

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

Brétigny sur Orge, le 22 août 2007

RAPPORT PUBLIC D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-A-2007-009-A

Date de l'événement	14 mars 2007
Lieu	BA 709 de Cognac – commune de Gente (16)
Type d'appareil	TB 30 Epsilon
Immatriculation	FSEVR
Organisme	Armée de l'air
Unité	EPAA 00315 – Patrouille Cartouche Doré

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>Synopsis</i>	6
1 Renseignements de base	9
1.1 Déroulement du vol.....	9
1.1.1 Mission	9
1.1.2 Déroulement	9
1.1.2.1 Préparation du vol.....	9
1.1.2.2 Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'événement.....	10
1.1.2.3 Reconstitution de la partie significative de la trajectoire du vol.....	11
1.1.3 Localisation	13
1.2 Tués et blessés.....	13
1.3 Dommages à l'aéronef	13
1.4 Autres dommages.....	14
1.5 Renseignements sur le personnel	14
1.5.1 Membres d'équipage de conduite.....	14
1.5.1.1 Commandant de bord.....	14
1.5.2 Autres personnels	15
1.5.2.1 Leader	15
1.5.2.2 Équipier n°3	16
1.5.2.3 Ancien équipier n°2 en transformation	16
1.5.2.4 Surveillant des vols.....	17
1.5.2.5 Caméraman	18
1.5.2.6 Parrain.....	18
1.6 Renseignements sur l'aéronef	18
1.6.1 Maintenance	19
1.6.2 Carburant	20
1.7 Conditions météorologiques.....	20
1.7.1 Prévisions	20
1.7.2 Observations.....	20
1.8 Aides à la navigation.....	21
1.9 Télécommunications	21
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	21
1.11 Enregistreurs de bord	22
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact.....	24
1.12.1 Examen de la zone.....	24
1.12.2 Examen de l'épave	25
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques.....	26
1.13.1 Commandant de bord	26
1.14 Incendie.....	26
1.15 Survie des occupants	27
1.15.1 Abandon de bord	27
1.15.2 Organisation des secours	27
1.16 Essais et recherches.....	28
1.17 Renseignements sur les organismes.....	29
1.18 Renseignements supplémentaires.....	29
1.18.1 La patrouille Cartouche Doré	29
1.18.2 Vol d'entraînement du 12 mars 2007	31
2 Analyse	32
2.1 Expertises de l'épave.....	33

2.2 Absence de réaction du pilote	34
2.2.1 Absence de manœuvre de survie	34
2.2.2 Absence d'annonce radio	34
2.3 Recherche des causes de l'absence de manœuvre de survie	35
2.3.1 Hypothèse d'une manœuvre intentionnelle	35
2.3.2 Hypothèse d'une illusion sensorielle	35
2.3.3 Hypothèse d'un détournement de l'attention	36
2.3.4 Hypothèse d'une incapacité subite en vol	38
2.3.4.1 Étude du facteur de charge	38
2.3.4.2 Influence du vent sur le niveau de facteur de charge subi par le pilote	41
2.3.4.3 Effet public	42
2.3.4.4 Précurseur du 12 mars 2007	42
2.3.4.5 Tolérance du pilote au facteur de charge	44
2.4 Organisation et fonctionnement de la patrouille	46
2.5 Dispositif général de lutte anti-G dans l'armée de l'air	49
3 Conclusion	52
3.1 Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement	52
3.2 Causes de l'événement	52
4 Recommandations de sécurité	54
4.1 Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	55
4.1.1 Formation des pilotes de voltige aux risques liés au facteur de charge	55
Tous les organismes dotés d'avions ou d'hélicoptères permettant d'obtenir un facteur de charge supérieur à 4 G sont concernés par cette recommandation.	55
4.1.2 Prise en compte du facteur de charge pour la conception des figures de voltige	55
Les organismes dotés d'avions ou d'hélicoptères permettant d'obtenir un facteur de charge supérieur à 4 G sont concernés par cette recommandation.	56
4.1.3 Formation des PN de l'aviation de chasse aux risques liés au facteur de charge	56
Les organismes dotés d'avions ou d'hélicoptères permettant d'obtenir un facteur de charge supérieur à 4 G sont concernés par cette recommandation.	57
4.1.4 Création de la fonction de parrain au sein de la patrouille Cartouche Doré	57
4.1.5 Formation des médecins des bases aux risques liés au facteur de charge	58
Les organismes dotés d'avions ou d'hélicoptères permettant d'obtenir un facteur de charge supérieur à 4 G sont concernés par cette recommandation.	59
4.1.6 Recrutement des équipiers de la patrouille Cartouche Doré	59
4.2 Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	60
4.2.1 Renforcement de la patrouille Cartouche Doré	60
4.2.2 Formalisation du rôle du caméraman	61
4.2.3 Enregistrement de la fréquence interne de la patrouille	61
4.2.4 Pratique spécifique du sport	62
Les organismes dotés d'avions ou d'hélicoptères permettant d'obtenir un facteur de charge supérieur à 4 G sont concernés par cette recommandation.	62
4.2.5 Information sur le jeûne relatif	63
Les organismes dotés d'avions ou d'hélicoptères permettant d'obtenir un facteur de charge supérieur à 4 G sont concernés par cette recommandation.	63
4.2.6 Formation sur les équipements anti-G	63
4.2.7 Enregistrement des paramètres	64
Annexes	65
1 Figures de la présentation	66
2 Cinématique de l'impact	70
3 Moteur et accessoires	72
4 Traduction clinique du facteur de charge	74
5 Variabilité de la tolérance aux accélérations	75
6 Amélioration de la performance grâce aux techniques de protection anti-G	76
BIBLIOGRAPHIE	77

GLOSSAIRE

BEAD-air	Bureau enquêtes accidents défense air
CD	Cartouche Doré
CEAA	Commandement des écoles de l'armée de l'air
CEAT	Centre d'essais aéronautiques de Toulouse
CEPr	Centre d'essais des propulseurs de Saclay
CEV	Centre d'essais en vol
CFIP	Centre de formation des instructeurs pilotes
EADS	European Aeronautic Defence and Space company
ECATS	<i>EADS Cognac Training Services</i>
EPAA	Ecole de Pilotage de l'Armée de l'Air
Ft	<i>Feet</i> Pied (1 ft \approx 0,30 mètre)
Kt	<i>Knots</i> Nœuds (1 kt \approx 1,852 km/h)
LAMAS	Laboratoire de médecine aérospatiale – Centre d'essais en vol
Mhz	Mégahertz
PN	Personnel navigant
SV	Surveillant des vols
VCM	Visite complète moteur
VOR	Radiophare omnidirectionnel
VRH	Vol rectiligne horizontal

SYNOPSIS

- Date de l'événement : 14 mars 2007 à 11h20¹.
- Lieu de l'événement : Base aérienne 709 de Cognac (16).
- Organisme : armée de l'air.
- Commandement organique : Commandement des écoles de l'armée de l'air.
- Unité : EPAA 00315 – Patrouille Cartouche Doré.
- Aéronef : TB 30 Epsilon n°45.
- Nature du vol : entraînement à la présentation aérienne.
- Nombre de personnes à bord : une.

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Durant une séance d'entraînement à la présentation de la patrouille Cartouche Doré, à la verticale du terrain de Cognac, l'équipier n°2 entre en collision avec le sol lors d'une figure appelée « éclatement intermédiaire ».

Après avoir dévié de sa course en interrompant un virage serré réalisé par la gauche dans le plan horizontal à 300 ft²/sol, l'avion, doté d'une légère assiette à piquer, poursuit sa trajectoire et heurte le sol.

Le pilote est retrouvé décédé.

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

² ft: *Feet* - Pied (1 ft ≈ 0,30 m).

Composition du groupe d'enquête technique

- Un enquêteur technique du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air), nommé directeur d'enquête technique.
- Un enquêteur de première information (EPI).
- Un officier pilote ayant une expertise sur TB 30 au sein de la patrouille Cartouche Doré
- Un officier mécanicien ayant une expertise sur TB 30.
- Un médecin du personnel navigant.
- Le médecin chef du CEV et du Laboratoire de Médecine Aérospatiale.
- Un officier parachutiste d'essai.
- Un sous-officier mécanicien expert motoriste sur Lycoming type AEIO 540 L1B5D.
- Un sous-officier mécanicien expert cellule sur TB 30.

Autres experts consultés

- Experts du Centre d'essais aéronautique de Toulouse (CEAT).
- Experts du Centre d'essais des propulseurs de Saclay (CEPr).

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD-air a été alerté par le Bureau de maîtrise des risques de l'EMAA³ vers 13h00 le 14 mars 2007.

Préalertés verbalement par leur commandement respectif en début d'après-midi, les experts membres du groupe d'enquête technique ont eu une confirmation téléphonique du BEAD-air vers 16h00. Il leur a été demandé de se rendre sur place à 17h00, heure d'arrivée du directeur d'enquête technique.

Enquête judiciaire

- Le Parquet d'Angoulême s'est saisi de l'affaire.
- Un officier de police judiciaire de la section judiciaire de la gendarmerie de l'air a été commis.

³ EMMA : Etat-major de l'armée de l'air.

1 RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

1.1.1 Mission

Indicatif mission	<i>Cartouche Doré</i>
Type de vol	COM V ⁴ sans plan de vol
Type de mission	Entraînement à la présentation en vol
Dernier point de départ	Cognac BA 709
Heure de départ	10h59
Point d'atterrissage prévu	Cognac BA 709

1.1.2 Déroulement

1.1.2.1 Préparation du vol

Le 14 mars 2007, les pilotes de la patrouille Cartouche Doré se réunissent, à l'issue du briefing météo (8h15-8h40), et après un passage respectif dans leurs escadrons (8h50-9h15), dans la salle qui leur est attribuée.

Après un travail d'élaboration de leur plaquette Tradition, ils débent le **briefing** de leur mission d'entraînement à 10h00. Sont présents les quatre pilotes de la patrouille, sans autre participant. Comme lors de chaque briefing, la disponibilité des moyens de la plateforme, ainsi que la météo du jour, sont abordées.

La chronologie de la mission est ensuite déroulée : le leader décline à voix haute toutes ses actions et ses annonces ; c'est la **musique**⁵. Elle est étroitement suivie par chaque équipier qui y insère ses propres gestes. En fin de briefing, l'aspect sécurité est abordé.

⁴ COM V : Circulation opérationnelle militaire de type Victor (vol à vue).

⁵ Musique : annonce radio du leader à ses équipiers, qui miment les gestes qu'ils effectuent ensuite en vol, afin de leur permettre de tenir le plus parfaitement possible leur place.

Alors que les pilotes partent aux avions, le surveillant des vols (SV) et le caméraman viennent récupérer les radios et se dirigent vers le point central⁶.

Une délégation d'officiers stagiaires du Collège interarmées de défense assiste, depuis le point central, aux quinze premières minutes de la mission d'entraînement de la patrouille.

1.1.2.2 Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'événement

La séance d'entraînement, dont la durée prévue est de 30 minutes, se décompose en deux présentations en vol complètes, de 13 minutes chacune environ, séparées par un débriefing en vol durant lequel les équipiers et le leader se rassemblent, et opèrent entre eux d'éventuels ajustements.

La patrouille, composée du leader, de l'équipier n°2, et de l'avion n°3 (où ont embarqué le pilote en titre et l'ancien pilote n°2 en transformation), décolle à 10h59. Un premier cycle de présentation est réalisé, déroulant les onze figures programmées (cf. annexe 1 p 66) :

1. Décollage ;
2. virage public ;
3. boucle ;
4. bomba ;
5. percussion ;
6. volute ;
- 7. éclatement intermédiaire ;**
8. barrique ;
9. éclatement colonne ;
10. croisement 2+1 ;
11. éclatement final.

Après le débriefing en vol, la patrouille se représente « en chevron » au dessus du seuil 05 et entame une nouvelle démonstration.

⁶ Point situé dans le prolongement de l'axe de présentation, au milieu de la zone attribuée au public.

1.1.2.3 Reconstitution de la partie significative de la trajectoire du vol

Au cours de l'*éclatement intermédiaire*, commencé par la présentation en chevron de la patrouille, n°2 à droite et n°3 à gauche face au point central symbolisant le public, le leader part dans le plan vertical, pendant que les équipiers n°2 et n°3 se croisent dans le plan horizontal et entament symétriquement un virage serré de 210° avant de se rassembler.

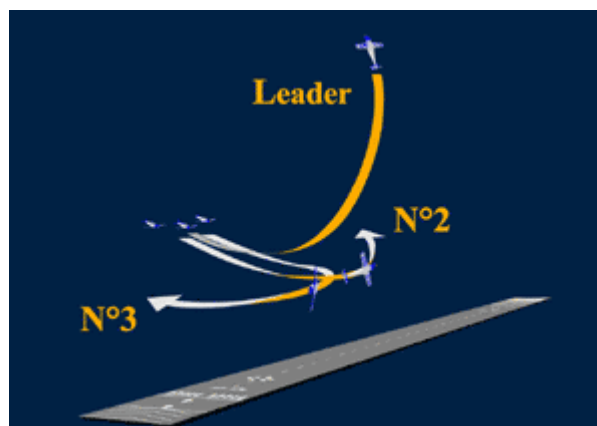


Figure « éclatement intermédiaire »

Le n°2 part donc en virage par la gauche à 190 kt⁷ à 300 ft sol.

