



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE
ET DES ANCIENS COMBATTANTS

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

RAPPORT D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-A-2010-005-A

Date de l'événement	13 avril 2010
Lieu	Aérodrome d'Orange-Plan-de-Dieu (84)
Type d'appareil	Dassault Aviation – Alphajet
Immatriculation	N° 122 – FTERD
Organisme	Armée de l'air
Unité	Equipes de présentation de l'armée de l'air 20.300

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.

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

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 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.

CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page de garde : armée de l'air.

Photos :

Pages : 16, 18, 19 : BEAD-air.

Illustrations :

Pages : 14 (source Google), 15 (source Google), 22 : BEAD-air.

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	- 2 -
TABLE DES MATIERES	- 3 -
GLOSSAIRE	- 5 -
SYNOPSIS	- 6 -
1. Renseignements de base	- 8 -
1.1. Déroulement du vol	- 8 -
1.1.1. Mission	- 8 -
1.1.2. Déroulement	- 8 -
1.1.3. Localisation	- 10 -
1.2. Tués et blessés	- 10 -
1.3. Dommages à l'aéronef	- 10 -
1.4. Autres dommages	- 10 -
1.5. Renseignements sur le pilote	- 11 -
1.6. Renseignements sur l'aéronef	- 11 -
1.6.1. Maintenance	- 12 -
1.6.2. Performances	- 12 -
1.6.3. Masse et centrage	- 12 -
1.6.4. Carburant	- 12 -
1.6.5. Autres fluides	- 12 -
1.7. Conditions météorologiques	- 13 -
1.7.1. Prévisions	- 13 -
1.7.2. Observations	- 13 -
1.8. Aides à la navigation	- 13 -
1.9. Télécommunications	- 13 -
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	- 14 -
1.11. Enregistreurs de bord	- 15 -
1.12. Renseignements sur l'épave et sur l'impact	- 15 -
1.12.1. Examen de la zone	- 15 -
1.12.2. Examen de l'épave	- 17 -
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques concernant le pilote	- 17 -
1.14. Incendie	- 17 -
1.15. Questions relatives à la survie des occupants	- 17 -
1.15.1. Abandon de bord	- 17 -
1.15.2. Equipement de sécurité du pilote	- 18 -
1.15.3. Organisation des secours	- 20 -
1.16. Essais et recherches	- 20 -
1.17. Renseignements sur les organismes	- 20 -
1.18. Renseignements supplémentaires	- 20 -
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	- 21 -
2. Analyse	- 22 -
2.1. Nature de l'événement	- 22 -
2.1.1. Préambule	- 22 -
2.1.2. Analyse des films	- 23 -
2.1.3. Analyse des témoignages	- 25 -
2.1.4. Synthèse partielle	- 26 -
2.2. Recherche des causes de l'événement	- 26 -
2.2.1. Domaine environnemental	- 26 -
2.2.2. Domaine technique	- 27 -
2.2.3. Domaine du facteur humain	- 29 -
2.3. Analyse du fonctionnement des défenses systémiques.	- 32 -
2.3.1. Processus d'élaboration du programme de présentation	- 32 -
2.3.2. Processus de vérification, d'approbation et de validation du programme de présentation	- 34 -
2.3.3. Application, correction et adaptation du programme	- 36 -

2.4. Autres éléments	- 37 -
2.4.1. Rôle et importance du point central	- 37 -
2.4.2. Présence d'un équipage de l'ESIS sur l'aérodrome de Plan-de-Dieu	- 37 -
2.4.3. Libération du paquetage de survie	- 38 -
3. Conclusion	- 39 -
3.1. Eléments établis utiles à la compréhension de l'événement	- 39 -
3.2. Causes de l'événement	- 39 -
4. Recommandations de sécurité	- 41 -
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	- 41 -
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	- 43 -
4.2.1. Equipement de l'aéronef	- 43 -
4.2.2. Equipements de vol des équipes de présentation de l'armée de l'air	- 45 -
4.2.3. Présence d'un équipage d'intervention de l'ESIS	- 45 -
4.2.4. Précautions pyrotechniques	- 45 -

GLOSSAIRE

AIA	Atelier industriel de l'aéronautique
BA	Base aérienne
BEA	Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile
BEAD-air	Bureau enquêtes accidents défense air
BMR	Bureau maîtrise des risques
BP	Basse pression
CAVOK	<i>Ceiling And Visibility are OK</i> – Terme météorologique qui signifie que le plafond est à une hauteur supérieure à 5000 ft (1500 m), que la visibilité est supérieure à 10 km et qu'il n'y a pas de cumulonimbus ni de phénomène significatif
CFA	Commandement des forces aériennes
CAM	Circulation aérienne militaire
CPUT	Consignes permanentes d'utilisation terrain
CSO	Chef du soutien opérationnel
CTR	<i>Control zone</i> – Zone de contrôle
DGA	Direction générale de l'armement
DGA-EP	Direction générale de l'armement – essais propulseurs
DGA-EV	Direction générale de l'armement – essais en vol
DGA-TA	Direction générale de l'armement – techniques aéronautiques
COMSV	Commission de sécurité des vols
EMAA	Etat-major de l'armée de l'air
EPAA	Equipes de présentation de l'armée de l'air 20.300
EPI	Enquêteur de premières informations
EPNER	Ecole du personnel navigant d'essais et de réceptions
ESIS	Escadron de sécurité d'incendie et de sauvetage
ft	<i>Feet</i> – pieds (1 ft = 30,48 cm)
GCFA	Général commandant les forces aériennes
G	Visite de graissage
GV	Grande visite
HIA	Hôpital d'instruction des armées
HP	Haute pression
km	Kilomètre(s)
kt	<i>Knot(s)</i> – nœud(s) (1 kt = 1,852 km / h)
PAA	Publication armée de l'air
PAF	Patrouille acrobatique de France, dite patrouille de France
SAMU	Service d'aide médicale urgente
SMUR	Service mobile d'urgence et de réanimation
SRGA	Section de recherche de la gendarmerie de l'air
VP	Visite périodique
VT	Visite technique

SYNOPSIS

Date de l'événement : mardi 13 avril 2010, 10 h 05.

Lieu de l'événement : aérodrome d'Orange-Plan-de-Dieu, 10 km¹ au nord-ouest d'Orange (84).

Organisme : armée de l'air.

Commandement organique : commandement des forces aériennes (CFA),
brigade aérienne de l'aviation de chasse

Unité : équipes de présentation de l'armée de l'air 20.300 (EPAA),
patrouille acrobatique de France (PAF)

Aéronef : Dassault aviation – Alphajet

Nature du vol : vol d'entraînement

Nombre de personne à bord : 1

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

La PAF décolle de la base aérienne (BA) 701 de Salon-de-Provence pour effectuer une mission d'entraînement à la présentation au-dessus de l'aérodrome d'Orange-Plan-de-Dieu.

Pendant la phase dite de « synchronisation », le « second solo », Athos 8, effectue une figure de type « tonneau barriqué » avec train sorti et volets sortis à 15° : il perd le contrôle de son appareil après le sommet de la figure et s'éjecte à proximité immédiate du sol.

Le pilote est gravement blessé.

L'avion explose à l'impact au sol, il est détruit.

Composition du groupe d'enquête technique :

- Un directeur d'enquête technique du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air) ;
- Un enquêteur de premières informations (EPI) ;
- Un officier parachutiste d'essai désigné enquêteur technique adjoint ;
- Un officier pilote ayant une expertise sur Alphajet au sein de la PAF ;
- Un officier mécanicien ayant une expertise sur Alphajet ;
- Un médecin du personnel navigant de la BA 125 d'Istres.

Autres experts consultés

- Direction générale de l'armement – techniques aéronautiques (DGA-TA) ;
- Direction générale de l'armement – essais propulseurs (DGA-EP) ;
- Ecole du personnel navigant d'essais et de réceptions (EPNER) ;
- Service industriel de l'aéronautique – atelier industriel de l'aéronautique de Bordeaux (AIA BX) ;
- Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA).

¹ km kilomètre(s)

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD-air est informé par téléphone à 10 h 15 par un enquêteur technique présent sur la BA 115 d'Orange-Caritat au moment de l'événement. L'information est confirmée par le bureau maîtrise des risques (BMR) de l'état-major de l'armée de l'air (EMAA).

Le BEAD-air procède initialement à la désignation du directeur d'enquête technique et de l'EPI, déjà présents sur place, puis à la constitution du reste du groupe d'enquête.

La BA 701 de Salon-de-Provence est désignée comme base de soutien du groupe d'enquête technique.

Enquête judiciaire

Une enquête préliminaire a été déclenchée par le procureur de la République près le tribunal de grande instance de Nîmes et un officier de police judiciaire de la section de recherche de la gendarmerie de l'air a été commis.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Indicatif mission : Athos 8

Type de vol : CAM V²

Type de mission : entraînement à la présentation en vol

Point de départ : BA 701 de Salon-de-Provence

Heure de départ : 09 h 35

Point d'atterrissage prévu : BA 701 de Salon-de-Provence

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préambule

Le programme de la PAF, appelé « série », est constitué du « ruban » et de la « synchro ».

Le *ruban* consiste en l'enchaînement de figures réalisées à huit avions en patrouille, les positions relatives de chaque avion variant pour chaque figure.

Le *ruban* s'achève par un éclatement permettant la séparation des avions pour leur mise en place pour la *synchro*. Cette seconde partie de la *série* doit synchroniser les éléments dissociés pour leur faire occuper la « scène », autrement dit le volume utile, à tour de rôle de la manière la plus homogène et continue possible.

Enfin, la *série* s'achève généralement par une dernière figure des huit avions rassemblés en patrouille appelée « éclatement final ».

La série 2010 est constituée de :

- 13 figures pour le *ruban* ;
- 17 figures pour la *synchro* ;
- l'*éclatement final*.

Le programme général de l'entraînement en vol de la PAF débute par une période dédiée à la formation des nouveaux pilotes puis se poursuit par l'entraînement de l'ensemble de la patrouille scindé en cinq phases.

L'accident a lieu pendant la phase n° 4 qui comprend 40 vols à réaliser en 4 semaines et qui développe notamment les items suivants :

- *série* à huit complète avec changements de formations ;
- poursuite de la mise au point de la *synchro* ;
- mise au point de la *série* complète.

² CAM V : circulation aérienne militaire de type « Victor »

1.1.2.2. Préparation et description du vol

La mission s'effectue à partir de Salon-de-Provence et la partie concernant la présentation aérienne est réalisée sur l'aérodrome de Plan-de-Dieu, situé dans le relèvement 345° pour 65 km de la BA 701.

La chronologie de la mission, du début du briefing jusqu'au débriefing, est une particularité de la PAF mécanisée et strictement respectée : le jour de l'événement, la rédaction des ordres de vol, le briefing de la mission, la prise en compte des avions et l'installation des pilotes de se déroulent normalement.

Le directeur de l'EPAA assiste au briefing de la mission qu'il quitte avant la fin pour se mettre en place sur l'aérodrome militaire de Plan-de-Dieu par voie aérienne militaire (VAM) en TB 10 et y assurer la fonction de « point central³ ». Cette mise en place par VAM sur l'aérodrome de Plan-de-Dieu nécessite la présence d'un équipage réduit pour renfort hors plateforme de l'escadron de sécurité d'incendie et de sauvetage (ESIS) de la BA 115 d'Orange-Caritat.

A 09 h 35, les huit Alphajet de la PAF décollent de la BA 701 et rejoignent en moyenne altitude la zone militaire de Plan-de-Dieu.

1.1.2.3. Description des éléments qui ont conduit à l'événement

Vers 10 h 04, Athos 8, le *second solo*, se présente pour réaliser la figure n° 19 de la *série*, qui est également la 6^{ème} figure de la *synchro* : un *tonneau barriqué* à gauche avec train d'atterrissage « abaissé » et volets dans une position sortis à 15°, suivi d'un « passage public », qui consiste en un virage à droite réalisé face au public en descente et en éloignement. L'exécution de cette figure nécessite l'utilisation continue, conjuguée et régulière des commandes de gauchissement et de profondeur.

