



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

Brétigny sur Orge, le 21 juillet 2008

RAPPORT PUBLIC D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-X-2007-014-A

Date de l'événement 12 juillet 2007

Lieu Etrigny (Saône et Loire)

Collision en vol entre l'ULM STORM 300 identifié 71-GL (Centre ULM Bourgogne – aérodrome de Chalon Champforgeuil) et le Mirage 2000 N n°337 (Armée de l'air – BA 116 Luxeuil)

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>Glossaire</i>	5
<i>Table des illustrations</i>	6
<i>Synopsis</i>	7
1 Renseignements de base	10
1.1 Déroulement du vol	10
1.1.1 Synopsis	10
1.1.2 Contextes des vols	10
1.1.3 Reconstitution de la partie significative des trajectoires des vols	11
1.1.3.1 ULM	11
1.1.3.2 Mirage 2000 N	12
1.1.4 Localisation	13
1.2 Tués et blessés	15
1.3 Dommages aux aéronefs	15
1.4 Autres dommages	15
1.5 Renseignements sur le personnel	15
1.5.1 Pilote de l'ULM	15
1.5.2 Equipage du Mirage 2000 N	16
1.5.2.1 Pilote, commandant de bord	16
1.5.2.2 Navigateur officier système d'armes	16
1.6 Renseignements sur les aéronefs	17
1.6.1 ULM	17
1.6.2 Mirage 2000 N	18
1.6.2.1 Caractéristiques – équipements en rapport avec l'évènement	18
1.7 Conditions météorologiques	19
1.7.1 Situation générale	19
1.7.2 Conditions sur zone	20
1.8 Aides à la navigation	20
1.9 Télécommunications	20
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	20
1.11 Enregistreurs de bord	21
1.12 Examen des aéronefs après l'évènement	21
1.12.1 Répartition des débris au sol	21
1.12.2 Examen de l'ULM	21
1.12.3 Examen du Mirage 2000 N	24
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	26
1.13.1 Pilote de l'ULM	26
1.13.2 Pilote du Mirage 2000 N	27
1.13.3 NOSA	27
1.14 Incendie	27
1.15 Organisation des secours	28
1.16 Essais et recherches	28
1.17 Renseignements sur les organismes	28
1.18 Renseignements supplémentaires	28
1.19 Techniques spécifiques d'enquête	28
2 Analyse	29
2.1 Description de l'évènement	29
2.1.1 Éléments de vol du Mirage 2000 N jusqu'à la manœuvre d'évitement	29
2.1.2 Manœuvre d'évitement du pilote du Mirage 2000 N	30
2.1.3 Éléments de vol de l'ULM avant la collision	30

2.1.4	Position relative estimée des aéronefs au moment de la collision	31
2.1.5	Mécanisme de perte de contrôle de l'ULM	33
2.1.6	Conclusion sur la description de l'évènement	33
2.2	Etude des mesures visant à prévenir les risques de collision en vol	34
2.2.1	Préambule	34
2.2.2	Etude du dispositif réglementaire	34
2.2.3	Mesures complémentaires liées à la ségrégation des trafics	35
2.2.4	Mesures complémentaires liées à l'alerte des équipages sur les trafics environnants	36
2.2.5	Mesures liées à la vitesse de vol	37
2.2.6	Conclusion sur l'étude des mesures visant à limiter les risques de collision en vol	38
2.3	Facteurs contribuant à l'efficacité de la règle « voir et éviter »	39
2.3.1	Facteurs contribuant à l'efficacité de l'acquisition visuelle	39
2.3.1.1	Mobilisation des ressources attentionnelles des occupants des aéronefs pour la surveillance du ciel	39
2.3.1.2	Efficacité de la surveillance du ciel	41
2.3.1.3	Facteurs dimensionnant pour l'acquisition visuelle	43
3	CONCLUSION	48
3.1	Éléments utiles à la compréhension de l'évènement	48
3.1.1	Cadre des missions	48
3.1.2	Aspects réglementaires liés à la prévention des collisions entre aéronefs	48
3.1.3	La collision	48
3.2	Causes de l'évènement	50
4	RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ	51
4.1	Préambule	51
4.2	Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement	52
4.2.1	Cadre réglementaire et procédural	52
4.2.2	Méthodologie de surveillance du ciel	54
4.2.3	Suivi de la recommandation de vol au-dessus de 1500 ft pour les aéronefs en CAG VFR	55
4.2.4	Surveillance du ciel lors des phases d'exercice d'attaque au sol	56
4.3	Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'évènement	56

GLOSSAIRE

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	Circulation aérienne militaire
CFAS	Commandement des forces aériennes stratégiques
DGAC	Direction générale de l'aviation civile
EPI	Enquêteur de première information
HA	Haute altitude
NOSA	Navigateur officier système d'armes
TBA	Très basse altitude
ULM	Ultra léger motorisé
VFR	<i>Visual flight rules</i> - règles de vol à vue

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures

- Figure 1 : Trajectoire du Mirage 2000 N _____ p 12
- Figure 2 : Lieu de la collision _____ p 14
- Figure 3 : Estimation des positions respectives des appareils au moment de l'impact avec la dérive du Mirage 2000 _____ p 32

Photographies

- Photo 1 : Reconstitution de l'aile droite de l'ULM _____ p 22
- Photo 2 : Sectionnement du carénage du bord d'attaque de l'aile droite de l'ULM _____ p 23
- Photo 3 : Morceau rompu de la lame du train principal droit de l'ULM _____ p 24
- Photo 4 : Endommagements de la dérive du Mirage 2000 N _____ p 25
- Photo 5 : Partie supérieure de la dérive du Mirage 2000 N sectionnée et morceau de la lame du train principal droit de l'ULM (cercle), telles que retrouvées au sol _____ p 25
- Photo 6 : Traces de frottement sur l'extrados de la voilure droite du Mirage 2000 N _____ p 26
-

CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page 1 (couverture) : ©SIRPA air ; SG Aviation ;

Pages 22 – 23 – 24 – 25 – 26 : BEAD-air.

SYNOPSIS

- Date de l'événement : jeudi 12 juillet 2007 à 15h56¹.
- Lieu de l'événement : Etrigny (Saône et Loire), à 4 Nm² à l'ouest de Tournus.
- Aéronefs :
 - ⇒ ULM³ multiaxes de type STORM 300, identifié 71-GL ;
 - ⇒ Mirage 2000 N n°337 F-ULAK.
- Organismes d'appartenance :
 - ⇒ ULM : propriétaire privé, appareil basé sur l'aérodrome de Chalon Champforgeuil ;
 - ⇒ Mirage 2000 N : armée de l'air / commandement des forces aériennes stratégiques (CFAS).
- Nature du vol :
 - ⇒ ULM : vol local ;
 - ⇒ Mirage 2000 N : vol d'entraînement - ravitaillement en vol suivi d'un assaut à vue.
- Nombre de personnes à bord :
 - ⇒ ULM : un pilote ;
 - ⇒ Mirage 2000 N : un pilote et un navigateur officier système d'armes (NOSA).

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Le 12 juillet 2007, une collision en vol se produit à basse altitude entre un ULM et un Mirage 2000 N, à l'ouest de Tournus, dans un espace aérien non contrôlé de classe G. L'ULM s'écrase au sol ; son pilote est tué. Le Mirage 2000 N se dérouta sur la base aérienne (BA) 102 de Dijon ; l'équipage est indemne.

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

² Nm : *nautical mile* - mille nautique (1 Nm = 1852 mètres).

³ ULM : ultra léger motorisé.

Composition du groupe d'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 enquêteur de première information (EPI) de la Direction générale de l'aviation civile (DGAC).

➤ BEAD-air :

⇒ Un directeur d'enquête technique ;

⇒ Un EPI de la Défense ;

⇒ un officier pilote ayant une expertise sur Mirage 2000 N ;

⇒ Un sous-officier mécanicien ayant une expertise sur Mirage 2000 N ;

⇒ Un médecin du personnel navigant (armée de l'air).

Déclenchement de l'enquête technique

La permanence du BEAD-air est prévenue le jour de l'événement presque simultanément par le BEA et par l'armée de l'air, vers 16h25.

Les équipes d'enquêtes techniques se répartissent le lendemain matin sur deux sites.

- Commune d'Etrigny : les premières constatations sont réalisées sur l'épave de l'ULM et sur les débris du Mirage 2000 N retrouvés au sol ;
- BA 102 de Dijon : les premières constatations sont réalisées sur le Mirage 2000 N dérouté sur cette base ; le témoignage de son équipage y est également recueilli.

Dans l'après midi, une réunion d'échange d'informations s'est tenue sur la BA 102 en présence des équipes du BEA et du BEAD-air.

Enquête judiciaire

- Le parquet de Dijon s'est saisi de l'affaire ;
- L'enquête judiciaire a été confiée à la section de recherches de la gendarmerie des transports aériens (SRGTA).

1 RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

1.1.1 Synopsis

Indicatif d'appel	- ULM : F-JGXE. - Mirage 2000 N : RESSAC 312 B.
Type de vol	- ULM : CAG ⁴ VFR ⁵ . - Mirage 2000 N : CAM ⁶ B + CAM V.
Type de mission	- ULM : vol local. - Mirage 2000 N : ravitaillement en vol suivi d'un assaut à vue.
Dernier point de départ	- ULM : aérodrome de Chalon Champforgeuil (Saône et Loire). - Mirage 2000 N : BA 116 - Luxeuil (Haute-Saône).
Heure de décollage	- ULM : 15h13. - Mirage 2000 N : 13h30.
Point d'atterrissage prévu	- ULM : aérodrome de Chalon Champforgeuil. - Mirage 2000 N : BA 116.

1.1.2 Contextes des vols

➤ Concernant l'ULM :

⇒ Le pilote de l'ULM effectue un vol local en solo dans le cadre de sa progression en vue de l'obtention du brevet de pilote d'ULM.