Après environ 90°, au lieu de poursuivre son virage, puis de revenir les ailes à plat afin d'entamer son rassemblement, le n°2 reste sur la tranche.

Les témoignages⁸ des contrôleurs aériens et du SV indiquent que l'évolution de l'équipier n°2 se desserre peu à peu, que l'avion dévie progressivement de sa trajectoire et prend une légère assiette à piquer.

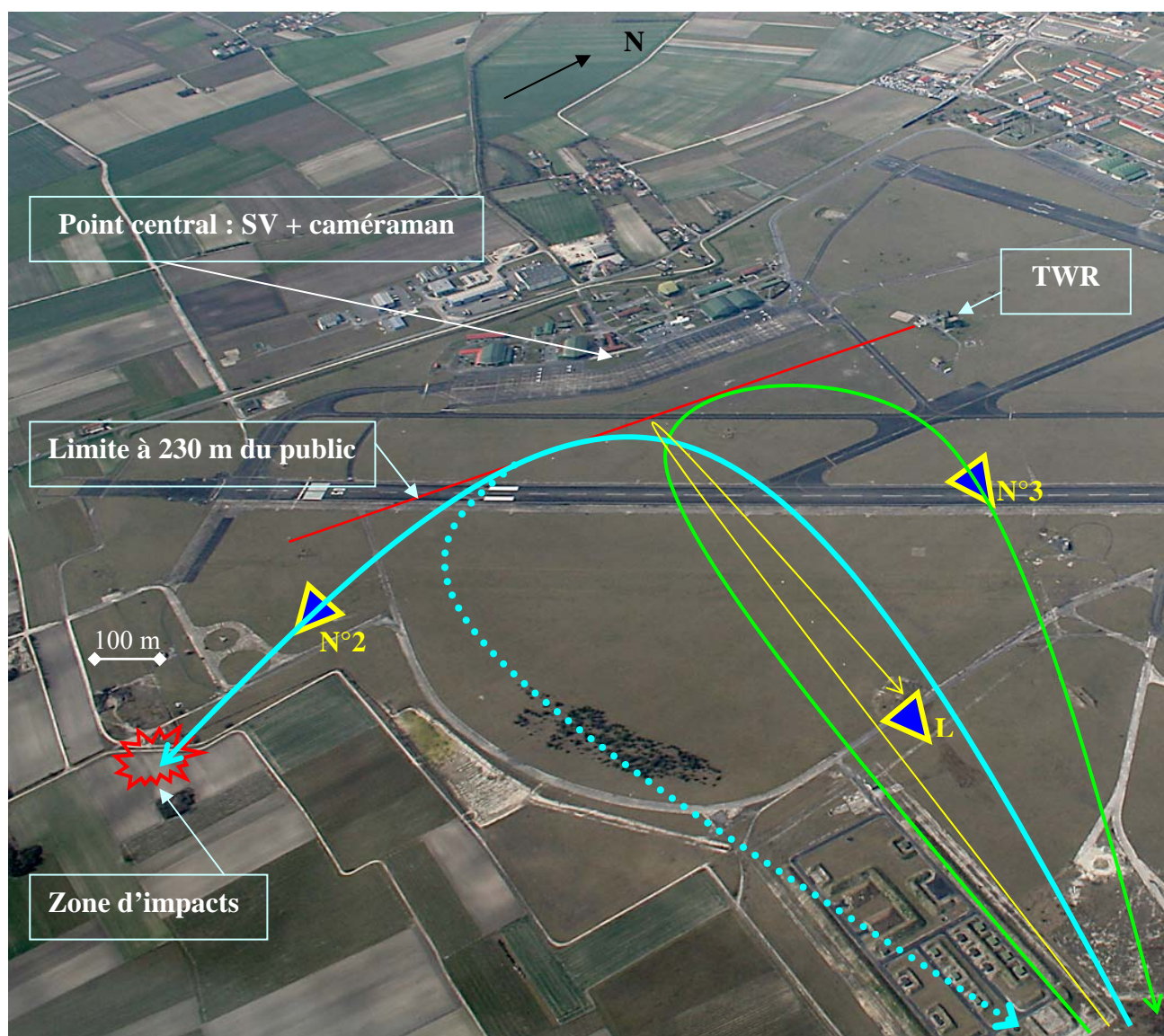
L'avion, toujours sur la tranche, poursuit vers le sol jusqu'à l'impact, sans correction de trajectoire.

⁷ kt: *Knots* - Nœuds (1 kt ≈ 1,852 km/h).

⁸ Les officiers stagiaires du CID, à ce moment de la présentation, n'assistent plus à l'entraînement de la patrouille. Le caméraman, quant à lui, enregistre à cet instant à travers son objectif l'évolution de l'avion n° 3.

L'avion entre en collision avec le sol en limite sud ouest de la base, rebondit sur une bute de gravats en béton et termine sa course dans un champ après avoir arraché une partie de la clôture de l'enceinte militaire.

Les secours sont déclenchés immédiatement. A leur arrivée sur les lieux de l'épave, ils constatent le décès du pilote.



Trajectoires schématisées des avions de la patrouille Cartouche Doré le 14 mars 2007

1.1.3 Localisation

➤ Lieu :

⇒ pays : France ;

⇒ département : Charente ;

⇒ commune : Gente ;

⇒ coordonnées géographiques :

▪ N 45° 38' 40'' ;

▪ E 000° 19'.

⇒ altitude du lieu de l'événement : 100 ft.

➤ Moment : jour.

➤ Aéroport le plus proche au moment de l'événement : Cognac, Chateaubernard.

1.2 Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles	1		
Graves			
Légères / Aucunes			

1.3 Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
TB 30		X		

1.4 Autres dommages

- Une parcelle agricole polluée ;
- une clôture arrachée.

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1 Commandant de bord

- Age : 26 ans.
- Sexe : masculin.
- Unité d'affectation : EPAA⁹ 00 315 :
 - ⇒ fonction dans l'unité : muté à l'EPAA en septembre 2006, en transformation au CFIP¹⁰ jusqu'à fin novembre 2006, puis instructeur au sein du 3^{ème} EIV¹¹, après avoir été affecté initialement dans un autre escadron ;
 - ⇒ sélectionné en décembre 2006 pour intégrer la patrouille Cartouche Doré, il débute l'entraînement effectif en son sein le 11 janvier 2007 en tant qu'équipier n°2, et est lâché comme pilote démonstrateur le 21 février 2007.
- Formation : pilote de chasse :
 - ⇒ qualification : sous chef de patrouille sur Mirage F1 CR, obtenue sur la BA de Reims le 1^{er} septembre 2005 ;
 - ⇒ école de spécialisation : EAC¹² 00 314 ;
 - ⇒ année de sortie d'école : 2002.

⁹ EPAA : Ecole de pilotage de l'armée de l'air.

¹⁰ CFIP : Centre de formation des instructeurs pilotes.

¹¹ EIV : Escadron d'instruction en vol.

¹² EAC : Ecole de l'aviation de chasse.

➤ Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont sur TB 30	Sur tous types	Dont sur TB 30	Sur tous types	Dont sur TB 30
Total	1085h20	99h00	79h10	79h10	13h55	13h55
Dont Cartouche Doré		18h15 hors transits		18h15 hors transits		6h45 hors transits

➤ Date du dernier vol comme pilote : 13 mars 2007.

➤ Carte de circulation aérienne :

⇒ type : carte verte ;

⇒ date d'expiration : 11 janvier 2008.

1.5.2 Autres personnels**1.5.2.1 Leader**

Intégré dans la patrouille Cartouche Doré pour la saison 2002, ce pilote la quitte en 2003 une année pour y revenir en tant que leader à partir de la saison 2005, à l'âge de 32 ans.

➤ Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont sur TB 30	Sur tous types	Dont sur TB 30	Sur tous types	Dont sur TB 30
Total	2766h50	1952h00	70h10	70h10	17h25	17h25
Dont Cartouche Doré		540h00 avec transits		28h40 avec transits		12h40 avec transits

1.5.2.2 Équipier n°3

Ce pilote appartient à la patrouille Cartouche Doré depuis la saison 2004. Il a successivement occupé les fonctions d'équipier n°2 puis d'équipier n°3. Il a 33 ans au moment de l'évènement.

Il forme l'équipier n°2 de la saison 2006 au poste de n°3 pour la future saison 2007.

A ce titre, il est à bord de l'avion n°3 le 14 mars 2007.

➤ Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont sur TB 30	Sur tous types	Dont sur TB 30	Sur tous types	Dont sur TB 30
Total	2850h00	2540h00	92h25	92h25	12h30	12h30
Dont Cartouche Doré		189h00 avec transits		27h00 avec transits		7h50 avec transits

1.5.2.3 Ancien équipier n°2 en transformation

Arrivé au sein de la patrouille pour la saison 2006, ce pilote tient le poste d'équipier n°2 pendant sa première année. Il est en phase de transformation pour la fonction d'équipier n°3 lors de l'évènement.

Il est à ce titre également à bord de l'avion n°3 le 14 mars 2007.

➤ Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont sur TB 30	Sur tous types	Dont sur TB 30	Sur tous types	Dont sur TB 30
Total	1320h00	1054h00	81h30	81h30	12h20	12h20
Dont Cartouche Doré		62h00 hors transits		25h00 hors transits		7h00 hors transits

1.5.2.4 Surveillant des vols

Choisi par le leader de la patrouille parmi les moniteurs de la base aérienne (au rang minimal de sous chef moniteur), le surveillant des vols est amené à fournir un regard extérieur, notamment selon le point de vue du public. Il sert donc à conseiller la patrouille sur le plan esthétique.

En meeting, le surveillant des vols réalise le commentaire des évolutions de la patrouille, et peut s'occuper de la logistique lors des déplacements.

Un rôle de sécurité lui est en principe également attribué, notamment par l'Instruction IV-50 relative aux manifestations aériennes (édition : mars 2004)¹³.

Le surveillant des vols n'assiste cependant pas aux briefings avant vol et après vol de la patrouille.

Souvent, il ne rencontre pas physiquement les membres de la patrouille. Un simple appel téléphonique quelques minutes avant la séance d'entraînement lui permet de confirmer l'horaire de décollage.

Le 14 mars 2007, le surveillant des vols ne parvient pas à identifier tout de suite quel avion a impacté le sol. Il confond les équipiers n°2 et n°3. Il se demande donc s'il y a une ou deux victimes.

¹³ Cf. § 1.17 p 29.

1.5.2.5 Caméraman

Le caméraman enregistre tous les vols de présentation de la patrouille, à l'entraînement ou en meeting. Ces enregistrements, réalisés depuis le point central, servent à reconstituer le point de vue du public. Ils revêtent donc une fonction de contrôle de l'esthétique.

Le caméraman n'assiste pas aux briefings avant vol et après vol de la patrouille.

De même, il rencontre peu, physiquement, les membres de la patrouille. Un simple appel téléphonique quelques minutes avant la séance d'entraînement lui permet de confirmer l'heure de décollage.

1.5.2.6 Parrain

La fonction de parrain, au sens de l'Instruction IV-50 relative aux manifestations aériennes¹³, n'est pas remplie au sein de la patrouille Cartouche Doré.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : Armée de l'air.
- Commandement organique d'appartenance : CEAA.
- Base aérienne de stationnement : BA 709.
- Unité d'affectation : ECATS¹⁴ (*EADS*¹⁵ *Cognac Aviation Training Services*) depuis le 09 janvier 2007.
- Type d'aéronef : TB 30 Epsilon :
 - ⇒ configuration : lisse ;
 - ⇒ armement : néant ;

¹⁴ ECATS: *EADS Cognac Aviation Training Services*.

¹⁵ EADS: *European Aeronautic Defence and Space company*.

⇒ caractéristiques :

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis	Heures de vol depuis
Cellule	TB 30 Epsilon	45	4497h25	GV ¹⁶ : 1344h55	VP ¹⁷ : 401h15
Moteur	Lycoming AEIO-540-L1B5D	23070	698h25	RG ¹⁸ : 698h25	VCM ¹⁹ : 6h20

1.6.1 Maintenance

Depuis le 09 janvier 2007, l'ensemble des opérations de maintenance des avions TB 30 est sous-traité par l'armée de l'air et effectué par la société EADS/SOCATA.

La mise en œuvre en ligne est effectuée par ECATS, qui transfère la maintenance de types NTI 1²⁰, NTI 2 et NTI 3, à EADS/SOCATA.

L'avion n°45 a effectué 30 vols entre le 11 janvier 2007 et le 31 janvier 2007, et n'a fait l'objet que d'un dépassement de facteur de charge supérieur à 5.5 G, dans le cadre d'un entraînement des « Cartouche Doré ».