L'avion se présente axé sur le point central et débute sa figure fumigène blanc, en positionnant le manche à cabrer en profondeur et à gauche en gauchissement.

Au milieu de la figure, au moment où Athos 8 se trouve « en vol dos », Athos 7, le « leader solo », annonce à la radio « coup de palette ». Athos 8 actionne la commande de changement de couleur du fumigène puis ressent une embardée en roulis à droite et en tangage à piquer. Il relâche ses actions aux commandes puis il tente de reprendre le contrôle et ressent une seconde embardée.

Ne parvenant pas à contrôler son avion, il décide de s'éjecter : il tire sur la poignée située entre ses jambes et déclenche la séquence d'éjection.

D'abord secoué par l'éjection, il ressent ensuite une forte chaleur puis des chocs.

L'avion explose en impactant le sol.

Suite à l'éjection du pilote puis l'explosion de l'avion, l'équipage de l'ESIS se dirige immédiatement vers la zone concernée pour porter assistance : le pilote atterrit sensiblement au milieu de la zone calcinée, il est blessé.

³ Point central : surveillant des vols, placé au point central de la zone de présentation

1.1.3. Localisation

- Lieu :
 - pays : France
 - département : Vaucluse (84)
 - commune : Travaillan
 - coordonnées géographiques :
 - N 44°10'59"
 - E 004°55'18"
 - altitude du lieu de l'événement : 95 m (310 ft)
- Moment : jour
- Aérodrome le plus proche au moment de l'événement : base aérienne d'Orange-Caritat

1.2. Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles			
Graves	01		
Légères			
Aucune			

1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
Alphajet n° 122		X		

1.4. Autres dommages

La zone de l'accident a été calcinée sur une surface d'environ 150 m de long sur 20 m de large et labourée par endroits.

Aucun dommage aux tiers.

1.5. Renseignements sur le pilote

- Age : 37 ans
- Sexe : masculin
- Unité d'affectation : EPAA, PAF
 - fonction dans l'unité : *second solo*, deuxième année au sein de la PAF
- Formation : pilote de chasse
 - qualification : chef de patrouille
 - école de spécialisation : école de l'aviation de chasse de Tours
 - année de sortie d'école : 1997
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont sur Alphajet	Sur tous types	Dont sur Alphajet	Sur tous types	Dont sur Alphajet
Total (h)	2958	1127	144	144	20	20

Depuis son affectation au sein de la PAF, il a effectué 495 vols.

- Date du dernier vol comme pilote :
 - sur l'aéronef : 12 avril 2010 (de jour)
- Carte de circulation aérienne :
 - type : verte
 - date d'expiration : 28 janvier 2011

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de l'air
- Commandement d'appartenance : commandement du soutien des forces aériennes
- Base aérienne de stationnement : BA 701 de Salon-de-Provence
- Unité d'affectation : EPAA 20.300
- Type d'aéronef : Alphajet
 - configuration : conteneur fumigène sous fuselage, aucune autre charge externe ;
 - armement : sans objet
- Caractéristiques :

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis	Heures de vol depuis
Cellule	Alphajet	E122	5441 h 20	GV ⁴ 640 h 00	G ⁵ 10 h 25
Réacteur gauche	Larzac C6	41260	5968 h 45	VT ⁶ 62 h 20	Pose 62 h 20
Réacteur droit	Larzac C6	41891	5201 h 40	EM6 ⁷ 9 h 30	Pose 9 h 30

⁴ GV : grande visite (visite de maintenance majeure durant environ 6 mois)

⁵ G : visite de graissage (visite systématique intervenant tous les 8 mois)

⁶ VT : visite technique (visite systématique des réacteurs Larzac C6 intervenant toutes les 600 h 00)

⁷ EM6 : échange module 6 (turbine basse pression (BP) du réacteur)

1.6.1. Maintenance

L'examen de la documentation technique de l'aéronef permet de relever les opérations de maintenance suivantes :

- 07 avril 2008 : GV à l'AIA de Clermont-Ferrand (avion entièrement démonté, voilures et empennages déposés) ;
- 17 décembre 2009 : échange du module 6 du réacteur droit à l'escadron de soutien technique aéronautique de Tours ;
- 11 janvier 2010 : pose du réacteur gauche à l'issue de la VT de l'AIA de Bordeaux ;
- 24 février 2010 : modification de l'alternat radio de la poignée pilote en place avant (niveau technique d'intervention 1) ;
- 05 mars 2010 : réalisation de la visite de graissage (essais radio, essais d'étanchéité du circuit anémométrique, nettoyage et inspection de la corrosion de la cellule, lubrification de certains systèmes). Depuis cette visite, l'avion a effectué 13 vols ;
- 09 mars 2010 : échange du réacteur droit. Depuis cette opération, l'avion a effectué 10 vols ;
- 17 mars 2010 : intégration des sièges MK10-L par l'AIA de Clermont-Ferrand à Cazaux. Depuis cette opération, l'avion a effectué 8 vols ;
- 12 avril 2010 : retouches des pales du premier étage du compresseur basse pression (BP) du réacteur droit.

Ces opérations ont été effectuées conformément au programme de maintenance.

D'autre part, l'Alphajet n° 122 ne faisait l'objet d'aucune réserve de vol.

1.6.2. Performances

Les informations de performances, centralisées dans le registre individuel de contrôle, sont conformes au programme de maintenance.

1.6.3. Masse et centrage

Au moment de l'événement, les réservoirs de carburant des voilures sont vides et l'aéronef se trouve dans les normes de masse et centrage.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : TRO F34
- Quantité de carburant au décollage : 1450 litres
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement : environ 850 litres.

1.6.5. Autres fluides

Sans objet.

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

Ceiling And Visibility are OK (CAVOK) : plafond supérieur à 5000 ft, visibilité supérieure à 10 km.

1.7.2. Observations

CAVOK

Vent du 340° pour 10 kt.

L'horizon est bien marqué.

1.8. Aides à la navigation

Sans objet.

1.9. Télécommunications

L'avion est équipé d'un poste radio V/UHF et d'un poste radio UHF.

Les différentes fréquences veillées sont :

- pour la patrouille :
 - UHF AVANT : inter patrouille principale ;
 - UHF ARRIERE : inter patrouille principale ;
 - VHF AVANT : inter patrouille secondaire ;
 - VHF ARRIERE : inter patrouille tertiaire.
- pour le *point central* :
 - UHF AVANT : inter patrouille principale ;
 - UHF ARRIERE : inter patrouille principale ;
 - VHF AVANT : fréquence du contrôle (Orange Approche) ;
 - VHF ARRIERE : inter patrouille secondaire ou tertiaire.

Durant toute la *série*, le *leader* Athos 1 utilise la VHF ARRIERE et veille l'UHF, alors que les *solos* utilisent l'UHF et veillent la VHF ARRIERE.

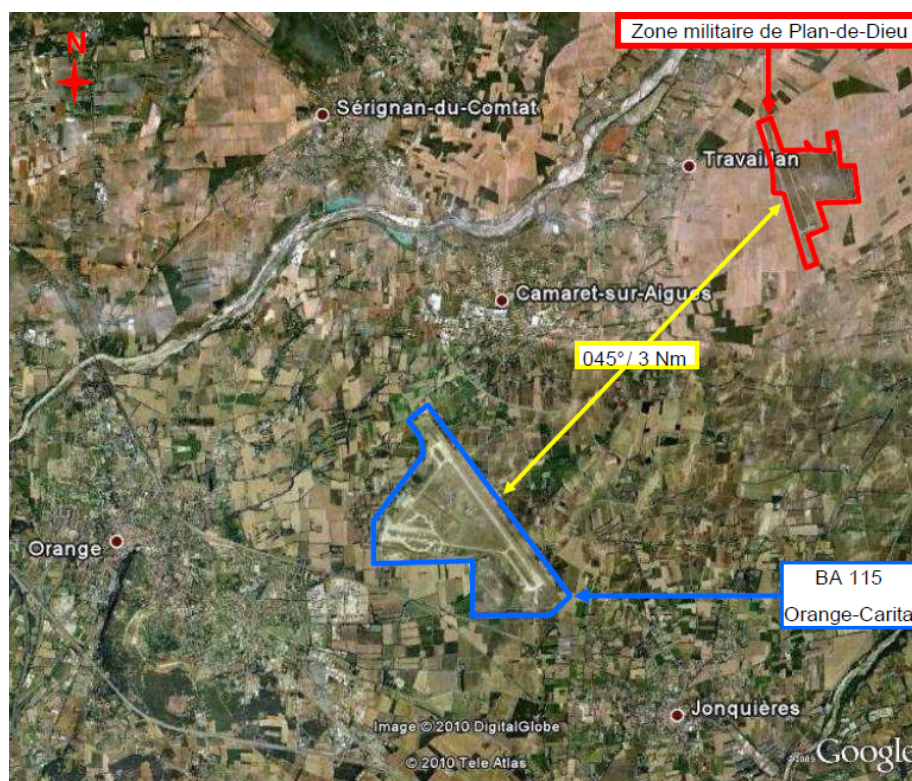
En cas de problèmes sur VHF ARRIERE (par exemple du brouillage), cette fréquence est remplacée par la VHF AVANT.

Le *point central* veille en permanence les fréquences utilisées et veillées par la PAF, ainsi que la fréquence de l'organisme de contrôle de la zone duquel il relaye à la patrouille toute information importante.

Au cours de cette mission, le contact radio entre la patrouille et le *point central* a toujours été maintenu et était de bonne qualité.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome

Le terrain d'Orange-Plan-de-Dieu est un aérodrome non contrôlé situé dans la zone de contrôle (CTR) d'Orange. Les zones associées sont les LF R55A et 55AE⁸.



Vue satellite de la zone militaire de Plan-de-Dieu

Cette plateforme est située dans une zone militaire placée sous le commandement de la BA 115 d'Orange-Caritat, sa piste enrobée orientée 166°/346° qui mesure 1300 m de long et 15 m de large est utilisable après autorisation du commandant de la BA 115.

« L'activation du terrain de Plan-de-Dieu ne peut être entreprise que pour une activité aérienne en VFR ou CAM V. Plan-de-Dieu est un aérodrome non contrôlé. Le chef du soutien opérationnel (CSO) de la BA 115 (...) adapte les moyens de soutien déployés en fonction du nombre et des types d'appareils susceptibles d'utiliser la plateforme. » (Consignes permanentes d'utilisation terrain (CPUT) de la BA 115 d'Orange-Caritat).

La PAF s'entraîne régulièrement dans cette zone du 1^{er} octobre au 15 avril car elle présente l'avantage d'avoir une piste revêtue avec une orientation similaire à celle de Salon-de-Provence, ce qui aide à la calibration de la présentation, à la mécanisation des figures et de leurs enchaînements.