⁴ CAG : circulation aérienne générale.

⁵ VFR : *visual flight rules* - règles de vol à vue.

⁶ CAM : circulation aérienne militaire (de type *Bravo* = phase de vol contrôlé ; de type *Victor* = phase de vol non contrôlé effectué selon les règles de vol à vue).

➤ Concernant le Mirage 2000 N :

- ⇒ Initialement, une patrouille de deux Mirage 2000 N devait effectuer une mission d'entraînement sous-chef de patrouille au profit de l'équipage de l'avion leader⁷, comportant successivement :
 - un ravitaillement en vol en haute altitude (HA) dans le secteur de Carcassonne, suivi d'une descente en très basse altitude (TBA) dans ce secteur ;
 - un assaut à vue comportant trois objectifs, entre Carcassonne et Avord ;
 - une remontée en HA en CAM B au sud d'Avord pour un retour à Luxeuil.
- ⇒ Suite à une panne rencontrée par le leader à la mise en route, le numéro 2 effectue le vol prévu en solo.
- ⇒ Le décollage de Luxeuil a lieu vers 13h30 ; la quantité de carburant ravitaillée en vol est supérieure d'environ une tonne à celle prévue initialement.
- ⇒ Après avoir traité les trois objectifs, et compte tenu du surplus de carburant disponible, l'équipage annule la remontée en HA en approchant d'Avord puis décide de poursuivre son vol en navigation TBA impromptue en direction de l'est et vers le sud de Dijon.

1.1.3 Reconstitution de la partie significative des trajectoires des vols

1.1.3.1 ULM

Le manque d'éléments objectifs concernant l'ULM n'a pas permis de reconstituer précisément sa trajectoire. Selon des témoins au sol l'ayant aperçu quelques instants avant la collision, il se dirigeait alors vers le nord.

⁷ L'appareil accidenté est numéro 2. Son équipage, qualifié chef de patrouille et chef navigateur, aurait été responsable de la patrouille.

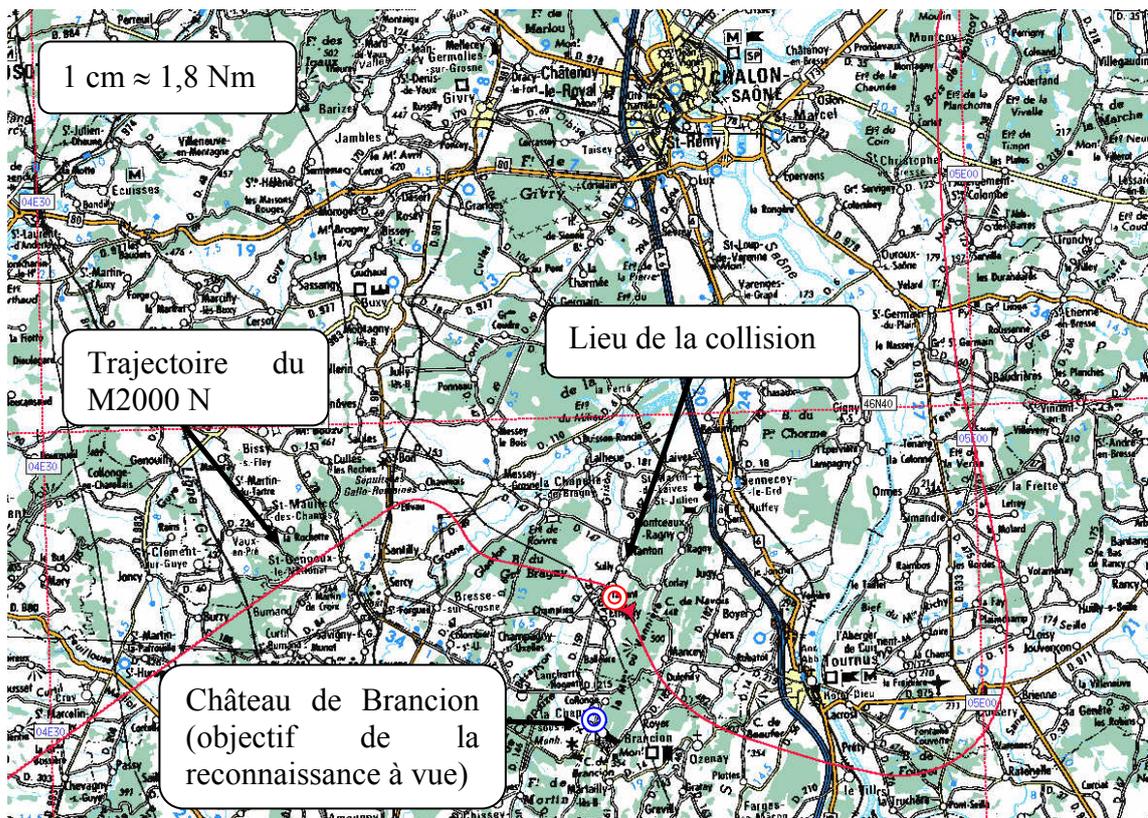
1.1.3.2 *Mirage 2000 N*

Figure 1 : Trajectoire du *Mirage 2000 N*⁸

Après traitement du troisième objectif, le *Mirage 2000 N* transite au sud d'Avord puis se dirige au cap moyen Est vers le Sud de Chalon-sur-Saône. L'équipage décide alors d'effectuer pour entraînement une reconnaissance à vue du château de Brancion.

Le pilote effectue un virage à droite pour se présenter à un cap Sud sur l'objectif.

Pendant ce virage, en légère montée vers 900 ft⁹ sol, le pilote aperçoit un appareil très proche, situé légèrement haut et côté droit. Il tente un évitement en poussant sur le manche sans pouvoir empêcher la collision. L'équipage ressent le choc.

⁸ Trajectoire calculée à partir des données extraites de l'enregistreur de vol, recalées aux instants de la collision et de l'atterrissage à Dijon.

⁹ Ft : *feet* - pied (1 ft ≈ 0,30 mètre).

Le pilote dégauchit et cabre. Il s'assure que son avion est contrôlable¹⁰, déclenche son IFF¹¹ sur *emergency* et contacte l'approche de la BA 102 de Dijon. Il déclenche l'alerte en annonçant la collision et son déroutement en urgence vers ce terrain. Il donne les coordonnées du lieu de la collision. Il s'aperçoit qu'une partie de la dérive a été sectionnée et constate qu'aucun voyant de panne n'est allumé.

L'appareil se pose vers 16h07 sans difficulté particulière. L'équipage est indemne.

Entre-temps, des témoins au sol déclenchent l'alerte auprès des pompiers. L'épave de l'ULM et un morceau de la dérive du Mirage 2000 N sont ainsi rapidement localisés dans des champs. Le pilote de l'ULM est décédé.