Le 5 février 2007, il est entré en atelier pour une visite de type VCM²¹ pour le moteur et VIC²² pour la cellule. Ces opérations ont été effectuées sous l'ancien référentiel, conformément à la documentation de l'armée de l'air *GCE 122-05 Révision* d'août 2005.

Les deux opérations notables dans cet entretien ont été :

- la dépose et la repose du moteur après l'échange du bâti, suite à la découverte de criques sur les tulipes droite et gauche (cette anomalie est connue et fait l'objet d'un suivi régulier) ;

¹⁶ GV = grande visite.

¹⁷ VP = visite périodique.

¹⁸ RG = révision générale.

¹⁹ VCM= visite contrôle moteur.

²⁰ NTI 1, NTI 2, NTI 3 : Niveau technique d'intervention.

²¹ VCM : Visite complète moteur.

²² VIC : Visite intermédiaire cellule.

- la dépose et la repose des bielles de commande de profondeur et de direction sous le poste arrière, afin de déposer le support inférieur de siège arrière.

L'avion en était à son septième vol depuis sa remise en vol le 08 mars 2007 à l'issue de son dernier entretien (VCM et VIC).

Cet avion faisait partie des exemplaires retenus pour être démantelé à des fins logistiques. Il lui restait une centaine d'heures de potentiel avant ce démantèlement.

Au final, l'examen de la documentation technique témoigne d'un entretien conforme aux programmes de maintenance en vigueur.

1.6.2 Carburant

- Type de carburant utilisé : AVGAS 100LL / F18.
- Quantité de carburant au décollage : 100 litres²³.
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement : environ 65 litres.

1.7 Conditions météorologiques

1.7.1 Prévisions

Les prévisions météorologiques ont été établies par le service météo de la BA 709 pour la plateforme de Cognac et ses environs. Elles annonçaient des plafonds et des visibilitées suffisantes pour réaliser la mission d'entraînement (CAVOK²⁴).

1.7.2 Observations

Les observations météorologiques ont été recueillies auprès du même service de la BA 709 et font état, à 11h15, d'un vent moyen du 020° pour 7 kt (rafale maximum : 10kt au 050°), sans turbulence, et à 11h25, d'un vent moyen du 030° pour 8kt (rafale maximum : 10kt au 070°), toujours sans turbulence.

Le soleil pouvait voiler légèrement la visibilité face au sud.

²³ Les Cartouche Doré ne décollent qu'avec un plein partiel de 100 litres, au lieu d'un plein complet de 210 litres, afin d'obtenir un rapport poids/puissance plus favorable.

²⁴ CAVOK : Visibilité, nuages et temps présent meilleurs que valeurs ou conditions prescrites.

1.8 Aides à la navigation

Les aides à la navigation utilisables dans cet avion sont un VOR/ILS²⁵ et un TACAN, sans utilité pour ce type de vol.

1.9 Télécommunications

La patrouille Cartouche Doré travaille sur deux fréquences :

- une fréquence VHF²⁶ 123.3 Mhz²⁷ pour les échanges patrouille / contrôleur²⁸ ;
- une fréquence UHF²⁹ 364.5 Mhz pour les échanges internes à la patrouille et SV / patrouille. Il est à noter que la fréquence 364.5 Mhz n'est pas une fréquence habituellement utilisée par le contrôle. De ce fait, elle n'est pas enregistrée par le contrôle local d'aérodrome. Elle a d'ailleurs été choisie pour cette raison.

Au mieux, les conversations sur cette fréquence peuvent être enregistrées sur la bande de la vidéo filmée par le caméraman, au point central, si et seulement si le SV place le haut-parleur de sa radio suffisamment près de la caméra. Cette option est habituellement pratiquée ; cependant, le moindre bruit ambiant (véhicule, vent, conversations...) parasite aussitôt la prise de son.

Le 14 mars 2007, l'enregistrement sonore de la caméra présente une écoute audible, bien que sa qualité, à certains moments relativement médiocre, ne permette pas, même après un traitement du son, d'identifier tous les termes précis employés par la patrouille.

Néanmoins, l'écoute des enregistrements sur chaque fréquence ne laisse apparaître aucune annonce radio, ou tentative d'annonce, de la part du pilote n°2, dès lors que son virage est enclenché.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

Le radar Centaure et le SPAR sont hors service le 14 mars 2007. Le VOR est en maintenance. Ces indisponibilités ne portent pas à conséquence pour ce type de vol.

²⁵ VOR/ILS : Radiophare omnidirectionnel/ *Instrument landing system* - Système d'atterrissage aux instruments.

²⁶ VHF : *Very high frequency* - Très haute fréquence (30 à 300 Mhz).

²⁷ Mhz : Mégahertz.

²⁸ Pour communiquer avec la tour de contrôle, le SV utilise une autre fréquence VHF.

²⁹ UHF : *Ultra high frequency* - Ultra haute fréquence (300 à 3000 Mhz).

Pendant les séances d'entraînement de la patrouille, le volume d'aérodrome est exclusivement consacré à ses évolutions.

Le volume d'évolution de la patrouille est limité par un plafond à 1500 ft et un plancher à 350 ft. Un axe Sud-ouest – Nord-est, passant par la tour de contrôle et le seuil 05, marque la limite infranchissable des 230 mètres de séparation du public.

L'axe d'évolution face au public est matérialisé par un alignement de plots blancs.

1.11 Enregistreurs de bord

- Enregistreurs « d'accidents » (FDR³⁰, CVR³¹ ...) : néant.
- Mémoires statiques (GPS...) : néant.
- Enregistrements vidéo (à bord des aéronefs) : néant.
- Les Cartouche Doré ne disposent en vol d'aucun enregistreur sonore numérique MP3. Ceux-ci ont été retirés de l'activité aérienne de l'école, suite aux pannes récurrentes sur les lecteurs et les cordons.
- Seuls un accélérocompteur et deux indicateurs de facteur de charge (en place avant et en place arrière) équipent les TB 30 :
 - ⇒ l'indicateur de facteur de charge de la place avant est hors service et non exploitable, suite à l'accident ;
 - ⇒ l'indicateur de facteur de charge de la place arrière mentionne une valeur de +5.5 G, avec un maximum dans la zone des 8 G (valeur non corroborée par l'accélérocompteur).

Les accélérocompteurs disposent habituellement d'une bonne fiabilité et peuvent fournir des données stabilisées, même après un accident. En effet, ces appareils ne fonctionnent que s'ils sont alimentés électriquement, et leur principe de fonctionnement par « seuil » empêche tout enregistrement instantané. Cela élimine donc l'enregistrement de l'impact.

³⁰ FDR : *Flight data recorder* - Enregistreur de paramètres de vol.

³¹ CVR : *Cockpit voice recorder* - Enregistreur de voix.

Le relevé de l'accélérocompteur du **TB 30 n°45** est le suivant pour le vol du 14 mars :

G	<-2	[-2,-0.5]	[0.5, 2]	[2, 3.25]	[3.25, 4.5]	[4.5, 5.5]	[5.5, 6.7]	>6.7
Occurrences	0	0	14	36	28	5	2	0

L'accélérocompteur déclenche par seuils. Cela signifie que si le pilote prend 6.6 G, la fenêtre [5.5, 6.7] ne s'incrémentera que lorsqu'il repassera en dessous de 3 G (selon la courbe d'accélération et de comptage de l'enregistreur). Autrement dit, s'il reste sous facteur de charge entre 3 G et 6.6 G, la fenêtre [5.5, 6.7] ne s'incrémentera pas. Le temps passé dans cette phase n'est pas enregistré.

Par ailleurs, le même pilote a utilisé cet avion les 12 et 13 mars 2007 dans le cadre de l'entraînement de la patrouille. Les relevés pour ces deux vols sont les suivants :

G	<-2	[-2,-0.5]	[0.5, 2]	[2, 3.25]	[3.25, 4.5]	[4.5, 5.5]	[5.5, 6.7]	>6.7
12 mars	0	0	13	51	26	5	0	0
13 mars	0	0	14	45	24	8	0	0

A titre de comparaison, le tableau ci-dessous indique les facteurs de charge subis par les deux autres avions au cours de la même mission d'entraînement de la patrouille le 14 mars 2007:

G	<-2	[-2,-0.5]	[0.5, 2]	[2, 3.25]	[3.25, 4.5]	[4.5, 5.5]	[5.5, 6.7]	>6.7
N°3	0	1	19	45	24	6	0	0
Leader	0	1	8	29	10	6	4	0

Les résultats de l'analyse des accélérations enregistrées sont exploités au chapitre 2.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

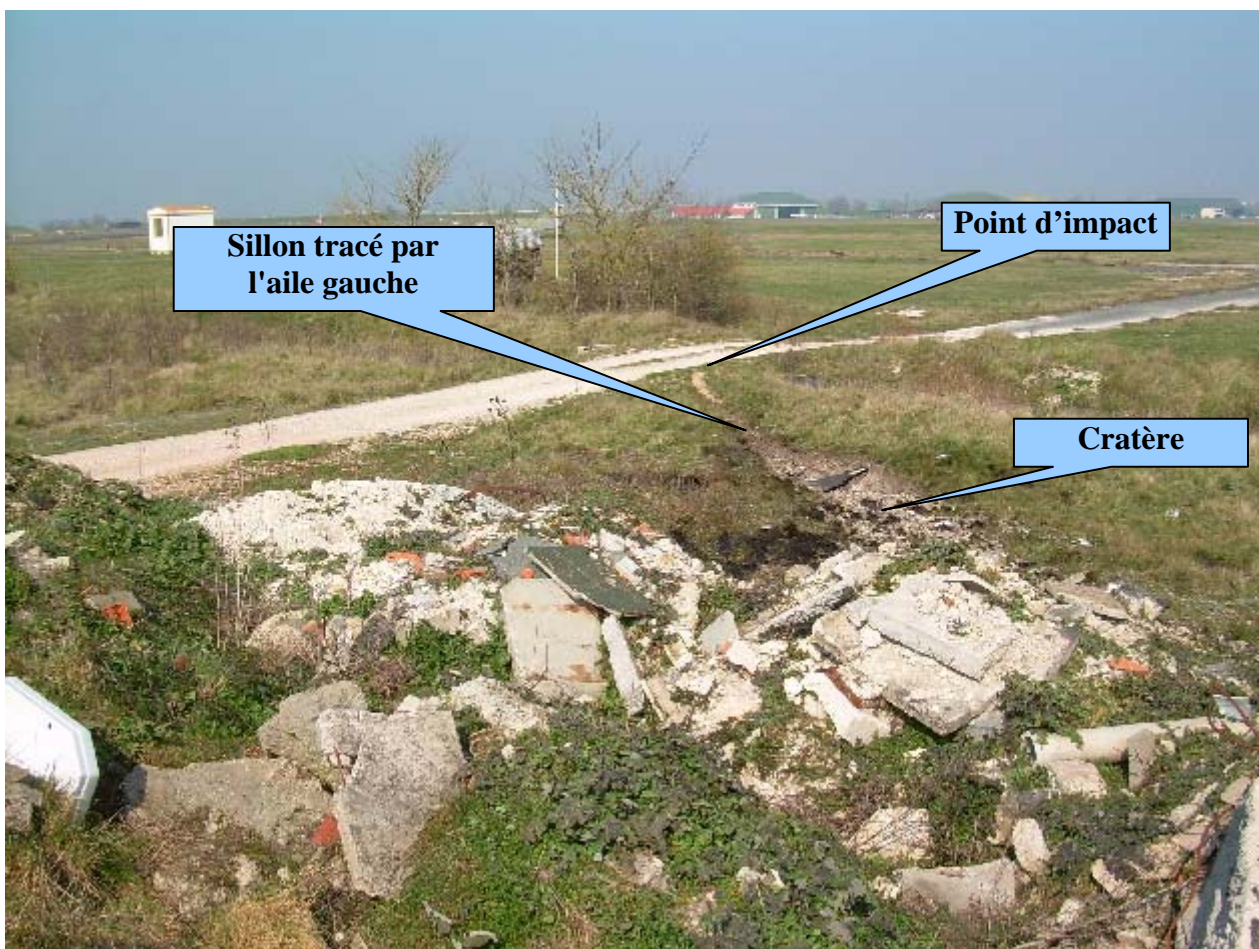
1.12.1 Examen de la zone

L'examen de la zone permet de constater la présence d'un sillon dans le sol, d'une longueur de 18 m environ, aux abords de la périphérie sud de la base aérienne.

Un arbre situé avant le sillon, en amont de la trajectoire, a une branche fraîchement coupée.

La saignée, fine au début et s'élargissant progressivement, suggère que l'avion a impacté le sol en vol sur la tranche, par son aile gauche, et que sa trajectoire légèrement en piqué avait un angle faible. Au bout de ce sillon, on découvre un cratère qui matérialise le point d'impact de l'avant de l'avion après un basculement (cf. annexe 2 p 70).

La trajectoire, après ce basculement, vient buter sur un tas de gravats, haut d'environ 2 m, et constitué d'éléments en béton et en acier.



