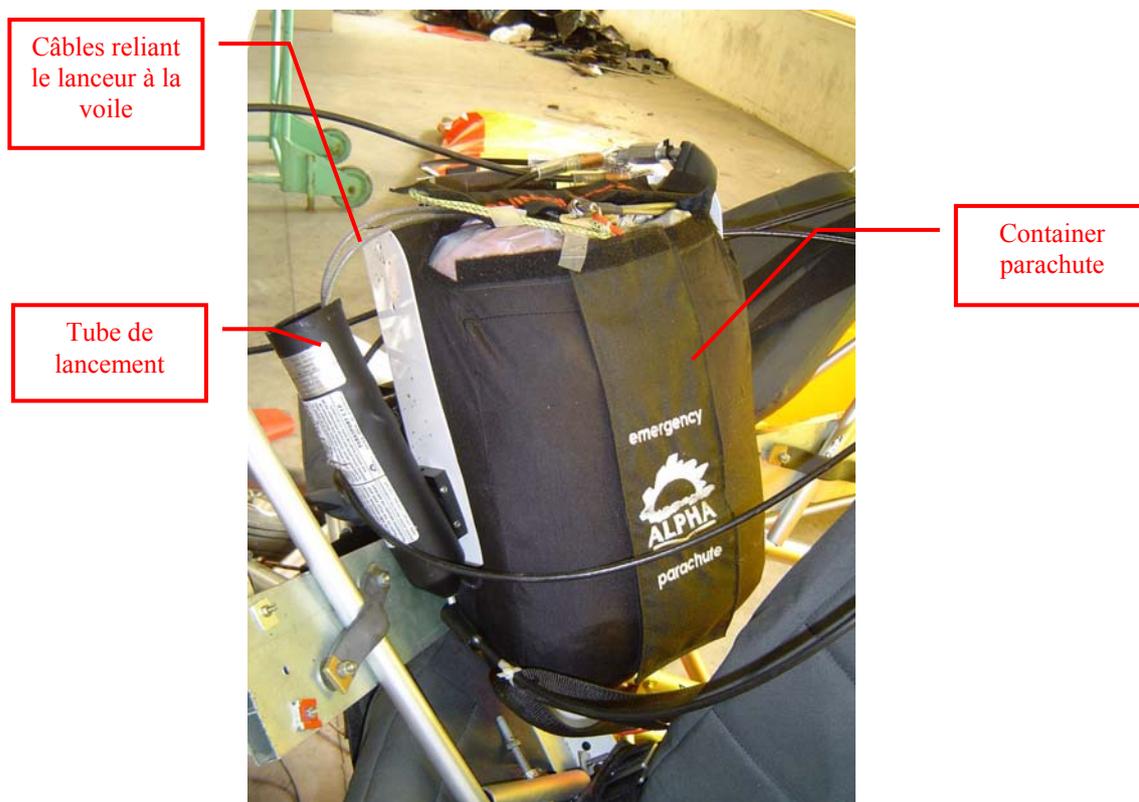


Photo 13 : parachute équipant l'ULM

³⁷ Cette hypothèse est confirmée par l'examen de l'aile gauche de l'ULM et par le témoignage de l'équipage du Mirage 2000 N de l'avion leader.

2.1.4.1. Principe de fonctionnement

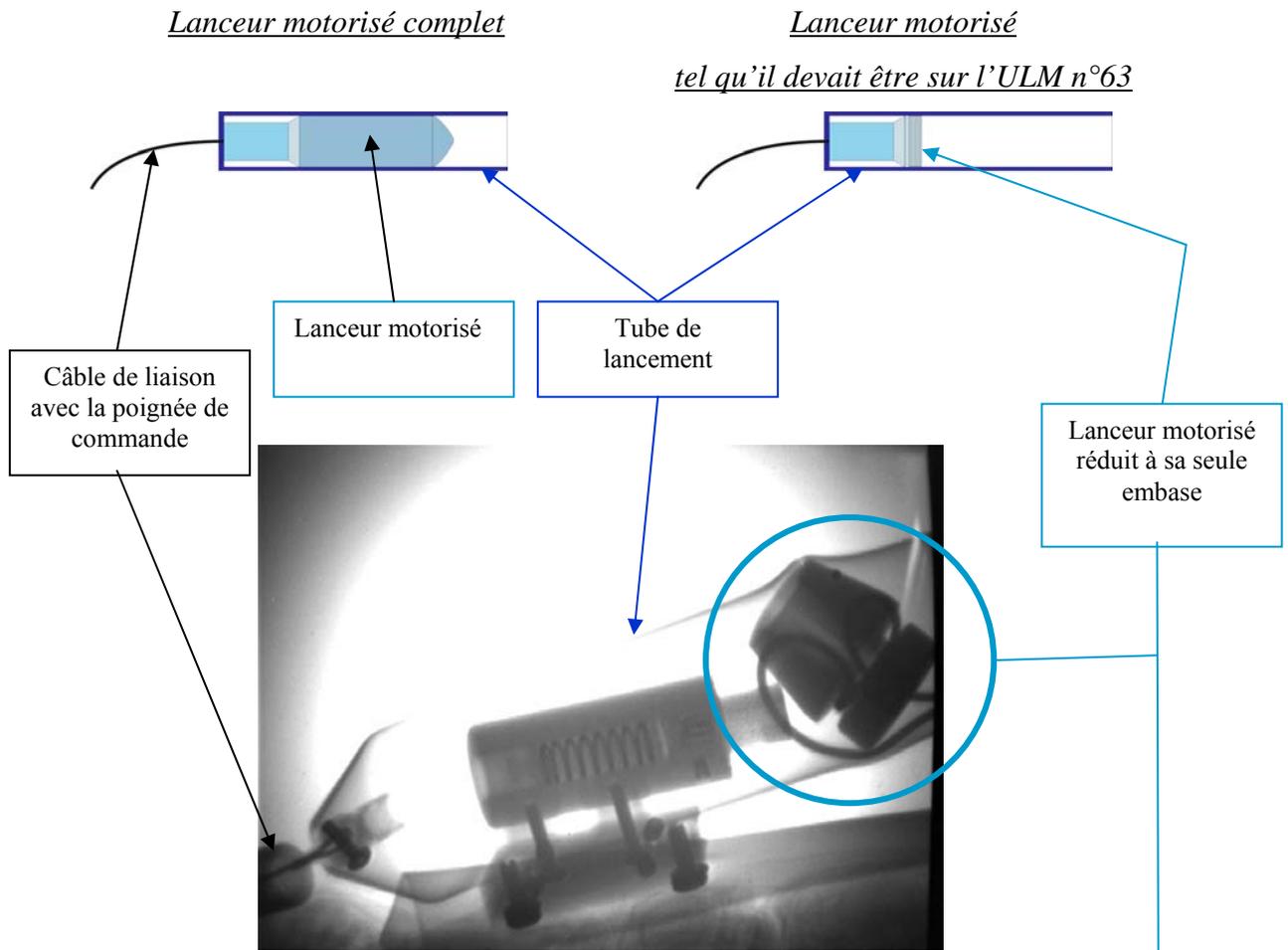
L'action sur la poignée de commande, par l'un des occupants, provoque la mise à feu du système pyrotechnique. Il assure la propulsion d'un lanceur motorisé qui, à son tour, entraîne l'extraction, à travers l'aile de l'ULM, de la voile du parachute à laquelle il est relié par des câbles.

2.1.4.2. Examen de l'ensemble parachute

- L'examen de l'ensemble du parachute, par le BEA, montre que le système pyrotechnique du parachute a été mis en œuvre par extraction de la poignée de commande, soit par l'un des deux occupants, soit lors de l'impact au sol de l'ULM ;
- Des photographies aux rayons X du tube de lancement (*Photo 14 : photographie (rayons X) de l'ensemble lanceur du parachute* et *Photo 15 : tube de lancement du parachute de l'ULM*, page suivante) mettent en évidence l'absence d'une partie du lanceur motorisé, réduit donc à sa seule embase³⁸.

L'absence, de sa partie haute, n'a pas permis au lanceur d'être guidé dans le tube de lancement. Lors de la mise à feu, l'embase du lanceur motorisé s'est désaxée et bloquée, en déformant ainsi le tube de lancement, et interdisant définitivement toute extraction du parachute de son container.

³⁸ Ce défaut pourrait être consécutif à une erreur, par exemple, lors de la fabrication ou lors du montage de l'ensemble parachute sur l'ULM.



2.1.5. Conclusion sur la description de l'événement

L'exploitation des enregistrements du Mirage 2000 N, enregistreur d'accident et enregistrement de la VTH, l'examen des dégâts occasionnés sur les deux aéronefs, et les différents témoignages, montrent que :

- **20s avant l'abordage, la patrouille de Mirage 2000 N informe, sur la fréquence UHF dédiée à l'auto information en CAM V, de sa présence à l'Est de Clermont-Ferrand ;**
- **dans les secondes qui précèdent l'abordage :**
 - ⇒ **l'ULM semble être en en vol rectiligne horizontal :**
 - **cap estimé 310° / 340 ;**
 - **vitesse estimée 120 km/h (environ 70 kt).**
 - ⇒ **le Mirage 2000 N est stable au cap 185°, en descente à 2,5° de pente, à une vitesse de 484 kt ;**
 - ⇒ **le Mirage 2000 N est à une hauteur de vol supérieure à celle de l'ULM (étagement positif) ;**
- **0,5s avant le moment estimé de l'abordage, le pilote du Mirage 2000 N initie une manœuvre d'évitement en effectuant un virage serré par la droite ;**
- **au moment estimé de l'abordage :**
 - ⇒ **le Mirage 2000 N est en virage par la droite, dans le plan horizontal, avec une inclinaison proche de 45 ;**
 - ⇒ **l'aile gauche de l'ULM est sectionnée à 64 cm de son extrémité, probablement par l'empennage droit du bidon gauche du Mirage 2000 N, ;**
 - ⇒ **l'élevon interne gauche du Mirage 2000 N est vraisemblablement entaillé par un des tubes composant la structure de l'ULM.**
- **après l'abordage, il est probable que le vent relatif s'engouffrant par l'extrémité de l'aile gauche de l'ULM provoque son désentoilage et conduise à la perte de contrôle de l'appareil ;**
- **le système permettant l'extraction du parachute équipant l'ULM a été déficient.**

2.2. ÉTUDE DES MESURES VISANT A PREVENIR LES RISQUES D'ABORDAGES

2.2.1. Préambule

Les résultats des différentes études dont il est fait mention dans ce chapitre et dans les suivants sont regroupés dans :

- le rapport de recherche de l'*Australian Transport Safety Bureau* (annexe 3 : *Limitations of the See-and-Avoid Principle (ATSB)*, page 75) ;
- le rapport de recherche du *UK Civil aviation authority* (annexe 4 : *Collision avoidance (Civil aviation authority)*, page 112) ;
- l'étude sur les abordages, dans la période 1989 - 1999, réalisée par le BEA (annexe 5 : *Étude du BEA sur les abordages*, page 124).

2.2.2. Étude du dispositif réglementaire

Cette étude se limite à l'environnement spécifique de l'événement qui s'est déroulé en espace aérien non contrôlé de classe G.

Dans cet espace aérien, la réglementation prévoit que l'anti-abordage est de la responsabilité des pilotes et est fondé sur le principe « voir et éviter ».

En complément à ce principe, l'étude du dispositif réglementaire suggère³⁹ que certaines dispositions obligatoires, complétées par des recommandations, participent à l'efficacité de la règle « voir et éviter ».

➤ Obligations :

- ⇒ L'anti-abordage entre aéronefs en CAG VFR est en partie assuré par la limitation de leur vitesse à 250 kt⁴⁰. Cette disposition pourrait permettre aux pilotes de bénéficier du temps nécessaire pour acquérir le visuel sur un trafic potentiellement dangereux, et pour appliquer la manœuvre d'évitement *ad hoc* ;

³⁹ Pour la plupart de ces dispositions, il n'est pas fait mention explicite qu'elles concourent à limiter le risque d'abordage.

⁴⁰ Cette limitation semble initialement avoir été érigée pour des considérations de gestion du trafic aérien. Elle permet, d'autre part, de limiter les dégâts qui seraient, le cas échéant, occasionnés à un aéronef lors d'une collision volatile. Enfin, elle est retenue comme pouvant contribuer à la prévention des abordages.

⇒ Le recours à la procédure d'auto information pour les aéronefs en CAM V, dont les aéronefs à grande vitesse, permet de limiter les risques d'abordages en orientant la recherche visuelle, par les équipages, de trafic potentiellement dangereux.

➤ Recommandations : elles visent à ségréger les aéronefs selon leur régime de vol ;

⇒ Ségrégation en altitude

La DNA recommande⁴¹, dans la mesure du possible, que les pilotes en CAG VFR volent au-dessus de 1500 ft ASFC, les pilotes en CAM V volant généralement en dessous. ;

⇒ Ségrégation par zone

La DIRCAM recommande⁴² aux pilotes en CAM V : « *si la mission ne l'impose pas, évitez 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 circulations d'aérodromes* ».

Par extension, il est logique de comprendre que si la DIRCAM recommande de ne pas voler aux limites de telles zones, de surcroît la même recommandation s'applique avec encore plus de pertinence à l'intérieur de ces zones dans lesquelles il peut y avoir une forte concentration de trafic.

Ce dispositif est résumé dans le tableau ci après :

Type de vol	Obligations	Recommandations
CAG VFR	Vitesse \leq 250 kt	Vol au dessus de 1500 ft ASFC
COM V	Procédure d'auto information entre aéronefs en CAM	- Vol en dessous de 1500 ft ASFC - Éviter les espaces aériens avec forte concentration de trafic.

Dispositif réglementaire devant permettre de limiter les risques d'abordages

⁴¹ Guide VFR et cartes aéronautiques au 1 : 500 000.

⁴² Circulaire d'information aéronautique n°1 du 17 juillet 2003.

Le jour de l'accident, les dispositions obligatoires visant à limiter les abordages ont été respectées :

- l'ULM était à une vitesse inférieure à 250 kt ;
- les pilotes de la patrouille des Mirage 2000 N faisaient régulièrement des messages d'auto information⁴³.

En revanche, les recommandations n'ont pas été totalement respectées :

- l'ULM volait en dessous de 1500 ft ASFC ;
- le Mirage 2000 N était sous une TMA, espace aérien dans lequel l'activité aérienne est concentrée en raison de ses dimensions limitées.

2.2.3. Incomplétude et efficacité limitée des dispositions visant à prévenir le risque d'abordage

2.2.3.1. Incomplétude du dispositif réglementaire visant à prévenir le risque d'abordage

Le dispositif réglementaire permet que le risque d'abordage ne soit prévenu, entre aéronefs en CAG VFR et aéronefs en CAM V, qu'au travers de la stricte application de la règle « voir et éviter », aucun autre dispositif (procédural, réglementaire, technique, etc.) n'étant commun et obligatoire aux deux types de circulation aérienne.

- D'une part, un pilote en CAG VFR, souhaitant maintenir son vol en espace aérien non contrôlé, peut être amené, en toute conscience, à voler en dessous de 1500 ft ASFC et plus spécifiquement :
 - ⇒ lorsque cet espace aérien est borné en altitude à une hauteur inférieure à 1500 ft ASFC, par la présence d'un espace aérien contrôlé⁴⁴ ou par une couche nuageuse ;
 - ⇒ pour des considérations personnelles qui lui sont propres⁴⁵.

⁴³ Un message d'auto information a été fait moins de vingt secondes avant l'abordage, la patrouille s'annonçant à l'Est de Clermont-Ferrand sur un cap Sud.

⁴⁴ C'est le cas dans la région de Courpière (Est de Clermont-Ferrand), où l'espace aérien de classe G est limité en altitude à 1000 ft ASFC par le plancher de la TMA 1 de Clermont-Ferrand.

⁴⁵ L'audition de pilotes en aéroclub indique que, si pour effectuer des navigations, ils volent généralement au dessus de 1500 ft ASFC, pour des vols locaux ils sont généralement en dessous de 1000 ft ASFC.

- D'autre part, dans le même temps, un pilote en CAM V peut voler dans un espace aérien non contrôlé de plafond inférieur à 1500 ft ASFC en fonction de contraintes :
 - ⇒ météorologiques ;
 - ⇒ opérationnelles ;
 - ⇒ environnementales (présence de zones réglementées ou de zones à forte activité aéronautique géographiquement proches).
- En outre, le pilote en VFR, même s'il bénéficie d'un service d'information de vol⁴⁶, n'aura vraisemblablement pas connaissance des trafics en CAM V, l'organisme chargé de rendre ce service aux aéronefs en CAG IFR et en CAG VFR, n'étant lui-même pas systématiquement renseigné des trafics en CAM V⁴⁷.

En espace aérien de classe G peuvent circuler, en même temps et au même endroit, des aéronefs en CAG VFR et des aéronefs en CAM V régis par des règles de nature différente. Ainsi, le dispositif réglementaire n'organise pas un système cohérent entre les deux types de circulation.

- **En CAG VFR les pilotes doivent évoluer à une vitesse inférieure à 250 kt, sans pour autant pouvoir accéder à la fréquence d'auto information « défense » réservée au trafic CAM V, et peuvent bénéficier du service d'information de vol ;**
- **En CAM V, les pilotes des aéronefs à grande vitesse recourent à l'auto information « défense ». Ils ne peuvent pas limiter leur vitesse à 250 kt (vitesse trop faible pour un avion de chasse en navigation très basse altitude), et n'ont pas pour consigne de contacter les organismes chargés de l'information de vol au profit des aéronefs en CAG.**

⁴⁶ Ce service est rendu par un centre d'information de vol, un organisme AFIS ou par l'organisme du contrôle désigné pour rendre ce service.

⁴⁷ Les pilotes en CAM V n'ont pas pour consigne de contacter les organismes chargés de rendre le service d'information de vol, la fréquence d'auto information « défense » (UHF) n'est pas veillée par les personnels de ces organismes et la recherche de plots radars à partir du code IFF (*Identification friend or foe*, Système d'identification radar ami ou ennemi) affiché par les pilotes en CAM V n'est pas inscrite dans les consignes des personnels armant ces organismes.

2.2.3.2. Efficacité limitée du dispositif réglementaire visant à prévenir le risque d'abordage

Chacune des règles, propre au trafic CAG et CAM, permettant de limiter le risque d'abordage, n'a pas démontré la même efficacité.

➤ **L'auto information montre son efficacité pour éviter les abordages.**

Bien que l'application de cette procédure nécessite que les aéronefs soient équipés de radio et soient en portée radio (problème des masques de relief), elle permet d'orienter la recherche visuelle d'un aéronef à la trajectoire potentiellement conflictuelle, et de convenir, entre les pilotes intéressés, de manœuvres d'espacement. Cette règle, commune à toute l'aéronautique de défense, a montré son efficacité dès lors qu'elle est utilisée de façon systématique, avec rigueur et méthode.