⁸ LF R55A et 55AE : Zones réservées n° 55A et 55AE

1.11. Enregistreurs de bord

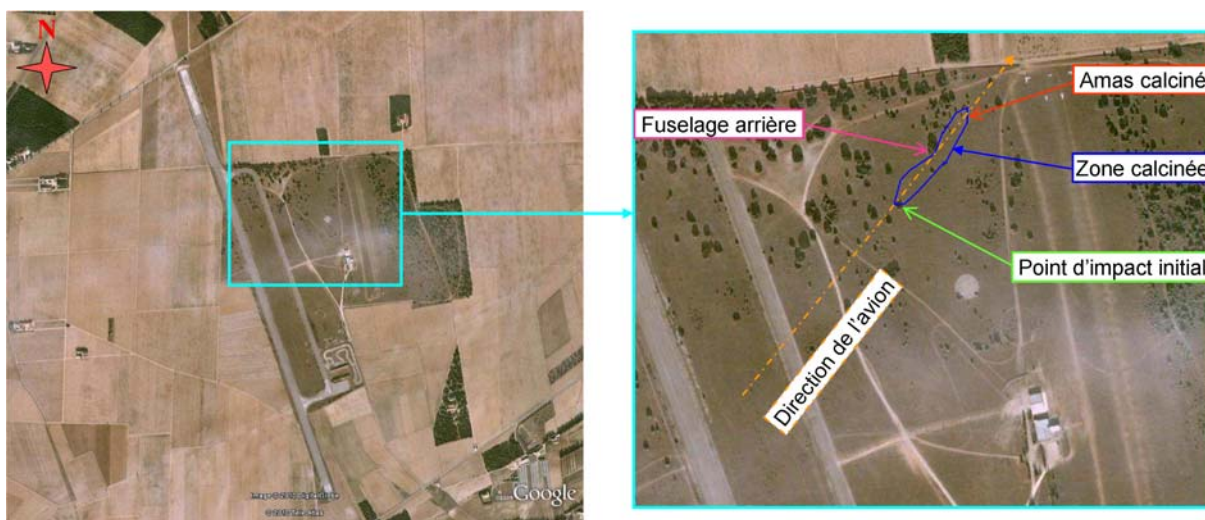
L'Alphajet n'est pourvu d'aucun enregistreur de vol, ni d'enregistreur vidéo.

1.12. Renseignements sur l'épave et sur l'impact

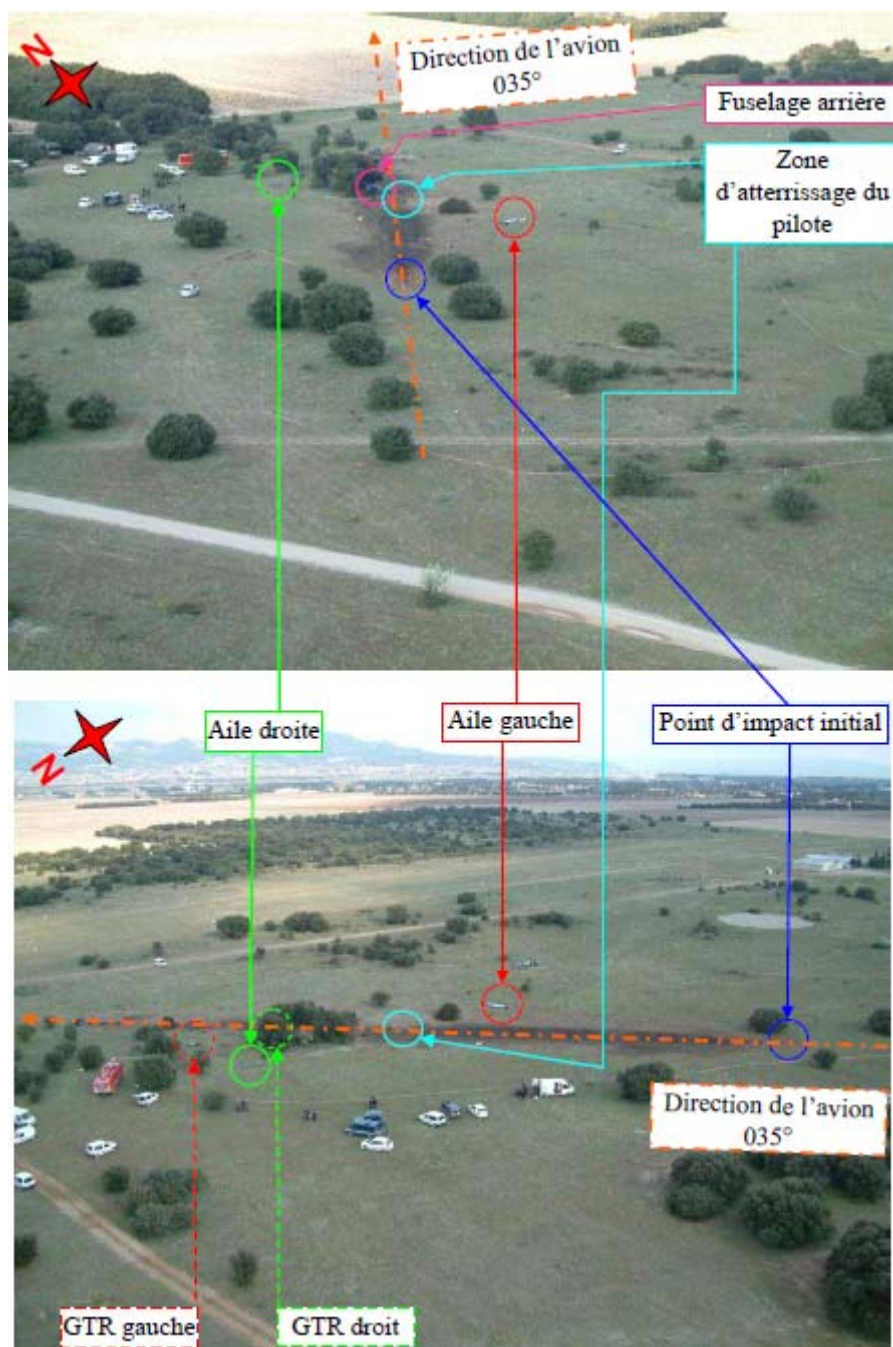
1.12.1. Examen de la zone

L'accident a eu lieu dans la zone militaire précisée au paragraphe 1.10. *Renseignements sur l'aérodrome.*

L'explosion a provoqué l'inflammation de la végétation au sol sur une surface d'environ 150 m de long sur 20 m de large.



Vue satellite de la zone de l'accident



Vues aériennes de la zone de l'accident

A l'arrivée du groupe d'enquête technique, une zone était délimitée mais non encore sécurisée, certains éléments pyrotechniques n'ayant été ni identifiés, ni neutralisés.

Le début de la trace au sol correspond au point d'impact initial de l'aéronef.
Des débris de la verrière et une pochette de vol ont été découverts en amont de ce point.

1.12.2. Examen de l'épave

A l'impact, l'avion a explosé et s'est disloqué en plusieurs morceaux parmi lesquels des débris relativement préservés de l'incendie (les deux ailes, le plan horizontal droit, une partie constituée du fuselage arrière et de la dérive et du plan horizontal gauche, les deux réacteurs, les deux sièges) et un amas calciné correspondant au tronçon central-avant du fuselage.

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques concernant le pilote

- Dernier examen médical :
 - type : visite annuelle au centre d'expertises médicales du personnel navigant
 - date : 08 décembre 2009
 - résultat : apte
 - validité : 1 an
- Examens biologiques : des prélèvements ont été effectués sur les lieux de l'accident par le service mobile d'urgence et de réanimation (SMUR) d'Orange. Les analyses réalisées par l'hôpital d'instruction des armées (HIA) Laveran ne révèlent aucune anomalie.
- Blessures :
 - multiples fractures (poignet, vertèbres)
 - brûlures des deux pommettes, de la partie gauche du cou, du coude droit, du bras gauche, de l'omoplate droite, de l'abdomen et du mollet droit
 - plaies

1.14. Incendie

Sans objet.

1.15. Questions relatives à la survie des occupants

1.15.1. Abandon de bord

- Éjection en vol : oui
 - type de siège éjectable : MK 10
 - modèle : L (MK10-L)
- Données morphologiques :
 - taille : 1,73 m
 - poids : 74 kg
- Éléments au moment de l'éjection :
 - hauteur : environ 25 m (80 ft)⁹
 - vitesse : environ 140 kt
 - attitude de l'avion : assiette à piquer comprise entre 20° et 40°, inclinaison à droite d'environ 40°, vitesse verticale (taux variomètre) fortement négative

⁹ Cette valeur est approximative et a été extrapolée à partir de la vidéo de l'événement.

- Conséquences :
 - le parachute s'est stabilisé à environ 12 m de hauteur ;
 - le pilote sous voile disparaît derrière la boule de feu due à l'explosion ;
 - la voile du parachute est entièrement calcinée ;
 - les suspentes sont brûlées ;
 - le paquetage de survie n'a pas été libéré.

1.15.2. Equipement de sécurité du pilote

Une partie de l'aéronef s'est embrasée à l'impact et a formé une boule de feu propageant l'incendie le long d'une trajectoire définie par la vitesse résiduelle (schéma présenté au paragraphe 1.12.1. *Examen de la zone*).

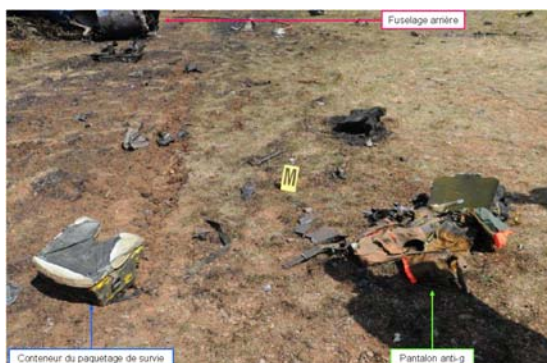


Siège éjectable

Amas calciné

L'équipage réduit de l'ESIS présent sur place lors de l'événement est intervenu immédiatement pour maîtriser l'incendie. Celui-ci n'a brûlé que les herbes recouvrant le sol sans créer de dommages plus importants et épargnant notamment le reste de la végétation (chênes, vignes ...).

Le pilote a été retrouvé au milieu de cette langue calcinée, ses équipements de vol (casque, combinaison, anti-g, gants, chaussures ...) partiellement brûlés, la voilure de son parachute entièrement consumée et les suspentes brûlées.



Equipements de vol



Pantalon anti-g



Casque de vol



Gants



Chaussures



Ensemble parachute

1.15.3. Organisation des secours

La présence sur place d'un équipage réduit de pompiers de l'ESIS de la BA 115, dans le cadre de l'atterrissage et du décollage de l'aéronef TB10 du personnel mis en place au point central, a permis de porter assistance immédiatement au pilote blessé dans la minute suivant l'explosion.

10 h 05 : les opérations de la BA 115 sont averties par radio par le *point central* et déclenchent le plan d'intervention pour porter assistance sur zone.

Une ambulance du service médical, des pompiers et une équipe de la brigade de gendarmerie de l'air de la BA 115 se rendent sur les lieux de l'accident. Le service d'aide médicale urgente (SAMU) 84 est également activé en renfort.

10 h 25 : Les équipes d'intervention et le SMUR arrivent quasi simultanément sur zone environ 20 minutes après le déclenchement et prennent le relais des pompiers : pose d'une minerve, mise sous oxygène et sous perfusion, attelle du bras gauche, injection de morphine, matelas coquille, prélèvement biologique...

10 h 35 : décision d'évacuation du blessé par hélicoptère vers l'HIA Laveran.

10 h 45 : déclenchement d'un moyen hélicoptère du SAMU 84.

11 h 45 : évacuation du blessé par hélicoptère.

12 h 20 : arrivée du blessé à l'HIA Laveran. Hospitalisation dans le service de réanimation, puis décision de pratiquer l'opération du poignet gauche dans l'après-midi, de la mise en place d'un corset et d'une prise en charge psychologique.

1.16. Essais et recherches

Sans objet.

1.17. Renseignements sur les organismes

L'EPAA, unité regroupant la PAF et l'équipe de voltige de l'armée de l'air, faisait partie du commandement des écoles de l'armée de l'air puis de la direction des ressources humaines de l'armée de l'air jusqu'à l'été 2008. Une réorganisation de l'armée de l'air a marqué son transfert vers le CFA à l'été 2009.

1.18. Renseignements supplémentaires

Les directives générales annuelles de mise en condition et d'entraînement de la patrouille acrobatique de France (note n° 33/BA701/EPAA20.300/CDT du 13 janvier 2010) régissent le travail spécifique de la PAF en complément des consignes de sécurité des vols (note n° 005311338/CFA/CEM/BMR/CDT du 16 juin 2009). Elles précisent notamment le programme général d'entraînement, la progressivité de celui-ci et le planning de la PAF de décembre 2009 à juin 2010.