1.1.4 Localisation

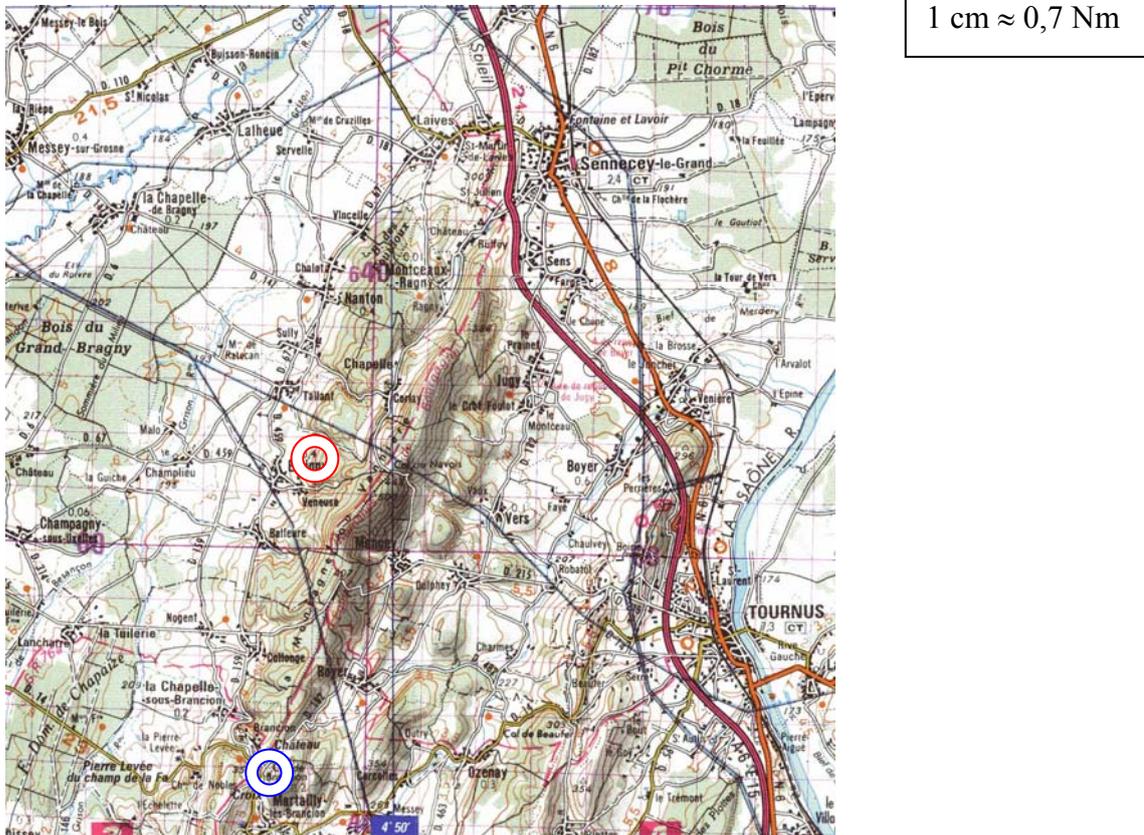
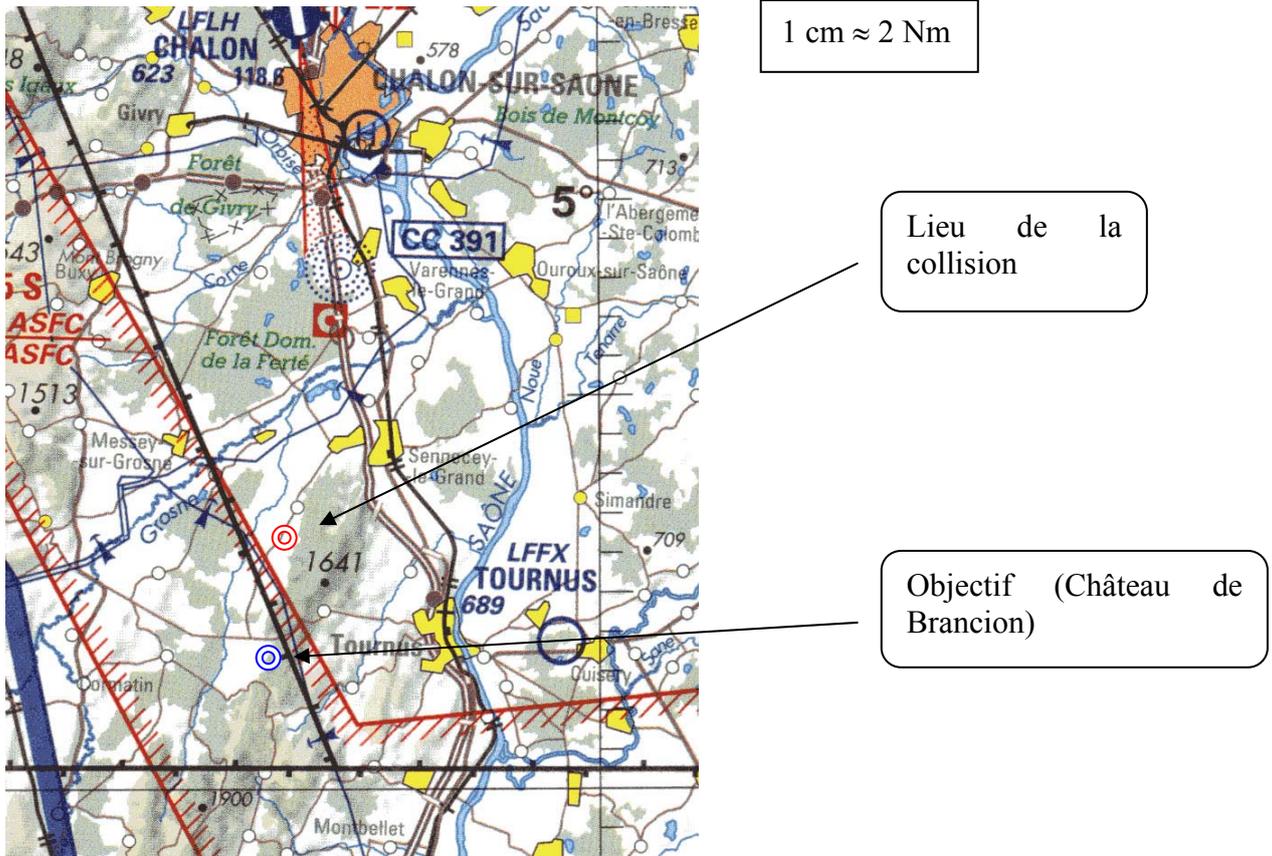
- Lieu où ont été localisés les débris :
 - ⇒ champs au nord du village d'Etrigny (Saône et Loire) ;
 - ⇒ coordonnées géographiques (épave du fuselage) :
 - N 46°35'40'';
 - E 004°48'34''.

La figure n°2 ci-dessous positionne le lieu de l'évènement sur deux cartes, la première étant issue d'une carte aéronautique au 1/500 000^e.

¹⁰ Le pilote rapporte dans son témoignage une légère instabilité.

¹¹ IFF : *identification friend or foe* - système d'identification radar ami ou ennemi.

Figure 2 : Lieu de la collision



1.2 Tués et blessés

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

1.3 Dommages aux aéronefs

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

- Âge : 59 ans.
- Elève pilote en cours de formation pour l'obtention du brevet de pilote d'ULM multiaxes.

Le pilote a débuté cette formation en septembre 2006. Il n'a pas d'expérience aéronautique antérieure. Il totalise environ 28 heures de vol dont cinq en solo.

Il a obtenu l'examen théorique ULM en février 2007.

Il effectue le jour de l'accident son septième vol en solo. Ces vols se sont tous déroulés au départ et à l'arrivée à Chalon Champforgeuil.

Toute sa formation s'est déroulée sur le même appareil et avec le même instructeur.

1.5.2 Equipage du Mirage 2000 N

1.5.2.1 Pilote, commandant de bord

- Âge : 30 ans.
- Unité d'affectation : escadron de chasse 01.004 « Dauphiné » ;
 - ⇒ fonction dans l'unité : responsable de la cellule instruction.
- Spécialité : pilote de chasse ;
 - ⇒ qualification : chef de patrouille ;
 - ⇒ école de spécialisation : école de l'aviation de chasse (EAC) – Tours ;
 - ⇒ année de sortie d'école : 1999.
- 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	2 600 h ¹²	900 h	101 h 45	15 h

- Date du dernier vol comme pilote sur Mirage 2000 N : 5 juillet 2007.
- Carte de circulation aérienne :
 - ⇒ type : carte verte¹³ ;
 - ⇒ date d'expiration : juin 2008.

1.5.2.2 Navigateur officier système d'armes

- Âge : 48 ans.
- Unité d'affectation : escadron de chasse 01.004 « Dauphiné ».
- Spécialité : navigateur officier système d'armes ;
 - ⇒ qualification : chef navigateur ;

¹² Dont 1650 heures sur avions d'armes.

¹³ Qualifie l'aptitude au vol aux instruments.

⇒ école de spécialisation : école des navigateurs officiers système d'armes (ENOSA) – Toulouse ;

⇒ année de sortie d'école : 1981.

➤ Heures de vol comme NOSA :

	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	5000 h	3000 h	80 h 10	2 h

➤ Date du dernier vol comme NOSA sur Mirage 2000 N : 13 juin 2007.

1.6 Renseignements sur les aéronefs

1.6.1 ULM

- Le STORM 300 est un ULM multiaxes de structure métallique, biplace côte à côte, à aile basse. Il est équipé d'un train tricycle fixe, sans carénage de roue.
- Type: STORM 300 (SG Aviation, Canada¹⁴).
- Identification : 71-GL.
- Exploitant : Centre ULM Bourgogne (aérodrome de Chalon Champforgeuil).
- L'instructeur de l'élève pilote est propriétaire de l'appareil.
- Heures de vol totales : 4200 h (l'appareil a été assemblé en 1999).
- Caractéristiques / performances en rapport avec l'évènement :
 - ⇒ longueur : 6,76 m ;
 - ⇒ envergure : 7,80 m ;
 - ⇒ hauteur : 2,12 m ;
 - ⇒ masse maximale au décollage : 450 kg ;

¹⁴ Concepteur et fabricant d'ULM en kit.

- ⇒ vitesse de croisière : de 70 à 80 kt¹⁵ ;
- ⇒ groupe motopropulseur ROTAX 912 UL d'une puissance de 60 kW.
- Equipements :
 - ⇒ l'appareil n'est équipé ni de transpondeur, ni de balise de détresse.
- L'appareil est principalement de couleur blanche. Des éléments sont de couleur bleu clair¹⁶. Il est équipé d'un feu anti-collision installé sur le dessus du fuselage, derrière la cabine. Il n'est pas équipé de feux de navigation.

1.6.2 Mirage 2000 N

- Organisme : armée de l'air.
- Commandement organique d'appartenance : CFAS.
- Base aérienne de stationnement : BA 116 – Luxeuil.
- Unité d'affectation : escadron de chasse 01.004 « Dauphiné ».
- Configuration :
 - ⇒ emport, sous les ailes, de deux réservoirs supplémentaires de 2000 litres et de deux poutres lance-missiles ;
 - ⇒ armement : néant.

1.6.2.1 Caractéristiques – équipements en rapport avec l'évènement

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 effectue également des missions d'attaques au sol avec des armements conventionnels.

Ses caractéristiques avec emport de deux réservoirs supplémentaires de 2000 litres sont :

- longueur : 14,36 m ;
- envergure : 9,13 m ;
- hauteur : 5,20 m ;

¹⁵ Kt: *knots* - nœuds (1 kt ≈ 1,852 km/h).

¹⁶ Notamment les saumons d'ailes, la dérive et la gouverne de direction, les marques d'identification, les liserés sur le fuselage.

- masse au décollage : 14 700 kg ;
- facteur de charge : $-2,2 \leq n \leq +5,5$;
- mach maximum : 0,95.

Le Mirage 2000 N est équipé d'un radar dont la fonction principale est, étant donné les missions de cette version du Mirage 2000, le suivi de terrain¹⁷.

Il est équipé d'un transpondeur avec alticodeur¹⁸.

Il est revêtu d'une livrée de camouflage dite « Centre Europe » (vert foncé/gris foncé sur le dessus du fuselage, sur l'extrados de la voilure et sur la dérive, gris clair sur le dessous du fuselage et l'intrados de voilure).

Il est équipé de :

- deux feux anti-collision situés sur et sous le fuselage ;
- six feux de formation situés de part et d'autre du fuselage, à l'avant et à l'arrière de celui-ci, ainsi que des deux côtés de la dérive ;
- trois feux de navigation en bout de voilure et sur la dérive.