Des études⁴⁸ conduites dans ce sens montrent qu'une « alerte » de trafic améliore l'efficacité de l'acquisition visuelle d'un facteur huit ;

L'efficacité de la procédure d'auto information pour limiter les abordages est, au travers d'études et dans les faits, validée. Toutefois, à ce jour, cette procédure n'est appliquée que par les équipages de la défense.

➤ **L'influence de la vitesse est à relativiser.**

Le facteur vitesse est à prendre en considération dans la prévention des abordages. La simple logique indique que plus la vitesse est grande, plus le temps de réaction est faible ce qui rend plus délicat l'évitement d'un autre aéronef.

Cependant, souvent présenté par les utilisateurs comme par les organismes et organisations comme le moyen permettant de limiter les abordages, ce concept doit être relativisé pour deux raisons.

⁴⁸ Edward et Harris 1972, Andrews 1977, Andrews 1984, Andrews 1987.

- ⇒ **Seules les faibles vitesses de rapprochement garantissent une sécurité quasi-totale.** Une étude⁴⁹ réalisée en 1970 a montré que si 97% des abordages pouvaient être évités par la simple application de la règle « voir et éviter » pour des vitesses de rapprochement inférieures à 200 kt, ce taux tombait à 47% pour des vitesses de rapprochement de 400kt. Ainsi deux appareils respectant la vitesse limite de 250 kt imposée en CAG VFR et qui voleraient sur des trajectoires conflictuelles strictement opposées auraient une vitesse de rapprochement de 500 kt. La probabilité d'abordage, c'est-à-dire la probabilité qu'aucun des 2 pilotes ne voit à temps l'autre appareil, serait supérieure à 50% ;
- ⇒ **La vitesse des avions de combat ne peut être suffisamment abaissée pour garantir une efficacité suffisante de la règle « voir et éviter ».** Des considérations sécuritaires (incontournables) et opérationnelles interdisent de diminuer la vitesse des avions de combat ;
- incompatibilité avec le domaine d'emploi (fonctionnement des réacteurs, manœuvrabilité...)
 - respect des domaines en utilisation dégradée ou secours et notamment pour le rallumage d'urgence des réacteurs ;
 - entraînement garantissant l'acquisition et le maintien d'un niveau opérationnel minimum.

⁴⁹ Graham et Orr, 1970.

Ainsi, bien qu'influente, la seule limitation de la vitesse reste un facteur qui ne permet pas une prévention réellement efficace des risques d'abordage. Difficilement adaptable au milieu de l'aviation de combat, elle ne présente en fait une véritable garantie que pour les aéronefs évoluant à très faible vitesse (inférieure à une centaine de noeuds).

Les études sur l'efficacité de la règle « voir et éviter » dans la prévention des abordages confirment l'influence de la vitesse de rapprochement mais démontrent son insuffisance pour des vitesses d'aéronefs supérieures à une centaine de nœuds.

2.2.3.3. Respect de réglementations – Suivi de recommandations

De nombreux paramètres incitent au respect des règlements et favorisent le suivi de recommandations : adaptation vis à vis de l'objectif visé, compréhension de la dite règle ou recommandation, degré de contrainte...

Notamment :

- un règlement sera d'autant plus respecté que le législateur se sera assuré :
 - ⇒ qu'il pourra en contrôler la bonne application. Plus ce contrôle sera systématique et plus la sanction sera immédiate, plus le règlement sera respecté ;
 - ⇒ que les acteurs aient conscience de la possibilité d'être contrôlés. Plus cette conscience sera élevée et plus les acteurs seront incités à respecter le règlement ;
 - ⇒ que des contrôles soient effectivement réalisés. Plus le caractère de ces contrôles sera systématique et plus le règlement aura de force.
- une recommandation sera d'autant plus suivie qu'elle aura notamment été comprise :
 - ⇒ dans sa portée (sa capacité à répondre à un objectif spécifique) ;
 - ⇒ dans son champ d'application.

- Concernant la recommandation de la DNA, aux pilotes évoluant en CAG VFR, de voler au-dessus de 1500 ft ASFC.

Les auditions de pilotes en aéroclubs démontrent, dans certains cas, une méconnaissance de l'activité aérienne de Défense :

⇒ quantitativement : des pilotes sous-estiment le volume de cette activité en dehors du réseau très basse altitude (RTBA) et notamment dans les espaces aériens non contrôlés de type G ;

⇒ qualitativement : de nombreux pilotes pensent que, dans ces espaces non contrôlés, les pilotes de la Défense ne réalisent que des *transit*⁵⁰.

De fait ils seraient totalement disponibles pour la surveillance du ciel.

Ainsi cette méconnaissance de l'activité de Défense peut conduire ces pilotes à sous-estimer la portée de la recommandation de la DNA.

- Concernant la recommandation de la DIRCAM, pour les pilotes évoluant en CAM V, d'éviter les vols dans les zones à forte densité de trafic.

Les auditions montrent que les pilotes n'ont pas identifié les zones sous les TMA comme pouvant générer une forte activité aérienne. Ils perçoivent principalement toute l'importance de cette recommandation dans le cas de zones temporaires précisées par NOTAM (activité vélivole spécifique, championnat...) et lors des périodes estivales.

Ainsi, les pilotes de la Défense peuvent être amenés à sous-estimer l'étendue du champ d'application de la recommandation de la DIRCAM.

Le recours à des recommandations peut conduire les pilotes à en minimiser les conséquences dès lors que leur portée (capacité à répondre à un objectif) et leur champ d'application ne sont pas suffisamment explicités.

⁵⁰ Hors réseau RTBA, les pilotes de la Défense réalisent également des missions opérationnelles.

2.2.4. Conclusion sur l'étude des mesures visant à prévenir le risque d'abordage

Dans les espaces aériens non contrôlés l'anti-abordage est fondé sur l'application de la règle « voir et éviter ». Ainsi, le dispositif réglementaire permet qu'évoluent, dans le même temps, des aéronefs en CAG VFR et des aéronefs en CAM V.

Cependant, tandis que les premiers ne bénéficient pas de la procédure d'auto information pour assurer l'anti-abordage, les seconds peuvent voler à des vitesses au-delà d'une vitesse compatible, en l'absence d'autre disposition, avec le temps nécessaire à l'acquisition visuelle d'un trafic à la trajectoire conflictuelle et à l'accomplissement, à temps, d'une manœuvre d'évitement.

De plus, alors que la procédure d'auto information, qui permet d'orienter la recherche visuelle, en alertant le pilote, a montré son efficacité dans les faits et lors de différentes études, le peu d'avions pouvant évoluer, en CAG VFR, à une vitesse proche de 250 kt, ne permet pas de juger de la pertinence de cette limitation pour limiter le risque d'abordage. Différentes études ont même démontré que la vitesse limite de 250 kt était trop élevée pour être suffisamment efficace.

Enfin, le dispositif réglementaire pour limiter le risque d'abordage en basse altitude s'appuie plus particulièrement sur deux recommandations (DNA et DIRCAM) qui ne sont que très faiblement suivies par les pilotes.

Dans ces conditions :

- vols CAG VFR et CAM V aux trajectoires conflictuelles,
- espace aérien non contrôlé,

l'abordage ne peut être prévenu que par l'efficacité de la règle « voir et éviter », c'est à dire par la capacité d'un des membres des équipages à voir suffisamment tôt l'autre aéronef afin que puisse être engagée, à temps, une manœuvre d'évitement.

2.3. FACTEURS CONTRIBUANT A L'EFFICACITE DE LA REGLE « VOIR ET EVITER »

La capacité pour effectuer, à temps, une manœuvre d'évitement est assujettie à de nombreux facteurs, *primo* pour voir et *secundo* pour éviter.

Plus spécifiquement :

- pour l'acquisition visuelle d'un aéronef potentiellement dangereux (traitement des informations visuelles) ;
 - ⇒ à la mobilisation de ressources attentionnelles des intervenants pour la surveillance du ciel ;
 - ⇒ à l'efficacité de la méthodologie pour la recherche visuelle d'aéronefs potentiellement dangereux ;
 - ⇒ à des facteurs dimensionnant conditionnant directement l'efficacité pour acquérir le visuel :
 - facteurs environnementaux ;
 - caractéristiques physiques des aéronefs ;
 - facteurs physiologiques propres aux individus.
- pour la réalisation d'une manœuvre d'évitement :
 - ⇒ au temps nécessaire à la reconnaissance d'une situation dangereuse ;
 - ⇒ à des facteurs psychomoteurs ;
 - ⇒ aux performances des aéronefs.

2.3.1. Facteurs contribuant à l'efficacité de l'acquisition visuelle

2.3.1.1. Mobilisation des ressources attentionnelles des occupants des aéronefs pour la surveillance du ciel

L'efficacité de la règle « voir et éviter » repose, tout d'abord, sur la disponibilité et la mobilisation des équipages pour la surveillance du ciel. Elle est donc liée à la part des ressources attentionnelles⁵¹ que chacun des membres des équipages attribue à la surveillance du ciel.

Bien que la DNA et la DIRCAM rappellent que la règle « voir et éviter » impose une **vigilance permanente**⁵², la réalisation des vols impose que les pilotes s'en détournent, notamment pour le suivi de leur navigation (lecture de carte, identification de points sol, validation de route, etc.) et pour le contrôle des paramètres liés à l'aéronef (vol, état des systèmes, carburant, etc.). Pendant ces périodes, ils ne peuvent donc pas assurer la surveillance du ciel.

Les paragraphes suivants évaluent, tour à tour, pour les occupants de l'ULM et ceux des Mirage 2000 N, qu'elle était la part de leurs ressources attentionnelles dédiées à la surveillance du ciel.

➤ Occupants de l'ULM

L'abordage se situe à moins de cinq kilomètres d'un point sol particulier devant être survolé par le pilote à la demande de son passager⁵³.

Dans les secondes qui ont précédées l'abordage, il est vraisemblable que les ressources attentionnelles des deux occupants de l'ULM étaient majoritairement dirigées vers le sol pour l'identification de ce point. De plus, le pilote devait probablement s'attacher à maintenir son aéronef sur une trajectoire permettant à son passager de conserver le visuel sur ce point visé.

⁵¹ En l'absence de stimulus l'œil s'accommode à un ou deux mètres (myopie spatiale). La recherche d'aéronefs à des distances éloignées nécessite de « forcer » cette accommodation à l'infini, par exemple, en fixant des objets lointains (nuages, éléments au sol...).

⁵² Circulaire d'information militaire n°1 du 17 juillet 2003.

⁵³ Information recueillie au travers de différents témoignages.

➤ Équipes de la patrouille des deux Mirage 2000 N

L'audition des membres des deux équipes des Mirage 2000 N permet de définir, pour chacun, quelle part de ses ressources attentionnelles il pouvait accorder à la surveillance du ciel, quelques secondes avant l'abordage ;

⇒ Le pilote de l'avion leader avait son regard porté en dehors de la cabine. Cependant son attention était probablement dirigée dans son secteur midi vers le sol. En effet, après avoir fait virer la patrouille d'une soixantaine de degrés par la droite, son attention pouvait être, tout au moins en partie, accaparée par l'identification de repères au sol pour valider la trajectoire suivie ;

⇒ Le navigateur officier système d'armes de l'avion leader avait son attention tournée à l'intérieur de la cabine pour modifier l'affichage de la fréquence de l'un des postes radio ;

⇒ Le pilote de l'avion équipier regardait à l'extérieur, dans son secteur travers gauche, afin de se positionner par rapport à son leader. Une fois assuré de son bon positionnement relatif, il a surveillé le ciel en commençant :

- par son secteur gauche, puisque son regard était tourné à gauche vers le leader ;
- vers le bas, puisqu'il mettait son avion sur une trajectoire descendante.

Ainsi, son attention était focalisée dans le secteur d'arrivée de l'ULM.

⇒ Le navigateur officier système d'armes de l'avion équipier avait son attention portée en cabine afin de vérifier le recalage du système de navigation inertielle.

Conclusion sur la mobilisation de ressources attentionnelles pour la surveillance du ciel :

sur les six personnes à bord des trois aéronefs, il est vraisemblable que seul le pilote du Mirage 2000 N de l'avion équipier avait ses ressources attentionnelles mobilisées pour la surveillance du ciel.

2.3.1.2. Efficacité de la surveillance du ciel

La surveillance du ciel doit, d'une part, se faire avec méthode. D'autre part, pour accroître de façon notable son efficacité, elle peut être orientée dans un secteur de recherche privilégié (alerte du pilote).

Toutefois, ce travail méthodique de surveillance du ciel nécessite du temps. Le facteur « vitesse de rapprochement » est alors un paramètre dimensionnant de la qualité de cette recherche visuelle d'un autre aéronef.

➤ Méthode de recherche visuelle :

⇒ La méthodologie pour la recherche visuelle d'un avion potentiellement dangereux est enseignée aux pilotes militaires dès leur passage en école de formation initiale. Sa bonne application est contrôlée tout au long de leur formation. 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 successivement⁵⁴ (saccade oculaire). Ainsi, même si le pilote attribue toutes ses ressources attentionnelles à la surveillance du ciel, chaque portion de l'espace ne peut pas être explorée de façon permanente⁵⁵ ;

⁵⁴ Les mouvements de l'œil, pendant la recherche de trafics, s'effectuent par saccades entrecoupées de temps de fixation. L'œil est « aveugle » pendant les saccades. Il est donc nécessaire de ménager des temps de fixation, d'environ une seconde pour que la recherche du visuel soit efficace. Des personnels très entraînés peuvent ramener ce temps à 3 fixations par seconde mais uniquement dans le cas d'arrière-plans uniformes. Chaque saccade ne devrait pas dépasser une dizaine de degrés.

⁵⁵ Une étude de la FAA montre que, pour assurer la surveillance du ciel sur 180° horizontalement et 30° verticalement, il faut au minimum 54 secondes en attribuant toutes ses ressources attentionnelles à cette tâche. D'autres recherches montrent qu'il faut plusieurs minutes pour explorer avec efficacité ce même espace.

- ⇒ En revanche, cette méthodologie n'est pas systématiquement portée à la connaissance des pilotes d'ULM. Pour les pilotes titulaires de brevets de pilotes privés, bien que la formation envisage la méthodologie pour accroître l'efficacité de la surveillance du ciel, son contrôle n'est pas formalisé⁵⁶.
- Orientation du secteur de recherche visuelle :
- La surveillance du ciel peut être orientée lorsque le pilote est averti du secteur d'arrivée d'un autre aéronef (pilote « alerté ») que se soit par un moyen technique (TCAS, radar de bord, etc.), ou au travers de messages d'information, comme le dispositif d'auto information au profit des aéronefs en CAM V. La connaissance d'un trafic à la trajectoire potentiellement conflictuelle a pour effet, premièrement, que le pilote concentre ses ressources attentionnelles à la recherche de l'autre avion et, deuxièmement, d'orienter la recherche visuelle dans la bonne direction. Plus spécifiquement, des études menées par le *Lincoln Laboratory*⁵⁷ dans le cadre des essais en vol d'un système TCAS/ACAS ont démontré :
- ⇒ **qu'un pilote informé de la présence d'un autre aéronef a huit fois plus de chance de l'acquérir en visuel qu'un pilote qui n'en est pas informé⁵⁸ ;**
- ⇒ **que, dans le premier cas, l'acquisition visuelle se fait en moyenne à 1,4 Nm contre 0,99 dans le second cas.**
- Influence de la VR sur l'efficacité de la surveillance du ciel :
- Les études citées *supra* démontrent que le taux de détection est de 97% lorsque les VR sont de l'ordre de 200 kt. En revanche, il chute à 47% pour des VR atteignant 400 kt ce qui ne permet pas de garantir de façon satisfaisante l'anti-abordage par la seule règle « voir et éviter », le temps dont disposerait alors les pilotes étant insuffisant pour se détecter. Le jour de l'accident le Mirage 2000 N avait une vitesse de 484 kt et l'ULM vraisemblablement une vitesse de l'ordre d'une soixantaine de nœuds.

⁵⁶ Le programme des vols de contrôle ne fait pas mention explicite de s'assurer de la bonne application de cette méthode.

⁵⁷ J.W. Andrews, *Modelling of Air-To-Air Visual Acquisition*, The Lincoln Laboratory Journal, volume 2, number 3 (1989), p.478.

Toutefois, leur vitesse de rapprochement, supérieure à 500 kt, ne présentait pas un caractère d'exception et était représentative de la situation quotidienne entre un avion de chasse (vitesse de l'ordre de 450 kt) et circulation aérienne générale (vitesse de l'ordre d'une centaine de noeuds), situation qui n'offre que peu de chances aux pilotes de se voir pour s'éviter à partir d'une simple détection visuelle.

Conclusion sur l'efficacité de la recherche visuelle :

- **le pilote du Mirage 2000 N de l'équipier, probablement le seul dont l'attention était mobilisée pour la surveillance du ciel, était formé pour le faire avec méthode. En revanche, il ne disposait d'aucune information spécifique sur le trafic en CAG VFR lui permettant d'orienter sa recherche visuelle ;**
- **la vitesse de rapprochement entre les deux aéronefs, (vraisemblablement proche de 550 kt) représentative de la situation quotidienne entre un avion de chasse et l'aviation civile laissait moins d'une chance sur deux aux deux pilotes pour se voir et s'éviter à partir d'une simple détection visuelle.**

Pour la suite de l'analyse, les différents facteurs envisagés seront donc discutés du point de vue du pilote du Mirage 2000 N de l'équipier, seul personnel semble-t-il, à avoir été suffisamment mobilisé sur la détection d'aéronefs potentiellement dangereux lors de l'événement.

⁵⁸ Cette recherche montre également que, même si le pilote est informé de la présence d'un trafic conflictuel, il ne parvient à le voir que dans 86% des cas.

2.3.1.3. Facteurs dimensionnant pour l'acquisition visuelle

La facilité pour l'acquisition visuelle d'un aéronef dépend de deux familles de paramètres. La première regroupe l'ensemble des paramètres qui caractérisent la « visibilité » de l'aéronef, c'est-à-dire son aptitude à être distingué. La seconde englobe l'ensemble des facteurs qui déterminent la capacité de voir et concerne plus spécifiquement des facteurs physiologiques propres aux individus.