Conformément aux directives annuelles de mise en condition et d'entraînement de la PAF pour la saison 2009-2010 (note n° 33/BA701/EPAA20.300/CDT du 13 janvier 2010), la mission d'entraînement à la présentation a été enregistrée sur cassette vidéo. Ce film a été réalisé du point central et montre notamment toute la figure jusqu'à l'accident puis l'intervention de l'équipage de l'ESIS.

1.19. Techniques spécifiques d'enquête

Le BEA a réalisé une analyse spectrale de la bande audio du film pour tenter de déterminer les régimes des réacteurs de l'aéronef.

2. ANALYSE

L'analyse qui suit s'appuie sur :

- les faits et constatations exposés au chapitre précédent ;
- les témoignages recueillis ;
- les résultats des examens et expertises réalisés ;
- les parties vidéo et audio du film réalisé depuis le point central.

Elle définit tout d'abord la nature de l'événement puis en détermine les causes.

Enfin est étudié le fonctionnement des défenses systémiques lors de la survenance de l'événement.

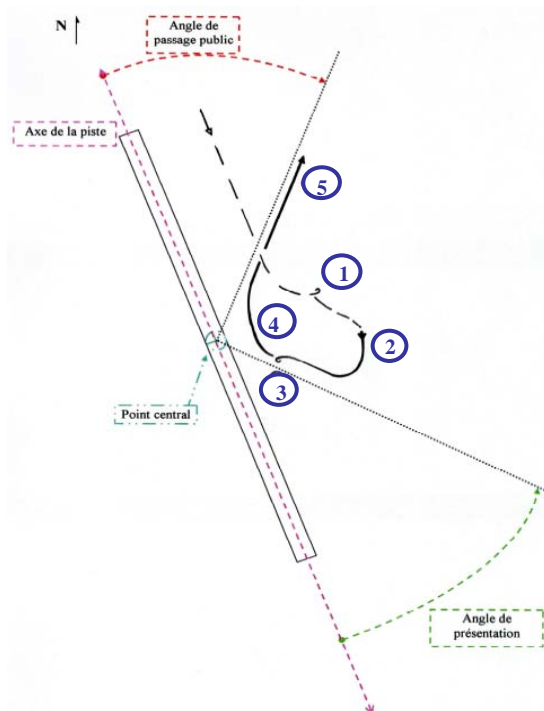
2.1. Nature de l'événement

L'absence d'enregistreur de vol sur l'Alphajet n°122 a généré des inconnues qu'il a été impossible de lever parmi lesquelles les paramètres précis de l'avion aux différents points clés de la figure, l'attitude de l'aéronef, les conditions précises de l'éjection...etc.

Nous nous intéressons essentiellement à la 6^{ème} figure de la *synchro* (figure n°19 de la *série*) : un *tonneau barriqué* à gauche en configuration train d'atterrissage abaissé et volets sortis à 15°.

2.1.1. Préambule

Le schéma ci-dessous précise la zone de présentation, la trajectoire de l'avion et le vocabulaire associé.



— — — : trajectoire précédant la figure n°19
 ———▶ : trajectoire de la figure n°19

- ① *Tonneau barriqué* suivi d'une réduction de vitesse pour permettre la sortie des éléments
- ② Sortie des éléments (train d'atterrissage et volets à 15°) en vue de la figure n° 19
- ③ Figure n° 19 : *Tonneau barriqué train sorti* suivi d'un *virage public*
- ④ Fin du *tonneau barriqué train sorti* : ressource et début du *virage public*
- ⑤ Fin du *virage public*

Schéma de présentation

Selon les témoignages recueillis, les éléments de vol prévus pour cette figure sont :

- début de la figure : 500 ft¹⁰, 200 kt¹¹, train d'atterrissage abaissé et volets sortis à 15°, plein-gaz puis réduction légère, axé sur le point central, fumigène bleu, avion compensé à 200 kt. Le cabré est débuté par 2 coups de trim longs ;
- point clé haut : 1400 ft, 150 kt, fumigène bleu ;
- fin de la figure : descente vers 500 ft, 200 kt, pour réaliser le *passage public* à droite en éloignement du point central, régime en réduction pour maintenir l'aéronef dans le domaine de vol « train sorti » (vitesse d'environ 200 kt), fumigène bleu.

2.1.2. Analyse des films

L'exploitation vidéo du film de la présentation de l'événement effectué depuis le point central montre que :

- préalablement à la figure, et afin de respecter la vitesse de manœuvre des éléments de l'Alphajet, le pilote effectue une diminution de vitesse par la manœuvre, en réduisant le régime moteur et en sortant les aérofreins ;
- l'avion se présente ensuite en rapprochement du point central, le train abaissé, avec le fumigène de couleur blanche ;
- le fumigène devient bleu au début de la phase descendante, après le passage dos de l'avion ;
- la trace du fumigène est linéaire, sans interruption, mais présente deux inflexions :
 - la première, 4,72 secondes après le passage dos, soit 5,20 secondes avant l'impact ;
 - la seconde, 7,28 secondes après le passage dos, soit 2,64 secondes avant l'impact.
- après chaque inflexion, l'avion effectue une embardée nette en roulis à droite, à l'intérieur du virage, et en tangage à piquer.

D'autre part, les plans réalisés permettent d'affirmer que :

- les gouvernes de l'avion sont mobiles ;
- le train est abaissé, sans qu'il soit possible de dire s'il est verrouillé bas ;
- les volets sont partiellement sortis des deux côtés, sans qu'il soit possible de déterminer précisément ces positions ;
- les aérofreins ne sont pas sortis.

La comparaison du film de l'événement avec celui de la même figure réalisée lors d'un entraînement précédent permet de relever le 13 avril les écarts suivants :

- l'avion se trouve en virage constant à droite pour rejoindre le point de début de la figure, ce qui peut être dû à une position plus proche du point central ;
- au sommet de la figure, les ailerons sont plus fortement braqués, probablement à cause d'une accélération du taux de roulis ;
- entre le changement de couleur du fumigène et la première inflexion de la trajectoire, la figure semble « plus aplatie » et l'avion se trouve dans une attitude à faible piqué, ce qui peut être dû à une reprise de l'action à la profondeur plus importante.

¹⁰ Ft : *feet* - pieds

¹¹ Kt : *knots* – nœuds

Concernant l'évacuation de l'aéronef, il est constaté que :

- l'attitude de l'avion est défavorable (assiette à piquer supérieure à 20°, inclinaison à droite d'environ 40°, incidence élevée) ;
- la mise à feu du siège est réalisée à une hauteur d'environ 25 m, environ 4 secondes après la première inflexion, soit environ 1 seconde avant l'impact de l'aéronef au sol ;
- au cours de la séquence d'éjection, l'ensemble siège-pilote reste sensiblement à la même hauteur, sans s'éloigner du sol, ce qui témoigne d'une vitesse verticale fortement négative à l'éjection, la poussée du moteur fusée du siège éjectable ne permettant qu'annuler partiellement le taux de chute au moment de l'éjection ;
- le parachute est ouvert et stabilisé à une hauteur d'environ 12 m, environ 3 secondes après la mise à feu du siège ;
- le pilote en descente sous voile disparaît derrière la boule de feu environ 3 secondes après l'explosion et atterrit au centre de la zone calcinée au sol.

Enfin, l'exploitation audio du film du 13 avril montre que :

- une annonce radio est effectuée par Athos 7 pour signifier à Athos 8 de changer la couleur des fumigènes. Cette annonce débute au passage dos : environ 5 secondes avant la première inflexion (environ 10 secondes avant l'impact) ;
- aucune détonation type « coup de canon » n'est perçue ;
- le bruit des réacteurs augmente au fur et à mesure que l'avion vire et qu'il positionne le point central dans son secteur arrière (à partir d'environ 3 secondes avant l'impact) ;
- les régimes des réacteurs ne semblent pas diminuer au cours de la figure, en particulier en phase terminale.

L'analyse des films permet donc de conclure partiellement que :

- hormis le fumigène qui aurait dû être de couleur bleue, Athos 8 débute la 6^{ème} figure de la phase de synchronisation, un *tonneau barriqué* à gauche en configuration train d'atterrissage abaissé et volets partiellement sortis, sans écart significatif ;
- Athos 8 est probablement plus proche du point central, engendrant un angle de présentation plus important ;
- l'action plus importante en gauchissement d'Athos 8 entre le sommet de la figure et le changement de couleur du fumigène génère une accélération du taux de roulis ;
- la trajectoire de la figure, plus « aplatie » entre le changement de couleur du fumigène et la première inflexion, peut être due à une action à la profondeur plus importante à l'issue du changement de couleur du fumigène ;
- Athos 7 intervient à la radio pour signifier à Athos 8 de modifier la couleur du fumigène alors que ce dernier se trouve sur le dos ;
- la couleur du fumigène d'Athos 8 devient bleue après cette intervention radio ;
- la trace continue du fumigène présente deux inflexions, chacune suivie d'embarquée prononcée en roulis à l'intérieur du virage et en tangage à piquer ;
- Athos 8 s'éjecte avec une vitesse verticale fortement négative, la mise à feu du siège et l'ouverture stabilisée du parachute ayant lieu respectivement à environ 25 m et 12 m de hauteur ;
- Athos 8 disparaît sous voile derrière la boule de feu de l'explosion de l'avion.

D'autre part, au cours de la figure :

- les gouvernes de l'avion sont mobiles ;
- les aérofreins ne sont pas sortis ;
- les régimes moteurs semblent importants ;
- aucun bruit moteur suspect n'a été détecté.

2.1.3. Analyse des témoignages

Selon les témoignages recueillis :

- aucun élément extérieur n'a perturbé la mise en place de sa figure ;
- Athos 8 confirme la débuter avec les éléments « habituels » : le point clé de départ est ainsi respecté avec la bonne vitesse (200 kt), la bonne configuration (train abaissé et volets sortis à 15°), la bonne altitude et les régimes moteurs habituels ;
- cependant, il se trouve plus proche du point central avec un angle de présentation plus important, si bien qu'il initie son action au gauchissement plut tôt que d'habitude. La rotation reste régulière jusqu'au sommet de figure ;
- Athos 8 ayant débuté la figure en fumigène blanc, Athos 7 lui demande de passer en fumigène bleu par l'annonce radio « *coup de palette* » ;
- cette annonce radio est effectuée lorsque l'avion se trouve sur le dos à l'apogée de la figure. Ce moment est un des points clés au cours duquel Athos 8 doit :
 - vérifier certains paramètres (vitesse, altitude, écartement par rapport au public) pour décider de poursuivre ou d'interrompre ;
 - réguler son action à la profondeur de manière continue et dosée afin de permettre à l'avion de réaccélérer en descente.
- le changement de couleur de fumigène nécessite de la part d'Athos 8 une pression sur une commande située à la base du manche pilote réalisée avec l'auriculaire et l'annulaire droits ;
- Athos 8 témoigne n'avoir ressenti aucune instabilité ou perte de contrôle de l'avion avant cette phase ;
- au cours de la descente de l'aéronef, le pilote tente de contrôler les échappées en roulis et tangage de l'avion puis, constatant qu'il n'y arrive pas, actionne la poignée d'éjection ;
- au cours de la phase d'éjection, Athos 8 ressent une forte chaleur sans pouvoir confirmer être sous voile ou au sol.

D'autre part, les différents équipements portés par Athos 8 ont été retrouvés calcinés (casque de vol, combinaisons de vol et anti-g, bottines, gants). Enfin, la voile et les suspentes du parachute ont été retrouvées entièrement fondues : ces éléments conjugués aux images vidéo témoignent de la proximité de la boule de feu induite par l'explosion.