Zone de l'impact

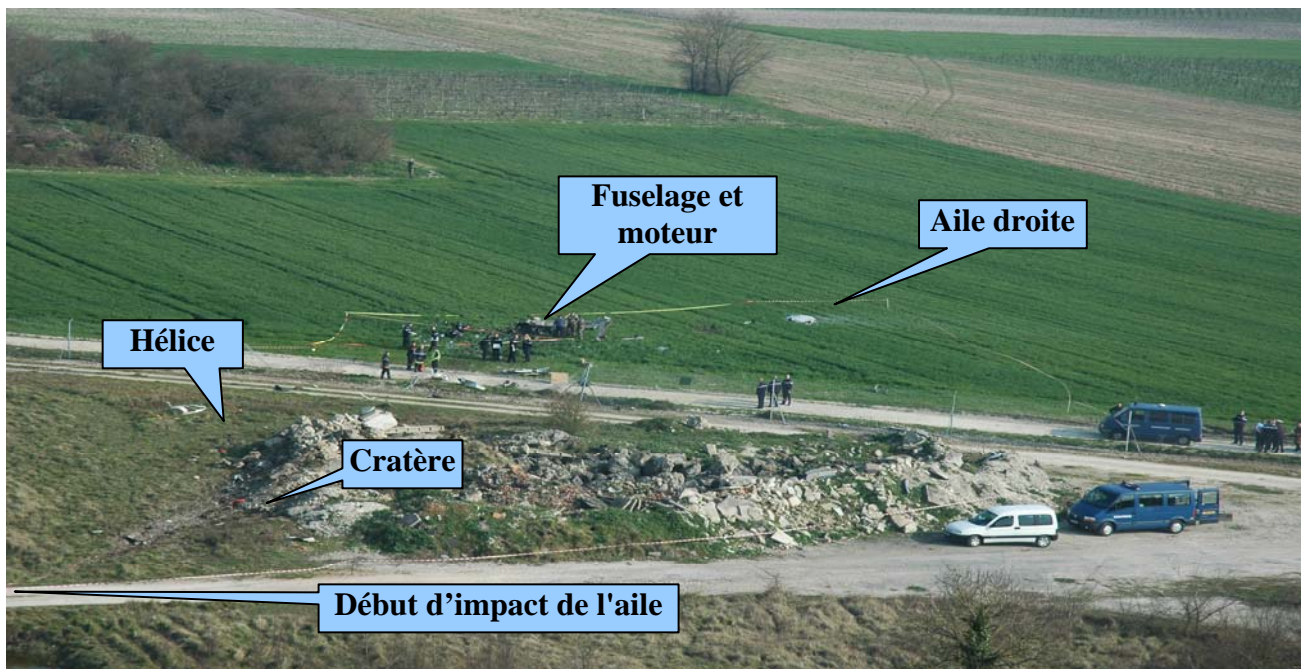
Les traces au sol s'interrompent pour reprendre derrière la bute de gravats, signifiant un rebond.

Au-delà, la clôture d'enceinte de la BA 709 est arrachée et éventrée. On retrouve derrière cette clôture les restes de l'épave.

1.12.2 Examen de l'épave

L'examen de l'épave montre que l'aile gauche est à moitié désintégrée, à partir de son extrémité.

A proximité du cratère, on retrouve des premiers bris de verrière, ainsi que différentes pièces métalliques du moteur et de la cellule.



Zone de l'épave

L'hélice (cf. annexe 3 p 72) est trouvée une quinzaine de mètres plus loin ; puis au delà la dérive, et d'autres morceaux de verrière.

Derrière le monticule de gravats sont retrouvés le démarreur, le régulateur d'hélice et le train d'atterrissage avant.

Au-delà de la clôture éventrée sont identifiées les parties de l'avion les plus volumineuses, mêlées à de multiples fragments éparpillés.

Le plus gros élément est constitué du fuselage, dont la partie avant est enfoncée.

Le moteur est désolidarisé de la cloison pare feu (cf. annexe 3 p 72).

La pièce la plus excentrée est l'aile droite, à 85 m du premier point d'impact, au début du sillon.

L'examen des chaînes pyrotechniques montre que la fragilisation de la verrière avant (celle du pilote) **n'a pas été percutée.**

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1 Commandant de bord

➤ Dernier examen médical :

⇒ type : CEMPN³² ;

⇒ date : 9 novembre 2006 ;

⇒ résultat : apte pilote de chasse, apte moniteur pilote ;

⇒ validité : 12 mois.

➤ Examens biologiques : réalisés lors de l'autopsie à l'institut de médecine légale de Bordeaux, dans le cadre de l'enquête judiciaire. Les recherches toxicologiques ont été faites lors de l'autopsie.

L'ensemble des résultats ne révèle aucune anomalie ;

➤ Blessures : Poly traumatismes, décédé sur le coup ;

➤ Le pilote est arrivé reposé lors de sa prise de service le matin du 14 mars 2007. Il s'est alimenté à son domicile vers 7h30, en prenant, selon témoignage, un petit- déjeuner copieux.

1.14 Incendie

Les expertises n'ont révélé aucune trace d'incendie susceptible de s'être déclaré avant l'impact et l'écrasement au sol.

³² CEMPN : centre d'expertise médicale du personnel navigant.

1.15 Survie des occupants

1.15.1 Abandon de bord

- Évacuation en vol :
 - ⇒ l'appareil ne dispose pas de siège éjectable ;
 - ⇒ il n'existe aucun indice de tentative d'évacuation en vol.
- Données morphologiques :
 - ⇒ taille : 1,80 m ;
 - ⇒ poids : 75 kg.

1.15.2 Organisation des secours

Les pompiers, en place au pied de la tour, sont en écoute radio de la fréquence 123.3 Mhz, patrouille/contrôleur, dans leur véhicule.

A 11h20, le klaxon double, signalant un crash avéré, est déclenché par la tour de contrôle.

Les pompiers obtiennent d'emblée une liberté totale de manœuvre sur la plate-forme et font aussitôt mouvement vers la zone de l'accident.

L'équipe médicale est en même temps alertée. La durée de sa mise en place vers le pied de la tour de contrôle, depuis l'infirmierie, est de deux minutes.

Les pompiers rejoignent le lieu de l'impact en cinq minutes.

Ils sont rejoints aussitôt par l'ambulance médicalisée.

Le médecin de la base constate le décès du pilote.

Des secours extérieurs (médecin pompier civil et SAMU) sont arrivés dans un deuxième temps par la zone publique, alertés par des témoins de l'accident.



Périmètre du sinistre

Aucun retard à la mise en route des secours n'est à signaler.

L'intervention primaire des pompiers sur l'avion et son pilote a été prioritaire.

En l'espèce, la différence de délai de présentation sur le lieu de l'accident entre les moyens pompiers partant de la tour et les moyens médicaux partant de l'infirmerie est de l'ordre de deux minutes. Ce délai très faible suffit juste à assurer la sécurisation de l'épave par les pompiers avant l'intervention médicale.

Il existe, dans les premiers instants suivant l'accident, une incertitude sur le nombre de victimes, car le doute demeure sur l'identification de l'avion accidenté, entre le n°2 et le n°3, qui n'avaient pas le même nombre de personnes à bord.

1.16 Essais et recherches

Une autopsie a été réalisée le 15 mars 2007 à 10h00 à l'institut de médecine légale de Bordeaux.

Afin d'obtenir éventuellement des informations sur les facteurs ayant pu favoriser l'accident, des prélèvements biologiques (notamment pour des recherches toxicologiques), et des analyses de tissus ont été effectués.

1.17 Renseignements sur les organismes

L'armée de l'air est dotée d'une réglementation qui définit la mission, la subordination et l'emploi des formations désignées pour réaliser les manifestations aériennes.

L'**Instruction IV-50 relative aux manifestations aériennes (édition : mars 2004)** aborde à ce titre les principes et les règles de préservation de la sécurité des vols, requis pour garantir, à l'entraînement comme à l'occasion des manifestations aériennes, la sécurité des spectateurs, l'intégrité des équipages et la conservation des matériels.

Cette instruction détermine, pour chaque échelon concerné et pour chaque patrouille en charge de présentations, le rôle précis des acteurs impliqués dans cette mission de promotion de l'image.

Pour ce qui concerne la patrouille des Cartouche Doré, l'Instruction IV-50 précise que l'unité est placée sous le commandement du **leader**, qui relève lui-même directement du commandant de l'EPAA. Le leader assure l'instruction des pilotes au sol et en vol, et conduit l'entraînement aérien.

L'Instruction IV-50 détaille également le rôle du **parrain**, chargé du conseil pour l'établissement du programme, de la formation pratique initiale en place arrière, et, au sol, « **du contrôle de l'intégralité des vols d'entraînement** ». Il doit tenir pendant cette phase le rôle de surveillant des vols.

Le **surveillant des vols** est enfin chargé, selon les termes de cette même instruction, du conseil et du contrôle de l'exécution des vols sur le plan technique.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 La patrouille Cartouche Doré

Tous les pilotes qui composent la patrouille sont des pilotes de chasse, affectés à l'EPAA de Cognac en tant que **moniteurs**.

Ils se divisent en deux catégories, les permanents de l'école et les pilotes en parrainage. Les permanents ont quitté définitivement la carrière opérationnelle, et se consacrent à l'instruction. Les parrainés, quant à eux, quittent momentanément leur unité opérationnelle, pour se consacrer pendant deux ans à la formation de base des futurs pilotes de l'armée de l'air.

Assurant des évolutions à trois avions, la patrouille Cartouche Doré s'appuyait jusqu'au 20 mai 2003, date de l'accident mortel d'un équipier lors d'un vol d'instruction à Cognac, sur une ressource de **cinq pilotes** formés.

L'un des deux pilotes au sol tenait alors le rôle de surveillant des vols. L'autre apportait une marge de gestion supplémentaire pour la mission d'instruction, pour toute mission extérieure à la patrouille, ou pour faciliter la prise d'une permission par un équipier.

Cet effectif s'accompagnait alors d'une plus grande polyvalence des membres de la patrouille pendant une même saison.

Depuis mai 2003, l'effectif de la patrouille est resté à **quatre pilotes**.

Ces quatre moniteurs sont répartis dans les différents escadrons de l'école de pilotage de l'armée de l'air, pour partager et restreindre le poids du déficit en personnel moniteur occasionné par l'activité de la patrouille. Cette mission de présentation, qui vient s'ajouter à l'activité principale de l'école, est parfois ressentie comme une pénalité, source de complications, par certains commandants d'unité d'instruction.

Les équipiers des Cartouche Doré organisent leur entraînement, assurent, en coordination avec l'ensemble de leurs partenaires, la gestion de leur calendrier de prestations, et doivent également assumer l'administration générale de l'unité. Il n'existe pas de personnel complémentaire, dédié à une tâche de secrétariat, attaché à l'équipe.

L'intégration de nouveaux membres est réalisée, sur la base d'un volontariat recherché parmi les moniteurs des escadrons de l'école, au travers d'une évaluation de la motivation et des capacités en vol. Après consultation du leader de la patrouille, le commandant de l'école désigne la nouvelle recrue.

Pour sa mission d'entraînement, la patrouille ne dispose pas d'avion spécifiquement dédié.

1.18.2 Vol d'entraînement du 12 mars 2007

L'avant-veille de l'accident est réalisée une séance d'entraînement comportant un cycle de présentation complet. Lors de la figure *éclatement intermédiaire*, le pilote de l'avion n°2, dans son virage, desserre nettement et involontairement sa trajectoire.

Clairement en dehors du volume prévu de l'évolution, il lui faut un certain temps avant de pouvoir rallier la formation.

Au leader l'interrogeant sur son problème, il répond, apparemment gêné, qu'il vient de subir un « **voile gris** ».

2 ANALYSE

L'accident aérien survenu le 14 mars 2007 se traduit par la collision avec le sol du TB 30 de l'équipier n° 2 de la patrouille Cartouche Doré lors d'un virage serré par la gauche dans le plan horizontal à 300 ft/sol. Suivant une trajectoire dotée d'une légère assiette à piquer, l'avion percute le sol sans manœuvre de correction.

L'analyse consistera donc :

- à vérifier d'abord que l'endommagement constaté des organes de l'avion nécessaires au vol est consécutif à l'écrasement au sol, et notamment :
 - ⇒ que le moteur était en fonctionnement et entraînait correctement l'hélice lors de l'impact ;
 - ⇒ qu'aucune discontinuité des commandes de vol n'a pu survenir avant l'impact au sol.
- à rechercher ensuite les causes de l'absence de manœuvre de survie de la part du pilote à travers :
 - ⇒ l'hypothèse d'une illusion sensorielle ou d'une action inadaptée de pilotage ;
 - ⇒ l'hypothèse d'une incapacité subite ;
 - ⇒ plus spécifiquement, l'hypothèse d'une perte de conscience sous facteur de charge.
- à examiner sur le plan de la sécurité des vols l'organisation et le fonctionnement de la patrouille Cartouche Doré ;
- à étudier enfin le dispositif global de la lutte anti-G au sein de l'armée de l'air.