➤ Paramètres caractérisant la « visibilité » d'un aéronef

Ils englobent des facteurs propres à l'aéronef et des facteurs environnementaux. Plus particulièrement, dans l'ordre d'importance des paramètres, un aéronef sera d'autant plus visible que :

- ⇒ le contraste est élevé (écart entre la luminance de l'aéronef et celle de l'arrière-plan) ;
- ⇒ la taille apparente de l'aéronef est importante : elle dépend des caractéristiques dimensionnelles de l'aéronef et de la géométrie des trajectoires des deux aéronefs en conflit ;
- ⇒ l'appareil présente un défilement par rapport à quelqu'un qui cherche à le voir. Cependant, des trajectoires conflictuelles sont caractérisées par l'absence de défilement ou tout au moins par un défilement extrêmement faible ;
- ⇒ l'appareil est équipé de dispositifs lumineux de signalisation⁵⁹.

La « visibilité » de l'appareil dépend également des dispositifs au travers duquel il est vu : transparence des verrières, opacité de lunettes de soleil éventuelles, opacité de visières de casque...

⁵⁹ Plusieurs études concluent à l'inefficacité, de jour, des feux à éclats dans l'aide à l'acquisition du visuel d'un appareil. En effet l'intensité de ces feux, en général, ne dépasse pas 500 candelas alors que l'arrière plan, par temps ensoleillé est de l'ordre de 300.000 candelas et de 30.000 à 100.000 candelas par temps couvert.

Tous ces éléments, rapportés aux conditions du jour, permettent d'évaluer la « visibilité » de l'ULM pour le pilote du Mirage 2000 N.

- **L'ULM n'avait pas de défilement pour le pilote du Mirage 2000 N ;**
- **Bien que de couleur jaune et rouge, l'ULM était faiblement contrasté sur le sol qui présentait de nombreuses tâches de verdure ;**
- **La complexité de l'arrière-plan (arrière-plan non uniforme) a exigé, de la part du pilote du Mirage 2000 N, un temps d'analyse significatif pour analyser la scène et prendre conscience qu'il y avait bien un appareil qui se dégageait du fond qu'il observait ;**
- **L'ULM n'était équipé d'aucun feu de signalisation ;**
- **La visibilité, supérieure à 10 km, n'a pas perturbé la recherche visuelle.**

➤ **Facteurs physiologiques**

Les éléments dimensionnant pour l'acquisition visuelle sont l'acuité visuelle, les caractéristiques des visions périphérique et centrale (en relation avec la géométrie des trajectoires des aéronefs), et le temps de traitement des signaux visuels (en relation avec la vitesse de rapprochement des aéronefs) ;

⇒ Acuité visuelle : le pilote du Mirage 2000 N était apte au vol. Son acuité visuelle était donc au moins égale à la norme requise. Cependant, l'acuité, pour un individu donné, peut évoluer en fonction de paramètres comme l'âge, la fatigue, le stress, etc. mais également d'éléments tels que la présence ou non de vibrations.

L'acuité réelle du pilote, au moment de l'abordage, est donc impossible à déterminer avec exactitude ;

- ⇒ Éléments de vision périphérique et centrale : la vision périphérique ne permet que la détection d'objets fortement contrastés ou en mouvement alors que la vision centrale assure leur identification. Compte tenu de la faible vitesse de l'ULM et des trajectoires relatives des deux appareils, l'ULM ne présentait qu'un très faible mouvement relatif. Il était donc difficilement perceptible en vision périphérique. De plus, bien que de couleur vive, il ne se détachait que très peu sur le fond au-dessus duquel il évoluait. Vraisemblablement, il ne pouvait alors être détecté que lorsqu'il se trouvait dans le champ de vision centrale du pilote du Mirage 2000 N ;
- ⇒ Temps de traitement d'informations visuelles : des études en physiologie montrent qu'il faut en moyenne trois à quatre secondes entre le moment où des signaux peuvent être captés par l'œil et le moment où le cerveau « commande » une réponse motrice⁶⁰. Cependant, ce délai peut être raccourci, par la mise en fonction d'une « transformation visuomotrice », des informations visuelles pouvant être directement envoyées au système des intentions motrices. Le témoignage du pilote du Mirage 2000 N et l'écoute de la bande audio semblent indiquer qu'il a débuté la manœuvre d'évitement à la perception d'un danger⁶¹ et que l'identification de la nature du danger, c'est-à-dire la présence d'un autre aéronef, n'est intervenue que par la suite. Cela a contribué à diminuer son temps de réaction.

⁶⁰ Il faut en moyenne 0,5 s à l'œil pour capter des signaux et les transmettre aux structures centrales (voir) et 2,5 s au cerveau pour effectuer les opérations de reconnaissance (percevoir).

⁶¹ Le grossissement n'évolue pas linéairement avec le rapprochement mais de façon exponentielle accroissant ainsi la perception du danger.

S'il est impossible de connaître l'acuité visuelle du pilote du Mirage 2000 N au moment de l'accident, en revanche :

- **le très faible défilement de l'ULM a réduit l'efficacité de la surveillance du ciel par le pilote du Mirage 2000 N, la détection visuelle de l'ULM ne pouvant se faire qu'en vision centrale ;**
- **compte tenu de la faible « visibilité » de l'ULM et de la valeur élevée de la vitesse de rapprochement des deux aéronefs (environ cinq cents nœuds), le pilote du Mirage 2000 N n'a pas eu le temps de traiter de façon complète les informations visuelles (limite physiologique) ;**
- **la manœuvre d'évitement effectuée par le pilote du Mirage 2000 N a vraisemblablement été initiée suite à un traitement superficiel des informations visuelles (transformation visu motrice).**

Compte tenu des éléments présentés *supra*, il convient de noter que le jour de l'accident, bien que le pilote du Mirage 2000 N ait eu une vitesse supérieure de 34 kt à la vitesse de 450 kt, ce surcroît de vitesse ne modifiait pas de façon notable sa capacité à voir l'ULM.

Conclusion sur les facteurs dimensionnant à la recherche et à l'acquisition visuelle (traitement des informations visuelles) :

- **Le pilote du Mirage du 2000 N était reposé et aucun facteur ne semble avoir restreint de façon significative son acuité visuelle ;**
- **L'ULM ne pouvait être détecté qu'au travers du champ visuel réduit de la vision centrale du pilote du Mirage 2000 N ;**
- **La valeur élevée de la vitesse de rapprochement ne laissait que peu de temps et n'offrait que peu de chances aux pilotes de se voir puis de s'éviter ;**
- **Compte tenu de la faible « visibilité » de l'ULM, le pilote du Mirage 2000 N ne disposait vraisemblablement pas du temps nécessaire, entre la détection visuelle de l'ULM et l'initiation de la manœuvre d'évitement, pour le traitement en profondeur des informations visuelles (limite physiologique) ;**
- **Le pilote du Mirage 2000 N aurait initié la manœuvre d'évitement à la perception d'un danger, et avant l'identification de l'ULM, réduisant ainsi son temps de réponse.**

2.3.2. Facteurs contribuant à l'efficacité de la manœuvre d'évitement

L'efficacité de la manœuvre d'évitement dépend plus spécifiquement de paramètres psychomoteurs, et des performances de l'aéronef.

2.3.2.1. Paramètres psychomoteurs

Le temps de réponse pour effectuer une manœuvre relève essentiellement de l'expérience (habitude d'effectuer un geste), de l'âge et de la condition physique.

- Expérience à effectuer une manœuvre d'évitement : de part leur formation opérationnelle, les pilotes militaires sont régulièrement entraînés au simulateur et en vol à réaliser des manœuvres de survie de type *break*, notamment pour apprendre à se soustraire au tir d'un missile ;
- Âge et condition physique : bien que les pilotes militaires soient régulièrement suivis, médicalement et physiquement, il n'existe pas de donnée permettant de qualifier et de pronostiquer la performance de réaction d'un pilote.

2.3.2.2. Performances de l'aéronef

La modification de la trajectoire d'un des aéronefs lors d'une manœuvre d'évitement est principalement conditionnée par le temps de réaction et l'efficacité des commandes de vol et moteur.

Lors de la réalisation de la manœuvre d'évitement, le pilote du Mirage a utilisé toutes les ressources disponibles de l'aéronef (commandes de vol et régime moteur). Ainsi, bien qu'il ait vu l'autre aéronef, il n'a pas pu l'éviter.

2.3.2.3. Conclusion sur les facteurs contribuant à l'efficacité de la manœuvre d'évitement

- **Le pilote du Mirage 2000 N était entraîné et dans de bonnes conditions psychophysiologiques pour réaliser une manœuvre de survie ;**
- **Les réponses des commandes de vol et du moteur aux sollicitations du pilote ne présentent aucun dysfonctionnement.**

3. CONCLUSION

3.1. ÉLÉMENTS ETABLIS UTILES A LA COMPREHENSION DE L'ÉVÉNEMENT

3.1.1. Cadre des missions

- Le pilote de l'ULM effectue un vol en très basse altitude au profit de son passager. ;
- La patrouille des deux Mirage 2000 N réalise une mission d'instruction en très basse altitude au profit de l'équipage de l'avion leader.
- Des témoignages indiquent que le pilote de l'ULM :
 - ⇒ pratique le vol de façon régulière sur ULM et, avec un instructeur, sur avion ;
 - ⇒ emmène un passager vraisemblablement pour lui permettre de réaliser des photographies d'un lieu précis prédéfini dans une région proche de celle de l'abordage.
- L'équipage du Mirage 2000 N de l'équipier :
 - ⇒ est apte au vol ;
 - ⇒ est expérimenté.
- L'ULM navigue en CAG VFR ;
- Les Mirage 2000 N volent en CAM V ;
- Les différents appareils évoluent dans un espace aérien non contrôlé de classe G et de plafond 1000 ft ASFC (limité en altitude par la TMA 1 de Clermont-Ferrand).

Plus spécifiquement, dans cette classe d'espace aérien, l'anti-abordage est prévenu par :

 - ⇒ un dispositif réglementaire qui prévoit :
 - l'application de la règle « voir et éviter » ;
 - pour les appareils en CAG VFR, de voler à une vitesse inférieure à 250 kt ;
 - pour les appareils en CAM V, d'effectuer des messages d'auto information.

⇒ des recommandations :

- pour les pilotes des appareils en CAG VFR, de voler, si possible, au-dessus de 1500 ft ASFC (recommandation DNA) ;
 - pour les pilotes des aéronefs en CAM V, 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 (recommandation DIRCAM).
- Les pilotes des deux aéronefs respectent le dispositif obligatoire ;
 - Le pilote de l'ULM ne suit pas la recommandation de la DNA ;
 - Le pilote du Mirage 2000 N n'assimile pas la recommandation de la DIRCAM comme une incitation à éviter le vol sous les TMA ;
 - Les conditions météorologiques sont propices au vol à vue en basse altitude.

3.1.2. Abordage

- L'ULM est en étagement négatif par rapport au Mirage 2000 N, et semble maintenir une attitude stable jusqu'au moment de l'abordage ;
- La route de l'ULM peut être estimée entre le 310° et le 340°, et sa vitesse évaluée à 120 km/h ;
- Le Mirage 2000 N est en descente sous une pente de 2,5°, et est stable au cap 185° à la vitesse de 484 kt ;
- La vitesse de rapprochement est de l'ordre de 500 kt.
- Le pilote du Mirage 2000 N initialise une manœuvre d'évitement environ une seconde avant l'abordage ;
- L'aile gauche de l'ULM est sectionnée à 64 cm de son extrémité par l'empennage intérieur du réservoir largable gauche du Mirage 2000 N, lui-même étant en palier en virage par la droite à 45° d'inclinaison.

3.2. CAUSES DE L'EVENEMENT

L'abordage entre l'ULM et le Mirage 2000 N est lié à la mise en défaut de la règle « voir et éviter », les deux aéronefs évoluant à vue, dans un espace aérien non contrôlé.

Le dispositif réglementaire, différent selon qu'un appareil évolue en CAG VFR ou en CAM V (limitation de la vitesse pour les uns et procédure d'auto information pour les autres), n'organise pas un système cohérent entre les deux types de circulation. Il impose ainsi que la prévention des abordages ne repose que sur l'efficacité de la règle « voir et éviter », c'est-à-dire, sur la capacité de l'un des membres des équipages à voir suffisamment tôt l'autre appareil et pour que soit initiée, à temps, la manœuvre d'évitement.

Cependant, la surveillance du ciel, pour être efficace, ne peut se satisfaire d'un simple balayage de l'espace. Elle doit au contraire s'effectuer par une exploration, secteur par secteur, de l'espace aérien. L'efficacité de cette procédure nécessite donc du temps et la monopolisation d'une grande part des ressources attentionnelles des équipages. De plus, **la possibilité, pour un pilote, de voir à temps un autre aéronef, repose sur de nombreux paramètres physiologiques, physiques et environnementaux dont la maîtrise globale en temps réel paraît délicate, voire impossible, à assurer.**

En outre, le manque d'explicitation de recommandations émises par le DNA et la DIRCAM peut conduire les pilotes à en sous-estimer la portée et le champ d'application.

Enfin, alors que le recours à la procédure d'auto information en CAM V a montré son efficacité, dans les faits et au travers de différentes études, la limite de la vitesse à 250 kt, trop élevée, est peu pertinente pour prévenir les abordages.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

4.1. PREAMBULE

Le BEAD-air rappelle que les mesures de précaution édictées par la DIRCAM à l'approche des étés 2003 et 2004⁶² (annexe 6 : *Documents DIRCAM*, page 147) sont toujours d'actualité et, plus spécifiquement, la circulaire militaire d'information aéronautique du 17 juillet 2003 qui spécifie :

- 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, si la mission ne l'impose pas ;
- qu'en cas d'impossibilité, de contacter l'organisme gestionnaire ;
- que la règle voir et éviter impose une vigilance permanente.

Plus généralement, le BEAD-air rappelle l'importance du respect de la réglementation, notamment de celle relative aux conditions d'exécution des vols en basse altitude.

Par ailleurs, compte tenu des caractéristiques des avions de chasse, la diminution de leur vitesse pour obtenir une efficacité satisfaisante de la règle « voir et éviter » est illusoire, les vitesses de rapprochement entre les aéronefs devant être, au plus, d'environ 200 kt.

Enfin, le 10 décembre 2004, l'armée de l'air a organisé un colloque intitulé « vers un nouvel équilibre entre l'entraînement opérationnel et la préservation des matériels ». Consécutivement à ce colloque, l'armée de l'air a diffusé, le 29 novembre 2005, un relevé de décisions (annexe 7 : *Relevé de décisions*, page 156). Le BEAD-air appuie plus particulièrement la décision numéro 4 qui, pour réduire les risques d'abordages en très basse altitude, prescrit de limiter quantitativement l'activité globale de l'armée de l'air à très basse altitude et en espace aérien non contrôlé.

⁶² La circulaire d'information aéronautique militaire NMR 01 du 17 juillet 2003, la note express 260/DIRCAM/DRP/SV du 03 février 2004 relative à la sensibilisation aux risques d'abordages encourus lors des vols en basse altitude et la lettre NMR 01290/DIRCAM/DIR du 16 juin 2004 relative à l'action de sensibilisation sur la sécurité en basse altitude.

4.2. MESURES DE PREVENTION AYANT TRAITS DIRECTEMENT A L'EVENEMENT

4.2.1. Cadre réglementaire et procédural

De très nombreux facteurs (physiologiques, environnementaux, physiques, etc.) jouent sur l'efficacité de la règle « voir et éviter » et prouvent que cette méthode, à elle seule, est très incertaine pour éviter les abordages. Des études américaines, canadiennes, australiennes, anglaises et françaises s'accordent pour reconnaître que :

- **comptes tenus des nombreuses limitations, notamment physiques et physiologiques, le concept voir et éviter ne devrait pas occuper un rôle significatif dans les systèmes de gestion de trafic aérien ;**
- **l'efficacité de la recherche visuelle d'un appareil repose principalement sur « l'alerte » qui peut être donnée au pilote, indépendamment du moyen retenu (radio, TCAS, radar, etc.).**

La règle « voir et éviter » ne se suffisant pas elle seule pour éviter les abordages dans les espaces aériens de classe G, le bureau enquêtes accidents défense air recommande que :

les organismes régulateurs favorisent tout dispositif permettant d'alerter les pilotes⁶³.

⁶³ Des auteurs parlent d'une règle « connaître et éviter » en lieu et place de la règle « voir et éviter ».

Plus spécifiquement, afin « d'alerter » les pilotes pour qu'ils puissent orienter leur surveillance du ciel dans un secteur privilégié, le bureau enquêtes accidents défense air recommande⁶⁴ que :

les organismes régulateurs, en partenariat avec les acteurs, privilégient toute solution procédurale (message de position, information de vol, etc.) ou technique (TCAS) qui permettrait d'orienter la recherche visuelle des pilotes sur des trafics aux trajectoires conflictuelles. Ainsi différentes solutions pourraient être envisagées, comme par exemple :

- rendre obligatoire, ou tout au moins favoriser, l'équipement des aéronefs en poste radio ;
- favoriser l'équipement de moyens techniques (TCAS) ;
- etc...

Cet événement montre également la fragilité du dispositif mis en place pour assurer la compatibilité des vols CAG VFR et CAM V et qui repose sur des recommandations émises par la DNA et la DIRCAM.

⁶⁴ Cette recommandation est également faite par différents bureaux d'enquêtes (Bureau de la sécurité des transports canadien, Bureau de la sécurité des transports australien...).

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande que :

les organismes régulateurs réglementent la compatibilité des deux types de circulation. Plusieurs pistes peuvent être mises en œuvre très rapidement comme par exemple :

- **donner accès, en terme d'écoute, aux pilotes des aéronefs en CAG VFR à la fréquence d'auto information utilisée en CAM V ;**
- **s'appuyer sur les organismes chargés d'assurer l'information de vol pour retransmettre, sur les fréquences *ad hoc* et au profit des équipages en CAG VFR, les messages d'auto information émis par les pilotes en CAM V ;**
- **mettre en place un système d'auto information commun aux deux circulations aériennes,**
- **etc.**

4.2.2. Entraînement

L'efficacité de la règle « voir et éviter » repose essentiellement sur l'alerte donnée au pilote et sur la méthodologie de recherche d'un trafic. Les principes qui régissent cette méthode ne sont pas innés (annexe 4 : *Collision avoidance (Civil aviation authority)*, page 112)

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande que :

- **lors de la formation et lors des contrôles pour l'obtention et le renouvellement des licences, la méthodologie de recherche visuelle soit enseignée et que sa bonne application soit contrôlée ;**
- **la méthode requise pour optimiser la surveillance du ciel fasse l'objet de la plus large diffusion (publications, *Internet*, etc.) pour être accessible au plus grand nombre des utilisateurs de l'espace aérien.**

4.3. MESURE DE PREVENTION N'AYANT PAS TRAIT DIRECTEMENT A L'EVENEMENT

Les éléments disponibles ne permettent pas de conclure sur l'origine de l'absence d'une partie du lanceur motorisé équipant le parachute de l'ULM.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande que :

la DGAC, en liaison avec les fédérations et après avis du constructeur, diffuse le plus largement possible (publications, *Internet*, etc.) une procédure de vérification des ensembles parachutes de fabrication similaire à celui impliqué dans l'accident.