Tous ces feux sont allumés en navigation TBA de jour (position « fort »).

1.7 Conditions météorologiques

1.7.1 Situation générale

En altitude, le flux de secteur nord-Ouest à Ouest est modéré dans une légère dorsale. Au sol, le vent est faible et variable. Le ciel est nuageux par Cumulus et Stratocumulus.

Les conditions sont favorables au vol à vue.

¹⁷ Cette fonction était celle utilisée par l'équipage lors de la phase de vol en basse altitude. Les capacités de détection en mode air-air de ce type de radar sont limitées et ce mode n'est pas utilisé en navigation basse altitude.

¹⁸ Le code affecté à la CAM V était affiché dans la phase de vol correspondante.

1.7.2 Conditions sur zone

Les conditions estimées par Météo France sur la zone à l'heure de l'évènement font état d'une visibilité de 40 km, d'une nébulosité de 4 à 5/8 de Cumulus vers 1200 mètres et de 2 à 3/8 de Stratocumulus vers 1600 mètres, d'un vent moyen de secteur Ouest d'une dizaine de nœuds, d'un QNH¹⁹ de 1020 hPa.

1.8 Aides à la navigation

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

1.9 Télécommunications

- L'ULM est équipé d'un poste radio VHF²⁰ à affichage digital. Lorsque l'appareil décolle de Chalon Champforgeuil, vers 15h00, la fréquence AFIS²¹ n'est pas active. Aucun témoignage d'appel du pilote sur cette fréquence n'a été recueilli.²². Aucun appel du pilote n'a été entendu sur une autre fréquence durant son vol²³.
- Le Mirage 2000 N est équipé de deux postes radio. L'équipage est, depuis la descente en TBA :
 - ⇒ en fréquence sur l'auto information UHF²⁴ réservée aux aéronefs « défense » en CAM V,
 - ⇒ et sur l'autre poste, en écoute de la fréquence UHF commune du centre de coordination du trafic (CCT), organisme militaire en charge de la CAM en route.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

Sans objet.

¹⁹ QNH : indique la pression ramenée au niveau de la mer.

²⁰ VHF : *very high frequency* - très haute fréquence (30 à 300 Mhz).

²¹ AFIS : *air flight information service* - service d'informations de vol d'aérodrome.

²² Il est cependant possible que cette fréquence ait été affichée et utilisée. Dans son témoignage, l'instructeur rapporte qu'il demande à ses élèves de conserver la fréquence du terrain de Chalon lors des vols locaux.

²³ Les investigations ont porté sur les fréquences de Paris information, de Reims information et du terrain de Tournus.

²⁴ UHF : *ultra high frequency* - ultra haute fréquence (300 à 3000 Mhz).

1.11 Enregistreurs de bord

- L'ULM ne dispose d'aucun moyen d'enregistrement. Le GPS²⁵ portable détenu par le pilote n'a pas été retrouvé sur le site d'Etrigny.
- Le Mirage 2000 N est équipé :
 - ⇒ d'un enregistreur de vol à bande magnétique ENERTEC 6011 ; des données valides en ont été extraites ;
 - ⇒ 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* ; l'enregistrement s'arrête en fin de bande²⁶, environ huit minutes avant la collision.

1.12 Examen des aéronefs après l'événement

1.12.1 Répartition des débris au sol

Les débris sont répartis sur une ligne orientée sensiblement nord-sud sur laquelle se trouvent successivement :

- à environ 600 m au nord-est d'Etrigny, l'épave principale de l'ULM ;
- à environ 200 mètres plus au sud de l'épave principale, les éléments constitutifs de l'aile droite de l'ULM, dont la structure est détruite ;
- à environ 600 mètres plus au sud de l'épave principale, à proximité nord du village de Veneuse, la partie supérieure de la dérive du Mirage 2000 N et, au pied de celle-ci, un morceau de la lame métallique du train principal droit de l'ULM.

1.12.2 Examen de l'ULM

Après inspection sur site, les débris de l'ULM ont été entreposés sur la base aérienne de Dijon.

²⁵ GPS : *global positioning system* - système mondial de positionnement par satellite.

²⁶ La capacité d'enregistrement est de 1h30. Sont enregistrés le décollage de Luxeuil, le ravitaillement en vol puis la phase de vol en TBA jusqu'à un point situé à environ 15 Nm de Moulins. L'enregistreur peut être mis en marche et arrêté en vol ; la cassette n'est pas rembobinable en vol.

Concernant l'épave principale :

- elle a impacté le sol sous une très forte pente, l'avant de l'appareil impactant d'abord ;
- elle n'a pas pris feu ;
- une forte odeur d'essence a été ressentie par les secours ;
- le moteur, le train avant, l'aile gauche et le train principal gauche ainsi que l'empennage sont solidaires du fuselage ;

Aucune fréquence n'est lisible sur la radio à affichage digital, consécutivement à une coupure de l'alimentation électrique lors de l'impact.

Il n'a pas pu être déterminé si le feu anti-collision était en fonctionnement au moment de la collision.

Concernant l'aile droite :

- sa structure est détruite en quatre morceaux principaux ; le longeron avant est notamment retrouvé séparé ;



Photo 1 : Reconstitution de l'aile droite de l'ULM

- le revêtement du bord d'attaque interne et le longeron avant présentent des endommagements caractéristiques d'un sectionnement initié au bord d'attaque, sensiblement dans l'axe longitudinal de l'avion, à environ 60 cm de l'emplanture de l'aile.



Photo 2 : Sectionnement du carénage du bord d'attaque de l'aile droite de l'ULM

Concernant le morceau de la lame du train principal droit retrouvé à proximité immédiate du morceau de dérive du mirage 2000 N :

- la fusée de roue s'en est séparée suite à la rupture des boulons de fixation ;
- elle s'est rompue en statique, au moment de la collision.

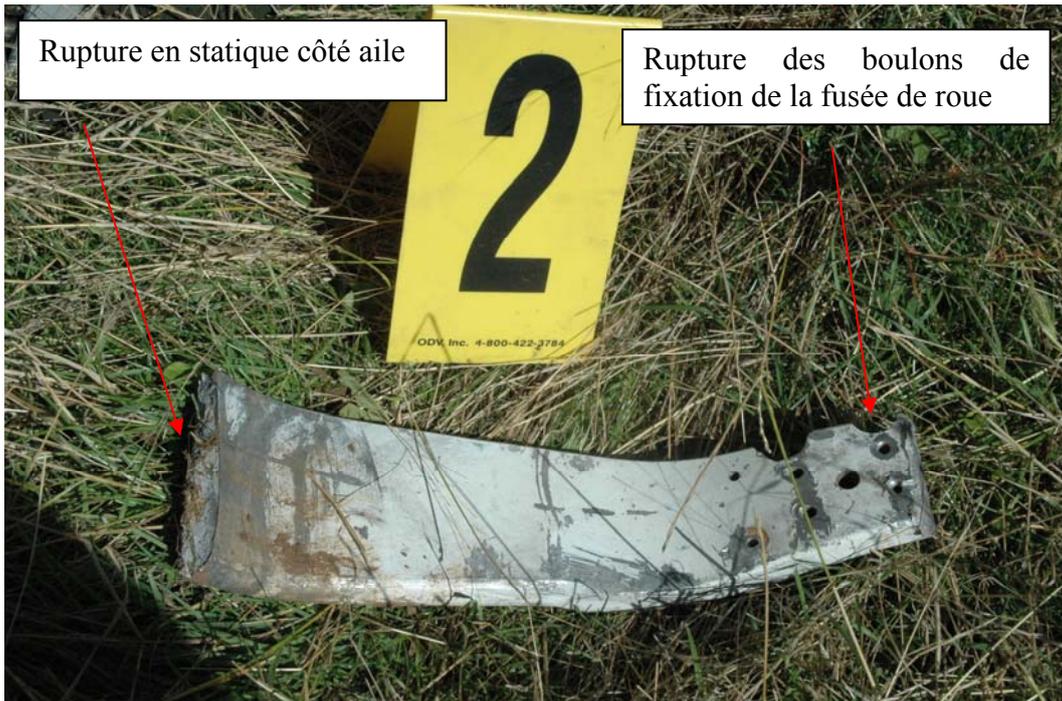


Photo 3 : Morceau rompu de la lame du train principal droit de l'ULM

1.12.3 Examen du Mirage 2000 N

Les principaux endommagements se situent sur la dérive :

- la partie située au-dessus d'une ligne comprise entre les feux de formation en bord d'attaque et le palier supérieur de drapeau est arrachée ; elle est retrouvée sur le site d'Etrigny ;
- un morceau en forme de demi disque est arraché en bord d'attaque.

Le drapeau est endommagé au niveau du palier supérieur arraché ; il présente également des rayures dans sa partie centrale. Les deux autres paliers sont intègres et le drapeau manœuvre normalement.