L'analyse des témoignages permet d'établir que :

- Athos 8 se trouve plus proche du point central que d'habitude, si bien qu'il effectue une action en gauchissement plus importante générant une accélération du taux de roulis, notamment au sommet de la figure ;
- suite à l'intervention radio d'Athos 7, Athos 8 presse la palette de changement de couleur de fumigène alors qu'il se trouve au point clé haut, sur le dos ;
- poursuivant son action à la profondeur, Athos 8 ressent alors des échappées en roulis et tangage de son avion ;
- ne parvenant pas à contrôler l'attitude de son avion, Athos 8 actionne son siège éjectable ;
- Athos 8 passe à proximité de la boule de feu au cours de son atterrissage sous parachute.

2.1.4. Synthèse partielle

Les éléments et l'analyse précédents permettent de conclure que cet événement est une perte de contrôle près du sol en phase de vol descendante ayant conduit le pilote de l'aéronef à s'éjecter et entraînant la destruction totale de l'avion par impact au sol et explosion.

2.2. Recherche des causes de l'événement

L'événement est une perte de contrôle qui peut être due à :

- un ou plusieurs facteurs environnementaux ayant impacté les performances aérodynamiques de l'appareil ;
- un ou plusieurs facteurs techniques survenus au niveau :
 - des commandes de vol ayant engendré une impossibilité de contrôler l'appareil ou une inefficacité des commandes de vol ;
 - de la génération des réacteurs ayant privé l'aéronef de l'énergie indispensable durant la phase de réaccélération en descente.
- un ou plusieurs facteurs humains ayant perturbé les actions de pilotage.

Ce paragraphe déterminera les causes de la perte de contrôle dans les domaines environnemental, technique et du facteur humain.

2.2.1. Domaine environnemental

Au moment de l'événement, les prévisions et observations météorologiques (paragraphe 1.7. *Conditions météorologiques*) sont très favorables à ce type de vol, aussi bien sur le plan de la nébulosité, de la visibilité que de l'aérologie.

Les éléments n'ont pas impacté les performances aérodynamiques de l'aéronef au cours de la figure.

D'autre part, le pilote ne rapporte pas d'observation d'oiseaux ayant pu gêner les évolutions et les expertises menées sur les différents éléments de l'avion n'ont pas permis de mettre en évidence de collision volatile.

Par conséquent, les facteurs environnementaux ne peuvent être à l'origine de la perte de contrôle de l'aéronef au cours de la figure.

2.2.2. Domaine technique

L'avion ne disposant pas d'enregistreur de vol, des expertises ont été réalisées sur le fonctionnement des éléments pouvant générer des perturbations pendant la figure, à savoir :

- les éléments voilures, les commandes de vols et trims associés (chaînes de gauchissement, de direction et de profondeur) et autres éléments (volets hypersustentateurs, aérofreins, pompes hydrauliques) ;
- les réacteurs et accessoires associés ;
- les indicateurs retrouvés sur place (tableau de pannes, indicateurs de vitesse, d'attitude, de variomètre, de paramètres moteurs, de positions des gouvernes de trims...) ;
- les fluides prélevés.

2.2.2.1. Expertise des voilures, des commandes de vol et trims associés et autres éléments

L'examen des voilures (intrados, extrados, bords d'attaque) et des séparateurs de couche limite n'a révélé aucune anomalie pouvant avoir une incidence sur la portance de l'aéronef. Toutes les ruptures observées sont de type statique associées à de fortes déformations dues à l'impact de l'avion avec le sol.

Aucun dysfonctionnement des organes intervenant dans le contrôle de l'aéronef en vol (commande de gauchissement et ailerons, commande de profondeur et stabilisateur horizontal, commande direction et dérive, aérofreins...) n'a été mis en évidence.

L'examen des vérins de trim a montré que :

- le vérin de trim de gauchissement est en position « neutre » ;
- le vérin de trim de direction est en position « neutre » ;
- le vérin de trim de profondeur est proche de la position « rentrée » correspondant à une position du trim proche de « plein cabré ».

A l'impact au sol, les volets hypersustentateurs étaient en position sortis à 15° (position intermédiaire).

A l'impact au sol, les aérofreins étaient en position « déverrouillés entrouverts » : cependant, cette position n'a pas d'incidence sur le comportement et le contrôle de l'aéronef et ne peut être une cause de la perte de contrôle.

Les pompes hydrauliques fonctionnaient correctement.

2.2.2.2. Expertise des réacteurs et accessoires associés

Concernant le réacteur gauche, toutes les dégradations constatées avant et après démontage sont dues à l'impact au sol et à son éjection de la cellule. Elles se situent principalement à l'avant du réacteur, au niveau du compresseur BP, et se caractérisent par l'écrasement du carter d'entrée d'air et la déformation très importante des pales BP1 avec rupture au pied de six d'entre elles.

Cet écrasement a provoqué l'arrêt en rotation quasi instantané du corps BP et le vrillage de l'arbre de turbine BP, synonyme d'une énergie cinétique en rotation importante.

Ces éléments conjugués aux stigmates sur la came du boisseau de commande du régulateur indiquent que le régime moteur était proche du plein gaz au moment de l'impact.

Aucune autre dégradation ou anomalie antérieure à l'événement n'a été mise en évidence.

Concernant le réacteur droit, toutes les dégradations constatées avant et après démontage sont dues à l'impact au sol et à son éjection de la cellule. Elles se situent principalement à l'avant du réacteur, au niveau du compresseur BP, et se caractérisent par l'écrasement du carter d'entrée d'air et la déformation très importante des pales BP1 avec rupture au pied de trois d'entre elles.

Cet écrasement, moins prononcé que sur le réacteur gauche, a provoqué un arrêt en rotation du corps BP et une métallisation accentuée de la turbine haute pression (HP) qui provient de l'absorption d'éléments du compresseur BP et de la virole d'entrée d'air et d'une température de la chambre de combustion élevée.

Ces éléments indiquent que les régimes de rotation moteur HP et BP étaient relativement importants au moment de l'impact.

Aucune autre dégradation ou anomalie antérieure à l'événement n'a été mise en évidence.

D'autre part, l'analyse spectrale de la bande audio du film, réalisée par le BEA, n'a pas permis de déterminer les régimes moteurs de l'aéronef.

2.2.2.3. Expertise des indicateurs du poste de pilotage

L'expertise menée sur les différents voyants, les indicateurs d'attitude et le tableau de pannes n'a révélé aucun dysfonctionnement.

Il est à noter que le voyant PCAB¹² était allumé au tableau de pannes lors de l'impact, son allumage résultant du processus de l'éjection.

L'analyse des filaments des voyants a révélé un état chaud à l'impact pour :

- le voyant « volets déverrouillés » ;
- le voyant « aérofreins déverrouillés » ;
- les voyants « trains abaissés et verrouillés » (confirmé en partie par la vidéo du film) ;
- le voyant « frein » ;
- un voyant « VD » (vannes de décharge ouvertes) du réacteur gauche et un voyant « VD » du réacteur droit.

L'état chaud des voyants « volets déverrouillés », « aérofreins déverrouillés » et « train abaissé et verrouillé » est cohérent avec la configuration de l'aéronef avant l'impact.

¹² PCAB : ce voyant rouge, situé sur le tableau de pannes de chaque poste, s'allume lorsque la pression cabine devient inférieure à 395 mbar absolus (altitude cabine 24000 ft), ou si une verrière n'est pas verrouillée (UCE 116-1)

En revanche, l'état chaud des filaments du voyant « frein » ne peut s'expliquer que par une pression du pilote sur les palonniers, sollicitant ainsi le circuit hydraulique de freinage et allumant le voyant associé. Cette action a probablement été effectuée à la sortie du train pour tester « machinalement » les freins, ou bien au cours de la figure simultanément à ses actions sur les palonniers en actionnant la commande de direction. Ces éléments n'ont pas d'incidence sur le contrôle de l'aéronef en vol.

Enfin, l'état chaud des filaments des voyants « VD » est incohérent avec l'expertise des réacteurs qui conclue à des régimes moteurs importants ou proches du plein gaz.

L'état chaud de ces voyants est probablement dû à leur allumage au cours de la réduction de vitesse effectuée avant de débiter la figure pour sortir les éléments, phase pendant laquelle le pilote réduit les régimes sur les deux réacteurs.

2.2.2.4. Expertise des fluides prélevés

Des échantillons de carburant, de fluide hydraulique et d'huile moteur ont été prélevés sur l'épave, ainsi que dans la cuve du camion avitailleur : aucune anomalie n'a été détectée.

Une pollution mineure probablement consécutive à l'impact au sol ou aux opérations de prélèvement a été détectée dans un échantillon de carburant prélevé sur l'aéronef : celle-ci est sans lien avec l'événement.

2.2.2.5. Synthèse partielle

En l'absence de dysfonctionnement des différents éléments intervenant dans le contrôle de l'aéronef en vol, la perte de contrôle ne peut s'expliquer que par une sortie du domaine de vol de l'aéronef.

2.2.3. Domaine du facteur humain

2.2.3.1. Hypothèse liée à un manque de technicité du pilote

La désignation des pilotes de la PAF respecte plusieurs critères qui assurent un haut niveau de technicité.

D'autre part, le pilote impliqué dans l'événement avait rejoint la PAF depuis 18 mois et avait déjà effectué une saison complète sans qu'aucune faiblesse n'ait été détectée dans ses aptitudes au pilotage.

Il est connu et reconnu comme étant un excellent pilote, entièrement intégré au groupe aussi bien sur le plan technique que humain.

Il a bénéficié d'un entraînement normal et complet, sans interruption particulière.

**Les aptitudes et capacités de pilotage d'Athos 8 sont certaines.
L'hypothèse d'un manque de technicité ayant conduit à l'accident est REJETEE.**

2.2.3.2. Hypothèse liée aux facteurs physiologiques

Le profil de vol permet de rejeter la participation aux causes de l'événement des principaux risques physiologiques liés aux variations de la pression atmosphérique (hypoxie, barotraumatisme, maladie de la décompression).

La figure a été réalisée à basse vitesse avec les éléments sortis, et sous un facteur de charge maximal de 2G. D'autre part, le pilote a effectué une nuit de sommeil de 08 h 30, conforme à ses habitudes, il s'agissait du premier vol de la journée et l'événement est survenu au bout de 30 minutes de vol. Enfin, la glycémie réalisée par les secours était normale.

Par conséquent, le pilote ne souffrait ni de fatigue, ni d'hypoglycémie au moment de l'événement.

Pendant le vol, aucune plainte particulière n'a été constatée par les membres de la patrouille. L'examen du dossier médical n'a mis en évidence aucune pathologie ou facteur favorisant décelable pouvant expliquer un malaise. Les différents examens réglementaires avaient été réalisés. De plus le bilan complet réalisé à l'HIA, outre les conséquences traumatiques dues à l'accident, n'a rien décelé de particulier.

Par conséquent, il est peu probable qu'une pathologie ou un malaise soit survenu pendant le vol.

L'hypothèse d'un ou plusieurs facteurs physiologiques ayant conduit à l'accident est REJETEE.

2.2.3.3. Conditions d'exécution de la figure

La figure ayant conduit à l'accident relève du programme de présentation aérienne de la PAF.

L'événement s'est produit dans la phase n° 4 de l'entraînement de la PAF qui correspond à « *la poursuite de la mise au point de la synchronisation* » (note n° 33/BA701/EPAA 20.300/CDT du 13 janvier 2010 détaillant les directives générales annuelles de mise en condition et d'entraînement de la PAF pour la saison 2009-2010). A ce stade de l'entraînement, les pilotes sont en phase de mécanisation et d'acquisition.