Page intentionnellement blanche

ANNEXES

Annexe 1 : Synchronisation des enregistrements et estimation du moment de l'abordage _____page 73

Annexe 2 : Visualisation tête haute _____page 74

Annexe 3 : *Limitations of the See-and-Avoid Principle (ATSB)* _____page 75

Annexe 4 : *Collision avoidance (Civil aviation authority)* _____page 112

Annexe 5 : Étude du BEA sur les abordages _____page 124

Annexe 6 : Documents DIRCAM _____page 147

Annexe 7 : Relevé de décisions _____page 156

1. SYNCHRONISATION DES ENREGISTREMENTS ET ESTIMATION DU MOMENT DE L'ABORDAGE

➤ Synchronisation des différents enregistrements

⇒ Synchronisation de l'enregistrement de la VTH et du dépouillement de l'enregistreur d'accident du Mirage 2000 N de l'équipier.

Elle a été réalisée en faisant coïncider, sur les dépouillements, le début du mouvement en roulis du Mirage 2000 N lors de la manœuvre d'évitement :

- visible sur le film Hi-8 de la VTH ;
- indiquée par l'augmentation du roulis sur l'enregistreur d'accidents.

⇒ Synchronisation des différents enregistrements audio.

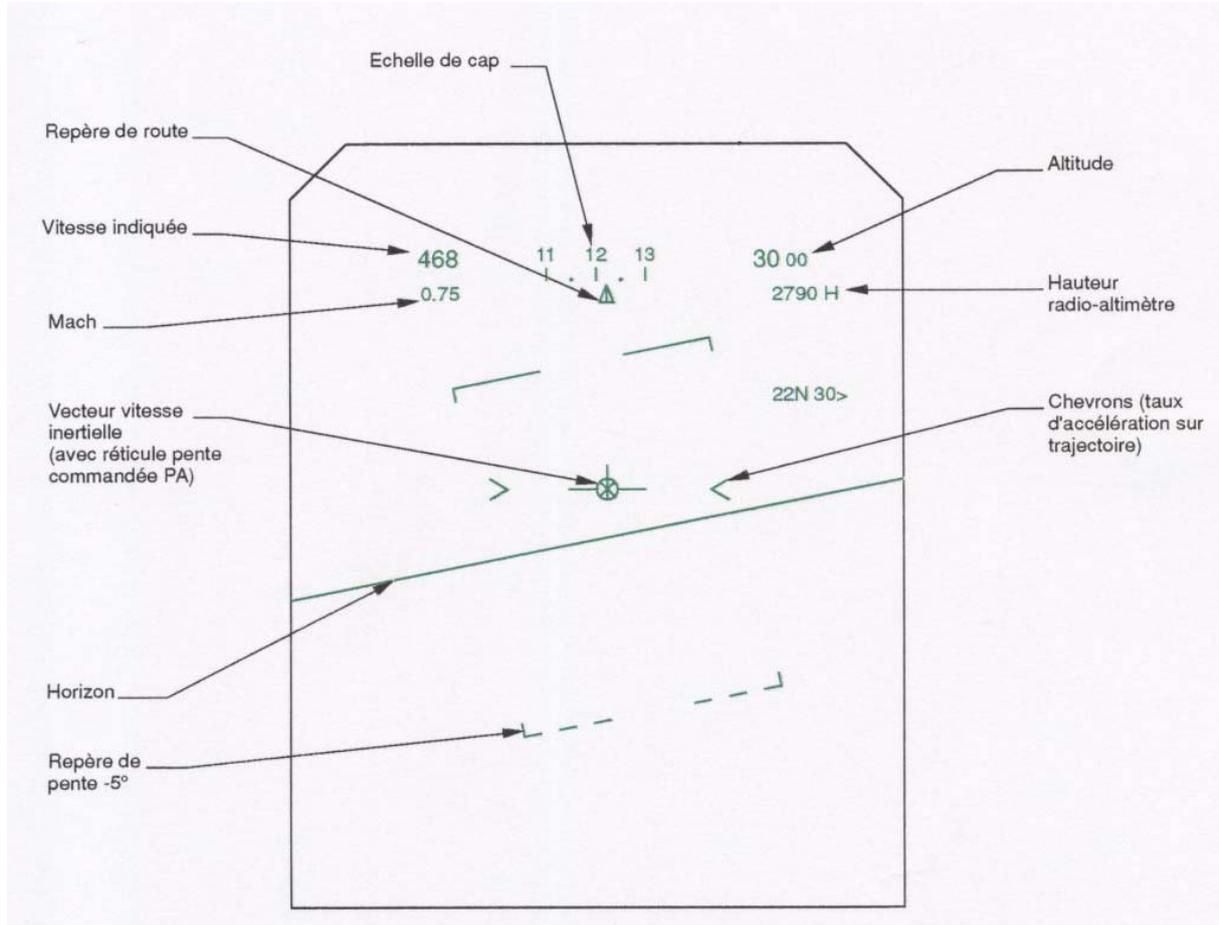
Elle a été opérée par étapes successives :

- entre les deux Mirage 2000 N : l'exclamation du pilote équipier au moment de l'abordage, entendue sur les deux enregistrements, a permis de les synchroniser ;
- entre les deux Mirage 2000 N et les organismes du contrôle de Clermont-Ferrand : la prise de contact entre le leader de la patrouille et ces organismes a servi de référence ;

➤ Moment de l'abordage : le moment de l'abordage, que l'on notera T_0 , a été estimé à partir du film Hi-8 du Mirage 2000 N de l'équipier. Il se produit vraisemblablement moins de deux images (25 images par seconde) après que l'ULM soit sorti du champ de la VTH du Mirage 2000 N⁶⁵.

⁶⁵ Cette estimation a été réalisée en prenant en considération les caractéristiques du champ de la VTH, la vitesse présumée ou connue des aéronefs et leur écartement (sachant que le bout de l'aile gauche de l'ULM entre en contact avec le bidon gauche du Mirage 2000 N).

2. VISUALISATION TETE HAUTE



Réticules de la VTH

3. LIMITATIONS OF THE SEE-AND-AVOID PRINCIPLE (ATSB)

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.

CONTENTS

PREFACE

SUMMARY

1 INTRODUCTION

- 1.1 Role of See-and-Avoid
- 1.2 Potential for Mid-Air Collisions
- 1.3 See-and-Avoid is an Important Safety System
- 1.4 See-and-Avoid is not 100 per cent Reliable
- 1.5 Seeing and Avoiding Involves a Number of Steps

2 LIMITATIONS OF SEE-AND-AVOID

- 2.1 Looking for Traffic
- 2.2 Visual Search
- 2.3 Obstructions and Available Field of View
- 2.4 Limitations of Visual Scan
- 2.5 Limitations of Vision
- 2.6 Psychological Limitations
- 2.7 Target Characteristics
- 2.8 Anti-Collision Lighting

3 EVASIVE ACTION

3.1 Time Taken to Recognise Threat and Take Evasive Action

3.2 Evasive Manoeuvre May Increase Collision Risk

4 CONCLUSIONS

5 RECOMMENDATIONS

6 REFERENCES

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 881/1042).

This report, prepared in response to that undertaking, summarises the research relevant to unalerted 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 unalerted 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 windscreen configurations 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 C0511989 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 unalerted 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.

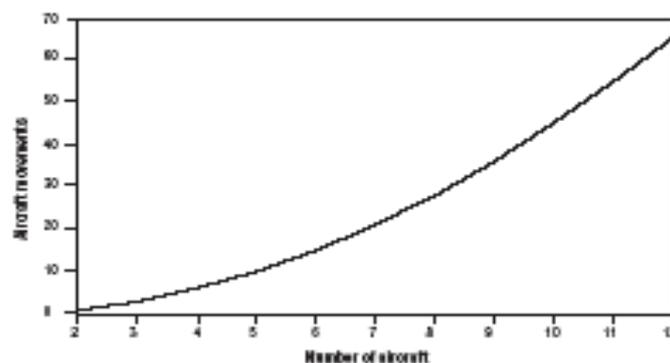
However, many of the problems of unalerted see-and-avoid apply equally to alerted see-and-avoid.

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 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.

FIGURE 1:
Number of possible collisions with increasing air traffic



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 ATS 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-air 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.

CAIR Report Number 1158

On return to Parafield via Dublin and the Lane of Entry, I encouraged two Tobagos (or Trindads) 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

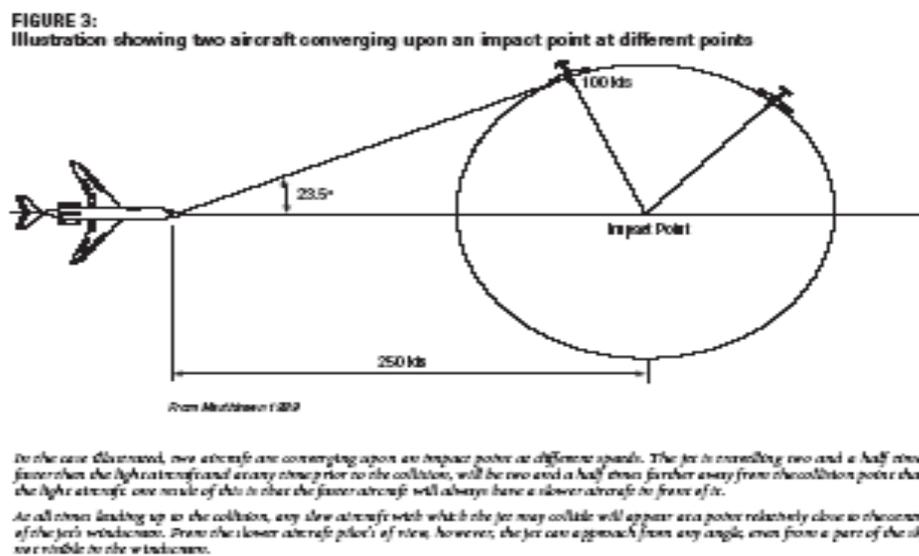
Obviously, see-and-avoid can only operate when the pilot is looking outside the cockpit. According to a U.S. study, private pilots on VFR flights spend about 50 per cent of their time in outside traffic scan (Suzler and Skelton 1976).

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 ATS 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.



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 midair collisions, for example the collision of a Cessna 340A and a North American SNJ-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).

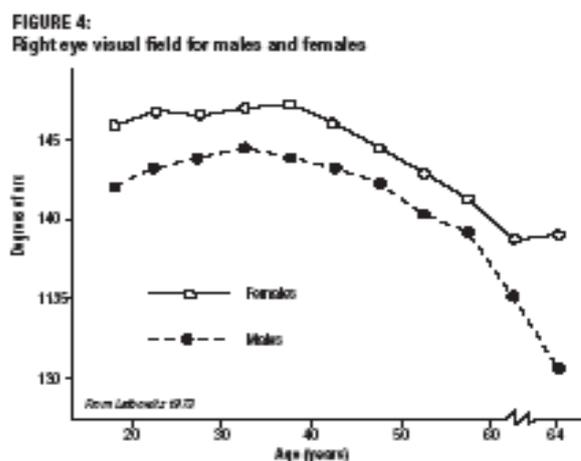
At present, there is no reliable information on the amount of scanning done by Australian pilots in controlled airspace and outside controlled airspace.

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.

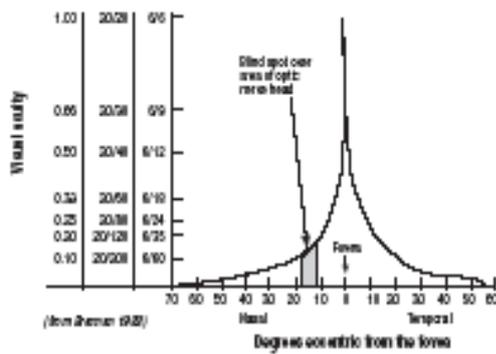
The quality of vision varies across the visual field, largely in accord with the distribution on the retina of the two types of light sensitive cells, rods and cones. Cones provide sharp vision and colour perception in daylight illumination and are concentrated at the fovea, the central part of the retina 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 in daylight 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 in decimal, British and USA notations) at various sites eccentric to the fovea. The acuity at 5 degrees eccentric to 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 interposed 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

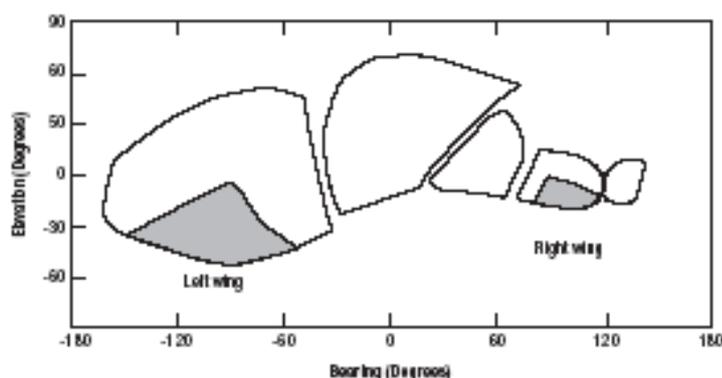
2.3.1 Cockpit visibility

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 do 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 windscreen. 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 42 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 windscreens 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.

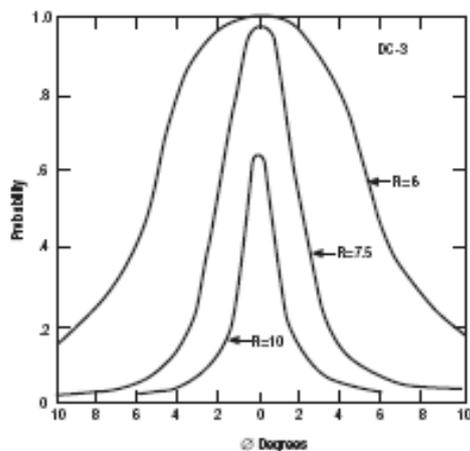
An effective way to visualise the performance of the eye in a visual detection task is with a visual detection lobe such as figure 8 which shows the probability of detecting a DC3 at various ranges and at various degrees away from the line of sight (Harris 1973). The figure illustrates that the probability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

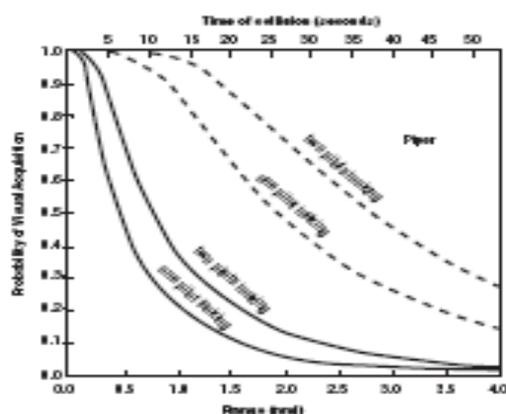
2.6 Psychological limitations

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 ATS 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, Gasson and Peters 1965) or an auditory task (e.g. Webster and Haslerud 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.

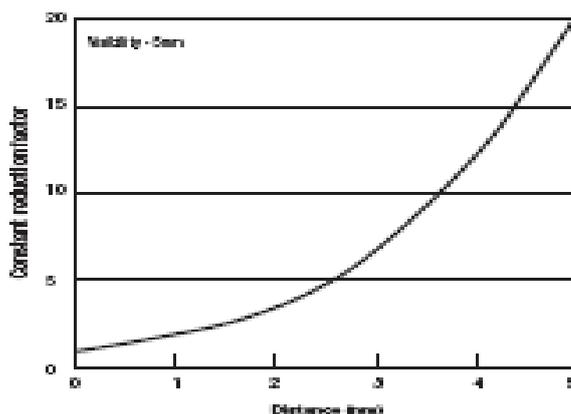
2.7.3 Aircraft paint schemes

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

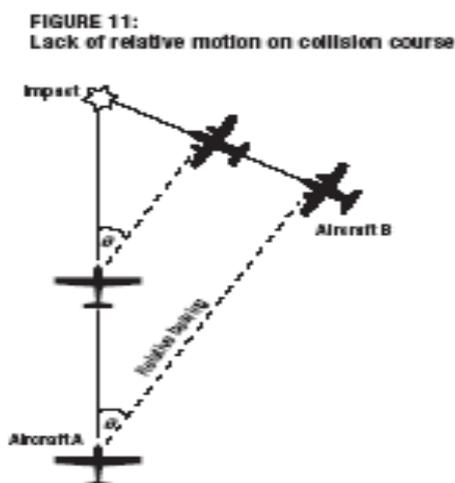


(adapted from Harris (1979))

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 windscreen.



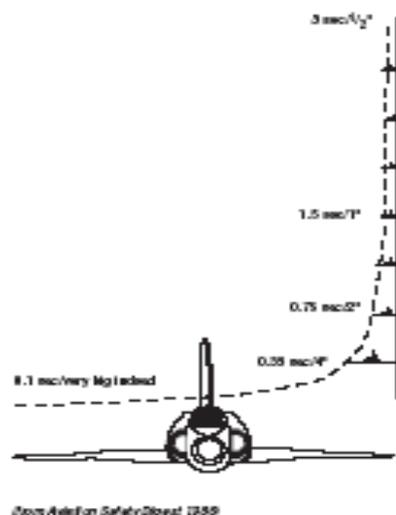
2.7.5 An approaching aircraft presents a small visual angle

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 (Bouma 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

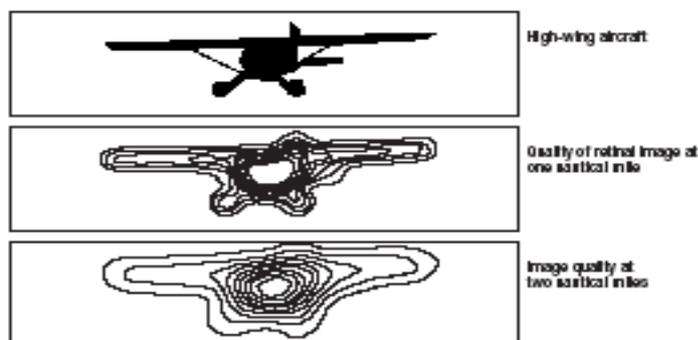
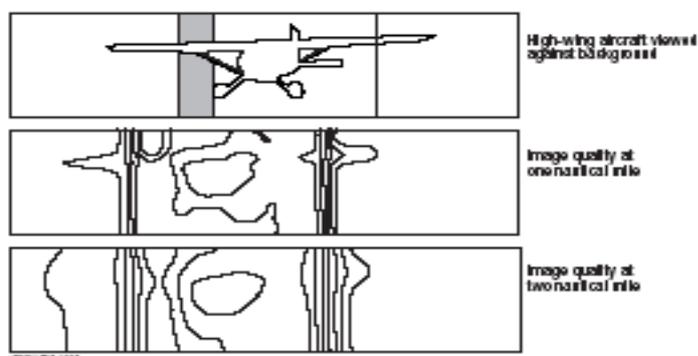


FIGURE 14:
The effect of background contours on aircraft recognition with background contours



2.8 Anti-Collision Lighting

2.8.1 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 BAS1 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:

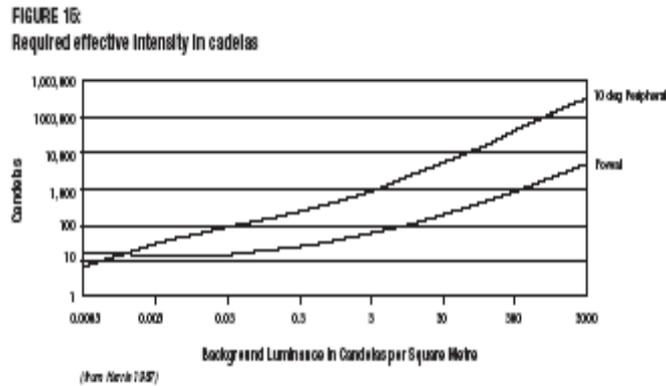
Table 1:
Luminance of common backgrounds

Background	Candelas* per Square Metre
Sky	
Clear day	3000.00
Overcast day	300.00
Very dark day	30.00
Twilight	3.00
Clear moonlit night	0.03
Ground	
Snow, full sunlight	16000.00
On sunny day	300.00
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.