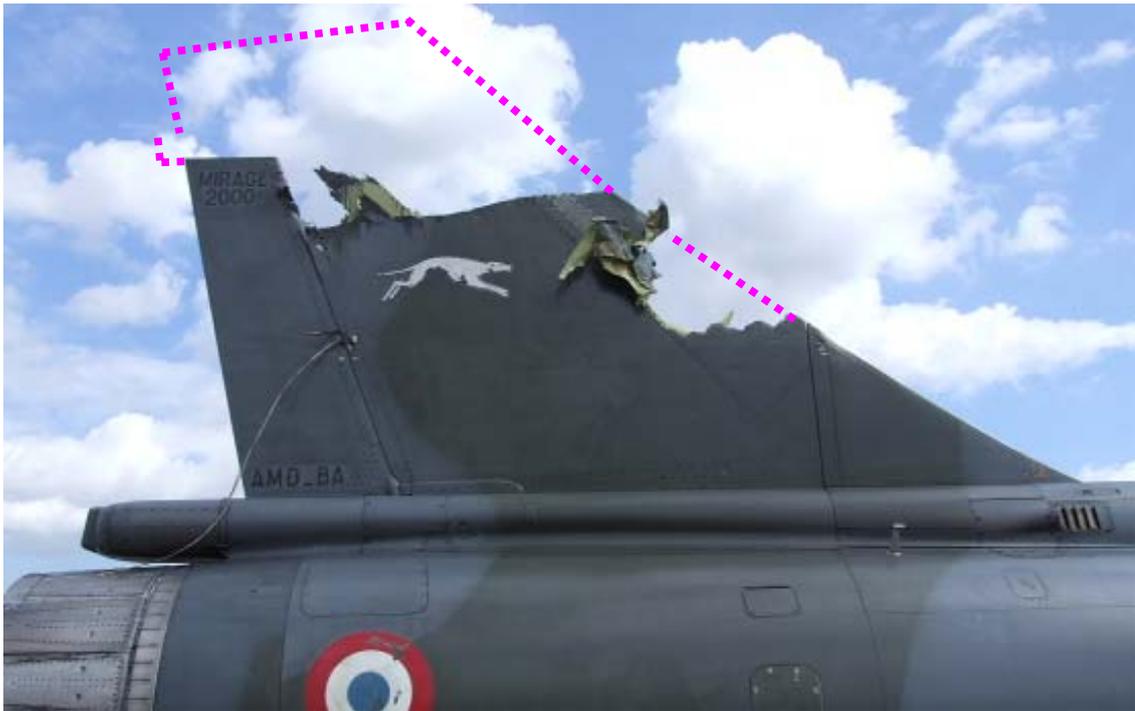


Photo 4 : Endommagements de la dérive du Mirage 2000 N



Photo 5 : Partie supérieure de la dérive du Mirage 2000 N sectionnée et morceau de la lame du train principal droit de l'ULM (cercle), telles que retrouvées au sol

L'extrados de la voilure droite présente des traces de frottement avec érosion superficielle de la peinture. Ces traces s'étirent dans l'axe longitudinal sur une longueur 4 mètres et une largeur maximale de 20 cm, depuis l'arrière du bec interne jusqu'au bord de fuite du caisson de voilure. L'élevon situé dans l'axe de cette trace ne présente pas de rayures.



Photo 6 : Traces de frottement sur l'extrados de la voilure droite du Mirage 2000 N

Les verrières sont intactes.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1 Pilote de l'ULM

- Aucune visite médicale n'est requise dans le cadre de l'obtention du brevet de pilote d'ULM.
- Blessures : poly-traumatisme ayant entraîné le décès.

1.13.2 Pilote du Mirage 2000 N

- Dernier examen médical :
 - ⇒ type : visite d'aptitude au CEMPN²⁷ de Paris ;
 - ⇒ date : 2 mars 2007 ;
 - ⇒ résultat : apte (standard visuel aviation 1) ;
 - ⇒ validité : 1 an.
- Examens biologiques : réalisés.
- Blessures : néant.

1.13.3 NOSA

- Dernier examen médical :
 - ⇒ type : visite d'aptitude au CEMPN de Paris ;
 - ⇒ date : 19 juin 2007 ;
 - ⇒ résultat : apte ;
 - ⇒ validité : 1 an (standard visuel aviation 3).
- Examens biologiques : réalisés.
- Blessures : néant.

1.14 Incendie

Néant.

²⁷ CEMPN : centre d'expertises médicales du personnel navigant.

1.15 Organisation des secours

Suite à l'appel en fréquence du pilote du Mirage 2000 N, l'approche de Dijon donne l'alerte à 16h02 au centre de coordination et de sauvetage (CCS) de Drachenbronn. L'hélicoptère de la section aérienne de gendarmerie de Dijon décolle à 16h10 et localise l'épave vers 16h37. Des secours terrestres engagés suite à l'appel de témoins au sol de l'accident sont alors déjà sur place.

1.16 Essais et recherches

Néant.

1.17 Renseignements sur les organismes

Sans objet.

1.18 Renseignements supplémentaires

Sans objet.

1.19 Techniques spécifiques d'enquête

Néant.

2 ANALYSE

L'analyse des circonstances et des causes de cette collision en vol se décompose en trois parties :

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

Elle s'appuie sur l'analyse menée suite à l'accident survenu le 23 août 2004 à l'est de Clermont Ferrand entre un Mirage 2000 N et un ULM biplace²⁸. Le contexte de ces deux événements est en effet similaire : collision en vol entre un aéronef d'aviation générale et un avion de combat, sous 1000 ft sol, en espace aérien non contrôlé de classe « G », en période estivale.

2.1 Description de l'événement

Ce chapitre analyse :

- les éléments de vol du Mirage 2000 N et de l'ULM avant et lors de la collision ;
- la position relative estimée des aéronefs au moment de la collision ;
- le mécanisme de perte de contrôle de l'ULM.

Ces différentes analyses ont été conduites à partir du témoignage de l'équipage du Mirage 2000 N, des données de l'enregistreur de vol du Mirage 2000 N, des constats effectués sur les deux aéronefs, et des témoignages recueillis à Etrigny.

2.1.1 Éléments de vol du Mirage 2000 N jusqu'à la manœuvre d'évitement

L'instant de la collision, appelé T_0 , correspond ou est très proche du moment où est enregistré un début de braquage brusque de la gouverne de direction, vers la droite. La durée de vol enregistrée est alors de 2h39min10s.

Après avoir été stable durant environ 30 secondes au cap 105° , le pilote débute à T_0-8s et à 3,6 nautiques de l'objectif un virage à droite afin de s'aligner sur un cap 190° qui

²⁸ Enquête technique BEAD-air-X-2004-018-A.

l'amènera à le survoler. L'appareil passe alors 1550 ft d'altitude en montée²⁹. La vitesse culmine à 444 kt puis régresse jusqu'à la collision.

L'inclinaison est augmentée jusqu'à se stabiliser vers 80° à T₀-4s.

2.1.2 Manœuvre d'évitement du pilote du Mirage 2000 N

Le pilote rapporte avoir vu l'ULM en haut à droite du pare-brise³⁰.

À T₀-0,5s, à 1830 ft d'altitude et 422 kt, il a débuté une manœuvre d'évitement : il donne un bref à-coup à la commande de profondeur jusqu'à la butée à piquer puis, presque simultanément, amène celle de gauchissement quasiment en butée à gauche.

2.1.3 Éléments de vol de l'ULM avant la collision

D'après le témoignage de l'instructeur, présent sur l'aérodrome au départ de l'ULM :

- l'appareil a décollé face au nord à 15h13 ;
- le pilote avait prévu d'effectuer une boucle au sud de Chalon-sur-Saône³¹ ;
- la durée de vol prévue était d'environ 30 minutes.

Le pilote a déjà effectué une navigation dans cette zone et elle lui est familière³².

Il ressort des témoignages recueillis dans le secteur d'Etrigny³³ :

- qu'après avoir survolé la Montagne Vannière en se dirigeant vers l'Ouest, l'ULM a viré à droite vers le nord ;
- que l'ULM se dirigeait vers le secteur nord dans les secondes précédant la collision.

Dans son témoignage, le pilote du Mirage 2000 N rapporte que la queue de l'ULM est à sa droite, ce qui est cohérent avec ces témoignages. Il rapporte que l'ULM semble incliné, sans pouvoir statuer sur le sens du virage.

²⁹ Le taux de montée moyen est de l'ordre de 2000 ft/min.

³⁰ Le navigateur rapporte avoir à cet instant son regard porté vers l'intérieur de sa cabine (vers le système de navigation en tête basse).

³¹ La carte de navigation retrouvée parmi les débris de l'appareil ne porte pas de trait pouvant permettre d'en déduire le trajet prévu. Un log a également été retrouvé, qui ne correspond pas à ce vol.

³² Le domicile et le lieu de travail du pilote se situent entre l'aérodrome de Chalon et celui de Tournus.

³³ Une quinzaine de témoignages ont été recueillis dans le secteur d'Etrigny. Trois témoins rapportent avoir vu l'ULM avant la collision.

2.1.4 Position relative estimée des aéronefs au moment de la collision

Les éléments de vol du Mirage 2000 N à l'instant de la collision sont :

- altitude 1800 ft³⁴ ;
- cap 150 à 160° ;
- vitesse 422 kt ;
- inclinaison entre 40° et 60° à droite, en diminution rapide.

L'étude menée, visant à déterminer la position relative des aéronefs au moment de la collision à partir des endommagements, n'a pas permis de statuer sur une position permettant d'expliquer à la fois les traces constatés sur l'extrados de l'aile droite du Mirage 2000 N et les endommagements de la dérive.

Il ressort cependant de cette étude, de l'analyse des endommagements des appareils et des données extraites de l'enregistreur de vol :

- qu'un impact principal s'est produit entre la dérive du Mirage 2000 N et l'aile droite de l'ULM ;
- que les axes longitudinaux des deux appareils étaient sensiblement parallèles au moment de cet impact ;
- que les deux appareils étaient sensiblement face à face lors de cet impact
- que les deux appareils étaient donc en virage, le Mirage 2000 N à droite, l'ULM à gauche.
- la vitesse de rapprochement était alors de l'ordre de 500 kt.

Il n'a pu être déterminé si les éléments de vol de l'ULM étaient stables dans la minute précédant la collision ou s'ils résultent de l'exécution d'une manœuvre d'évitement.

³⁴ La hauteur de vol est alors d'environ 900 ft, en prenant pour référence l'altitude de localisation des débris de 950 ft.