Pour débiter sa figure, le pilote, selon son témoignage, s'axe sur la position du *point central* sans chercher à rejoindre un cap de présentation. Il se retrouve alors axé avec « *plus d'angle* », c'est à dire sur une trajectoire plus proche de la perpendiculaire qu'habituellement, engendrant d'une part une vitesse de rapprochement de l'axe plus élevée et d'autre part un *passage public* réalisé plus près du point central dont l'amplitude de virage est plus importante qu'habituellement.

Le sommet de la figure est la phase la plus délicate car la vitesse y est faible, l'avion est peu manœuvrant et le pilote doit contrôler ses éléments de vol (vitesse, altitude, attitude) et sa position par rapport à l'axe, puis éventuellement apporter les corrections nécessaires aux commandes.

L'intervention radio d'Athos 7 « *coup de palette* » est une demande de passage en fumigène bleu pour lui permettre de différencier la position d'Athos 8 des six autres avions et ainsi situer correctement tous les avions en vue du *croisement tunnel*.

Pour autant, cette demande bien que nécessaire n'est pas systématique. Elle n'est faite que lorsque Athos 8 n'est pas passé en fumigène bleu. Ainsi, elle intervient dans une phase critique si bien que :

- elle perturbe Athos 8 ;

- Athos 8 doit actionner par l'intermédiaire de l'auriculaire et de l'annulaire droits la commande de changement de fumigène, dite « palette », située à la base du manche pilote. Ce second point influence de facto le dosage de l'action à la profondeur effectuée jusque-là par Athos 8.

Les conditions d'exécution de la figure ont conduit l'avion à sortir du domaine de vol :

- la figure a été réalisée sans vérification du cap de présentation et initiée plus proche du point central, restreignant notamment les marges de corrections de la figure ;
- l'annonce radio « coup de palette » nécessaire a été effectuée à un moment critique de la figure ;
- l'action d'Athos 8 sur la palette de changement de couleur a eu une incidence sur le dosage de son action à la profondeur.

2.2.3.4. Etude des possibilités de retour dans le domaine de vol

Compte-tenu notamment de l'absence d'enregistreur d'accident, les investigations nous ont conduit à solliciter l'EPNER pour tenter de :

- définir le cadre d'exécution de la figure et d'en déterminer les marges de manœuvre associées ;
- déterminer les facteurs qui ont pu avoir une incidence sur la réalisation de cette figure.

Il en ressort que dans la configuration train abaissé et volets sortis à 15°, en palier à un facteur de charge de 1 g et une altitude de 5000 ft, le trim profondeur positionné proche du « plein cabré » correspond à une incidence de 14,5° : la marge au décrochage est alors faible.

Avec les commandes de profondeur et de gauchissement fixes, l'incidence et le dérapage augmentent lors de la phase descendante du *tonneau barriqué* si bien qu'une entrée en gauchissement lors de cette phase a pour conséquence d'augmenter encore plus l'incidence et le dérapage et diminue donc la marge à la perte de contrôle.

Par conséquent, dans la configuration de l'appareil au cours de la figure (train abaissé, volets sortis à 15° et trim profondeur situé proche du « plein cabré ») une tentative de contenir les échappées en roulis après le décrochage par des entrées en gauchissement perturbe la couche limite sur l'extrémité de la voilure et peut entretenir le décrochage.

D'autre part, lorsqu'un pilote ressent une perte de contrôle de type décrochage, il doit relâcher l'action sur le manche pour « soulager » l'appareil en profondeur : le manche tend alors à rejoindre une position neutre.

Comme exposé au paragraphe 2.2.2.2. *Les commandes de vols et les trims associés*, le trim profondeur se trouve dans une position proche du « plein cabré », **si bien que l'action effectuée par le pilote de relâcher le manche remet le manche dans la position « neutre trim » qui correspond dans ce cas précis à une position « à cabrer » de la profondeur : le décrochage est alors entretenu.**

La proximité du sol dans cette phase descendante ne permet pas au pilote d'analyser la situation et toute entrée en gauchissement et/ou reprise de commande « à cabrer » génère un nouveau décrochage.

Le retour dans le domaine de vol n'est pas réalisable, la collision avec le sol devient inévitable et l'éjection est alors la seule échappatoire possible pour le pilote.

2.2.3.5. Synthèse des causes de la perte de contrôle

La perte de contrôle de l'appareil est due à une sortie du domaine de vol générée par la combinaison de plusieurs facteurs :

- **une figure réalisée sans vérification du cap de présentation et initiée trop proche du point central, restreignant les marges de corrections possibles du pilote ;**
- **une configuration de l'aéronef défavorable (train abaissé, volets sortis à 15° et trim profondeur situé proche du « plein cabré ») et des marges au décrochage faibles ;**
- **une intervention radio nécessaire mais effectué à un moment critique qui perturbe le pilote dans l'exécution de sa figure et son dosage en profondeur.**

L'appareil a effectué un décrochage aérodynamique entretenu par une position proche du « plein cabré » du trim de profondeur et par les entrées en gauchissement (générant du dérapage et une augmentation de l'incidence) lorsque le pilote a tenté de reprendre le contrôle de l'aéronef.

Enfin, la proximité du sol, la configuration défavorable de l'aéronef et son attitude ont rendu impossible la reprise de contrôle par le pilote et l'ont contraint à l'éjection.

2.3. Analyse du fonctionnement des défenses systémiques.

Ce paragraphe permet d'identifier les dysfonctionnements et présente les raisons pour lesquelles le mécanisme des défenses et barrières amont n'a pas permis d'éviter l'accident.

2.3.1. Processus d'élaboration du programme de présentation

2.3.1.1. Mise au point de la *série*

Les directives générales annuelles de mise en condition et d'entraînement de la PAF pour la saison 2009-2010 font l'objet de la note n° 33/BA701/EPAA 20.300/CDT du 13 janvier 2010. Ce document définit notamment le programme général de l'entraînement de la PAF et le calendrier associé. Il précise également le processus d'élaboration du programme de présentation : « *en début de la saison hivernale, le leader étudie, avec ses équipiers, la nouvelle série en se faisant conseiller plus particulièrement par le pilote remplaçant et le leader solo.*

La synchronisation entre la patrouille principale de six avions et les deux solos est élaborée selon le même principe. »

Il apparaît que l'étude des marges de sécurité se limite, à ce stade, au vécu de la patrouille et au sentiment général de la cohérence de la *série*.

**Le programme de présentation de la PAF est élaboré au sein de la PAF. A ce stade, l'étude des marges de sécurité se limite au vécu des différents éléments de la patrouille.
Le directeur de l'EPAA n'intervient pas dans le processus d'élaboration du programme.**

2.3.1.2. Calendrier hivernal

Comme le stipulent les directives annuelles de mise en condition et d'entraînement de la PAF pour la saison 2009-2010 (note n° 33/BA701/EPAA20.300/CDT du 13 janvier 2010), « *la progressivité de l'entraînement est le paramètre principal garantissant le rendement optimum de chaque vol dans les conditions de sécurité les meilleures* » : ainsi, le calendrier hivernal de la PAF est composé de cinq phases.

Chaque phase correspond à une période de deux à cinq semaines ininterrompues d'entraînement en vol, deux phases successives étant séparées par une période de une à deux semaines de repos et/ou de missions (congés, stage de survie temps froid). Ces phases, détaillées dans la note citée supra, sont le fruit d'un processus éprouvé de manière empirique.

La phase n° 2 de l'entraînement hivernal 2009-2010 de la PAF consacrée notamment à l'« *étude des figures des solos* » a été « *interrompue, de manière exceptionnelle, pendant une semaine, du 19 au 25 janvier 2010 pour participer au salon aéronautique de Bahreïn* ».

L'interruption de la phase n° 2 de l'entraînement hivernal, consacrée notamment à l'étude des figures des solos, a probablement compromis le rythme d'approche de ces figures et perturbé l'étude des risques associés.

2.3.1.3. Mise au point de la figure

Concernant l'événement, la figure n° 19 de la *série* s'inclut dans le programme de présentation aérienne de la PAF au cours de la phase de synchronisation (6^{ème} figure de la synchro).

Elle devait « occuper la scène », c'est-à-dire permettre la mise en place, sans temps mort, du reste de la patrouille (Athos 1 à 7) pour l'exercice suivant (figure n° 20) : un *croisement tunnel* entre Athos 1 à 6 et Athos 7 selon un axe de présentation parallèle à celui de la piste.

Compte-tenu des contraintes temporelles entre les figures 18 et 20, le choix de la figure 19 s'est porté sur une figure qualifiée de « lente » pour permettre au reste de la patrouille de se repositionner : il a ainsi été décidé de réaliser une figure de type « tonneau barriqué train sorti ».

Le *tonneau barriqué* ou *barrique* est l'une des figures de base de la formation des pilotes de chasse qui est connue et maîtrisée, a fortiori par un pilote de la PAF dont le niveau de technicité est élevé. De plus, cette figure ne présente pas de difficultés techniques majeures, à condition de respecter les paramètres des différents points clés : en entrée de figure, en haut sur le dos, puis en sortie de figure.

Par ailleurs cette figure ayant déjà été réalisée au sein de la patrouille avec le *train sorti*, aucun vol spécifique n'a été réalisé pour l'évaluer en solo.

D'autre part, aucun des pilotes actuellement affectés à la PAF ne l'avait réalisée auparavant, seuls la lecture de la « Bible » (appellation usuelle du manuel de travail aérien de la PAF) et les conseils des anciens, pour la plupart d'ordre esthétique, ont guidé le *second solo* dans les modifications à apporter.

Des paramètres, parmi lesquels des sollicitations et propositions de l'équipe, ont sensiblement modifié la figure entre le début de l'entraînement (où elle était réalisée à l'identique de la description de la Bible) et le jour de l'événement, si bien que :

- la figure a été insidieusement transformée, devenant plus difficile à exécuter et réduisant les marges de manœuvres ;
- compte-tenu de l'adaptation en cours de la figure, la phase de mécanisation a été raccourcie.

2.3.1.4. Interactions entre les figures

L'entrée de la figure n° 19 est effectuée après un croisement entre les deux *solos* suivi d'une *barrique* afin de réduire la vitesse de l'aéronef et ainsi permettre la sortie des éléments (trains, volets). Le pilote vise alors le point central sans chercher à rejoindre un cap de présentation : il ne vérifie pas son angle de présentation vers le point central.

En s'axant sur le point central sans vérification du cap de présentation, le pilote n'a pas été sensibilisé sur les risques induits par une arrivée de manière « trop perpendiculaire », donc un angle de présentation supérieur (paragraphe 2.1.1. Préambule), induisant une augmentation de la vitesse de rapprochement du point central et un positionnement trop proche du point central au cours de la figure.

La sortie de la figure est effectuée par un *passage public* en descente dont le cap final est divergent de l'ordre de 45° par rapport à la piste (donc de l'ordre de 90° par rapport au cap de présentation) pour libérer la *scène* pour le reste de la patrouille (*croisement tunnel*). De plus, il doit éviter le survol de la piste lors de la figure.

Plus l'angle de présentation de la figure n°19 est important, plus l'amplitude du virage à réaliser à la sortie de la figure est importante. Pour ne pas survoler le public et libérer rapidement la *scène*, le virage vers le cap de sortie, initié dès le début de la descente du *tonneau barriqué train sorti*, doit donc être réalisé de manière soutenue en profondeur et en gauchissement. Les marges de manœuvre sont d'autant plus réduites que l'angle du *passage public* à réaliser est important.

L'absence de vérification du cap de présentation en début de figure n'a pas permis de sensibiliser le pilote sur un angle de présentation supérieur induisant :

- une augmentation de la vitesse de rapprochement du point central ;
- un positionnement trop proche du point central ;
- une amplitude du virage à réaliser en sortie de figure pour s'éloigner de la scène supérieure.

L'ajout d'un *passage public* pour s'éloigner rapidement du public et « libérer la scène » a nécessité une ressource en descente et en virage, alors que l'avion se trouve proche du sol, à faible vitesse et dans une configuration défavorable (train abaissé et volets partiellement sortis).