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 anticollision 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 candela 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 candelas was not particularly conspicuous. However, strobes were more visible when the background illumination was less than 30 candelas 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 luminescence 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.

2.8.2 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 (Gerathewohl, 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 (Leibowitz 1988) particularly in the periphery (Knowles-Middleton and Wyszecki 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.

Caire Report Number 1133

I was given clearance by MC TWR 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.

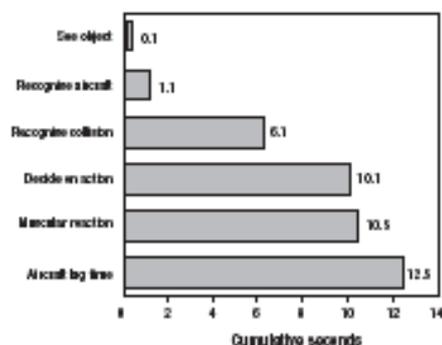
3 EVASIVE ACTION

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

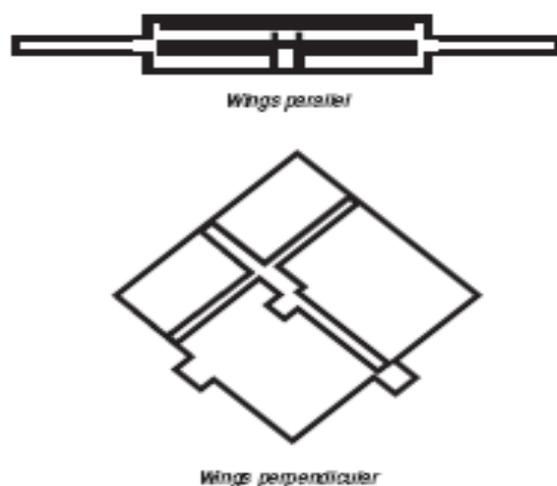


Therefore to have a good chance of avoiding a collision, a conflicting aircraft must be detected at least 12.5 seconds prior to the time of impact. However, as individuals differ in their response time, the reaction time for older or less experienced pilots is likely to be greater than 12.5 seconds.

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 uncrazed 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 R20040015

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 deselected. 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

Further CAA response received 12 November 2001

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 Limitations of See-and-Avoid. 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.

In respect of the remaining recommendations, CASA provides the following response.

'The CAA should take into account the limitations of see-and-avoid when planning and managing airspace....'

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.and should ensure that unalerted see-an-avoid is never the sole means of separation for aircraft providing scheduled services.'

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/NZS4360 Risk Management Standard. CASA also understands that the use of the absolute 'never' is not consistent with current ATSB practice.

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.

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-andavoid. ICAO makes no recommendation in relation to scheduled services not operating in these airspace classifications.

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. 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.

ATSB classification: CLOSED-ACCEPTED

Recommendation R20040016

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.

Note: The Recommendation was issued to the [then] Civil Aviation Authority (CAA) in 1991.

CAA response received 28 April 1998

Agreed and will be introduced where cost effective.

ATSB classification: CLOSED-ACCEPTED

Recommendation R20040017

The CAA should ensure that pilots are trained in effective traffic scans.

Note: The Recommendation was issued to the [then] Civil Aviation Authority (CAA) in 1991.

CASA response received 29 April 1998

Agreed and CASA will continue to emphasise that see-and-avoid is a key factor in collision avoidance and pilots should be vigilant.

ATSB classification: CLOSED-ACCEPTED

Recommendation R20040018

The CAA should require white strobes rather than red rotating beacons to assist visibility when the aircraft appears against dark backgrounds.

Note: The Recommendation was issued to the [then] Civil Aviation Authority (CAA) in 1991.

CASA response received 29 April 1998

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.

ATSB classification: OPEN

Further CASA response received 12 November 2001

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 equipage on a demonstrable cost benefit basis.

ATSB classification: CLOSED-ACCEPTED

Recommendation R20040019

The CAA should ensure that pilots are aware of the physiological and psychological limitations of the visual system.

Note: The Recommendation was issued to the [then] Civil Aviation Authority (CAA) in 1991.

CASA response received 29 April 1998

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

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 1998

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 PWI, FAA-RD-77-30.
- Andrews, J.W. 1984, Air to Air Visual Acquisition Performance with TCAS, IIDOT/FAA/PM-84 17.
- Andrews, J.W. 1984, Unalerted 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.
- Baddeley, 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 881/1042, 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 Windowpost, 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 D.C.
- 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 Pilot Warning Indicator Specifications, Final report NASA Grant NGR-05-009-05 Report SIO 72-3.
- FAA 1983, FAA Advisory Circular 9048-C.
- Federman, P.J. & Siegel, A.I. 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. & Sirkis, J.A. 1970, *Anticollision Lights for the Supersonic Transport*, FAA Office of Aviation Medicine.
- Graham, W. 1975, *Aircraft Pilot Warning Instrument Study*, FAA RD-75-59, March, FAA.
- 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, F.H. 1987, *Human Factors in Flight*, Gower, Aldershot.
- Howett, G.L. 1979, *Some Psychophysical Tests of the Conspicuity 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. & Wyszecki, 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.
- Lebowitz, 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.

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.

Limitations of the See-and-Avoid Principle

ISBN 0 642 16089 9

www.atsb.gov.au

1800 621 372

4. COLLISION AVOIDANCE
(CIVIL AVIATION AUTHORITY)

From : UK civil aviation authority

Reference SSL13: Collision avoidance

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

SAFETYSENSE LEAFLET

COLLISION AVOIDANCE

- 1- INTRODUCTION
- 2- CAUSES OF MID-AIR COLLISIONS
- 3- LIMITATIONS OF THE EYE
- 4- VISUAL SCANNING TECHNIQUE
- 5- HOW TO SCAN
- 6- SCAN PATTERNS
- 7- THE TIME-SHARING PLAN
- 8- AIRPROX REPORTING
- 9- OPERATIONAL TECHNIQUES
- 10- SUMMARY

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 look- out, the experienced pilot, having flown many hours of routine flight without spotting any hazardous traffic, may grow complacent and forget to scan. SSL 13 June 2005

- 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.
- 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 heads when scanning around obstructions.
- 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'.
- 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-furbishing 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.
- n. 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.
- o. 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.
- p. 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

- a. 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.
- b. 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.
- c. During the climb and descent beware of the blind spot under the nose – manoeuvre the aircraft so that you can check.

- d. 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) intersections and when near a radio beacon or VRP. 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.

5. HOW TO SCAN

- a. 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.
- b. 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.
- c. 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.
- d. 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.
- e. 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!
- f. 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 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.
 - **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 action to the right. Then, after scanning the instrument panel, repeat the external scan.
- 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.
- 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.
- 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.

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'.

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. Lift anything you need to read up to the coaming, rather than look down. 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, e.g. over a VRP or 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 (with Mode C), but switch it off if instructed. 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 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 at 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 e.g. 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).

5. ÉTUDE DU BEA SUR LES ABORDAGES

Cette étude est également consultable sur le site *Internet* du BEA.

Table des matières

GÉNÉRALITÉS

1 – PRÉSENTATION CHIFFRÉE

1.1 – Répartition par année

1.2 – Renseignements concernant les pilotes

2 – ANALYSE DES ACCIDENTS

2.1 – Règle voir et éviter

2.2 – Connaissance de la réglementation

2.3 – Utilisation des radiocommunications

2.4 – Utilisation du transpondeur

2.5 – Les abordages à proximité des aérodrômes

3 - CONCLUSION

4 – RÉDUIRE LE RISQUE D'ABORDAGE

ABORDAGES 1989-1999

GENERALITES

Cette étude concerne les abordages survenus au-dessus du territoire français entre 1989 et 1999 et qui ont impliqué au moins un avion civil.

Les abordages lors de vol en patrouille ou en présentation sont exclus du champ de l'étude car dans ces cas les pilotes avaient connaissance de la position des autres aéronefs. Les abordages entre planeurs ou impliquant un parachutiste n'ont pas non plus été pris en compte.

Du premier janvier 1989 au 30 juin 1999, dix-sept abordages en vol ont été dénombrés.

Ces abordages ont fait au total quarante-deux morts et neuf blessés. Vingt-sept appareils ont été détruits sur les trente-quatre impliqués.

Dans trois cas les deux appareils concernés ont pu être ramenés par les pilotes et dans deux autres cas un des avions est resté pilotable jusqu'à l'atterrissage.

Parmi les dix-sept cas étudiés :

- trois concernent des abordages entre un avion de transport public et un avion léger (deux cas) ou un planeur (un cas),
- trois concernent un abordage entre un avion léger et un planeur,
- onze se sont produits entre avions légers,
- neuf vols étaient des vols d'instruction, avec instructeur à bord,
- deux abordages se sont produits alors qu'un des deux appareils était en vol aux instruments.

1- PRÉSENTATION CHIFFRÉE

1.1 Répartition par année

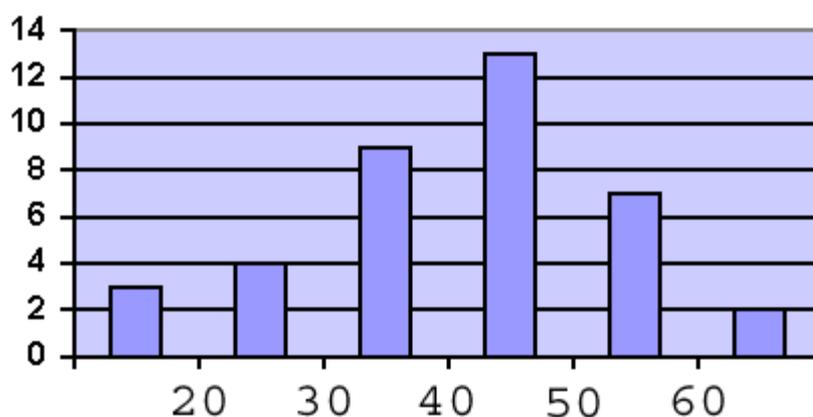
En moyenne, il s'est produit 1,5 abordage par an.

année	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
nombre d'abordages	3	2	1	2	4	0	2	0	1	1	1

1.2 Renseignements concernant les pilotes

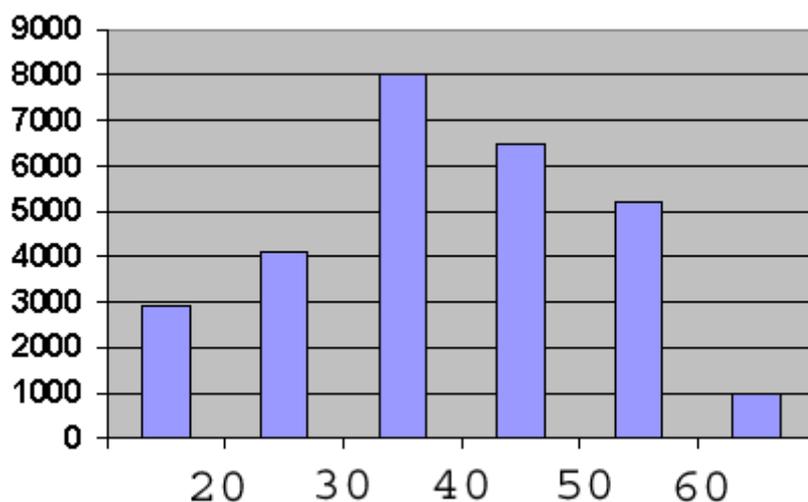
1.2.1 Age

L'histogramme ci-dessous présente la répartition de l'âge des pilotes, tous ceux présents en poste étant pris en compte.



On constate que toutes les tranches d'âge sont concernées par les collisions en vol, avec un accroissement jusqu'à la tranche 40-50 ans.

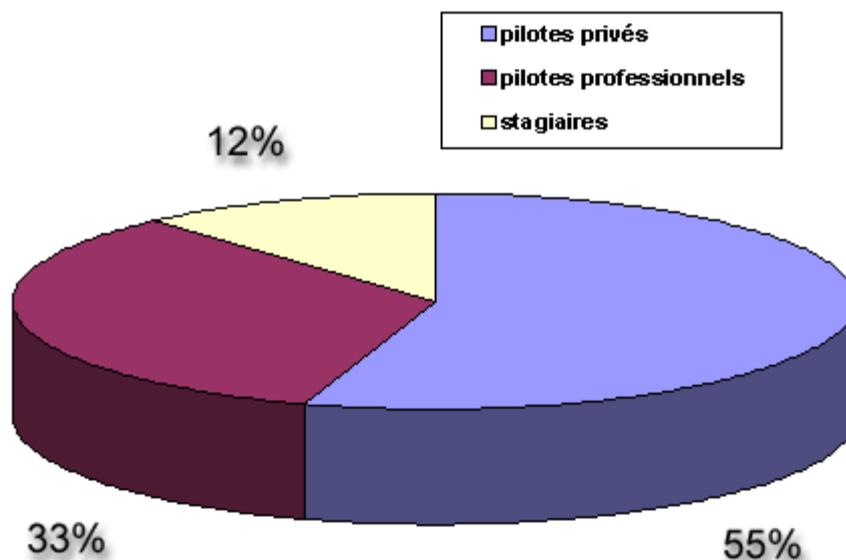
A titre indicatif le second histogramme ci-dessous montre la répartition de la population des pilotes privés en 1997. Les deux histogrammes ont presque le même profil, mais dans la tranche 40-50 ans où il y a moins de pilotes licenciés, le nombre de pilotes impliqués dans des abordages est plus important.



Remarque : l'analyse s'effectuant sur des petits nombres, et en l'absence d'information quant à l'activité exacte des pilotes de chaque tranche, il paraît difficile, pour ne pas dire non pertinent, d'essayer d'interpréter les constatations qui précèdent.

1.2.2 Licences détenues

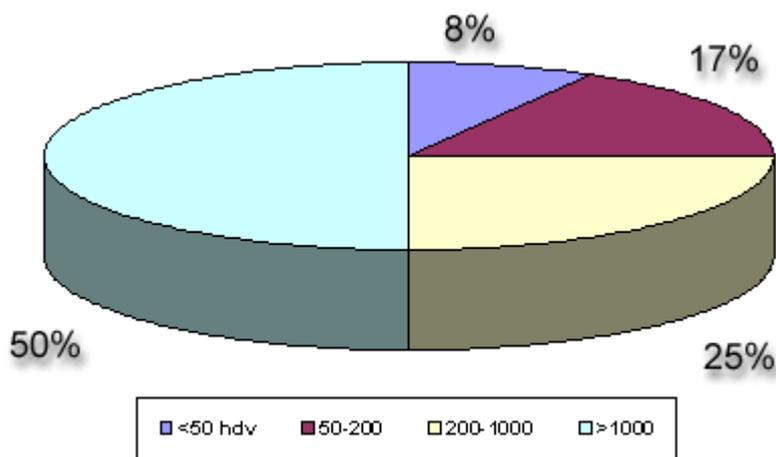
Le graphe ci-dessous représente la répartition des licences détenues par les pilotes présents en poste lors des divers abordages étudiés.



Les collisions en vol concernent tous les pilotes, quelles que soient leurs licences. La portion majoritaire est constituée de pilotes privés. Les pilotes volant à titre professionnel sont d'une part les pilotes des trois appareils de transport impliqués, d'autre part des instructeurs.

1.2.3 Expérience

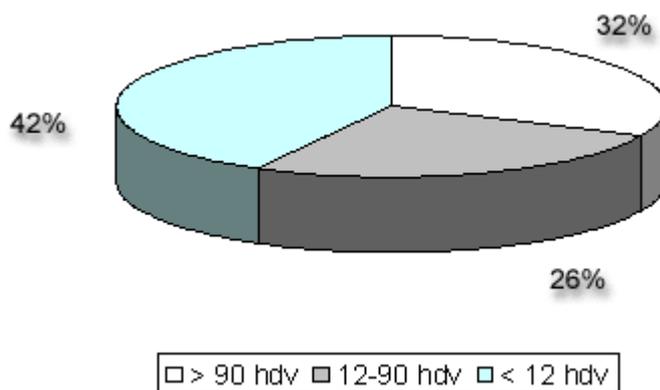
Le graphe ci-dessous donne l'expérience des pilotes impliqués dans des abordages, le nombre d'heures de vol retenu pour chaque appareil correspondant aux heures de vol du pilote le plus expérimenté assurant une fonction aux commandes.



On constate que tous les pilotes, quelle que soit leur expérience, sont concernés par les abordages, avec un nombre important de pilotes ayant une expérience supérieure à 1 000 heures de vol (50 %).

1.2.4 Expérience récente

On peut étudier l'expérience récente, sur les trois derniers mois, du commandant de bord. La borne de quatre-vingt-dix heures correspond aux pilotes professionnels ou aux instructeurs. La borne de douze heures correspond plutôt aux pilotes privés volant environ une heure par semaine. Dans sept cas l'expérience du commandant de bord était très faible (environ une heure par mois).