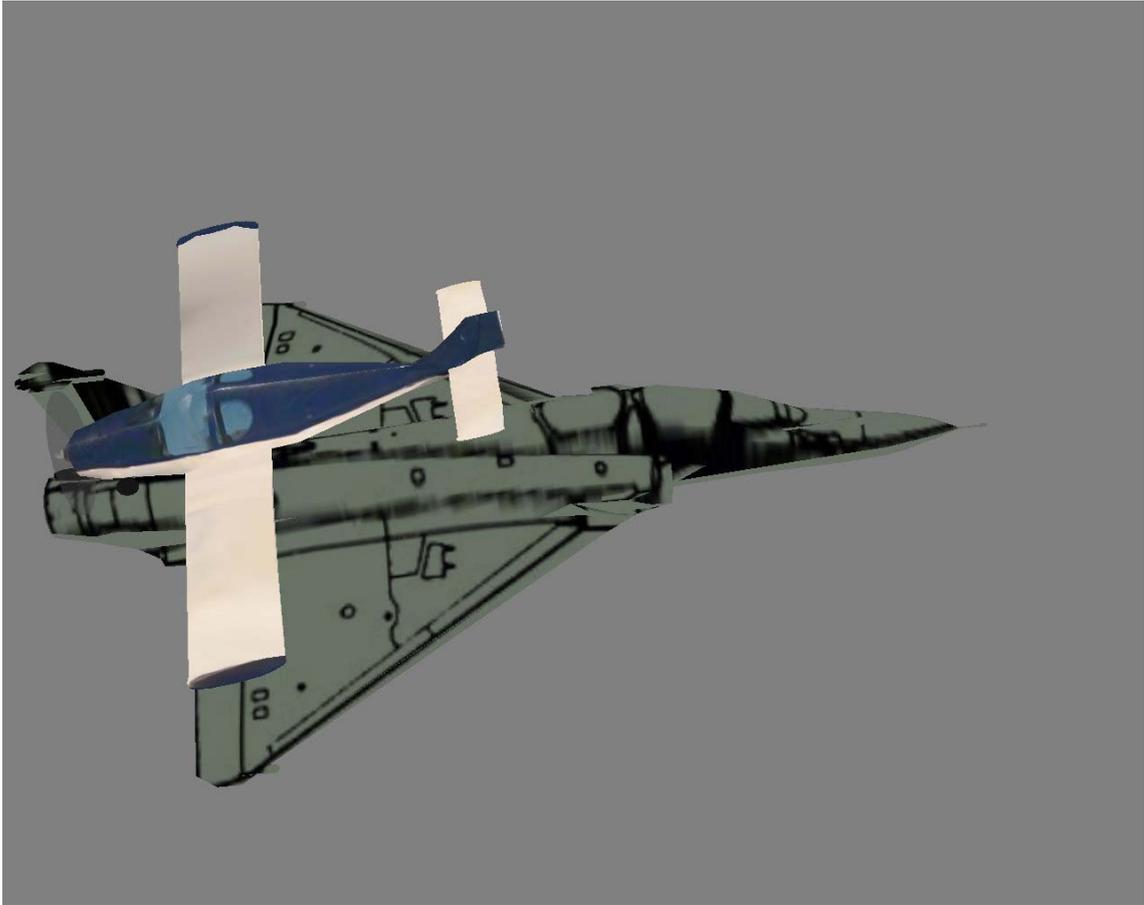


Figure 2 : Estimation des positions respectives des appareils au moment de l'impact avec la dérive du Mirage 2000

2.1.5 Mécanisme de perte de contrôle de l'ULM

Les endommagements de l'aile droite lors de la collision ont conduit, immédiatement ou peu après celle-ci, à l'arrachement de celle-ci, rendant l'appareil incontrôlable.

2.1.6 Conclusion sur la description de l'évènement

Dans les secondes qui précèdent l'abordage :

- ❖ le Mirage 2000 N est en virage à droite à 80° d'inclinaison afin de s'aligner sur un cap 190° vers l'objectif d'opportunité ; l'appareil est en montée au taux de 2000 ft/min ; sa vitesse est en régression lente vers 422 kt ;
- ❖ concernant l'ULM :
 - ▶▶ il se dirigeait vers le secteur nord ;
 - ▶▶ les autres éléments de vol ne sont pas connus.

0.5 s avant le moment estimé de la collision, le pilote du Mirage 2000 N initie une manœuvre d'évitement en donnant un à-coup à piquer et en dégauchissant.

Au moment estimé de la collision :

- ❖ le Mirage 2000 N est en virage entre 40 et 60° d'inclinaison, avec une assiette légèrement positive, à 422 kt et vers 900 ft sol ;
- ❖ l'ULM est en virage à gauche ;
- ❖ le Mirage 2000 N passe sous l'ULM, sa dérive impactant l'aile droite et la lame du train d'atterrissage droit de l'ULM ;
- ❖ l'aile droite est arrachée et la lame de train se rompt ;
- ❖ une partie de la dérive du Mirage 2000 est arrachée.

L'arrachement en vol de l'aile droite de l'ULM provoque la perte de contrôle de l'appareil.

2.2 Etude des mesures visant à prévenir les risques de collision en vol

2.2.1 Préambule

Les études dont il est fait mention dans ce chapitre et le suivant sont :

- le rapport de recherche de l'*Australian Transport Safety Bureau (ATSB) : limitations of the see-and-avoid principle*, dernière édition novembre 2004³⁵ ;
- le rapport de recherche de l'*UK Civil aviation authority (CAA) : collision avoidance*, référence SSL13, juin 2005³⁶ ;
- l'étude sur les abordages, dans la période 1989 - 1999, réalisée par le Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile³⁷.

2.2.2 Etude du dispositif réglementaire

L'ULM applique les règles de vol à vue en CAG VFR définies dans les règles de l'air (RDA chapitre 4, *règles de vol à vue*).

Le Mirage 2000 N est en CAM V dont les règles sont définies dans le RCAM³⁸ et plus spécifiquement dans le RCAM 1 chapitre IV, *Règles de vol à vue – La CAM V*.

La compatibilité entre les vols en CAG et les vols en CAM fait l'objet du règlement de la circulation aérienne RCA 4.

La collision s'est produite entre deux aéronefs évoluant suivant les règles de vol à vue hors circulation d'aérodrome, dans un espace aérien non contrôlé de classe G^{39/40}.

³⁵ Document consultable à l'adresse suivante : www.atsb.gov.au/publications/1991/limit_see_avoid.aspx.

³⁶ Document consultable à l'adresse suivante : www.caa.co.uk/docs/33/SRG_GAD_WEBSS13.pdf.

³⁷ Document consultable à l'adresse suivante : www.bea-fr.org/etudes/abordages/etude_abordages.pdf.

³⁸ RCAM : règlement de la circulation aérienne militaire.

³⁹ Les régions d'information de vol de France métropolitaine sont classées « G » de la surface au FL 195 à l'exclusion des régions et zones de contrôle. Les zones couvertes par ce type d'espace représentent donc la majeure partie du territoire.

⁴⁰ La collision s'est produite en bordure de la zone réglementée R45 S qui n'était pas active. L'instructeur rapporte avoir recueilli par téléphone l'état d'activation de cette zone et en avoir informé le pilote de l'ULM avant le décollage.

La réglementation prévoit que, quel que soit le type de circulation aérienne, l'information de trafic et la séparation entre aéronefs dans ce type d'espace ne sont pas assurées par les organismes de contrôle. La séparation entre aéronefs incombe aux pilotes et est fondée sur le principe « voir et éviter », c'est-à-dire par la capacité d'un des membres d'équipage à voir suffisamment tôt l'autre aéronef afin que puisse être engagée à temps une manœuvre d'évitement⁴¹.

Les conditions météorologiques rencontrées par les deux appareils, au cours de leur vol et sur le lieu de la collision :

- sont compatibles avec le vol à vue dans l'espace dans lequel ils évoluent,
- ne comportent pas de phénomènes susceptibles de limiter l'efficacité de la surveillance du ciel.

2.2.3 Mesures complémentaires liées à la ségrégation des trafics

La direction des affaires stratégiques et techniques (DAST) de la DGAC recommande⁴², dans la mesure du possible, que les pilotes en CAG VFR volent au-dessus de 1500 ft ASFC (*above surface*, au-dessus de la surface), les pilotes en CAM V volant généralement en dessous.

Dans le cas présent, l'ULM volait vers 950 ft sol au moment de la collision. L'enquête n'a pas permis de déterminer le profil vertical de l'ensemble du vol.

⁴¹ La réglementation (règles de l'air) mentionne les règles de priorité entre deux aéronefs aux trajectoires potentiellement conflictuelles. Les évitements réalisés dans le cadre de telles règles supposent que l'un au moins des 2 pilotes voit l'autre aéronef, ou soit alerté par un membre d'équipage, suffisamment tôt. Dans le cas contraire, ces règles ne sont plus applicables car les évitements ne peuvent relever que de manœuvres réflexes.

⁴² Les cartes aéronautiques à l'échelle 1/500 000^e portent la mention : « AVIS IMPORTANT : l'attention des pilotes est attirée sur le fait que, durant le jour et au-dessus du territoire français, la plupart des vols d'avions d'armes à basse altitude et grande vitesse sont effectués en dessous de 1500 ft (450 m) ASFC durant les périodes suivantes : lundi à vendredi, jour fériés exceptés de LS-30 à CS+30. En conséquence, il est recommandé aux pilotes VFR, pour autant que cela soit possible et permis, de conduire leur vol en croisière à partir de 1500 ft ASFC ».

2.2.4 Mesures complémentaires liées à l'alerte des équipages sur les trafics environnants

Quel que soit le type de circulation aérienne, aucune autorisation de pénétration n'est requise dans ce type d'espace et le contact radio avec un organisme de la circulation aérienne n'est pas obligatoire.