2.1 Expertises de l'épave

L'épave du TB 30 Epsilon n° 45 a été expertisée par deux centres spécialisés de la délégation générale pour l'armement :

- D'une part, le CEPr de Saclay (91) a analysé :
 - ⇒ le moteur Lycoming AEIO-540-L1B5D n° 23070 ;
 - ⇒ ses organes, accessoires et équipements ;
 - ⇒ l'hélice ;
 - ⇒ certains indicateurs paramètres moteur ;
 - ⇒ les voyants du tableau de pannes ;
 - ⇒ les accélérocompteurs avant et arrière ;
 - ⇒ divers fluides.
- D'autre part, le CEAT a expertisé la cellule, constituée par les éléments de fuselage et de commandes de vol. Cette expertise a concerné les commandes de gauchissement, de direction, de profondeur, et des volets.

Le CEPr a conclu que **le moteur entraînait correctement l'hélice lors de l'impact.**

Le CEAT n'a décelé **aucune discontinuité, antérieure à l'impact, dans les commandes de vol** de l'Epsilon.

Ces conclusions confirment à la fois les témoignages recueillis par le groupe d'enquête dans les heures suivant l'évènement auprès des personnes présentes lors de l'accident, et l'enregistrement vidéo et audio de la partie significative du vol le précédant. Aucun témoin ne fait état d'un bruit insolite, d'une fumée, ou de tout autre élément inhabituel, indice direct ou indirect de dysfonctionnement mécanique.

En conséquence :

L'hypothèse que les organes nécessaires au vol aient été endommagés avant l'impact avec le sol est REJETEE.

2.2 Absence de réaction du pilote

La position de l'avion qui reste sur la tranche jusqu'à l'impact peut évoquer un éventuel blocage de commande, notamment sur la chaîne de gauchissement et/ou de profondeur.

Dans un tel cas, la réaction spontanée et immédiate du pilote est d'effectuer une manœuvre de survie.

En effet, les conséquences d'un blocage des commandes de vol peuvent être réduites et la trajectoire partiellement récupérée grâce à une action sur la chaîne de direction, à moins que celle-ci ne soit également touchée.

2.2.1 Absence de manœuvre de survie

L'expertise de l'épave permet d'affirmer que la chaîne pyrotechnique de fragilisation de la verrière avant n'a pas été percutée. Compte tenu de la hauteur de l'évolution, une telle manœuvre, sans gain d'altitude, n'aurait été de toute façon guère pertinente.

De plus, alors que l'avion est sur la tranche sur une trajectoire légèrement à piquer, **aucune évolution d'assiette ni aucun changement de trajectoire n'est observé.**

Comme en témoigne la typologie des traces au sol, le pilote n'entame aucune manœuvre de correction qui puisse éviter l'écrasement imminent au sol.

2.2.2 Absence d'annonce radio

A cette absence de manœuvre de survie s'ajoute le fait qu'aucune annonce radio n'est effectuée par le pilote, sur aucune des deux fréquences ouvertes pour l'exercice.

Ni les personnes en écoute radio, ni les enregistrements audio ne fournissent la moindre trace, à cet instant, d'une annonce radio de la part du pilote. En cas de blocage de commande, le pilote aurait eu le temps de faire une annonce radio.

En conséquence :

L'hypothèse que le pilote ait été subitement confronté à un blocage d'une ou plusieurs commandes de vol est rejetée.

Au regard des expertises techniques, des enregistrements et des témoignages, l'hypothèse que le pilote n'ait effectué aucune manœuvre de survie est CERTAINE.

2.3 Recherche des causes de l'absence de manœuvre de survie

Plusieurs pistes peuvent être suivies pour expliquer l'absence de réaction du pilote avant l'impact au sol :

2.3.1 Hypothèse d'une manœuvre intentionnelle

L'hypothèse de la manœuvre intentionnelle, à la lumière de tous les témoignages recueillis, est aisément réfutable. L'enquête, menée dans son environnement familial et sur son lieu de travail, fournit de nombreuses illustrations d'une intégration réussie dans la région, sur la base aérienne, de projets personnels et familiaux en cours, et d'un investissement professionnel valorisé par l'accès récent à la patrouille Cartouche Doré.

L'hypothèse d'une manœuvre intentionnelle est REJETEE.

2.3.2 Hypothèse d'une illusion sensorielle

L'hypothèse d'une illusion sensorielle intervenant à ce moment de la présentation mérite d'être étudiée.

De plusieurs types, les illusions sensorielles sont le fruit d'une mauvaise perception ou d'une interprétation par le cerveau des informations transmises par différents capteurs. Il en résulte une représentation erronée de l'espace et de notre position dans celui-ci. Dans la vie courante, le capteur d'orientation le plus puissant est la vue, complété par d'autres comme l'oreille interne ou les capteurs proprioceptifs (tendineux, musculaires, cutanés) qui eux aussi renseignent sur la position du corps et sur l'espace dans lequel il évolue.

La météorologie ce jour-là offre une visibilité satisfaisante. L'aspect légèrement brumeux n'occasionne aucune gêne pour la vision du sol et de l'horizon.

L'inclinaison en virage gauche de l'avion fait que **l'image du sol occupe une surface importante du champ visuel** offert par la verrière. Le sol est donc un repère stable parfaitement visible dans les conditions de vol du 14 mars 2007.

Du fait de l'importance majeure de la vision par rapport aux autres capteurs, on peut ici exclure les illusions sensorielles connues en vol sans visibilité ayant pour origine l'oreille interne (vestibule et appareil otolithique). Restent les illusions visuelles pures :

- les erreurs d'appréciation du relief, connues lors du vol en montagne ;
- les illusions de perspective, connues à l'atterrissage lorsque le seuil de piste est situé au bout d'un terrain montant ou descendant ;
- les illusions d'horizon, connues lorsque l'on vole à la limite d'une couche de nuages inclinée qui fausse le repère d'horizontalité et donne une désorientation visuelle en roulis.

Ces illusions visuelles ne peuvent être mises en cause dans cet accident, car les éléments nécessaires pour les créer ne sont pas présents dans cette phase du vol.

Par ailleurs, l'apparition d'une illusion sensorielle en vol induit le plus souvent une tentative de modification de la trajectoire, en accord avec l'illusion perçue. Or on n'enregistre précisément **aucun changement d'attitude de l'avion** dans les dernières secondes du vol.

L'ensemble de ces éléments permet d'exclure ici l'hypothèse d'une illusion sensorielle jugulant toute réaction du pilote.

L'hypothèse d'une illusion sensorielle empêchant le pilote de réagir est REJETEE.

2.3.3 Hypothèse d'un détournement de l'attention

L'hypothèse d'un détournement de l'attention peut également être analysée.

L'attitude observée de l'avion pourrait être en effet compatible avec un pilotage figé, dû à une fixation de l'attention du pilote sur une tâche qui ne permettrait pas d'assurer une

surveillance attentive du sol, et donc de détecter son rapprochement. On peut imaginer le pilote regarder en l'air pour retrouver l'emplacement du leader à la sortie de la figure et effectuer le rassemblement. Une difficulté de plusieurs secondes à les visualiser pourrait expliquer qu'il s'inscrive progressivement sur une trajectoire descendante et touche le sol sans s'en rendre compte.

Or cette hypothèse implique une fixation de l'attention de plusieurs secondes, sans contrôle de l'altitude, paramètre vital dans l'activité de voltige.

La tendance naturelle lorsqu'on recherche des équipiers qui évoluent au dessus de l'avion consiste par ailleurs à tirer sur le manche pour relever le nez de l'avion, plutôt qu'à le laisser descendre. Cette action aurait fermé un peu plus le virage, contrairement à la trajectoire observée.

Comme l'explique déjà le paragraphe précédent, le sol est à cet instant de la présentation omniprésent dans le champ visuel, notamment quand on regarde vers le leader, soit vers l'intérieur du virage. Son rapprochement dangereux était donc **parfaitement détectable**.

La recherche du positionnement du leader est réalisée par ailleurs habituellement en seconde partie de virage, après au moins 130° de virage, non à 90° de virage.

Enfin, par convention interne à la patrouille, la perte de visuel d'un équipier entraîne couramment l'annonce « *blind* » à la radio, pour permettre un repérage et un guidage facile. Or aucune communication n'est réalisée à ce moment-là.

L'ensemble de ces éléments permet d'exclure ici l'hypothèse d'un détournement de l'attention empêchant toute réaction du pilote.

L'hypothèse d'un détournement de l'attention empêchant l'alerte du pilote face au rapprochement du sol est REJETEE.

2.3.4 Hypothèse d'une incapacité subite en vol

L'hypothèse d'une incapacité subite en vol doit enfin être examinée.

Plusieurs types d'incapacité peuvent intervenir brutalement. L'autopsie n'a pas permis de mettre en évidence une cause pathologique particulière.

La trajectoire de l'avion évoque toutefois la possibilité d'une incapacité subite du pilote. L'absence de réaction aux commandes pour redresser la course de l'aéronef et l'absence de communication radio conduisent à étudier cette hypothèse dans le détail :

2.3.4.1 Étude du facteur de charge

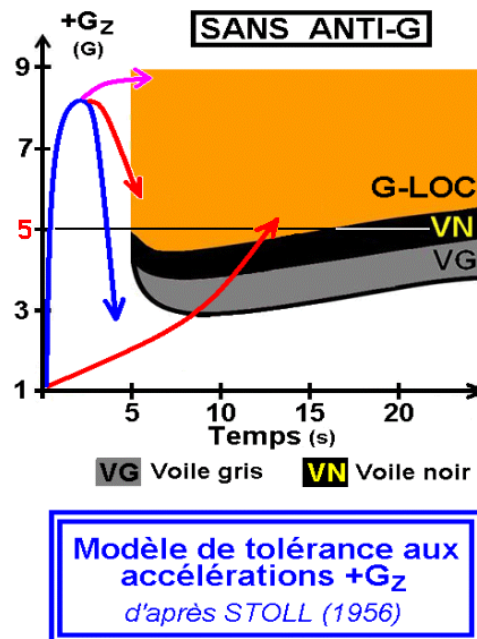
L'analyse de la figure *éclatement intermédiaire* et des conditions de sa réalisation le 14 mars 2007 permet de préciser le type d'incapacité subite survenue en vol ce jour-là :

Lors de la figure *éclatement intermédiaire*, l'équipier n°2 doit réaliser un virage serré par la gauche qui induit **un facteur de charge supérieur à 5 G**.

Le « Jolt » de cette manœuvre, c'est-à-dire la vitesse à laquelle s'installe ce facteur de charge (G/seconde) est lui-même très rapide, car la mise en accélération jusqu'à un facteur de charge supérieur à 5 G dure environ une seconde.

Ce facteur de charge supérieur à 5 G est maintenu près de **sept secondes**, avant la remise à plat de l'avion et la sortie de virage.

Ce rapport facteur de charge/durée doit être examiné à l'aune du modèle de Stoll, qui offre une représentation schématique de la tolérance humaine aux accélérations positives (+Gz) :



L'analyse du diagramme de Stoll indique qu'une mise en accélération rapide, et soutenue plus de cinq secondes, conduit **directement** le pilote de l'état d'éveil à celui de perte de conscience, ou *G-LOC*³³ (zone orange du graphe), sans passer par les signes annonciateurs de type « voile gris » (zone grise) ou « voile noir » (zone noire).

Si l'accélération est réalisée trop rapidement, elle ne permet pas d'adaptation cardiovasculaire réflexe, et le pilote rentre directement dans un état de perte de conscience.

Ce type d'accélération est responsable du déplacement d'une certaine quantité de sang vers les jambes et de la baisse de la pression sanguine entre le cœur et le cerveau.

Plus le facteur de charge est élevé, plus la pression de perfusion cérébrale diminue. Cette baisse se fait sentir en premier lieu au niveau de l'œil, induisant des troubles visuels de type « voile gris » (réduction du champ visuel, altération de la vision des couleurs), puis « voile noir » (perte de la vision), avant de provoquer un *G-LOC* par défaut d'oxygénation cérébrale. Ces signes sont souvent retardés de quelques secondes par rapport au moment de l'application des forces d'inertie.

³³ *G-induced loss of consciousness* : perte de conscience induite par le facteur de charge.

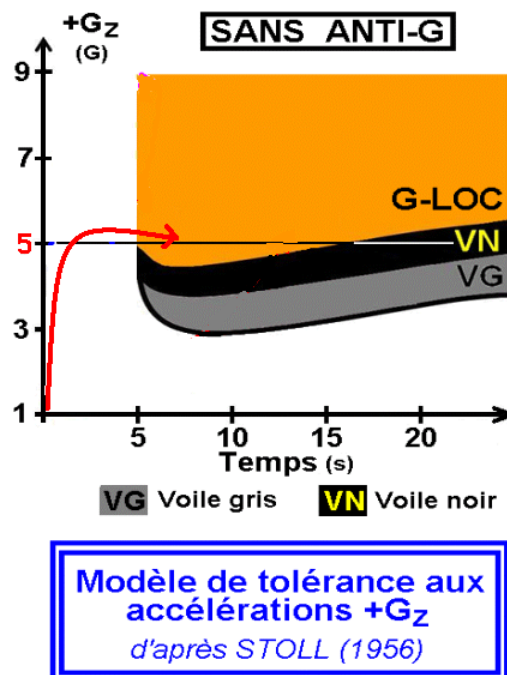
Cela correspond à la réserve du tissu cérébral en oxygène qui peuvent permettre à l'œil et au cerveau de fonctionner entre 4 et 5 secondes sans apport sanguin.