Le manque d'expérience récente, qui diminue la disponibilité du pilote dans l'avion, est certainement un facteur aggravant. Toutefois il convient de remarquer que les pilotes volant régulièrement ne sont pas non plus protégés contre les abordages.

1.2.5 Durée du vol

Au moment de l'abordage, 56 % des avions avaient volé moins de trente minutes, 35 % avaient volé entre une demi-heure et deux heures et 9 % plus de deux heures.

1.2.6 Vigilance

On retrouve dans la plupart des événements des facteurs pouvant entraîner une baisse de vigilance :

Dans dix-sept avions concernés il y avait deux pilotes à bord. En écartant les trois appareils de transport public pour lesquels il existe un partage des tâches au sein de l'équipage, on peut penser que pour les autres vols la vigilance de chaque pilote a pu être relâchée du fait de la présence du deuxième pilote, chacun se reposant sur la surveillance hypothétique assurée par l'autre.

Un rapport d'accident fait état d'une grande confiance des pilotes en l'information de trafic fournie par le contrôle aérien. Il faut rappeler que cette information de trafic n'est, comme son nom l'indique, qu'une information sur le trafic connu par le contrôleur et en aucun cas un espacement avec les autres appareils.

Dans plusieurs cas les appareils arrivaient sur l'aérodrome ou dans une zone de fort trafic et l'attention des pilotes semblait focalisée sur la recherche de la piste ou d'une fréquence radio.

A ce stade de l'étude on peut tirer quelques enseignements.

Tous les pilotes peuvent se trouver confrontés à un risque d'abordage, quels que soient leur âge, leurs qualifications ou leur expérience.

Bien que l'expérience récente ne soit pas une protection contre les abordages, le manque d'entraînement est certainement un facteur aggravant.

Les vols à plusieurs pilotes ou les vols en instruction peuvent inciter à un report de la vigilance vers l'autre pilote.

L'augmentation de charge de travail peut entraîner une baisse de la surveillance extérieure.

1.3 Renseignements concernant l'environnement

1.3.1 Conditions météorologiques

Tous les abordages étudiés se sont produits de jour, alors que les conditions météorologiques étaient propices au vol à vue. Il faut toutefois noter deux cas pour lesquels des pilotes ont rapporté des conditions de visibilité médiocres (fin de journée et particules en suspension). Pour six abordages un des pilotes au moins avait le soleil de face. Dans trois cas les conditions de visibilité en l'air n'ont pu être déterminées.

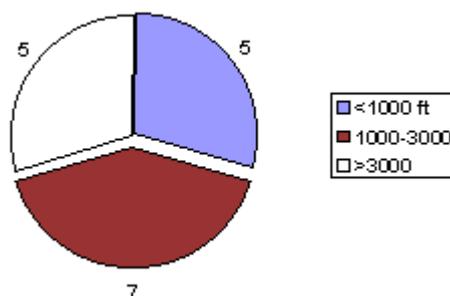
1.3.2 Modèles d'aéronefs

Six des dix-sept accidents ont eu lieu entre un avion à aile haute et un avion à aile basse. Dans trois de ces cas la position relative des ailes (ailes hautes/basses) a pu constituer une gêne pour les pilotes. Il est difficile d'en tirer une conclusion générale, mais il est sûr que les angles morts générés par l'aile, quelle que soit sa position, constituent une gêne importante.

1.3.3 Altitude des abordages

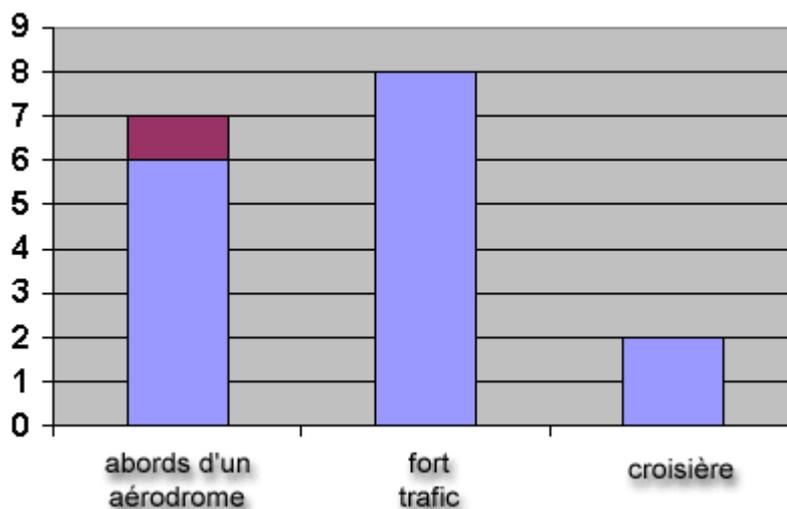
Les abordages recensés se sont produits à des altitudes allant de 150 à 8 000 pieds.

On constate sur le graphique ci-dessous que ces accidents se sont principalement produits en dessous de 3 000 pieds. C'est dans cette tranche d'altitude que l'on rencontre le plus d'avions évoluant en vol à vue. Elle correspond en effet aux départs, aux arrivées, aux circuits d'aérodrome, ainsi qu'à un grand nombre de vols en croisière VFR.



1.3.4 Lieux d'occurrence et phases de vol

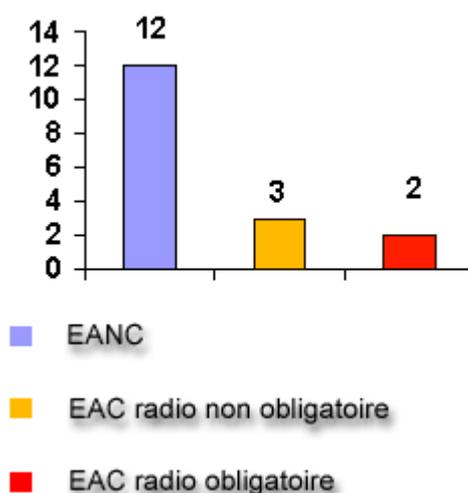
Sept abordages se sont produits aux abords d'un aérodrome. Dans six cas, un des deux avions était en phase d'intégration. Le septième accident s'est produit sur l'axe de décollage. Un abordage s'est produit sur un aérodrome contrôlé. L'auto information était la règle sur les autres aérodromes.



Huit abordages ont eu lieu dans des zones où la concentration de trafic est importante (local d'aérodrome, verticale d'un moyen de radionavigation, forte fréquentation de planeurs). Seuls deux abordages ont eu lieu en croisière.

1.3.5 Espaces aériens

Douze abordages se sont produits en espace aérien non contrôlé (EANC). Trois ont eu lieu dans des espaces aériens contrôlés (EAC) dans lesquels le contact radio n'est pas obligatoire. Enfin il y a eu deux accidents dans des espaces aériens contrôlés où le contact radio est obligatoire.



Dans trois cas, un des deux appareils passait d'un espace aérien contrôlé à un espace aérien non contrôlé.

1.3.6 Utilisation de la radio

Parmi les trente-quatre appareils impliqués, un seul ne disposait pas d'équipement de radiocommunication.

On a vu que trois abordages ont eu lieu dans une zone contrôlée dans laquelle le contact radio était obligatoire (deux en espace aérien contrôlé, le troisième sur un aérodrome contrôlé situé en espace aérien non contrôlé).

Deux autres ont eu lieu sur des aérodromes non contrôlés réservés aux aéronefs munis de radio. Les défaillances proviennent :

- de brouillages, d'encombrements de la fréquence ou de procédures radio mal assimilées,
- de l'absence de contact avec l'organisme de circulation aérienne ou sur la fréquence d'auto information,
- de l'incompréhension entre le pilote et le contrôleur ou entre les pilotes.

Quatre autres accidents ont eu lieu sur des aérodromes où la radio n'était pas obligatoire. Trois se sont produits lors de la phase d'intégration. Pour deux d'entre eux un des pilotes n'utilisait pas sa radio. Pour le troisième accident un des deux appareils n'était pas muni de radio.

Tous ces abordages se sont produits de jour, par beau temps, le plus souvent à des altitudes peu élevées et dans des zones à forte concentration de trafic. La plupart ont eu lieu en espace aérien non contrôlé ou sur des aérodromes non contrôlés. Enfin, l'utilisation de la radio n'était pas optimale.

2 - Analyse des accidents

2.1 Règle voir et éviter

Les normes et pratiques recommandées établies dans l'Annexe 2 à la Convention de Chicago, reprises dans la réglementation nationale, sont appliquées dans l'espace aérien français. Une de ces règles précise :

« il importe que la vigilance exercée en vue de déceler les risques d'abordages ne soit pas relâchée à bord des aéronefs en vol, quels que soient le type de vol et la classe d'espace dans lequel l'aéronef évolue, et au cours des évolutions sur l'aire de mouvement de l'aérodrome. »

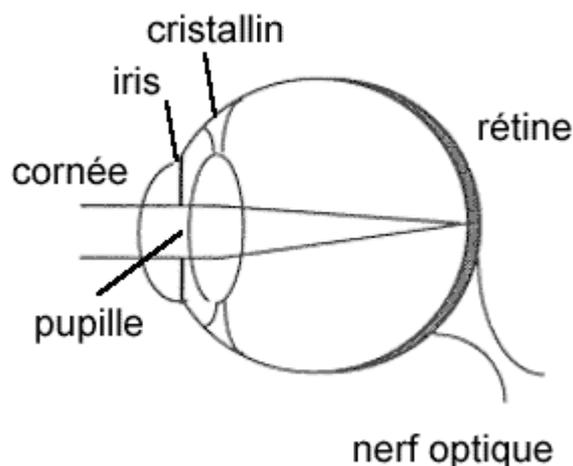
Dans certaines classes d'espace, le contrôle aérien peut donner des informations de trafic et des espacements pour prévenir les abordages, cependant voir et éviter reste la règle de base, en vol à vue comme en vol aux instruments. Cette règle n'a manifestement pas donné satisfaction dans les dix-sept cas étudiés. Plusieurs facteurs en ont entravé le bon fonctionnement.

2.1.1 Rappel sur le système visuel et ses limites

La perception visuelle chez l'homme possède des caractéristiques particulières. Il est intéressant de connaître la structure et le fonctionnement de l'oeil ainsi que ses interactions avec le cerveau pour analyser les possibilités et les limites de la vision.

2.1.1.1 Description de l'oeil

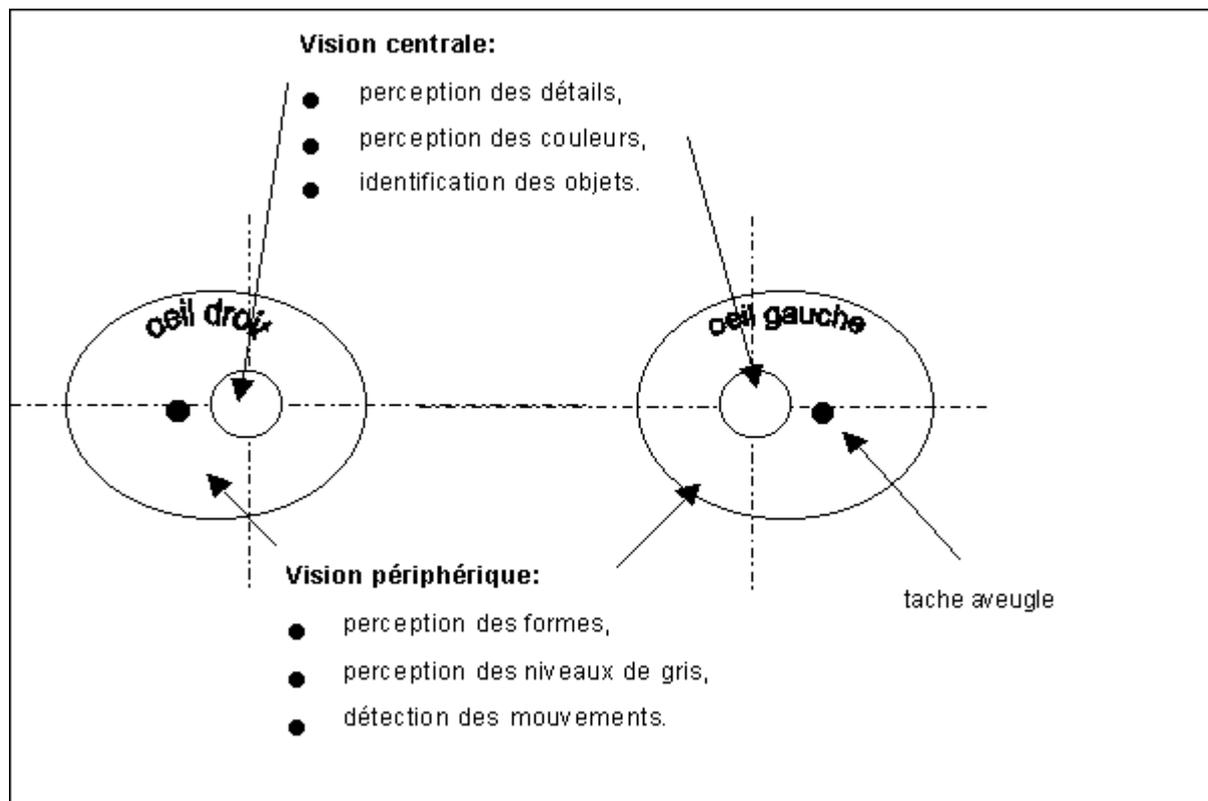
La partie avant de l'oeil s'appelle la cornée. C'est un tissu transparent protégeant le globe oculaire. L'iris est la partie colorée de l'oeil. Au centre de l'iris se trouve la pupille qui permet à la lumière de passer dans l'oeil. A l'arrière de l'iris et de la pupille se trouve le cristallin qui se déforme sous l'action de muscles situés à la périphérie. La déformation du cristallin permet de faire la mise au point, c'est-à-dire la formation d'une image nette quelle que soit la distance de l'objet, sur la rétine.



La rétine contient plusieurs millions de cellules photosensibles de deux sortes :

- les **cônes**, essentiellement dans la partie centrale de la rétine (la **fovéa**), qui sont stimulés par les fortes intensités lumineuses et sont sensibles aux couleurs. C'est en vision centrale que les détails les plus fins seront perçus.
- les **bâtonnets**, beaucoup plus nombreux et essentiellement répartis en périphérie, qui sont sensibles aux faibles intensités lumineuses, aux formes et aux mouvements.

Alors que la vision périphérique ne permet que la détection d'objets fortement contrastés et en mouvement, la vision centrale assure en plus l'identification.



L'oeil compte environ 125 millions de cellules photosensibles (120 millions de bâtonnets, 5 millions de cônes). Les informations en provenance de ces cellules sont acheminées vers le cerveau via le **nerf optique**. Ce nerf optique est constitué d'environ un million de fibres nerveuses. Il y a donc un travail de codage de l'information qui s'effectue avant l'envoi vers le cerveau. Le nerf optique est relié à la rétine. A l'endroit même de cette liaison, il n'y a pas de cellule photosensible. Cette zone est appelée la **tache aveugle**. Elle est centrée, selon les individus, entre 10 et 16° à gauche de l'axe optique pour l'oeil gauche et couvre un secteur angulaire de 3° environ. L'oeil droit possède par symétrie la même propriété. Dans chacune de ces zones aucune détection n'est possible en vision monoculaire. Pour compenser l'absence de détection au niveau de la tache aveugle d'un oeil, le cerveau utilise des informations recueillies par l'autre oeil.

Pour illustrer le phénomène lié à la tache aveugle le lecteur pourra se reporter au schéma ci-dessous. Il devra se couvrir l'oeil gauche, fixer la croix avec l'oeil droit et rapprocher le schéma jusqu'à ce que l'avion disparaisse.



2.1.1.2 Mouvements de l'oeil

L'oeil se déplace de deux façons différentes :

la poursuite : l'oeil suit une cible et se déplace de façon continue avec cette cible.

la saccade : l'oeil effectue des mouvements à 200°/s environ et le cerveau inhibe l'analyse visuelle pendant ce temps. La mise au point s'effectue après l'arrêt du mouvement. Lorsque l'oeil recherche une cible éloignée, il utilise la vision centrale. A grande distance les espaces laissés sans détection, situés entre deux saccades, sont très importants. Lorsque la cible est plus proche elle pourra être détectée en vision périphérique.

2.1.1.3 La myopie spatiale

Lorsque l'oeil ne reçoit aucun stimulus, ce qui est le cas en air clair par exemple, il effectue une mise au point à sa position de repos qui se situe entre 1 et 2 mètres, entravant ainsi la détection de cibles potentielles éloignées. Ce phénomène s'appelle **la myopie spatiale**.

2.1.1.4 Le contraste et l'acuité visuelle

Le **contraste** perçu entre un objet et le fond sur lequel il apparaît est lié à la différence entre la luminance de l'objet (ou la quantité de lumière émise par unité de surface de l'objet) et la luminance du fond.

L'acuité visuelle, qui détermine la qualité d'une image transmise au cerveau par l'oeil peut être assimilée au pouvoir de séparation d'un système optique. L'acuité visuelle vaut 10/10 si l'oeil peut séparer deux points vus sous un angle d'une minute d'arc, et 1/10 si l'oeil ne distingue ce détail que sous un angle de 10 minutes. L'acuité visuelle diminue lorsque l'on s'éloigne du centre du champ visuel. Elle est une fonction croissante du contraste. Par exemple un planeur blanc dans un ciel laiteux sera difficile à distinguer.

La tache aveugle, le mouvement saccadé de l'oeil, la myopie spatiale et la dégradation des performances en vision périphérique constituent des obstacles à la détection de cibles ou de conflits potentiels. De plus, bien que l'acuité visuelle des pilotes soit contrôlée régulièrement, les capacités de l'oeil se dégradent avec l'âge, l'environnement et la fatigue.

2.1.1.5 Étapes psycho-visuelles

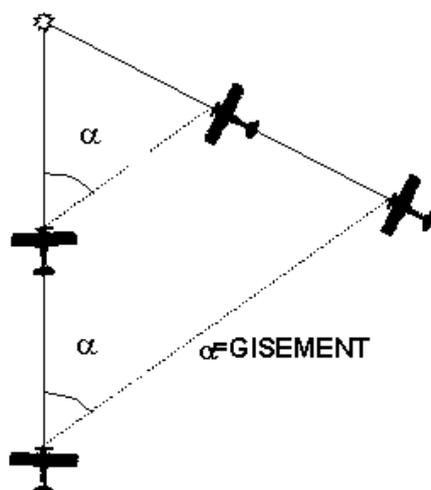
Les mécanismes centraux de la perception et de la mémorisation sont sollicités pour la reconnaissance de forme et de trajectoire d'un aéronef.