Le service d'information de vol⁴³ est susceptible d'être rendu dans toutes les classes d'espace aérien. Dans un espace de classe G, ce service est rendu si le pilote contacte l'organisme de circulation aérienne adéquat.

La collision s'est produite dans une zone couverte par le centre d'information de vol (CIV) de Reims⁴⁴, à proximité de la ligne de séparation avec la zone couverte par le CIV de Paris. L'enquête a pu déterminer que le pilote de l'ULM n'a contacté aucune des fréquences d'information de vol.

Cependant, même si le pilote de l'ULM avait été en contact avec un organisme lui rendant le service d'information de vol, il n'aurait pas été informé du trafic en CAM V car :

- la fréquence d'auto information « défense » n'est pas veillée par le personnel armant ces organismes ;
- la visualisation des plots radar à partir du code IFF affiché par les pilotes en CAM V n'est pas inscrite dans les consignes du personnel de ces organismes.

De plus, les pilotes en CAM V n'ont pas pour consigne de contacter les organismes chargés de rendre ce service d'information de vol. La réglementation en CAM V stipule que pour les vols à une hauteur inférieure à 1500 ft ASFC, la procédure d'auto information « défense » est obligatoire⁴⁵ (RCAM 1-34). Cependant, une fréquence UHF est utilisée et les aéronefs d'aviation générale ne sont pas équipés de postes radios utilisant ce type de fréquence.

⁴³ « Service est assuré dans le but de fournir les avis et les renseignements utiles à l'exécution sûre et efficace des vols » (Règles de l'air RDA-16).

⁴⁴ Le terrain de Chalon-sur-Saône est dans cette zone. Il est probable que la totalité du vol de l'ULM se soit déroulée dans cette zone.

⁴⁵ Elle consiste à émettre périodiquement des messages de position sur une fréquence commune « défense ». Le NOSA a émis sur cette fréquence 8 comptes-rendus d'auto information lors de la phase de vol TBA ; le dernier a été émis au sud d'Avord soit environ 80 Nm et 11 minutes avant la collision

2.2.5 Mesures liées à la vitesse de vol

La réglementation CAG VFR prévoit une limitation de la vitesse à 250 kt⁴⁶ au-dessous de 10 000 ft AMSL (*above medium sea level*, au-dessus du niveau de la mer) ou du niveau de vol FL⁴⁷ 100 si l'altitude de transition est inférieure à cette valeur.

Le Mirage 2000 N était soumis, dans la phase de vol concernée (altitude inférieure à 3000 ft), à une limitation de vitesse de 450 kt⁴⁸.

La vitesse de rapprochement est à prendre en considération dans la prévention des collisions. Cependant, ceci doit être relativisé pour deux raisons.

- Seules les faibles vitesses de rapprochement garantissent une sécurité quasi-totale. Une étude⁴⁹ a montré que si 97% des collisions pouvaient être évitées 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 de collision, 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 et opérationnelles limitent la vitesse minimale :
 - ⇒ 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.

⁴⁶ 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.

⁴⁷ FL : *flight level* - niveau de vol.

⁴⁸ Manuel d'information aéronautique militaire MIAM ; instruction IV-22 de l'armée de l'air.

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 de collisions. 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).

2.2.6 Conclusion sur l'étude des mesures visant à limiter les risques de collision en vol

L'étude du dispositif réglementaire montre que dans les conditions de l'accident (vols CAG VFR et CAM V en espace aérien non contrôlé) :

- ❖ l'anti-collision est basée sur la règle « voir et éviter » ;**
- ❖ aucun dispositif (à caractère obligatoire) de ségrégation des trafics n'est prévu ;**
- ❖ aucune fréquence d'auto information commune n'est mise en place ;**
- ❖ aucun dispositif d'alerte de trafic n'est prévu au profit des équipages.**

La seule mesure visant à limiter l'occurrence des collisions est la recommandation aux aéronefs en CAG VFR de voler, dans la mesure du possible, au-dessus de 1500 ft. Les raisons pour lesquelles le pilote de l'ULM ne suivait pas cette recommandation au moment de l'accident n'ont pu être déterminées.

Les deux aéronefs avaient des vitesses de vol inférieures aux limites réglementaires. Cependant, la vitesse de rapprochement estimée, de l'ordre de 500 kt, était très supérieure à la valeur haute (de l'ordre de 200 kt) à partir de laquelle des études ont montré les limites de l'efficacité de la règle « voir et éviter ».

2.3 Facteurs contribuant à l'efficacité de la règle « voir et éviter »

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 attentionnelles que chacun des membres de l'équipage attribue à la surveillance du ciel.

Bien que la DAST et la DIRCAM⁵⁰ rappellent que la règle « voir et éviter » impose une vigilance permanente, 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.

Concernant le pilote de l'ULM, l'enquête n'a pas permis de déterminer quelle était la part de ses ressources attentionnelles dédiée à la surveillance du ciel durant le vol et dans la phase précédant la collision.

Le pilote du Mirage 2000 N rapporte dans son témoignage :

- avoir porté son regard vers le secteur droit durant environ 3 secondes, avant de débiter le virage vers l'objectif ;
- avoir porté ensuite son regard un court instant vers l'avant puis de nouveau à droite ; il aperçoit alors « *une masse qui emplit la partie droite du pare-brise, ... entre midi et 2 heures, ... à une distance estimée entre 30 et 40 mètres, ... légèrement au-dessus de l'horizon, ... l'appareil serait en virage à droite ...* ».

Le NOSA rapporte avoir son regard, dans les secondes précédant la collision, porté successivement à l'intérieur de la cabine puis à droite et vers le bas (« *dans le virage* »), puis être en train de reporter son regard vers l'intérieur de la cabine quand il perçoit « *une grande ombre passant au-dessus* ».

Etant donné l'exercice en cours (point de reconnaissance non préparé en navigation impromptue), qui consiste à effectuer une reconnaissance visuelle d'un objectif dans le but de recueillir le maximum d'informations, l'attention des deux membres d'équipage est attirée vers l'intérieur du virage, afin d'acquérir le visuel sur l'objectif. Or, l'ULM est constamment visible sous un angle inférieur à celui sous lequel est vu l'objectif, c'est à dire qu'il est situé entre l'axe longitudinal de l'avion et une droite issue du Mirage 2000 N et visant l'objectif⁵¹.

⁵⁰ DIRCAM : direction de la circulation aérienne militaire.

⁵¹ Quelle que soit la trajectoire de l'ULM, le rapport des vitesses des deux aéronefs (de l'ordre de 1 à 5) est tel que la position sol de l'ULM varie peu durant le virage effectué par le Mirage 2000 N.

Conclusions sur la mobilisation des ressources attentionnelles pour la surveillance du ciel dans les secondes précédant la collision :

- ❖ **la part consacrée par le pilote de l'ULM à la surveillance du ciel n'a pas pu être déterminée ;**
- ❖ **la phase de vol en cours (virage d'alignement en recherche d'un objectif) induit de fait, et pour les deux membres d'équipage du Mirage 2000 N, une baisse de la part des ressources consacrées à 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 successivement⁵² (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 permanente⁵³ ;

⁵² 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 trois fixations par seconde, mais uniquement dans le cas d'arrière-plans uniformes. Chaque saccade ne devrait pas dépasser une dizaine de degrés.

⁵³ Une étude de la FAA (*federal aviation agency* - agence fédérale de l'aviation) 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 aborde la méthodologie pour accroître l'efficacité de la surveillance du ciel, son contrôle n'est pas formalisé⁵⁴.

➤ 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 (TCAS⁵⁵, 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*⁵⁶ dans le cadre des essais en vol d'un système TCAS/ACAS⁵⁷ ont démontré :

⇒ **qu'un pilote informé de la présence d'un autre aéronef a huit fois plus de chance de l'acquies en visuel qu'un pilote qui n'en est pas informé**⁵⁸ ;

⇒ **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 vitesse de rapprochement sur l'efficacité de la surveillance du ciel :

Les études citées *supra* démontrent que le taux de détection est de 97% lorsque la vitesse de rapprochement est de l'ordre de 200 kt. En revanche, il chute à 47% pour une vitesse de rapprochement atteignant 400 kt, ce qui ne permet pas de garantir de façon satisfaisante l'anti-collision par la seule règle « voir et éviter », le temps dont disposeraient alors les pilotes étant insuffisant pour se détecter. Le jour de l'accident le Mirage 2000 N avait une vitesse de 420 kt et l'ULM vraisemblablement une vitesse de l'ordre de 80 kt. Toutefois, leur vitesse de rapprochement, tendant vers un

⁵⁴ Le programme des vols de contrôle ne fait pas mention explicite de s'assurer de la bonne application de cette méthode.

⁵⁵ TCAS: *traffic alert and collision avoidance system* - système d'alerte de trafic et d'évitement de collision

⁵⁶ J.W Andrews, Modelling of Air-To-Air Visual Acquisition, The Lincoln Laboratory Journal, volume 2, number 3 (1989), p.478.

⁵⁷ ACAS : *airborne collision avoidance system* - système d'évitement de collision aérienne.

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.

maximum de l'ordre de 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 430 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.

Conclusions sur l'efficacité de la recherche visuelle :

- ❖ **le pilote du Mirage 2000 N 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 (tendant vers un maximum de l'ordre de 500 kt), représentative de la situation quotidienne entre un avion de chasse et un avion léger, laissait moins d'une chance sur deux aux deux pilotes pour se voir et s'éviter à partir d'une simple détection visuelle.**

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...

Conclusion sur les paramètres de visibilité des aéronefs, pouvant altérer l'efficacité de l'acquisition visuelle :

Tous ces éléments, rapportés à cet évènement, permettent d'évaluer la « visibilité » des aéronefs entre eux :

❖ pour le pilote de l'ULM :

- ▶ le défilement du Mirage 2000 N est favorable à sa détection ;
- ▶ cependant, le Mirage 2000 N étant en montée, il est probablement visible sous l'horizon ; il est donc difficilement détectable étant donné sa livrée de camouflage.