La durée de la perte de conscience est d'au minimum 5 secondes (en moyenne 16 secondes) si l'accélération s'arrête, mais il s'ensuit une période d'incapacité relative (en moyenne 15 secondes) rendant difficile tout pilotage.

Il est par ailleurs important de souligner que ces valeurs s'associent à des **variables** susceptibles de **modifier les limites des zones** orange, noire et grise du diagramme de Stoll.

En effet, d'une personne à l'autre, et, pour une même personne, d'un moment à l'autre, en fonction de son état de fatigue, de son alimentation, ou de son stress, la **tolérance** intrinsèque au facteur de charge est très **variable**. Une perte de conscience est possible dès 3 G chez certaines personnes, alors que d'autres résisteront à 8 G. Un même pilote peut perdre conscience dès 5 G à une certaine heure de la journée, alors qu'il supportera 7 G à un autre moment.

Le 14 mars 2007, l'équipier n°2 subit donc un facteur de charge dont le profil schématique le conduit d'emblée dans la zone théorique de G-LOC :



Les équipiers de la patrouille Cartouche Doré relatent tous l'apparition régulière de « voiles gris » lors de leur présentation, et notamment durant la figure *éclatement intermédiaire*. Cet exercice est donc **situé structurellement au sein de la zone théorique d'apparition du phénomène du G-LOC**.

Par conception, le ralliement rapide des équipiers à l'issue de cet éclatement implique de serrer fortement le virage, ce qui génère un facteur de charge élevé.

L'hypothèse qu'une incapacité subite en vol ait concourue aux causes de l'accident est RETENUE.

L'hypothèse que l'installation brusque d'un facteur de charge supérieur à 5 G, et son maintien pendant plus de 5 s, soient à l'origine de cette incapacité subite, est également RETENUE.

Par ailleurs, les conditions particulières de réalisation de la figure le 14 mars 2007, notamment au plan aérologique, peuvent avoir aggravé l'exposition du pilote au facteur de charge.

2.3.4.2 Influence du vent sur le niveau de facteur de charge subi par le pilote

L'axe de présentation de la patrouille est orienté au 285°. Après un virage par la gauche, le cap diminue pour atteindre une sortie au 105°. Le 14 mars 2007, le **vent moyen** (7 à 8 kt) est **du 025°** à l'heure de l'accident, avec des **rafales** maximales (10 kt) **du 060°**.

Ce vent rentrant, par rapport à la trajectoire du virage, a pour effet direct de pousser l'avion dès l'amorce de la figure. Sans correction, l'équipier n°2 dépasserait la limite des 230 m du public et ne pourrait respecter la symétrie de sa trajectoire par rapport à celle du n°3 qui, lui, vire face au vent.

Cette orientation du vent a donc pour effet de contraindre l'équipier n°2 à serrer davantage son virage et, partant, de lui faire subir **un facteur de charge supérieur**.

A l'inverse, l'équipier n°3, dans ces circonstances aérologiques, bénéficie de l'effet du vent.

L'hypothèse que l'action correctrice du pilote par rapport au vent ait eu une influence sur l'accroissement du facteur de charge subi est CERTAINE.

2.3.4.3 Effet public

Une délégation du Collège interarmées de défense a assisté aux quinze premières minutes de l'entraînement de la patrouille. Les pilotes étaient informés de la présence de ce public et n'ont pas forcément constaté le départ de la délégation au cours du vol.

L'hypothèse que l'équipier n°2 ait voulu forcer ses propres capacités sous l'influence de la présence éventuelle d'un public est POSSIBLE.

2.3.4.4 Précurseur du 12 mars 2007

Deux jours avant l'accident, la patrouille Cartouche Doré réalise un entraînement correspondant à un cycle de présentation-type complet. Lors de la figure *éclatement intermédiaire*, l'équipier n°2, dans son virage, desserre nettement et involontairement sa trajectoire.

Comme il a nettement dépassé les limites du volume prévu de l'évolution, il se retrouve bien trop au sud de la position normale et il a besoin de plusieurs dizaines de secondes supplémentaires pour pouvoir récupérer la bonne trajectoire et rallier la formation.

Au leader l'interrogeant sur son problème, il répond, manifestement embarrassé, qu'il vient de subir un « **voile gris** ».

Or le *voile gris* est un phénomène courant et connu par les pilotes. C'est même un indicateur utile permettant de gérer le dosage de l'accélération.

Le *voile noir* lui-même est utilisé par certains pilotes, de manière plus périlleuse, comme une aide au pilotage, en périphérie du « domaine de G-LOC ».

Il est donc peu vraisemblable qu'un simple voile gris qui, rappelons-le, n'est qu'un trouble de la vue se manifestant le plus souvent par une réduction du champ visuel, ait pu générer à la fois un tel écart de trajectoire et un tel désarroi chez le pilote.

Il semblerait plutôt que le pilote ait traversé une phase de vol pendant laquelle il s'est retrouvé un court instant dans l'incapacité de piloter avec suffisamment de clarté pour suivre au moins approximativement la trajectoire prévue.

Un mécanisme physiologique, encore peu connu au sein de la communauté aéronautique, pourrait rendre compte de l'incident du 12 mars 2007 : dans le continuum reliant l'état de conscience à celui de G-LOC, il est possible d'isoler un stade particulier, correspondant à une certaine forme d'intolérance au facteur de charge, appelée **A-LOC**³⁴.

Cet état se caractérise par une sidération complète avec impossibilité de toute action perceptive et motrice, pouvant durer de une à quelques secondes (le phénomène ne durerait pas plus de 5 s, au regard des observations enregistrées au LAMAS). Généralement le sujet reste complètement immobile et fixe sur le siège, incapable de toute réaction.

Contrairement au G-LOC, ce phénomène, à la diminution du niveau de facteur de charge, ne serait pas suivi d'une période d'incapacité relative interdisant le pilotage pendant 15 s supplémentaires.

Le 12 mars 2007, l'incident que connaît la patrouille Cartouche Doré ne correspond pas au simple phénomène d'un *voile gris* subi par l'équipier n°2. Le trouble - d'abord physiologique, puis psychologique - enregistré par ce pilote lors de la figure *éclatement intermédiaire*, et la difficulté qu'il éprouve à l'exécuter, constituent un véritable **précurseur** à l'accident mortel du surlendemain.

L'identification de ce précurseur, et son traitement par la patrouille, n'ont pas eu lieu. Ce précurseur n'a pas permis d'éviter l'accident.

L'incident de l'avant-veille est un précurseur non identifié par la patrouille.

³⁴ *Almost loss of consciousness* : quasi perte de conscience.

2.3.4.5 Tolérance du pilote au facteur de charge

La tolérance au facteur de charge est très variable d'une personne à l'autre, et peut fluctuer de manière importante en fonction du niveau de fatigue et des affections médico-physiologiques intercurrentes.

En l'occurrence, le pilote présentait au matin du 14 mars 2007, selon l'ensemble des témoignages collectés auprès de son entourage professionnel et familial, un état de repos et d'alimentation satisfaisant.

L'analyse des accélérocompteurs montre toutefois que la charge de fatigue induite par la seule activité d'entraînement de la patrouille est particulièrement lourde. Alors que **les pilotes d'Epsilon ne disposent d'aucune protection anti-G**, le nombre des **accélérations supérieures à 3.25 G, jusqu'à 6 à 7 G**, (sans même inclure aucune notion de durée) dépasse la **trentaine** par période de 30 min. Contrairement à l'idée répandue selon laquelle un vol en TB 30 expose peu le pilote au facteur de charge, l'exercice est à l'évidence fatiguant et produit inévitablement un effet physiologique délétère.

A titre de comparaison, les accélérations supportées par les avions de la Patrouille de France durant une séance d'entraînement sont assez voisines³⁵.

Or, pour des contraintes d'accélération plus favorables, les équipiers de la PAF³⁶ bénéficient sur Alphajet d'un équipement anti-G et d'un siège plus incliné. Les pilotes des Cartouche Doré, quant à eux, sont démunis de pantalon anti-G, reposent sur un siège moins incliné, et apparaissent donc de manière flagrante, bien que contre-intuitive, **à la fois les plus exposés et les plus vulnérables au risque de perte de conscience**. Les limites de la zone théorique de G-LOC sont alors, sans protection anti-G, beaucoup plus pénalisantes.

Par ailleurs il demeure peu d'éléments pouvant renseigner sur la tolérance individuelle intrinsèque de ce pilote au facteur de charge.

³⁵ Les avions extérieurs de la PAF, qui subissent le facteur de charge le plus élevé lors d'une présentation, sont soumis à des accélérations de 6 à 7 G au maximum, pendant des durées allant de 4 à 5 s, soit la même valeur d'accélération maximale, mais maintenue sur une durée plus courte que celle éprouvée par la patrouille Cartouche Doré. Sur le plan de la tolérance aux G, le profil de la PAF est donc finalement moins pénalisant que celui des CD.

³⁶ PAF : Patrouille de France.

N'étant jamais passé en centrifugeuse, ce pilote, issu d'un escadron de reconnaissance sur Mirage F1, a globalement été **peu confronté à des manœuvres impliquant de forts et brusques facteurs de charge.**

Doté d'une expérience modeste du vol sous facteur de charge, il est lâché au sein de l'EPAA comme pilote démonstrateur trois semaines avant l'accident et totalise alors trente-trois séances d'entraînement avec la patrouille Cartouche Doré, soit 18h15 de vol.

Sans être un témoignage incontestable d'une intolérance au facteur de charge, le précurseur du 12 mars 2007 survenu lors de la présentation reflète peut-être une faible tolérance physiologique du pilote aux accélérations.

L'hypothèse que le pilote présentait une faible tolérance individuelle au facteur de charge est POSSIBLE.

Son expérience globale, comme son expérience spécifique au vol sous facteur de charge, demeure dans tous les cas insuffisante pour une mission nécessitant un niveau de maîtrise élevé.

En conclusion :

- ❖ **L'hypothèse qu'une incapacité subite en vol empêche le pilote d'effectuer toute manoeuvre de survie est CERTAINE.**
- ❖ **L'hypothèse qu'une perte de conscience, due à l'installation brusque d'un facteur de charge supérieur à 5 G et à son maintien pendant plus de 5 s, génère cette incapacité subite, est également CERTAINE.**
- ❖ **Le précurseur que constitue l'incident de l'avant-veille n'a pas été identifié comme tel par la patrouille.**

Cet incident représente une occasion perdue de prévention d'un accident, dont les germes sont présents d'abord dans l'**organisation** et le **fonctionnement interne** de la patrouille, ensuite dans le **dispositif global de lutte anti-G** de l'armée de l'air.

2.4 Organisation et fonctionnement de la patrouille

Élément essentiel de la patrouille, le **leader** assure l'instruction des pilotes au sol et en vol, et conduit l'entraînement aérien.

La définition de son rôle, établie par l'Instruction IV-50 relative aux manifestations aériennes, est interprétée *a maxima* par l'actuel titulaire du poste et par sa hiérarchie.

En effet, la totalité des actions d'instruction est assumée par le leader. Au sol, il conçoit, programme, organise, conduit et exécute l'ensemble des actes d'instruction, tout en endossant la fonction de pilote leader en vol, à l'entraînement et en meeting.

Par effet de contrepoids, la fonction de **surveillant des vols** est assurée *a minima* par le personnel désigné, qui est d'ailleurs fréquemment renouvelé et entretenu dans une position d'intérim permanent. Choisi parmi les sous-chefs moniteurs de l'école, le surveillant des vols ne jouit ni du poids de l'expérience de la patrouille ni de l'autorité pour dispenser un éventuel conseil. Installé sur le parking au point central, la radio à portée de main et près du caméraman, il n'est chargé en réalité que du seul « point de vue esthétique ».

Selon l'Instruction IV-50, il doit « conseiller et contrôler l'exécution des vols sur le plan technique ». Cette fonction dévolue au surveillant des vols n'est en réalité, ici, pas assurée.

Le jour de l'accident, le SV n'est pas en mesure d'identifier l'avion qui vient de percuter le sol : il croit dans un premier temps qu'il s'agit de l'équipier n°3. Sa méconnaissance du travail des équipiers, dont il ignore les places respectives au sein de la patrouille, est ici flagrante.

Le SV n'a pas de mission précise pendant cet entraînement.

L'Instruction IV-50 prévoit enfin qu'un **parrain** soit assigné à la patrouille Cartouche Doré.