La durée de traitement de l'information visuelle est de l'ordre de la demi-seconde pour la transmission du message visuel aux structures centrales et de deux secondes et demie pour que le cerveau effectue les opérations de reconnaissance. Il en résulte une latence de l'ordre de trois secondes pour qu'un pilote puisse identifier un objet comme étant un aéronef à partir du moment où celui-ci devient perceptible.

2.1.2 Les caractéristiques des collisions

2.1.2.1 Rapprochement à gisement constant

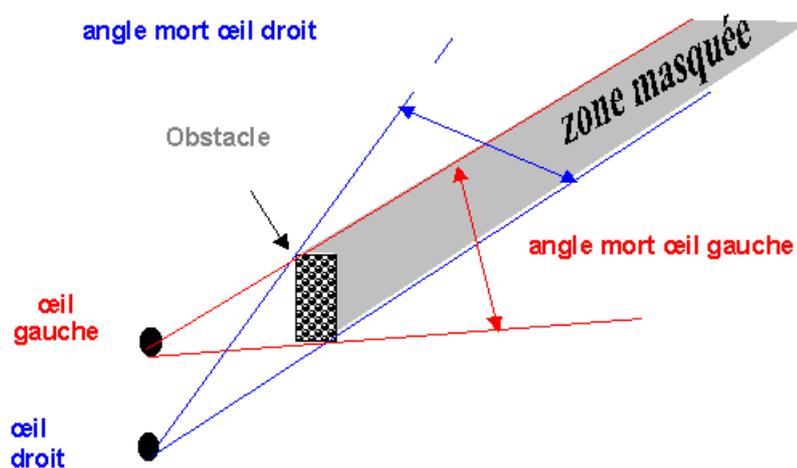
Les pilotes de deux appareils volant à vitesse et altitude constantes et ayant des trajectoires convergentes verront chacun l'autre appareil à gisement constant. En d'autres termes, le trafic convergent sera immobile pour le pilote. Cette immobilité apparente est pénalisante car la détection se fait très souvent en vision périphérique et, on l'a vu, la vision périphérique est surtout stimulée par le mouvement.



2.1.2.2 Les angles morts

La vision binoculaire transmet au cerveau deux images en provenance des deux yeux. Pour un objet placé à l'infini les deux images sont semblables. Pour un objet rapproché (de l'ordre du mètre) il est observé par les deux yeux sous des angles différents. Ce phénomène permet d'appréhender le relief.

Un angle mort correspond à une zone de l'environnement masquée par un objet et donc non vue. Ainsi pour chacun des deux yeux qui accommodent à l'infini, un objet situé à proximité peut constituer un angle mort différent. La superposition de ces deux zones donne une zone masquée, qui peut selon les cas aller à l'infini. Dans un avion un montant de pare-brise peut constituer un angle mort particulièrement gênant.



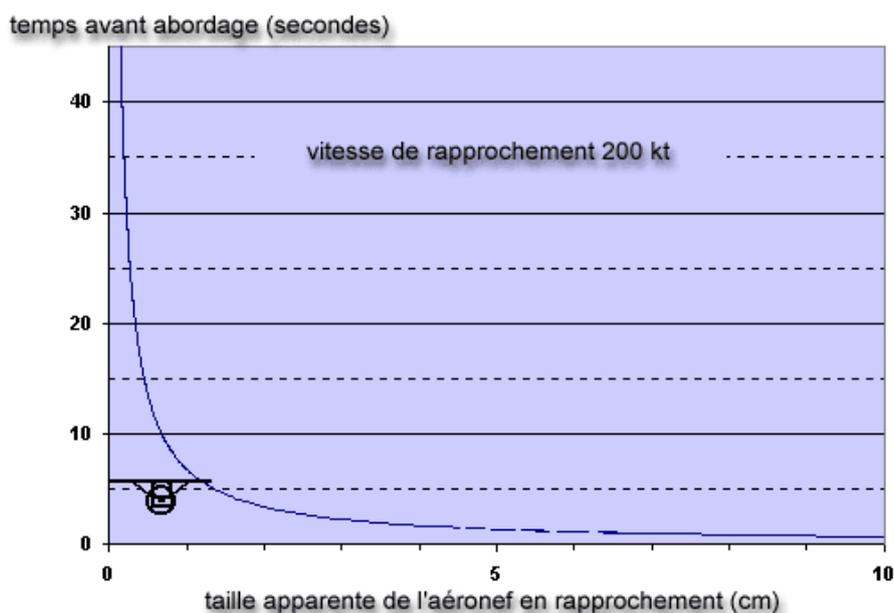
Ci-dessous les limitations de la visibilité extérieure causées sur un C177 par l'angle mort dû aux montants de la porte et du pare brise ont été représentées.



Il est de plus possible d'avoir coïncidence entre la tache aveugle d'un oeil et l'angle mort de l'autre.

2.1.2.3 Grossissement de la cible lors du rapprochement

Lorsque deux appareils sont en rapprochement, leurs pilotes verront évidemment l'autre appareil grossir. Cependant ce grossissement ne suit pas une loi de variation linéaire. Le schéma suivant illustre ce phénomène. Il représente la vision qu'a le pilote d'un avion volant à 100 kt d'un autre avion en rapprochement volant lui aussi à 100 kt et de dix mètres d'envergure environ. Il convient pour exploiter ce dessin de le placer bras tendu devant soi (à environ 70 cm).



2.1.2.4 Le temps de réaction

Le temps de réaction ne peut être considéré comme constant. Il dépend du pilote et de l'appareil. Il comprend la reconnaissance de la cible (aéronef), l'analyse d'une collision potentielle, la décision de l'évitement, l'action sur les commandes et le temps de manoeuvre de l'appareil. Quelques secondes sont nécessaires pour réaliser cette séquence. De plus l'effet de surprise peut retarder ou bloquer les réactions du pilote.

La figure précédente présente la taille d'un appareil avec une vitesse de rapprochement faible cinq secondes avant l'impact. La détection, intégrée dans la charge de travail du pilote, de cette cible de petite dimension n'est pas aisée.

Outre les limites inhérentes au système visuel, les trajectoires conflictuelles présentent des caractéristiques très particulières :

Le rapprochement à gisement constant, caractérisant les trajectoires conflictuelles, 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.

L'ergonomie du poste de pilotage et les particularités de l'oeil humain peuvent masquer certaines parties d'espace.

La petite taille de l'autre appareil jusqu'à très peu de temps avant la collision rend difficile la détection. De plus son grossissement soudain crée un effet de surprise important.

Enfin la manœuvre d'évitement n'est pas instantanée.

La règle voir et éviter peut donc être prise en défaut du fait des limites physiologiques de la vision humaine, des vitesses importantes et de l'ergonomie des aéronefs. Dans un rapport concernant un abordage entre un avion de transport public et un planeur (février 1999) le Bureau Enquêtes-Accidents a conclu à «**l'inadéquation du concept voir et éviter, compte tenu des caractéristiques actuelles de l'aviation.** »

Deux autres facteurs peuvent contribuer à faire diminuer la vigilance extérieure :

La charge de travail en vol est souvent importante. Lors d'un vol à vue ou aux instruments en monopilote, le pilote doit assurer la conduite de sa machine, la navigation et la surveillance extérieure. Parfois la surveillance extérieure peut être déléguée à une autre personne présente à bord (instructeur, autre pilote ou passager). Ce report de vigilance, qui pourrait relever du travail en équipage, cette confiance mutuelle, se fait souvent sans échange verbal voire parfois inconsciemment.

On peut aussi penser que lors de vols en croisière, lorsque la charge de travail est faible, une certaine hypovigilance se manifeste.

2.2 Connaissance de la réglementation

La classification des espaces aériens, identifiés par une lettre, est en vigueur en France depuis le 2 avril 1992. Cette classification, conforme aux dispositions de l'Annexe 2 à la Convention de Chicago, permet de distinguer les espaces aériens contrôlés des espaces aériens non contrôlés et d'y associer les services de la circulation aérienne qui sont rendus. Les espaces aériens contrôlés sont de classe A, B, C, D, E. Les espaces aériens non contrôlés sont de classe F et G. En France on ne rencontre que des espaces de classe A, D, E, G.

La connaissance insuffisante des règles s'appliquant dans ces classes d'espace amène souvent les pilotes à commettre des erreurs.

Dans le cas des pilotes ayant une faible expérience ou volant peu, les nuances entre espacement, information de trafic et information de vol ne sont pas toujours assimilées.

Espacement : l'organisme de la circulation aérienne ménage un intervalle entre les positions de deux aéronefs. L'utilisation de l'espacement sous-entend que le contrôleur connaît la position de tous les appareils.

Information de trafic : l'organisme de la circulation aérienne informe le pilote de la présence d'autres aéronefs, dont la position est connue ou observée (radio, radar...), afin de l'aider à prévenir un abordage. Pour fournir une information de trafic sûre et efficace le contrôleur a besoin de connaître tous les appareils volant dans son espace. C'est pourquoi le contact radio est obligatoire dans les espaces aériens où l'information de trafic est assurée.

Information de vol : l'organisme de la circulation aérienne donne des avis et des renseignements utiles à l'exécution sûre et efficace des vols. Un contrôleur ou un agent AFIS peut dans ce cadre donner une information concernant un vol à un autre appareil mais il ne dispose pas de la connaissance exhaustive de tout le trafic.

2.3 Utilisation des radiocommunications

L'utilisation de la radio, obligatoire dans certains espaces aériens, est facultative dans d'autres. L'analyse des accidents montre que des pilotes peuvent alors rester sans contact radio, souvent par crainte ou par manque d'habitude. Ils se privent en agissant ainsi de l'information de vol qui pourrait leur être fournie. De plus, ils n'informent pas le contrôle ou les autres avions de leur présence dans la zone.

A l'opposé on constate parfois que l'utilisation de la radio apporte un faux sentiment de sécurité. Des pilotes pensent bénéficier d'information de trafic ou même d'espacement alors que seules des informations de vol leur sont fournies. Dans ce cas, le danger peut venir d'un appareil non connu du contrôle. Ce dernier point se retrouve chez les pilotes évoluant en vol aux instruments.

2.4 Utilisation du transpondeur

Comme nous l'avons vu précédemment, le contrôle aérien dispose de plusieurs méthodes pour identifier, séparer et informer les pilotes. La radio est un vecteur d'information fonctionnant dans les deux sens. Le radar permet aussi au contrôleur de mieux connaître la position des appareils. Les anciens radars primaires ne nécessitaient aucun appareil embarqué mais les radars utilisés aujourd'hui ne permettent de détecter un aéronef que s'il est équipé d'un transpondeur. Progressivement de plus en plus d'appareils en sont équipés. Tous les avions de ligne et les avions évoluant en IFR en sont pourvus. Les autres avions sont aussi très souvent équipés de transpondeur, les planeurs et avions de construction amateur le sont moins. Cet appareil, s'il est en fonctionnement, permet d'être repéré sur des écrans radar mais il permet aussi aux pilotes d'avions équipés du système TCAS d'avoir directement connaissance, en dernier recours, d'un trafic potentiellement dangereux. Ce système TCAS est en train de se généraliser sur les avions de ligne.

Dans le rapport d'accident du BEA concernant l'abordage survenu le 30 juillet 1998 au large de Quiberon, on peut lire qu'« un certain nombre d'usagers n'appliquent pas la partie RAC 1-05 du Manuel d'Information Aéronautique relative à l'obligation faite au pilote d'un avion équipé d'un transpondeur d'afficher le code 7000 avec report d'altitude en l'absence d'instruction de contrôle. » Cette obligation était reprise dans la documentation remise aux pilotes sous une forme qui pouvait être interprétée comme facultative, ce qui explique qu'elle soit encore très mal connue. De plus le transpondeur est parfois perçu comme un appareil de surveillance utilisé par les organismes de la circulation aérienne pour traquer les infractions.

Il a été établi pour les deux derniers abordages impliquant un avion de transport public que si le couple TCAS/transpondeur avait été utilisé les risques d'abordage auraient été minimisés.

2.5 Les abordages à proximité des aérodromes

Il existe des règles, des procédures ou des pratiques recommandées propres à diminuer le risque d'abordage, notamment dans des secteurs où la densité de trafic est importante.

C'est le cas aux abords des aérodromes. Certains sont contrôlés et le contact radio est obligatoire, d'autres peuvent être en auto-information et l'usage de la radio peut ne pas être obligatoire. Pour l'atterrissage un circuit d'aérodrome doit être suivi et, sur les terrains où la radio n'est pas obligatoire, une manoeuvre d'intégration doit être faite.

Dans tous les cas d'abordage à proximité des aérodromes la radio n'a pas été utilisée correctement ou la procédure d'intégration ou le circuit de piste n'ont pas été respectés. Pour ce dernier point, on retrouve des cas où les pilotes ont «raccourci » les circuits dans un souci d'efficacité au détriment de la sécurité.

La non-utilisation de la radio, la confiance excessive en l'information de vol, la mauvaise interprétation de la réglementation sont des éléments que l'on retrouve dans les accidents étudiés.

3 - Conclusion

Cette étude montre que tous les pilotes quels que soient leur âge, leurs qualifications, les règles de vol qu'ils utilisent peuvent être confrontés à un risque d'abordage. Le nombre de ces accidents est faible, mais ils ont souvent de lourdes conséquences.

Le nombre croissant d'appareils, la complexité de certains itinéraires, les performances accrues et l'ergonomie des postes de pilotage doivent inciter les pilotes à utiliser toutes les méthodes permettant de détecter et d'être détecté par les autres.

Enfin des évolutions réglementaires sont indispensables car souvent encore la règle voir et éviter est le seul garant de l'anti-abordage. Cette règle de base dans un contexte où les contraintes sont de plus en plus importantes ne suffit plus.

4 - Réduire le risque d'abordage

En complément aux recommandations qu'avait émises le BEA dans le cadre des enquêtes sur les accidents de Quiberon et Montpellier, plusieurs mesures peuvent être suggérées sur la base des constatations qui précèdent pour réduire le risque d'abordage. Tout d'abord, compte tenu des limitations de la vision qui rendent difficile le repérage d'un aéronef sur une trajectoire de collision, c'est-à-dire à gisement constant, il convient de favoriser tout ce qui peut en améliorer la perception :

Utilisation de tous les moyens permettant d'être repéré : les feux à éclat, feux de navigation, phares sont des aides précieuses ; ils permettent aux autres pilotes ou aux contrôleurs de repérer l'avion bien plus tôt.

Nettoyage de la verrière ou du pare brise : l'étude a montré qu'un obstacle même petit pouvait dissimuler un avion jusqu'à ce que le temps nécessaire à l'évitement devienne insuffisant. Les documents de vol et autres objets posés sur la casquette du tableau de bord provoquent aussi des reflets pouvant gêner la visibilité au travers du pare brise.

Utilisation systématique de la radio. Des contacts organisés au niveau local entre pilotes VFR et contrôleurs, eux-mêmes souvent pilotes d'ailleurs, pourraient permettre de lever certaines réticences et faciliter le bon usage de l'information de vol.

Utilisation systématique du transpondeur, s'il est disponible à bord (et s'il fonctionne avec report d'altitude). Cela permet au contrôleur d'avoir connaissance du trafic et peut permettre, en dernier recours, à l'équipage d'un avion de transport équipé d'un TCAS de détecter un trafic conflictuel.

Respect des trajectoires d'arrivées et des circuits d'aérodrome, quels que soient les impératifs de rentabilité ou d'horaire.

Les pilotes en VFR, ou évoluant en IFR dans un espace où peuvent se trouver des vols en VFR, doivent être sensibilisés à l'existence réelle des risques d'abordage et à l'importance d'une vigilance de tous les instants. Plus spécialement :

Une bonne disponibilité est nécessaire durant le vol pour assurer l'anti-abordage. Pour cela, une bonne préparation du vol, qu'il soit réalisé en VFR ou en IFR, permet de diminuer la charge de travail et notamment la consultation de la documentation.

La connaissance parfaite et régulièrement actualisée des espaces aériens est indispensable pour connaître obligations et services rendus, ainsi que les interactions avec les autres vols (à vue ou aux instruments).

La vigilance doit être accrue autour des zones très fréquentées (moyen de radionavigation, aérodromes) et quand l'aéronef vole avec le soleil en secteur arrière.

Le partage explicite de la surveillance extérieure est souhaitable avant un vol à deux.

Enfin il convient d'améliorer le fonctionnement de la règle voir et éviter, sans en mésestimer les limitations. Cela passe nécessairement par une bonne formation et un entraînement régulier des pilotes privés à :

- l'exécution méthodique de la veille extérieure. Une veille dynamique privilégiant la recherche d'une cible est certainement plus efficace qu'un simple regard vers le ciel. Les pilotes doivent être exercés à **rechercher et détecter**,
- l'exécution opportune d'une manoeuvre d'évitement. Les pilotes doivent être entraînés à apprécier le mouvement relatif d'un autre aéronef et à concevoir puis exécuter rapidement la bonne manoeuvre d'évitement.

Remarque : la production de films ou de programmes de simulation destinés aux écoles et centres de formation pourrait contribuer à la mise en oeuvre de ces derniers points.

ANNEXE
Liste des abordages

DATE	LIEU	Dpt	Résumé
20/02/89	TARBES	65	Abordage entre un Merlin IV en approche IFR sur Tarbes et un TB10 au départ de ce même aérodrome. Après avoir quitté l'ATZ le TB10 est revenu dans cette zone sans contact radio.
02/06/89	LES MEES	04	Abordage entre un Rallye remorqueur attelé et un planeur DG 300 en transition dans une zone de trafic vol à voile dense.
30/12/89	MOOREA	Polynésie	Abordage entre un PA28 et un DR400 dans une zone de contrôle. Le non-respect des règles de phraséologie a entraîné une confusion amenant le contrôleur à donner une information d'absence de trafic.
05/05/90	WAMBRECHIES	59	Abordage entre un Rallye remorqueur attelé en montée et un C185 en descente après largage de parachutistes.
25/09/90	CALVIGNAC	46	Abordage en croisière au niveau de vol 65 entre un PA28 sur une route 230 et un TB10 sur une route 350. Les deux appareils respectaient la règle semi-circulaire.
13/07/91	VENETTE	60	Abordage entre un DR400 en montée initiale et un Robin 2100 arrivant à la verticale du terrain en dessous du circuit de piste.
02/05/92	PLAISIR	78	Abordage entre un C152 et un DR400. Chaque appareil partait en navigation. Ils avaient décollé de deux aérodromes voisins de la région parisienne.
06/11/92	15 NM aérodrome de TARBES	65	Abordage entre deux CAP10 en vol d'instruction.