❖ pour le pilote du Mirage 2000 N :

- ▶ l'ULM n'avait pas, ou très peu, de défilement ;
- ▶ il est vu légèrement au-dessus de l'horizon, le contraste par rapport à l'arrière-plan est donc plutôt favorable à sa détection.

L'équipage du Mirage 2000 N rapporte ne pas avoir été gêné par le soleil dans cette phase du vol.

La visibilité, supérieure à 10 km, n'a pas perturbé la recherche visuelle.

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 10.000 candelas par temps couvert.

➤ Facteurs physiologiques

Les éléments dimensionnants 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 la fatigue, le stress, etc. mais également d'éléments tels que la présence ou non de vibrations. Le pilote du Mirage 2000 N était reposé et aucun facteur ne semble avoir restreint de façon significative son acuité visuelle.
- Pilote de l'ULM :
 - L'acuité visuelle du pilote de l'ULM n'a pu être déterminée.

⇒ 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, lorsque le pilote regardait vers l'intérieur du virage. 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.

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).

Le témoignage du pilote du Mirage 2000 N semble indiquer qu'il a débuté la manœuvre d'évitement à la perception d'un danger⁶¹ (il perçoit « une masse sombre ») 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 pu contribuer à diminuer son temps de réaction.

Conclusions sur les facteurs physiologiques pouvant altérer l'efficacité de l'acquisition visuelle :

- ❖ **le pilote du Mirage du 2000 N était reposé et aucun facteur ne semble avoir restreint de façon significative son acuité visuelle ;**
- ❖ **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, 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).**

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

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

- ❖ **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.**

3 CONCLUSION

3.1 Éléments utiles à la compréhension de l'évènement

3.1.1 Cadre des missions

- Le pilote de l'ULM effectue un vol local en solo dans le cadre de sa formation au brevet de pilote d'ULM 3 axes.
- L'équipage du Mirage 2000 N réalise dans un premier temps une mission d'entraînement au ravitaillement en vol puis d'assaut à vue d'objectifs au sol.
- La collision se produit lors d'une troisième phase du vol pendant laquelle l'équipage poursuit le vol en navigation impromptue à très basse altitude, et alors que l'appareil est en virage d'alignement sur un objectif (château de Brancion), afin d'effectuer une reconnaissance à vue.

3.1.2 Aspects réglementaires liés à la prévention des collisions entre aéronefs

- L'ULM navigue en CAG VFR, le Mirage 2000 N en CAM V.
- Les appareils évoluent dans un espace aérien non contrôlé de classe G, et hors circulation d'aérodrome.
- Dans cette classe d'espace aérien, l'anti-collision est basée sur l'application de la règle « voir et éviter ».
- Les conditions météorologiques sont propices au vol à vue en basse altitude.
- Les pilotes des deux aéronefs respectent le dispositif obligatoire lié aux types de circulations aériennes et au type d'espace concernés.
- Le pilote de l'ULM ne suit pas au moment de la collision la recommandation de la DAST à l'attention des pilotes en CAG VFR, de voler dans la mesure du possible, au-dessus de 1500 ft ; l'enquête n'a pas permis d'en connaître les raisons.

3.1.3 La collision

- D'après les témoignages recueillis au sol, l'ULM semble être en vol stabilisé vers un cap approximativement Nord peu avant la collision.
- Huit secondes avant la collision, en montée au taux de 2000 ft/min, le pilote du Mirage 2000 N débute un virage à droite vers 80° d'inclinaison.

- La vitesse de rapprochement tend vers un maximum de l'ordre de 500 kt.
- Le pilote du Mirage 2000 N voit l'ULM avant la collision et initialise une manœuvre d'évitement environ une demi seconde avant celle-ci, en piquant et en dégauchissant.
- La collision a lieu vers 950 ft sol, alors que le Mirage 2000 N est au cap 150 à 160° à 422 kt, à une inclinaison de 40° à droite en diminution rapide, et que l'ULM est en virage à gauche.
- Le Mirage 2000 N passe sous l'ULM ; l'impact majeur se produit entre la partie supérieure de la dérive du Mirage 2000 N et à la fois l'aile droite et la lame du train principal droit de l'ULM.
- L'aile droite de l'ULM est sectionnée ce qui provoque la perte de contrôle de l'appareil.
- La partie supérieure de la dérive du Mirage 2000 N est sectionnée ; le pilote se dérouté vers la BA 102 de Dijon où il pose l'appareil sans difficulté particulière.
- Le pilote de l'ULM est décédé ; l'équipage du Mirage 2000 N est indemne.

3.2 Causes de l'évènement

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

Les paramètres ayant eu ici un effet défavorable sur l'efficacité de cette règle sont :

- la grande vitesse de rapprochement, de l'ordre de 500 kt, rendant aléatoire la détection mutuelle des aéronefs puis l'évitement, étant donné le temps minimal nécessaire à une surveillance efficace du ciel et les limites physiologiques dimensionnant à la recherche et à l'acquisition visuelle ;
- la phase de vol initiée par l'équipage du Mirage 2000 N, en virage à forte inclinaison et en recherche d'un objectif au sol, ayant probablement consommé une part des ressources attentionnelles du pilote.

4 RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

4.1 Préambule

Suite à la collision en vol survenue le 23 août 2004 entre un ULM et un Mirage 2000 N, la DIRCAM a complété le mandat du groupe de travail « sécurité en basse et très basse altitude » créé en 2002 et mis en œuvre un plan d'action concerté avec les instances et les fédérations aéronautiques civiles, visant à améliorer la compatibilité des deux circulations (CAG VFR et CAM V).

Parmi les pistes de réflexion étudiées suite à cet événement d'août 2004, l'efficacité potentielle de la recommandation visant à l'alerte des équipages sur les trafics environnants, émise par le BEAD-air⁶², a fait l'objet d'un consensus mais les démarches entreprises pour la mise en œuvre⁶³ n'ont pas encore abouti. Le BEAD-air renouvelle donc cette recommandation (§ 4.2.1).

La recommandation concernant la formation à la méthode de surveillance du ciel et à sa large diffusion vers les équipages, émise par le BEAD-air suite à cet événement d'août 2004, a fait l'objet d'un plan d'action de l'armée de l'air visant à parfaire l'enseignement délivré. L'appropriation de cette recommandation par les acteurs civils est également indispensable. Le BEAD-air renouvelle donc cette recommandation (§ 4.2.2).

⁶² Rapport d'enquête technique BEAD-air-X-2004-018-A du 14 septembre 2006.

⁶³ Notamment, mise en place d'une phase d'expérimentation d'auto information entre aéronefs civils et militaires.

4.2 Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement

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 collisions. Des études américaines, canadiennes, australiennes, anglaises et françaises s'accordent pour reconnaître que :

- compte tenu 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 à elle seule pour éviter les collisions dans les espaces aériens de classe G, le Bureau enquêtes accidents défense air recommande :

aux organismes régulateurs :

- ❖ **de favoriser tout dispositif permettant d'alerter les pilotes⁶⁴.**

⁶⁴ 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 recommande :

aux organismes régulateurs :

- ❖ **en partenariat avec les acteurs, de privilégier toute solution procédurale (message de position, information de vol, etc.) ou technique (transpondeur, 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 (transpondeur, TCAS).**

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 DAST et la DIRCAM.

En conséquence, le Bureau enquête accidents défense air recommande :

aux organismes régulateurs :

- ❖ **de réglementer la compatibilité des deux types de circulation.**

Plusieurs pistes peuvent être mises en œuvre, 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.

4.2.2 Méthodologie de surveillance du ciel

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.

En conséquence, le Bureau enquête accidents défense air recommande :

aux organismes, de prendre les mesures nécessaires pour 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.**

4.2.3 Suivi de la recommandation de vol au-dessus de 1500 ft pour les aéronefs en CAG VFR

Les deux collisions entre un ULM en CAG VFR et un avion de combat en CAM V, ayant fait l'objet d'une enquête technique par le BEAD-air, se sont produites sous 1000 ft sol.

La recommandation de la DSNA⁶⁵ aux pilotes en CAG VFR de voler au-dessus de 1500 ft sol dans la mesure du possible, est de fait une barrière efficace contre ce type d'évènement, les missions tactiques des aéronefs « défense » étant parallèlement recommandées dans la tranche de hauteur 500-1500 ft.

Cette recommandation a fait l'objet de rappels, notamment lors des dialogues instaurés régulièrement depuis 2004 entre la DIRCAM et les fédérations civiles.

Le suivi de cette recommandation par les pilotes de l'aviation générale, si il est amplifié, peut aboutir à une réduction statistique de ce type d'évènement.

En conséquence, le Bureau enquête accidents défense air recommande :

aux organismes régulateurs :

- ❖ **de poursuivre et d'amplifier la communication vers la communauté aéronautique civile sur l'existence et les enjeux de cette recommandation ;**
- ❖ **d'en favoriser notamment la diffusion via les formateurs.**

⁶⁵ DSNA : direction des services de la navigation aérienne.

4.2.4 Surveillance du ciel lors des phases d'exercice d'attaque au sol

L'exercice en cours de réalisation par l'équipage du Mirage 2000 N (reconnaissance à vue d'un objectif au sol) a pu contribuer à l'évènement en consommant une part des ressources attentionnelles consacrées à la surveillance du ciel, notamment lors du virage.

En conséquence, le Bureau enquête accidents défense air recommande :

aux organismes ayant à gérer le risque lié à ce type de mission :

- ❖ d'intensifier la formation sur la technique de surveillance du ciel dans ce type de mission ;**
- ❖ d'assurer un large retour d'expérience sur cet évènement.**

4.3 Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'évènement

Néant.