Ces éléments ont contribué à réduire les marges de manœuvres de la figure.

2.3.2. Processus de vérification, d'approbation et de validation du programme de présentation

Le processus de vérification, d'approbation et de validation du programme de présentation est décrit en détail dans l'Instruction IV-50 relative aux manifestations aériennes. Edité en 2004, ce document regroupe l'ensemble des dispositions réglementaires relatives aux manifestations aériennes. Le 21 janvier 2010 une nouvelle édition abroge et remplace celle de 2004.

Or, pour la PAF, ce processus s'étendant du mois de septembre 2009 au mois d'avril ou mai 2010, il a été suivi selon les deux bases réglementaires successives. La vérification du projet de programme par le commandement d'appartenance avant la première réunion de la commission de sécurité et la tenue de cette première réunion le 15 décembre 2009 se sont déroulées conformément à l'édition 2004, les phases suivantes se sont conformées à la nouvelle édition de 2010.

2.3.2.1. Vérification au niveau du commandement organique

Conformément à l'instruction IV-50, l'EPAA propose le programme de présentation à son commandement d'appartenance pour vérification. A ce niveau, le CFA doit vérifier notamment que *« le programme ne présente pas de difficulté majeure, aussi bien dans l'exécution d'une figure que dans l'enchaînement des manœuvres »*.

L'enquête a permis d'établir que, d'une part des directives ont été transmises par le GCFA au futur leader de la PAF et que d'autre part, lors de la réunion du 15 décembre, ce dernier a rappelé en préambule que son projet avait reçu l'aval du GCFA.

Toutefois, les investigations n'ont pas permis de trouver le document formalisant cet aval.

2.3.2.2. Réunions de la commission de sécurité

La commission de sécurité, dont la composition est précisée par l'instruction IV-50, se réunit au minimum trois fois avant le début de la saison :

- une première fois en décembre pour étudier les projets de présentation de la saison à venir ;
- une deuxième fois en février ou mars pour vérifier que l'ensemble des exercices retenus est réalisé dans des conditions satisfaisantes ;
- une troisième fois en avril ou mai pour valider, par délégation du CEMAA, la présentation en vol.

Au cours de la première réunion, le leader de la PAF doit s'attacher à :

- *« détailler les nouveautés du programme de la saison à venir en spécifiant les critères qui ont guidé ses choix ;*
- *préciser, pour l'ensemble de la présentation, les points les plus délicats ;*
- *indiquer les éléments de vol aux différents points clés en montrant que tous les aspects sécurité des vols ont été pris en compte. En particulier, les différentes portes de sortie, en cas de non-respect des éléments de vol aux points clés, devront avoir clairement été identifiées ».*

Pour présenter son programme, il s'est appuyé sur un diaporama de 56 diapositives dont certaines précisent des éléments de vol intéressant la sécurité. Les diapositives présentant les exercices nouveaux sont identifiées, notamment la diapositive 34 décrivant la « barrique train sorti du second solo pendant la mise en place tunnel ».

Au cours de la deuxième réunion, où « *En particulier, chaque figure est analysée afin que d'éventuelles recommandations pour la suite de l'entraînement puissent être formulées* », le leader a utilisé une version actualisée de son précédent diaporama.

Au cours de la troisième réunion, prévue à une date postérieure à l'événement, « *les éléments de vol aux différents points clés et les manœuvres envisagées en cas de non respect des éléments* » doivent être rappelés.

Concernant la série 2010, l'événement est survenu alors que la commission s'était déjà réunie à deux reprises. Au cours de ces deux réunions, selon les témoignages recueillis, la commission s'est centrée sur la figure n° 20, le *croisement tunnel* entre le *leader solo* et les 6 autres avions de la patrouille, car les croisements présentent historiquement le plus grand risque d'accidents au sein de la PAF, alors que le *tonneau barriqué* et le *passage public* sont des figures qui prises individuellement sont relativement faciles à exécuter et ne présentent pas de risque majeur.

La figure numéro 19 tonneau barriqué train sorti, suivie du passage public a été avalidée par le GCFA et autorisée après étude par la commission de sécurité. Cependant, l'hypothèse selon laquelle l'attention de cette commission ait pu être concentrée sur le risque critique de collision de la figure numéro 20 croisement tunnel s'enchaînant après les deux figures ayant conduit à l'événement, est probable.

2.3.3. Application, correction et adaptation du programme

Le programme de présentation peut être amené à subir des adaptations entre deux réunions de la COMSV. Conformément aux directives générales annuelles de mise en condition et d'entraînement de la PAF, ces modifications doivent être :

- portées à la connaissance de la COMSV ;
- reportées dans la *Bible* après approbation de l'officier sécurité des vols et du directeur des EPAA.

Au cours de la phase réservée à l'étude des nouvelles figures, jugeant que les marges de manœuvre de la figure n°19 réalisée avec les paramètres du manuel de vol étaient trop limitées, certains points clés ont été modifiés (par exemple, majoration du régime en début de figure et de l'altitude au point clé haut).

Cependant, les investigations n'ont pas permis de relever ces modifications, ni dans le cahier d'ordre ni dans la *Bible*.

Enfin, les investigations n'ont pas permis de dégager la référence de l'approbation du manuel de travail aérien de la PAF par les commandements d'appartenance.

Les éléments à notre disposition n'ont pas permis de relever :

- les modifications apportées à la figure au cours de la phase consacrée à son étude ;
- l'approbation de la *Bible* par les commandements d'appartenance.

2.4. Autres éléments

2.4.1. Rôle et importance du point central

Conformément aux directives générales annuelles de mise en condition et d'entraînement de la PAF pour la saison 2009-2010, le « *directeur (de l'EPAA), son adjoint, le remplaçant (ou un pilote désigné par le directeur) sont les seuls habilités à effectuer la surveillance des vols et à donner des avis ou des ordres au leader* ».

Ainsi, au cours de la période hivernale pendant laquelle la patrouille étudie et s'entraîne à l'exécution de la *série*, le *point central* doit :

- assurer son rôle de surveillant des vols ;
- éventuellement donner des ordres au leader ;
- également pouvoir noter une évolution des figures et la transmettre au leader pour le débriefing de la mission.

Au cours de la période d'entraînement précédant l'événement, d'anciens pilotes de la PAF, habilités à exercer les fonctions de *point central*, ont été plus sollicités que les années précédentes.

La sollicitation inhabituelle des anciens pilotes de la PAF, habilités, pour exercer la fonction de *point central*, au cours de la période précédant l'événement, est due à la charge de travail de la direction des EPAA.

Cette situation a induit un manque de continuité dans la vision d'ensemble et le suivi de l'évolution de la *série* et des figures.

2.4.2. Présence d'un équipage de l'ESIS sur l'aérodrome de Plan-de-Dieu

Les conclusions médicales montrent que la présence d'un équipage de l'ESIS sur l'aérodrome de Plan-de-Dieu a permis de :

- porter assistance très rapidement au pilote, limitant notamment ses mouvements compte-tenu de son état de choc psychologique et de ses blessures rachidiennes ;
- circonscrire les feux générés par l'explosion de l'accident ;
- limiter la présence des badauds sur la zone de l'accident.

D'autre part, le PAA-03.304 INS IV-18, instruction relative à la fonction sécurité aérienne dans l'armée de l'air, classe les entraînements aux présentations en vol parmi les activités à risque élevé (paragraphe *III – Evaluation du risque et types d'activités aériennes*).

Les CPUT de la BA 115 d'Orange-Caritat précisent que « *le CSO 1A.115¹³ est responsable de l'activation du terrain (de Plan-de-Dieu) et adapte les moyens de soutien déployés en fonction du nombre et des types d'appareils susceptibles d'utiliser la plateforme* ».

¹³ CSO 1A.115 : chef du soutien opérationnel de la BA 115

Ainsi, la PAF transmet au soutien opérationnel et à l'ESIS de la BA 115 la prévision hebdomadaire de l'utilisation de la zone de Plan-de-Dieu, précisant notamment les mises en place du *point central* effectuées en TB10¹⁴ : dans ce cas, un équipage réduit de l'ESIS est présent sur la plateforme de Plan-de-Dieu.

Bien que les entraînements aux présentations en vol soient classés parmi les activités à risque élevé, les CPUT de la BA 115 n'imposent pas la présence d'un équipage de l'ESIS pendant que la PAF évolue sur l'aérodrome de Plan-de-Dieu lorsque la mise en place du *point central* se fait par voie routière.

2.4.3. Libération du paquetage de survie

L'examen des éléments retrouvés montre que le déroulement de la séquence d'éjection est nominal malgré des conditions d'éjection défavorables, l'avion étant équipé du siège éjectable Martin Baker MK10-L (type MK10, modèle L) nouvellement intégré aux Alphajet de la PAF. Le domaine d'éjection associé à ce type de siège, dit « zéro-zéro », est plus important et permet notamment de s'éjecter plus proche du sol.

Cependant, le modèle L est équipé d'un paquetage de survie rigide qui doit être mis en œuvre manuellement par l'utilisateur en actionnant une fois sous voile l'un des deux dégrafeurs rapides en normal, l'autre pouvant être sollicité en secours en cas d'insuccès du premier dégrafage.

Sans mise en œuvre manuelle, l'utilisateur atterri avec ce paquetage rigide situé dans le prolongement de son rachis et qui peut générer et/ou aggraver un traumatisme à l'impact.

L'éjection s'étant déroulée à proximité immédiate du sol (environ 25 m) et dans des conditions défavorables, le pilote n'a pas eu le temps de mettre en œuvre son paquetage de survie et a atterri avec ce paquetage rigide dans le prolongement de son rachis.

D'autres modèles de ce type de sièges (comme le modèle Q) sont équipés d'un dispositif de mise en œuvre automatique qui déclenche sans intervention du pilote la libération du paquetage de survie environ quatre secondes après la séparation pilote-siège (ce délai permettant d'éviter toute interférence avec la séquence d'éjection). Ce dispositif est alors en adéquation avec une éjection en urgence, proche du sol et dans des conditions défavorables.

La criticité de la phase d'éjection n'a pas permis au pilote de libérer manuellement le paquetage de survie. Il a atterri avec ce paquetage rigide situé dans le prolongement de son rachis, ce qui a probablement aggravé les traumatismes physiologiques dus à l'impact.

¹⁴ TB 10 : avion léger utilisé pour la formation initiale des pilotes de l'armée de l'air

3. CONCLUSION

3.1. Eléments établis utiles à la compréhension de l'événement

- L'événement survient au cours de la phase n°4 de l'entraînement de la PAF, consacrée notamment à la mise au point de la synchronisation : à ce stade, les pilotes sont encore en phase de mécanisation.
- Le *second solo* se présente pour réaliser la 6^{ème} figure de la phase de synchronisation, un *tonneau barriqué* à gauche en configuration train d'atterrissage abaissé et volets sortis à 15° suivi d'un *passage public*. Il débute la figure en fumigène blanc, en étant plus proche du point central.
- Alors que le *second solo* se trouve sur le dos, au point clé intermédiaire, le *leader solo* lui demande à la radio de passer en fumigène bleu afin de différencier la position d'Athos 8 des six autres avions et ainsi situer correctement tous les avions en vue du *croisement tunnel*.
- Le *second solo* modifie la couleur du fumigène puis poursuivant son pilotage ressent par deux fois des embardées en roulis et en tangage.
- Bien qu'il relâche à chaque fois ses actions aux commandes, il ne parvient à contrôler les décrochages de son avion et s'éjecte à environ 25 m de hauteur.
- Pendant la descente sous voile et l'atterrissage, il passe à proximité de la boule de feu consécutive à l'explosion induite par l'impact de l'avion avec le sol.

3.2. Causes de l'événement

Les causes de cet événement relèvent du facteur humain.

Cet événement est une perte de contrôle en vol ayant conduit à l'éjection du pilote et à la destruction de l'aéronef en impactant le sol.