Chargé du conseil pour l'établissement du programme, de la formation théorique et pratique des nouveaux présentateurs, et surtout, au sol, du **contrôle** de l'intégralité des vols d'entraînement, le parrain tient un rôle essentiel au plan de la sécurité des vols. L'Instruction IV-50 prévoit justement que ce soit le parrain qui assure pendant la phase d'entraînement le rôle de *surveillant des vols*.

Or cette fonction permanente de parrain n'est pas mise en place au sein de la patrouille Cartouche Doré. Le leader assume seul la conduite des vols d'entraînement. Au plan technique, il est **seul** à exercer un rôle critique sur la prestation.

La fonction essentielle de contrôle n'est donc pas remplie.

Le précurseur survenu l'avant-veille de l'accident n'a pu être identifié comme tel par le leader, déjà très investi dans son propre rôle double de pilote et de chef de patrouille.

Le 12 mars 2007, le changement inhabituel de trajectoire de l'avion n°2 aurait été en revanche aussitôt repéré par un observateur rompu au travail de la patrouille, ce qui aurait déclenché un débriefing approfondi et sans doute une action introspective nécessaire chez le pilote et chez le leader.

Animé par la volonté de bien faire et de tenir sa nouvelle place au sein des Cartouche Doré, l'équipier n°2 veut manifestement accomplir sa mission de voltige sans faillir.

Dans le contexte particulier de la patrouille, il n'a pas eu l'occasion d'exprimer son trouble et n'a extériorisé son émoi qu'en dehors du cercle professionnel.

Au final, un regard critique doté de **recul** et posé par une personne d'**expérience** aurait mieux permis d'identifier le problème spécifique rencontré par l'équipier n°2.

Avant l'accident mortel d'un équipier de la patrouille le 20 mai 2003 lors d'un vol d'instruction, quand l'effectif était de cinq pilotes, l'expérience globale des Cartouche Doré était supérieure.

Le leader était un chef-moniteur ou chef de patrouille **ancien**. Parmi les équipiers, tous les permanents étaient des CM³⁷ et seuls les moniteurs parrainés étaient parfois SCM³⁸. Le tuilage, indispensable au transfert de compétence, s'est peu à peu décomposé.

L'ancienneté des équipiers sur l'Epsilon s'est émoussée au fil des ans et des mutations. La simple connaissance de l'appareil a remplacé la véritable maîtrise du TB 30 sous facteur de charge élevé.

Le 14 mars 2007, l'équipier n°2 n'était pas *expert* sur son appareil.

Particulièrement isolé, le leader exerce seul la responsabilité de l'entraînement de la patrouille, sans bénéficier d'un conseil technique extérieur.

Fonctionnant sans contrôle externe lors des vols d'entraînement, la patrouille Cartouche Doré n'a pas les moyens de reconnaître chez un équipier un problème d'intolérance au facteur de charge. Les indices précurseurs, dans ces conditions, ne peuvent être identifiés.

L'hypothèse que l'absence d'un parrain assigné à la patrouille ait concouru aux causes de l'accident est CERTAINE.

L'hypothèse que l'équipier n°2 ne maîtrisait pas suffisamment son avion sous facteur de charge élevé est RETENUE.

La difficulté à identifier chez un pilote une éventuelle intolérance au facteur de charge ne relève pas seulement des carences propres à la patrouille Cartouche Doré. Cette difficulté tient également à un environnement organisationnel peu familiarisé aux problématiques aéromédicales liées aux accélérations.

³⁷ CM : Chef moniteur.

³⁸ SCM : Sous-chef moniteur.

2.5 Dispositif général de lutte anti-G dans l'armée de l'air

Les manœuvres anti-G volontaires ne sont pas appliquées par les pilotes démonstrateurs de la patrouille Cartouche Doré, par simple méconnaissance technique. Seul le leader a suivi il y a quelques années, pour un motif extérieur à la patrouille, l'initiation dispensée par le LAMAS.

En effet, l'armée de l'air s'est irrégulièrement investie dans la lutte anti-G, malgré ses missions et les performances de certains de ses matériels aéronautiques.

Craignant qu'une évaluation de la tolérance individuelle des élèves-pilotes au facteur de charge ne devienne qualifiante - comme c'est le cas par exemple au sein de l'US Air Force - l'institution a préféré ne pas développer d'enseignement initial spécifique, susceptible de glisser vers un processus de certification, jugé trop contraignant.

En conséquence, les méconnaissances, voire les idées fausses sur les phénomènes liés au facteur de charge se sont répandues dans l'armée de l'air et l'aéronautique navale, notamment - et paradoxalement - chez les personnels navigants de l'aviation de chasse :

- le simple **diagramme de Stoll**, dont l'existence est certes connue, demeure ignoré dans ses termes et ses implications précises ;
- l'idée qu'un facteur de charge supérieur à 5 G maintenu plus de 4 secondes comporte un risque de G-LOC n'est, d'une manière générale, pas suffisamment admise ;
- la **relativité** des phénomènes de G-LOC (selon l'individu, la fatigue, le stress, l'alimentation du moment) et leur complexité s'accommodent mal de la tendance culturelle des pilotes à s'autoévaluer, plus ou moins définitivement, « résistant - ou non - au facteur de charge ». Cette démarche simplificatrice est en fait due à l'absence d'une évaluation initiale qui permettrait à chacun de prendre conscience à la fois de ses limites et de la complexité du phénomène ;
- la notion d'**A-LOC** est fréquemment ignorée des personnels ;
- seul le modèle de Stoll **incluant la protection du pantalon anti-G** est un peu connu, alors que les données du diagramme **sans protection anti-G** sont généralement ignorées des personnels navigants ;

- l'idée que le G-LOC n'est susceptible d'intervenir que sur avion d'arme, ou que les facteurs de charge subis sur TB 30 ne peuvent suffire à causer une perte de conscience, est également parfois répercutée ;
- la **pratique du sport** (notamment par le choix de la discipline, par l'intensité, ou par l'horaire de la séance) est souvent inadaptée à la conduite d'une activité aéronautique soutenue. Par exemple, une course à pied intensive programmée en début de journée avant des vols sous facteur de charge élevé est contre-indiquée.

Il n'y a d'ailleurs pas de suivi sportif adapté et spécifique à la voltige mis en place au profit des Cartouche Doré, contrairement aux autres patrouilles de l'armée de l'air ;

- l'influence directe de l'alimentation sur la tolérance au facteur de charge est encore trop méconnue. Le phénomène de **jeûne relatif** constitue en effet un danger réel pour le pilote, notamment en fin de demi-journée ;
- les manœuvres anti-G volontaires sont encore ignorées par un trop grand nombre de personnels navigants. La formation en centrifugeuse de cent-vingt pilotes par an n'est pas suffisante pour absorber rapidement l'ensemble de la population visée. Même lorsque les manœuvres anti-G ont été enseignées, l'acquisition des bonnes pratiques n'est pas immédiate et nécessite, en unité, une application régulière des automatismes. Or le seuil d'acculturation nécessaire à la généralisation de ces bonnes pratiques, par le trop faible effectif des personnels formés chaque année, n'est toujours pas atteint au sein de l'armée de l'air ;
- les **médecins des bases** eux-mêmes, en charge du personnel navigant, peuvent méconnaître encore les phénomènes liés au facteur de charge, et sont donc dans ce cas difficilement en mesure de dispenser ou de relayer une information précise et efficace sur ces problèmes ;
- enfin, les défauts d'ajustement des équipements anti-G sont encore chroniques. La plupart des personnels navigants **ne serre pas assez le pantalon anti-G**.

Au final, il est probable que le fondement de cette insuffisance culturelle réside dans un réflexe légitime, bien qu'un peu réducteur, de la part de l'institution, de **préservation de la combativité des pilotes**.

L'idée que les phénomènes liés au facteur de charge restreignent la capacité opérationnelle est en effet parfaitement fondée.

Or l'ignorance ou la fuite de cette réalité ne constitue en aucune façon une protection. Au contraire, c'est en les connaissant précisément, sans forcément réussir à les maîtriser, que l'institution s'armera contre ces phénomènes dangereux.

En conclusion :

- ❖ **l'absence de manœuvre de survie de la part du pilote est due à une incapacité subite en vol qui résulte d'une perte de conscience sous facteur de charge supérieur à 5 G ;**
- ❖ **la figure éclatement intermédiaire génère structurellement un facteur de charge dont le profil schématique conduit le pilote au sein de la zone théorique d'apparition du G-LOC ;**
- ❖ **ce risque de perte de conscience a été aggravé par un vent rentrant défavorable, qui a contraint le pilote à serrer davantage son virage ;**
- ❖ **l'organisation particulière de la patrouille n'a pas permis aux divers acteurs d'identifier un précurseur de l'accident survenu l'avant-veille, qui révélait l'intolérance au facteur de charge de l'équipier n°2 lors de cette figure ;**
- ❖ **le déficit culturel dans le domaine de la lutte anti-G pénalise, au sein de l'armée de l'air, l'identification des problèmes liés au facteur de charge.**

3 CONCLUSION

3.1 Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement

- L'endommagement constaté des organes nécessaires au vol est consécutif à l'écrasement de l'avion au sol :
 - ⇒ le moteur était en fonctionnement et entraînait correctement l'hélice lors de l'impact ;
 - ⇒ aucune discontinuité des commandes de vol n'est apparue avant l'impact.
- l'absence de réaction du pilote, qui n'effectue aucune manoeuvre de survie, ni aucune annonce radio, est liée à une incapacité subite en vol ;
- l'avant-veille de l'accident, lors de la même figure, le pilote perd pendant quelques instants sa capacité à piloter et reconnaît que son trouble est lié à un facteur de charge élevé.

3.2 Causes de l'événement

Les conclusions de l'enquête technique sont le fruit d'une analyse systémique des faits récoltés au travers des témoignages et des expertises, et de l'étude des interactions reliant les acteurs à leur environnement. Les causes identifiées de cet événement sont essentiellement liées aux facteurs humains, à la fois individuels et institutionnels.

Le mécanisme de l'événement du 14 mars 2007 résulte en effet d'une imbrication de causes mises en évidence au niveau des individus comme à celui, plus vaste, de l'organisation institutionnelle :

- au plan individuel :
 - ⇒ lors de la figure éclatement intermédiaire, le pilote est confronté à l'installation brusque d'un facteur de charge supérieur à 5 G, maintenu plus de 5 s. Ce **profil d'accélération** correspond à la zone de G-LOC théorique ;
 - ⇒ l'action correctrice du pilote par rapport au **vent** rentrant a eu une influence directe sur l'aggravation du facteur de charge subi ;

⇒ les équipiers de la patrouille n'identifient pas l'incident de l'avant-veille comme un **précurseur** à traiter.

➤ Au niveau organisationnel :

⇒ la **conception de la figure éclatement intermédiaire** prévoit un ralliement rapide des équipiers à l'issue du croisement, qui implique de serrer fortement le virage et génère un facteur de charge élevé ;

⇒ particulièrement **isolé**, le **leader** exerce seul la préparation, la conduite, et la responsabilité de l'entraînement de la patrouille, sans bénéficier du recul ni de l'expertise d'un conseiller technique externe ;

⇒ le **surveillant des vols** n'est pas structurellement en mesure d'identifier un problème interne à la patrouille, ni d'imposer d'éventuelles actions correctives nécessaires ;

⇒ fonctionnant **sans contrôle** externe lors des vols d'entraînement, la patrouille Cartouche Doré n'a pas les moyens de reconnaître chez un équipier un problème d'intolérance au facteur de charge. Les indices précurseurs, dans ces conditions, ne peuvent être identifiés ;

⇒ l'**absence de parrain** assigné à la patrouille, selon les termes de l'Instruction IV-50, soustrait la patrouille Cartouche Doré à un contrôle continu nécessaire des vols d'entraînement, qui aurait permis d'alerter les acteurs impliqués ;

⇒ l'**absence d'information** de la patrouille, à défaut de véritable formation, sur les risques liés au facteur de charge, a aggravé l'état de méconnaissance des équipiers dans le domaine de la lutte anti-G ;

⇒ au final, lors de cet évènement, les **défauts structurels du dispositif de lutte anti-G** au sein de l'armée de l'air ont pénalisé les capacités de l'institution et de ses acteurs à identifier le péril lié au facteur de charge.

4 RECOMMANDATIONS DE SECURITE

4.1 Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement

4.1.1 Formation des pilotes de voltige aux risques liés au facteur de charge

Les équipiers de la patrouille Cartouche Doré ne sont pas formés spécifiquement à la gestion des problèmes physiologiques liés aux accélérations. La méconnaissance de ces phénomènes constitue un véritable handicap pour l'activité aéronautique. L'acquisition de cette compétence est une condition nécessaire à la maîtrise des risques en voltige.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air, à l'aéronautique navale et à la délégation générale pour l'armement de rendre systématique l'initiation aéromédicale dispensée au profit des pilotes de voltige sur les problèmes liés aux accélérations.

Au-delà de cette simple initiation, qui permet une sensibilisation salutaire, il s'agira d'instituer très vite un programme de formation, qui englobera l'apprentissage des manœuvres de respiration anti-G et une étude approfondie du diagramme de Stoll et de ses implications pratiques, modélisés avec et sans équipement anti-G.