13/03/93	Aérodrome de PONT SUR YONNE	89	Abordage en montée initiale entre un ULM et un Jodel ayant décollé de deux pistes parallèles.
23/07/93	MASSIGNY	74	Abordage entre un PA28 et un C172 en croisière à 8 000 pieds dans la TMA de classe E de Chambéry. Les deux appareils venaient de traverser l'espace aérien de classe C de la TMA de Genève sur des cheminements différents.
11/11/93	Aérodrome de TOUSSUS le NOBLE	78	Abordage entre un C150 et un RF3 en étape de base. Les deux appareils venaient de s'intégrer dans le circuit d'aérodrome. La fréquence était encombrée.
23/12/93	Aérodrome du CASTELET	83	Abordage en finale entre un Rallye et un CAP10 en fin d'évolution voltige. Les plans d'approche des deux appareils étaient très différents.
25/07/95	LA POINTE	64	Abordage entre un TB10 et un DR400 lors de l'arrivée d'une étape du tour de France des jeunes pilotes. Un des appareils effectuait un circuit d'attente sur un point d'entrée de la CTR et l'autre appareil rejoignait le terrain par ce point d'entrée.
18/08/95	Aérodrome de VINON	83	Abordage entre un Rallye remorqueur et un planeur. Le Rallye en dernier virage et circuit court avait heurté l'arrière du planeur.
09/03/97	Aérodrome de MONTARGIS	45	Abordage entre un PA28 arrivant à la verticale du terrain et un Stampe en évolution voltige sans radio.
30/07/98	QUIBERON	56	Abordage entre un Beechcraft 1900 ayant annulé IFR et un C177 au-dessus du paquebot NORWAY.
12/02/99	GORNIES	34	Abordage entre un A320 en IFR en descente vers Montpellier et un planeur G103 en vol d'onde.

6. DOCUMENTS DIRCAM

6.1. CIRCULAIRE D'INFORMATION AERONAUTIQUE NMR 01 DU 17 JUILLET 2003

FORCES ARMEES FRANÇAISES
DIRECTION DE LA CIRCULATION AERIENNE MILITAIRE
DIVISION INFORMATION AERONAUTIQUE
CIRCULAIRE MILITAIRE D'INFORMATION AERONAUTIQUE

n° 01 du 17 juillet 2003

OBJET : Sensibilisation des équipages aux risques accrus en période estivale pour les vols en basse altitude.

L'attention des navigateurs aériens militaires est appelée sur l'augmentation des risques potentiels encourus par les aéronefs en **CAM V** pendant la période estivale à proximité des **circuits d'aérodromes** et notamment des petites plate-formes, en raison de la recrudescence de **l'activité de l'aviation générale, légère et sportive** particulièrement dense aux beaux jours.

Pour améliorer la sécurité de tous les usagers, il est nécessaire :

- d'éviter les **zones d'activité d'aérodrome** (cercles de couleur mauve sur la carte 1 : 500.000 DIRCAM) et d'une manière générale toutes les **circulations d'aérodrome**,
- d'orienter les missions dans les secteurs les moins occupés par **l'aviation générale, légère et sportive** et d'éviter les secteurs vélivoles, d'activités de parachutage, de delta-planes et de voltige, habituels ou occasionnels,
- de redoubler de **vigilance visuelle** pour la surveillance du ciel,

- **d'anticiper le contact radio** avec les organismes aéronautiques afin de bénéficier au plus tôt de l'information de vol relative à l'activité dans les espaces traversés en basse altitude,
- d'annoncer sur la fréquence d'auto-info **tout danger potentiel détecté** (présence de planeurs, d'ULM, de parapentes ...), et de faire remonter l'information au niveau de l'escadron puis au niveau central pour qu'elle puisse être diffusée le plus largement possible.

PILOTES

- Si la mission ne l'impose pas, évitez 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 circulations d'aérodromes.
- En cas d'impossibilité, contacter l'organismes gestionnaire ou pratiquez l'auto-information sur la fréquence appropriée.
- La règle « voir et éviter » impose une **VIGILANCE PERMANENTE** et une recherche au plus loin des trafics potentiellement conflictuels.

**6.2. NOTE EXPRESS 260/DIRCAM/DRP/SV DU 03 FEVRIER
2004**



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE LA DÉFENSE



ARMÉE DE L'AIR

NOTE EXPRESS

NON PROTEGE – DIFFUSION RESTREINTE – CONFIDENTIEL DEFENSE

Origine	Direction de la circulation aérienne militaire 14.664 - TAVERNY
Destinataire (pour action)	: EMAA/B.EMPLOI/SV PARIS - EMM/OPL/DRE PARIS - COMALAT VILLACOUBLAY DGAICEV ISTRES
Destinataire(s) (pour information)	: CFAC/SV – METZ . CFAS/SV TAVERNY ALAVIA - TOULON
Copie(s) intérieure(s)	

Taverny, le 03.02.04

N° 260 /DIRCAM/DRP/SV

Objet	<p>Sensibilisation aux risques d'abordage encourus lors des vols en basse altitude</p> <p>Le dépôt en 2002 et 2003 de plusieurs Airpox à l'intérieur ou à proximité du RTBA, et la gravité constante des risques encourus lors de ces incidents, en particulier entre aéronefs de la défense, conduisent la DIRCAM à demander aux Etats-majors et Grands commandements de bien vouloir prolonger, auprès de leurs unités navigantes, la campagne de sensibilisation déjà entreprise sur les risques inhérents aux vols qui s'effectuent en basse altitude, en particulier dans le RTBA ou à ses abords.</p> <p>Cette campagne peut être développée sur la base des recommandations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pour les aéronefs dont la mission est programmée dans le RTBA : <ul style="list-style-type: none"> - attirer l'attention des équipages sur la nécessité de se maintenir à l'intérieur des limites des zones en toute circonstance, particulièrement lors du passage dans des portions de zones ayant des limites verticales différentes, - éviter le vol aux limites horizontales ou verticales des zones, afin de favoriser une plus grande séparation avec le trafic environnant, - appliquer les règles d'auto information. • Pour les aéronefs de la défense dont la mission n'est pas programmée dans le RTBA, mais amenés à évoluer à proximité de celui-ci : <ul style="list-style-type: none"> - vérifier systématiquement et en préalable à une situation conflictuelle l'activation des zones, auprès d'un organisme de contrôle compétent, - exercer la plus grande vigilance lors du passage à proximité des zones du RTBA, s'interdire la pénétration des zones du RTBA lorsqu'elles sont actives, - suivre la trajectoire perpendiculaire à ces zones, à une altitude supérieure à celle du plafond ou inférieure à celle du plancher afin de contribuer à réduire le risque, - émettre un message d'auto information sur les points particuliers et avant chaque croisement, de manière concise mais précise, - éviter le vol aux limites horizontales ou verticales des zones afin d'assurer la plus grande séparation verticale.
-------	---



DIRCAM – Base aérienne 921 – 95155 TAVERNY CEDEX – Téléphone : 01.30.40.64.02 – Fax : 01.30.40.65.57
 Email : dircam-drp@ba921.air.defense.gouv.fr

- **Pour les aéronefs de la défense évoluant en basse altitude en régime de vol à vue :**

- Respecter les règles de la CAM V et assurer avec attention la surveillance du ciel,
- Appliquer la procédure d'auto information.

- **Pour tous :**

- Déclencher une procédure Airprox pour toute situation de proximité avec un autre aéronef afin de permettre l'analyse des événements dans le but d'améliorer la sécurité des vols,
- effectuer systématiquement la restitution de la position relevée par les instruments de bord de l'aéronef défense au moment de l'incident et l'ajouter aux pièces habituellement fournies dans le dossier d'enquête Airprox.

Ces recommandations tirées des conclusions des rapports des Commissions Airprox nationales doivent faire l'objet de rappels constants et appuyés de la part des Etats-majors.



DIRCAM – Base aérienne 921 – 95155 TAVERNY CEDEX – Téléphone : 01.30.40.64.02 – Fax : 01.30.40.65.57
Email : dircam-drp@ba921.air.defense.gouv.fr

6.3. LETTRE NMR 01290/DIRCAM/DIR DU 16 JUIIN 2004



Liberté - Égalité - Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

**MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT
DES TRANSPORTS, DE L'AMÉNAGEMENT DU
TERRITOIRE, DU TOURISME ET DE LA MER**

**DIRECTION DE LA CIRCULATION
AÉRIENNE MILITAIRE**

DIRECTION DE LA NAVIGATION AÉRIENNE

N°01290/DIRCAM/DIR

N° 010410/DNA

OBJET : Action de sensibilisation sur la sécurité en basse altitude pour l'été 2004.

Au cours de l'année 2003, 22 Airprox mixtes mettant en cause des appareils navigant en CAG/VFR ou en CAM V ont été déposés en espace aérien inférieur. Ils se répartissent de la façon suivante :

- 12 Airprox mixtes ont été déposés par des appareils civils en IFR, ou en VFR à l'encontre d'appareils de la Défense en CAM V, à proximité d'aérodromes civils ou en transit à l'intérieur d'espaces aériens contrôlés;
- 6 Airprox mixtes ont été déposés à l'encontre d'appareils en CAG VFR ayant pénétré dans le réseau très basse altitude (RTBA) de la Défense;
- 4 Airprox mixtes ont été déposés par des avions de la Défense à l'encontre d'appareils civils en CAG/VFR, à proximité immédiate d'aérodromes de la Défense, à l'intérieur de zones R ou d'EACS.

Depuis le début de l'année 2004 quatre Airprox mixtes ont été déposés contre 6 pour la même période en 2003. Ils concernent des appareils en CAG/IFR à l'encontre d'appareils de la Défense en CAM V dans des espaces aériens contrôlés.

Dans le même temps, aucun Airprox mixte n'a été déposé dans le RIDA à l'encontre de VFR, ni à proximité d'aérodromes civils en espace aérien non contrôlé à l'encontre de CAM V.

Ces Airprox déposés en 2003 et en 2004 font tous l'objet d'une analyse détaillée selon les procédures en vigueur.

Les premiers éléments d'analyse relatifs à l'année 2004 semblent indiquer que la campagne de sensibilisation, conjointement organisée à l'été 2003 par la Direction de la Circulation Aérienne Militaire et la Direction de la Navigation Aérienne et le soutien des différentes associations d'usagers de l'aviation générale et de l'aviation légère et des commandements militaires est en train de porter ses fruits.

Parallèlement à cette démarche de sensibilisation, le Directoire de l'espace aérien a décidé, lors de sa 127^{ème} réunion, de la création d'un groupe de travail chargé d'émettre des propositions d'actions relatives à l'amélioration de l'information de l'ensemble des usages civils et militaires de la basse altitude.

Pour présenter ces propositions aux usagers de l'aviation générale et de l'aviation légère, la Direction de la Navigation Aérienne et la Direction de la Circulation Aérienne Militaire envisagent l'organisation d'un séminaire national sur la basse altitude pour la fin de l'année 2004, à l'identique de celui qui s'est tenu en octobre 2002.

Pour accompagner ce premier résultat quantitatif positif mentionné précédemment, à l'approche de l'été aéronautique il est souhaitable de mener de nouvelles actions d'information auprès de l'ensemble des usagers civils et défense, afin que les résultats de ce début d'année 2004 soient confirmés et encouragés.

C'est pourquoi, la Direction de la Navigation Aérienne et la Direction de la Circulation Aérienne Militaire vous sauraient gré de bien vouloir renouveler les initiatives de sensibilisation auprès de l'ensemble des utilisateurs de l'espace aérien, placés sous votre autorité, pour concourir au mieux à la sécurité de l'ensemble des usagers.

TAVERNY, le 18 JUIN 2004

A PARIS, le 17 JUIN 2004

Directeur de la Circulation aérienne militaire

Le Directeur de la Navigation aérienne

7. RELEVÉ DE DECISIONS

ANNEXE

Plan d'action 13 points / 3 domaines

Sujets	Échéances	Responsables
I MESURES INTERNES		
<p>1. Concept de simulation intégrée.</p> <p>Il s'agit d'élaborer un nouveau concept de simulation pour l'entraînement des équipages, chasse, transport et hélicoptères. Le principe est celui d'une intégration complète de l'activité simulateur dans l'activité aéronautique globale. Activité simulateur et activité aérienne deviennent donc complémentaires et interdépendantes. Ce concept est susceptible de refaçonner les formats d'équipements actuels et à venir.</p>	Mars 2005	Chef B. EMP
<p>2. Amélioration du retour d'expérience en matière de sécurité des vols.</p> <p>Les données RETEX restent à la fois incomplètes, dispersées, et insuffisamment recoupées. Seule une centralisation de cette fonction sera à même de tirer, des données disponibles, les enseignements contribuant à une meilleure prévention. Il s'agit donc d'améliorer le retour d'expérience par la création préalable d'une cellule « analyse RETEX » dédiée.</p>	<p>Mars 2005 (étude)</p> <p>Juin 2005 (mise en place effective)</p>	Chef B. EMP
<p>3. Développement de l'analyse des vols.</p> <p>Des moyens divers et nombreux, fiables et adaptés existent : enregistreurs de vols, systèmes de restitution de mission, enregistreurs de conversation...</p> <p>Dans l'immédiat, il s'agit de les optimiser en systématisant leur exploitation.</p> <p>A terme, il sera souhaitable, grâce à des moyens d'enregistrement et de traitement informatique performants et accessibles, d'exploiter chaque vol.</p>	Mars 2005	Chef B. EMP

II REDUCTION DES RISQUES EN TRES BASSE ALTITUDE		
<p>4. Réduction de 10% de l'activité de l'armée de l'air en très basse altitude.</p> <p>Il s'agit de limiter quantitativement, et au strict minimum nécessaire, l'activité globale de l'armée de l'air à très basse altitude et en espace aérien non contrôlé.</p>	Mars 2005	Cdt FAP
<p>5. Recommandations pour une meilleure séparation entre les avions de combat et les avions légers.</p> <p>Faire adopter, à nos appareils, la consigne de privilégier la tranche de hauteur 500 – 1500 pour la conduite des missions tactiques. De la même façon, il est recommandé aux pilotes de l'aviation légère en vol à vue, et pour autant que cela est compatible avec leur type d'activité, de conduire leur vol en croisière à partir d'une hauteur de 1500, et de limiter au strict nécessaire, les évolutions en dessous de cette hauteur.</p>	Mars 2005	Directeur CAM
<p>6. Contact radio lors du passage à proximité des zones civiles.</p> <p>L'extension des zones contrôlées a pour effet de créer, à la périphérie immédiate des zones d'aérodromes, des concentrations de circulation aérienne où le risque d'abordage est, du fait, augmenté.</p> <p>Pour les équipages militaires, le contact avec les zones civiles ne doit pas être limité au cas de la pénétration mais étendu à celui du simple passage à proximité (appel de « courtoisie ») afin de concourir, lorsque cela est possible, à l'information de trafic.</p>	Février 2005	Cdt FAC
<p>7. Accueil en fréquence des avions civils par les organismes de contrôle militaires.</p> <p>Les faits montrent une certaine réticence de la part de nombreux pilotes de l'aviation générale, à contacter les contrôleurs militaires pour bénéficier du service de la circulation aérienne. Il s'agit d'encourager les pilotes de l'aviation légère à contacter les approches militaires et, en particulier, à ne pas hésiter à annoncer les cas d'urgence.</p>	Février 2005	Cdt CASSIC
<p>8. Instauration d'un système radio d'auto-information entre avions civils et militaires.</p> <p>Il s'agit de compléter la règle de l'air « voir et être vu » en mettant si possible, à la disposition de l'ensemble de la circulation aérienne en basse altitude, un système d'auto-information à l'exemple ou en remplacement de celui qui est déjà utilisé par les appareils de l'armée de l'air en circulation aérienne militaire.</p> <p>Ceci pourra être obtenu par le biais de l'adoption d'une fréquence VHF commune par exemple.</p>	Mars 2005	Directeur CAM

III OUVERTURE AUX AUTRES UTILISATEURS		
<p>9. Mise à disposition des aéroclubs d'informations « défense » utiles à la préparation et l'exécution des vols.</p> <p>Informations sur le réseau très basse altitude (RTBA) : il s'agit de mieux faire connaître le RTBA au sein des aéroclubs. Une surcharge « RTBA » pourra être ajoutée aux cartes habituellement utilisées par les pilotes privés, en particulier dans les pochettes « VFR » disponibles sur le marché.</p> <p>Dotations en cartes « défense » : il s'agit d'étudier la dotation d'un jeu complet de cartes aéronautiques avec surcharge « défense » au profit de chaque aéroclub par le biais des fédérations.</p>	Mars 2005	Directeur CAM
<p>10. Utilisation de sites internet au profit des utilisateurs de l'espace aérien.</p> <p>Étudier la participation à un site internet de la DGAC : il s'agit de contribuer à un site officiel de l'aviation civile déjà existant, en apportant, à l'aviation légère, toutes les informations utiles à caractère « défense ». Ce site pourrait être le site « OLIVIA » par exemple.</p> <p>Ouvrir un site spécifique « armée de l'air » : il s'agirait d'un site dédié ou, pour une information moins formelle, d'un simple lien supplémentaire sur le site actuel de l'armée de l'air.</p> <p>Ces deux propositions ne sont pas exclusives l'une de l'autre.</p>	Septembre 2005 Mars 2005	Directeur CAM Chef SIRPA
<p>11. Dialogue entre le contrôle civil et le contrôle militaire pour prise en compte des alertes TCAS.</p> <p>Les systèmes TCAS des avions commerciaux paraissent mal adaptés aux performances des appareils de combat évoluant à distance. Il s'agit de faire en sorte que les cas où ces systèmes sont susceptibles de délivrer des informations erronées, soient anticipés par un dialogue plus serré et surtout plus rapide entre le contrôle militaire et le contrôle civil.</p>	Mars 2005	Cdt CASSIC
<p>12. Instauration d'un dialogue annuel systématique entre l'EMAA, la DIRCAM et les fédérations.</p> <p>Au-delà de la concertation déjà existante entre la DIRCAM et la Direction de la navigation aérienne civile, en particulier au sein des Comités régionaux d'information de la circulation aérienne générale, il s'agit d'instaurer un dialogue plus direct entre les fédérations et l'état-major de l'armée de l'air.</p>	Février 2005	Directeur CAM
<p>13. Organisation annuelle, sur chaque base aérienne, d'une rencontre avec les représentants des aéroclubs et fédérations des départements limitrophes.</p> <p>Il s'agit, en complément des mesures 9 et 10 ci-dessus, de mieux faire connaître les zones militaires afin de lever toute réticence de la part des pilotes privés, à utiliser les services disponibles auprès des approches militaires. Au-delà, ces contacts périodiques auront pour effet de créer des liens plus personnalisés entre les différents utilisateurs de l'espace aérien local et, plus largement, de mieux faire connaître les activités de l'armée de l'air à la communauté aéronautique civile.</p>	Mars 2005	Cdt RA