Cette perte de contrôle résulte d'une sortie du domaine de vol de l'aéronef générée par la combinaison des facteurs suivants :

- des marges de manœuvres limitées par la configuration défavorable de l'aéronef (éléments sortis) ;
- une figure ayant été insidieusement modifiée, réduisant sensiblement les marges d'évolution en sortie de figure ;
- une interruption de l'entraînement hivernal ayant engendré un retard dans la mécanisation de la figure ;
- une figure réalisée sans vérification du cap de présentation ;
- une figure initiée trop proche du point central ;
- une intervention radio nécessaire mais effectuée à un moment critique et ayant perturbé le pilote ;
- l'utilisation au cours de la figure du trim de profondeur situé proche de la position « plein cabré » qui a participé à l'entretien du décrochage de l'avion.

De plus, d'autres facteurs ont contribué à l'événement :

- l'élaboration du programme de présentation dont l'étude des marges de sécurité se limite essentiellement au vécu des éléments constitutifs de la patrouille ;
- un manque de traçabilité :
 - des modifications apportées à la figure au cours de la phase consacrée à son étude ;
 - du processus de vérification de la *série* par le commandement d'appartenance ;
 - du processus d'approbation du manuel de travail aérien de la PAF (*Bible*) par les commandements d'appartenance.
- une efficacité de la commission de sécurité atténuée par :
 - un dossier de présentation du programme incomplet ;
 - la difficulté pour ses membres d'identifier les risques de chaque figure.
- une perturbation du suivi de l'évolution de la *série* et de ses différentes figures depuis le point central perturbé dû à une sollicitation inhabituelle des anciens pilotes de la PAF pour assurer la fonction de *point central* en raison de la charge de travail de la direction de l'EPAA.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement

Conformément à l'instruction IV-50 relative aux manifestations aériennes, les COMSV des présentations aériennes doivent s'assurer que les programmes présentent toutes les garanties nécessaires au plan de la sécurité des équipages, des spectateurs et des matériels. Les investigations menées ont mis en évidence certaines fragilités.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air de s'assurer que :

- les dossiers et programmes transmis à la COMSV soient validés par les échelons intermédiaires (commandement d'appartenance) et comportent tous les éléments nécessaires à l'appréhension des difficultés et au calcul des risques ;
- toute modification apportée au programme soit rapportée à la COMSV ou par délégation à l'un de ses représentants ;
- chaque réunion de la COMSV fasse l'objet d'un compte-rendu traçant notamment les points délicats abordés et éventuellement amendés.

L'exploitation du manuel de travail aérien de la PAF (*Bible*) met en exergue l'importance de l'utilisation du trim sur les trois axes, et particulièrement le trim profondeur.

Ainsi, le « pilotage au trim » est l'un des actes fondamentaux de la réalisation de figures de voltige en patrouille serrée : « Pour acquérir l'endurance, la souplesse et la précision du geste, il est indispensable d'avoir sans cesse un avion trimé. Cela vous permet de piloter « assis », en tout cas la main relâchée autant que faire se peut sur le manche. Ainsi l'étagement se tient avec le trim, la main ne pilotant pratiquement que l'écartement. » (extrait de la *Bible*).

Concernant le *tonneau barriqué train sorti* en patrouille, le chapitre consacré préconise l'utilisation du trim profondeur « à cabrer » par « 2 coups de trim longs, passant 30° maquette ».

Au sein de la PAF, l'utilisation du trim profondeur en avion isolé est laissée à l'appréciation de chaque pilote. Aucun chapitre de la *Bible* n'aborde ce point, en particulier lorsque l'avion se trouve à faible vitesse et haute incidence (position « neutre trim » correspondant à une position du manche sensiblement à cabrer).

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air de mener une réflexion sur l'utilisation du trim lors d'évolution en avion isolé, en basse altitude et à vitesse faible, puis d'en implémenter les conclusions dans le manuel de travail aérien de la PAF.

Le manuel de travail aérien ou *Bible*, fruit des expériences passées, représente le document de référence de la PAF.

L'enquête technique a permis d'identifier des voies d'amélioration de ce document.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air:

- **d'établir pour chaque figure dans la Bible :**
 - **un historique de réalisation ;**
 - **les risques identifiés et les difficultés éventuellement rencontrées ;**
 - **les différents « points-clés » et les « portes de sorties » associées.**
- **de valider le manuel de travail aérien (Bible).**

La discipline radio est déjà généralisée au sein de la PAF, cependant certains messages radio nécessaires peuvent devenir perturbateurs pour le destinataire lorsqu'ils sont émis dans des phases délicates.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air de sensibiliser les EPAA sur le risque induit par certains messages radio nécessaires et effectués dans des phases de vol critiques (points clés, vol dos...).

Les investigations ont fait apparaître certaines faiblesses dans le processus d'élaboration de la présentation et dans le suivi des modifications apportées aux figures.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air de :

- **mener une réflexion sur le processus d'élaboration initiale des présentations, notamment l'étude des marges de sécurité, les interactions entre les figures et le rôle de la direction dans celui-ci ;**
- **mettre en place un processus de traçabilité permettant de suivre les modifications apportées aux figures.**

La fonction de *point central* revêt une importance essentielle en particulier au cours de l'entraînement hivernal. Concernant la période précédant l'événement, les investigations ont mis en évidence des changements plus fréquents que les années précédentes de la personne assurant cette fonction.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air de mener une réflexion sur la fonction et le rôle de *point central*, afin de :

- **permettre un suivi continu des entraînements au cours de la période de mise au point du programme et de mécanisation des figures ;**
- **pérenniser la mémoire des figures et permettre au personnel assurant la fonction de *point central* d'avoir un référentiel de comparaison.**

La continuité de l'entraînement est un point essentiel pour assurer l'élaboration du programme, la mécanisation des figures et donc la sécurité des vols. L'interruption de la phase n° 2 de l'entraînement hivernal a probablement contribué à l'événement.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air de pérenniser la continuité de chacune des cinq phases de l'entraînement hivernal.

Depuis l'année 2002, tout pilote intégrant la PAF doit préalablement effectuer un stage dédié au sein de l'EPNER le sensibilisant à certains « pièges » de l'Alphajet en vol.

Cependant, ce stage ne permet pas d'explorer l'ensemble du domaine de vol, en particulier les manœuvres basse vitesse, basse altitude et hautes incidences dans des configurations défavorables (train abaissé, volets partiellement ou totalement sortis).

L'EPNER dispose également d'un simulateur de développement représentatif de l'Alphajet (appelé *BétaJet*), même aux fortes incidences et à fort dérapage, relié à une console de restitution permettant d'extraire les paramètres aérodynamiques de vol (vitesse, incidence, attitudes avion, dérapage, positions du manche, positions des trims, taux de roulis, facteurs de charge...) et d'appréhender ainsi les risques liés aux manœuvres effectuées (réduction des marges, approche du décrochage...).

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air en relation avec la direction générale de l'armement de mener une réflexion sur l'utilisation des compétences de l'école du personnel navigant d'essais et réceptions, et sur l'opportunité de :

- faire participer un cadre de l'EPNER aux réunions de la commission de sécurité pour apporter une expertise « mécanique du vol » à l'étude des nouvelles figures ;
- constituer un module spécifique pour certains éléments de la patrouille (*solos, extérieurs*) avant de débiter l'entraînement hivernal ;
- utiliser le simulateur de développement représentatif de l'Alphajet (*BétaJet*) pour affiner le calcul des risques liés aux figures.

4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement

4.2.1. Equipement de l'aéronef

4.2.1.1. Siège éjectable

L'utilisation de sièges de type « zéro-zéro » comme le MK10 peut écourter le temps de l'éjection et ainsi rendre délicate la mise en œuvre manuelle du paquetage de survie.

La plupart des sièges éjectables « zéro-zéro » en service dans l'armée de l'air (MK10-M équipant les Mirage F1, MK10-Q équipant les Mirage 2000 et MK16 équipant Rafale) et dans la marine nationale (MK16 pour Rafale M) sont déjà équipés de dispositif de libération automatique du paquetage permettant de limiter les risques de blessures du rachis à l'atterrissage. Cependant, les sièges « zéro-zéro » équipant les Super Etendard Modernisés (MK6) et les Alphajet (MK10-L) ne disposent pas de cette capacité.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air et à la marine nationale d'équiper l'ensemble de leurs sièges éjectables de type « zéro-zéro » de dispositif de libération automatique du paquetage de survie au cours de la séquence d'éjection.

Afin d'appréhender l'intégration du MK10-L aux Alphajet, une instruction concernant ce siège est dispensée aux utilisateurs. Toutefois, seul le site du centre des essais en vol de Cazaux est équipé du matériel permettant cette mise en pratique. Or, pour que les actions vitales deviennent automatiques, il est nécessaire que la représentation mentale associée à une action gestuelle soit mémorisée et répétée régulièrement.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air d'installer sur les sites soutenant des unités d'Alphajet un portique équipé du harnais du siège éjectable MK10-L et du paquetage de survie afin d'entraîner les utilisateurs potentiels.

4.2.1.2. Enregistreur d'accident.

L'absence de dispositif de restitution type enregistreur de paramètres de vol et/ou de conversations a imposé d'effectuer de nombreuses expertises (cellule, hydraulique, commandes de vol, réacteurs, analyse spectrale...) longues et difficiles pour permettre une analyse rigoureuse des circonstances de l'accident. Ces investigations auraient d'ailleurs été encore plus délicates si le film réalisé par le caméraman de l'EPAA n'avait pas été exploitable.

D'autre part, l'implémentation d'un tel dispositif permettrait d'assurer un pilotage proactif du niveau de risque par une analyse systématique des vols.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air :

- **d'équiper dans la mesure du possible tous les aéronefs en service d'enregistreurs d'accident ;**
- **de définir des priorités sur les aéronefs effectuant notamment du transport de passagers et des missions à risque particulier (présentation en vol...) ;**
- **de réaliser une analyse systématique des vols par prélèvement des données enregistrées.**

Cette recommandation a déjà été formulée à l'armée de l'air dans le rapport de l'événement aérien BEAD-air-A-2007-012-A.

4.2.2. Equipements de vol des équipes de présentation de l'armée de l'air

Les équipes de présentation de l'armée de l'air utilisent avec l'assentiment du commandement certains équipements de vol (sous-vêtements, chaussures, gants...) dont les tenues mécaniques (résistance au feu, maintien des chevilles, amortissement...) n'ont été ni testées, ni expérimentées, ni validées. De plus, d'autres équipements comme le casque de vol bénéficient d'un régime dérogatoire (application de peinture autorisée).

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air de mettre en place un processus d'expérimentation et de validation du matériel utilisé par la PAF, ou de prononcer les dérogations idoines.

Le bureau enquêtes accidents défense air recommande également

à tous les organismes utilisant des sièges éjectables de commenter largement le contexte lié à l'éjection, et plus particulièrement les risques liés au feu.

4.2.3. Présence d'un équipage d'intervention de l'ESIS

L'instruction IV-18 « *Evaluation du risque et types d'activités aériennes* » qualifie les missions d'entraînements aux présentations en vol d'« *activités à risque élevé* ». Cet événement a permis de mettre en évidence l'importance de la présence sur place d'un équipage d'intervention de l'ESIS en cas d'accident.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air de rendre systématique la présence d'un équipage d'intervention de l'ESIS sur l'aérodrome de Plan-de-Dieu pour tout entraînement de la PAF.

4.2.4. Précautions pyrotechniques

A l'arrivée sur zone, le groupe d'enquête technique a constaté que pressés par l'urgence de la situation, certains secours intervenaient sans prendre en compte l'aspect pyrotechnique alors que certains éléments toujours actifs (moteur fusée du siège éjectable place arrière) auraient pu générer un sur-accident.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air de rappeler aux différentes équipes d'intervention les risques pyrotechniques induits par un événement impliquant un avion d'arme.