Tous les organismes dotés d'avions ou d'hélicoptères permettant d'obtenir un facteur de charge supérieur à 4 G sont concernés par cette recommandation.

4.1.2 Prise en compte du facteur de charge pour la conception des figures de voltige

Pour des motifs esthétiques, l'enchaînement entre *l'éclatement intermédiaire* et la figure suivante a été voulu rapide.

C'est ce dynamisme souhaité de la présentation qui impose à l'équipier n°2 un virage particulièrement serré impliquant un profil d'accélération à risque.

Par ailleurs, dans ce contexte, le vent a constitué le jour de l'accident un facteur aggravant, en contraignant le pilote à resserrer encore davantage son virage.

Aucun examen approfondi du facteur de charge n'a été réalisé lors des phases de conception et de validation de la présentation. L'influence du vent sur ce paramètre n'a pas été mieux étudiée.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air, à l'aéronautique navale et à la délégation générale pour l'armement de vérifier et d'analyser le facteur de charge non seulement de chaque figure programmée, mais également des enchaînements entre ces figures, avant toute validation. Les valeurs des accélérations et leurs durées respectives devront alors être confrontées au modèle de Stoll.

L'impact potentiel du vent sur le facteur de charge devra être également pris en compte avant chaque vol et annoncé lors des briefings.

À partir de cette connaissance, et seulement à ce moment-là, la gestion du risque pourra être envisagée, et les concessions, au profit de l'esthétique ou de l'efficacité, acceptées.

Les organismes dotés d'avions ou d'hélicoptères permettant d'obtenir un facteur de charge supérieur à 4 G sont concernés par cette recommandation.

4.1.3 Formation des PN de l'aviation de chasse aux risques liés au facteur de charge

L'équipier n°2 est issu d'un escadron de reconnaissance sur Mirage F1. Au cours de sa carrière aéronautique, jamais, depuis sa sélection jusqu'à ses qualifications les plus récentes, il n'a suivi de formation sur les risques liés aux accélérations.

Au final, jamais il n'a eu l'occasion, avant d'être affecté à la patrouille Cartouche Doré, d'être véritablement confronté aux contraintes-limites d'évolutions fortement « joltées ».

Rapporté à d'autres événements récents survenus dans des formations dotées d'avions de combat, cet accident met en lumière l'insuffisance culturelle de l'aviation de chasse dans le domaine de la lutte anti-G.

Peu investie dans cette démarche spécifique, l'armée de l'air a fait le choix de ne pas mettre en place d'évaluation initiale de la tolérance individuelle des jeunes PN³⁹ au facteur de charge, appréhendant que cette évaluation puisse un jour devenir qualifiante.

³⁹ PN : Personnel navigant.

Or cette évaluation, à travers les moyens humains, matériels et culturels qu'elle nécessite et qu'elle met en place, constitue le fondement d'un dispositif moderne de lutte anti-G, apte à former systématiquement les acteurs concernés et à détecter largement en amont tout symptôme ou comportement à risque lié aux accélérations.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air de mettre en place une formation systématique aux risques liés au facteur de charge, au profit de tous les personnels navigants de l'aviation de chasse.

Le contenu de cette véritable formation devra dépasser l'initiation parcellaire dispensée actuellement et permettre à tous les acteurs de mieux appréhender les problématiques liées aux facteurs de charge et de savoir déceler, voire traiter, chacun à son niveau d'attribution, les indices précurseurs.

Les organismes dotés d'avions ou d'hélicoptères permettant d'obtenir un facteur de charge supérieur à 4 G sont concernés par cette recommandation.

4.1.4 Création de la fonction de parrain au sein de la patrouille Cartouche Doré

L'absence de **parrain** assigné à la patrouille Cartouche Doré, comme le prévoit l'Instruction IV-50 relative aux manifestations aériennes de mars 2004, a pénalisé la détection du précurseur apparu l'avant-veille.

La fonction de **surveillant des vols**, assurée précisément par le parrain selon la même instruction, doit être tenue de façon permanente pendant toute la saison par une même personne.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air de :

- ❖ **pourvoir, conformément à la réglementation, à la fonction de parrain au sein de la patrouille Cartouche Doré ;**
- ❖ **stabiliser, au moins pendant le temps d'une saison, le rôle de surveillant des vols ;**
- ❖ **choisir, pour remplir cette mission, un militaire doté de l'expérience et de l'autorité suffisantes pour rectifier, au besoin, toute orientation hasardeuse ;**
- ❖ **imposer que le parrain-SV participe obligatoirement à tous les briefings et débriefings.**

4.1.5 Formation des médecins des bases aux risques liés au facteur de charge

Encore mal connu par le service médical de la base, car affecté depuis seulement six mois, l'équipier n°2 n'a pas eu d'échange particulier avec les médecins de la base, hormis une simple visite systématique.

Il apparaît que les médecins des bases connaissent eux-mêmes insuffisamment les phénomènes liés au facteur de charge.

Ils ne sont donc guère en mesure de dispenser ou de relayer une information claire sur ces dangers.

Les médecins des bases doivent constituer un **relais privilégié** pour dispenser, à l'échelon local, une information précise en matière de risques relatifs aux accélérations.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

- ❖ à l'armée de l'air de poursuivre, en relation avec le service de santé des armées et avec le laboratoire de médecine aérospatiale, le perfectionnement des actions d'instruction sur les risques liés au facteur de charge et sur les techniques de lutte anti-G, au profit des médecins des bases,
- ❖ au centre d'essais en vol de développer et d'approfondir les séances de formation dispensées par le LAMAS aux médecins dès leur stage de spécialisation de médecine aéronautique,
- ❖ à l'armée de l'air de permettre aux médecins du PN de participer à la formation en centrifugeuse dispensée au CEV/LAMAS au cours des stages organisés au profit des forces.

Les organismes dotés d'avions ou d'hélicoptères permettant d'obtenir un facteur de charge supérieur à 4 G sont concernés par cette recommandation.

4.1.6 Recrutement des équipiers de la patrouille Cartouche Doré

Plus encore que l'expérience, la **maturité** apparaît comme une qualité essentielle pour évoluer dans une structure aussi réduite, isolée et sensible que la patrouille Cartouche Doré.

Encore très jeune, l'équipier n°2 n'a pas pu exprimer son trouble autrement qu'en essayant de le dissimuler ou d'en réduire la portée.

Il s'avère que l'expérience et l'âge des équipiers a tendance à diminuer depuis quelques années, sans doute sous l'effet des difficultés croissantes à trouver la ressource en personnel.

Le maintien, à partir de 2003, de l'effectif à **quatre pilotes** au lieu de cinq illustre cette forte contrainte et accentue par ailleurs la charge de travail des équipiers.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air de :

- ❖ **recruter les équipiers de la patrouille parmi les moniteurs dotés d'une expérience minimale, propre à garantir un niveau de maîtrise suffisant du vol sous facteur de charge élevé ;**
- ❖ **d'accroître les périodes de vieillissement des pilotes nouvellement intégrés dans la patrouille, en portant l'effectif de la patrouille à cinq pilotes, sans compter le surveillant des vols :**
 - ▶ les trois pilotes actuellement titulaires le resteraient pendant la saison 2007/2008 ; deux pilotes « stagiaires » suivraient pendant cette période une formation d'équipier ;
 - ▶ chaque saison nouvelle, l'effectif de la patrouille serait constitué de trois pilotes titulaires et de deux équipiers élèves.

Ainsi, en consacrant la première année à la formation au sein de la patrouille, tout en maintenant la durée d'affectation en école à trois ans, un niveau de maîtrise satisfaisant des nouveaux équipiers sera assuré.

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

4.2.1 Renforcement de la patrouille Cartouche Doré

Le format de la patrouille Cartouche Doré est actuellement le plus dépouillé possible, puisque seuls les pilotes, ainsi qu'une salle dotée de quelques bureaux, constituent l'ensemble des éléments permanents de la formation.

On sait désormais que les contraintes aéronautiques, missionnelles et physiologiques de cette patrouille sont **analogues** à celles des autres patrouilles de voltige de l'armée de l'air.

On sait également que, n'étant pas « professionnalisés » car affectés en même temps à des tâches d'instruction en école, les pilotes de la patrouille Cartouche Doré supportent des pressions supplémentaires, gérées plus ou moins aisément par les pilotes concernés.

Il s'agit donc maintenant de mettre à niveau cette formation, afin que ses ressources humaines et matérielles correspondent aux enjeux élevés fixés par le commandement.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air de :

- ❖ **mettre en place un secrétariat affecté à temps plein à la patrouille, permettant de décharger les équipiers et le leader de toutes les tâches administratives, logistiques et communicationnelles,**
- ❖ **imposer la sanctuarisation de la période d'entraînement de la patrouille, au cours de laquelle les équipiers en formation et en vieillissement seront dispensés de toute activité en école de pilotage.**

4.2.2 Formalisation du rôle du caméraman

Lors de cet entraînement, le caméraman privilégie de filmer l'avion n°3, dont l'équipage est en transformation, plutôt que le n°2, en vieillissement, à l'issue des éclatements.

Ce choix, qui répond à une certaine logique, est néanmoins arrêté seul par le caméraman, et n'est pas préalablement défini.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air de formaliser davantage le rôle du caméraman et de mieux l'impliquer dans sa fonction de veille, qui ne doit pas se cantonner à la seule esthétique, mais doit également adopter un objectif de sécurité des vols.

4.2.3 Enregistrement de la fréquence interne de la patrouille

Le seul enregistrement disponible des communications radio internes à la patrouille Cartouche Doré dépend de la bonne proximité entre le caméscope tenu par le caméraman et le haut-parleur dont dispose le surveillant des vols, et de l'absence de parasitage sonore alentour.

Les **traces sonores** sont donc parfois peu exploitables et peuvent pénaliser non seulement l'enquête, mais également tout débriefing.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air de dédier l'un des enregistreurs en place au contrôle local d'aérodrome de Cognac à la conservation des communications internes à la patrouille Cartouche Doré lors de leurs courtes phases d'entraînement.

4.2.4 Pratique spécifique du sport

Les équipiers de la patrouille Cartouche Doré ne bénéficient d'aucun suivi sportif spécifique, contrairement aux autres patrouilles de l'armée de l'air.

Plus généralement, la pratique du sport en unité apparaît souvent inadaptée à la conduite d'une activité aéronautique impliquant des facteurs de charge élevés.

Le choix de la discipline, son intensité, ou l'horaire de la séance sont autant d'éléments déterminants sur la condition physique de personnel navigant.

La programmation des courses à pied trop intensives en début de journée, avant des vols sous facteur de charge élevé, est par exemple inopportune.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air :

- ❖ d'instaurer un suivi sportif adapté et spécifique au profit de la patrouille Cartouche Doré ;**
- ❖ de développer dans les unités, en relation avec le service de santé, une formation au sport PN susceptible de rectifier certaines pratiques contre-indiquées.**

Les organismes dotés d'avions ou d'hélicoptères permettant d'obtenir un facteur de charge supérieur à 4 G sont concernés par cette recommandation.

4.2.5 Information sur le jeûne relatif

L'alimentation des personnels navigants est un facteur décisif sur leur tolérance aux accélérations.

Or cette influence directe des pratiques alimentaires sur les capacités des personnels à résister aux accélérations demeure encore trop méconnue.

Plus particulièrement, le phénomène du jeûne relatif constitue un danger réel pour les pilotes, notamment en fin de demi-journée.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air de dispenser dans l'aviation de chasse, en relation avec le service de santé des armées, une information sur les phénomènes liés au jeûne relatif, et son impact sur la tolérance individuelle au facteur de charge.

Les organismes dotés d'avions ou d'hélicoptères permettant d'obtenir un facteur de charge supérieur à 4 G sont concernés par cette recommandation.

4.2.6 Formation sur les équipements anti-G

Il apparaît que les équipements de protection anti-G sont encore souvent mal ajustés par les personnels navigants.

Ce défaut chronique constitue un symptôme de la résistance culturelle qui domine au sein de l'aviation de chasse, qui n'a pas pris la mesure du gain de tolérance au facteur de charge offert par le pantalon anti-G (cf. annexe 6 p 76). Un grand nombre de personnels navigants ne serre toujours pas assez l'équipement anti-G.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air et à l'aéronautique navale de mettre en place une formation systématique relative à la technique d'ajustement du pantalon anti-G et au gain offert, au profit non seulement des pilotes mais également des responsables des effets spéciaux.

4.2.7 Enregistrement des paramètres

L'absence d'enregistreur de paramètres pénalise fortement la bonne avancée de l'enquête technique.

Le dépouillement des données enregistrées permet de fournir rapidement les éléments pouvant révéler une éventuelle cause technique et facilite toute décision sur la conduite à tenir pour le reste de la flotte.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air d'étendre l'équipement en cours d'enregistreurs de paramètres à tous les avions susceptibles de participer aux exercices de démonstration.

ANNEXES

Annexe 1 : Figures de la présentation _____ page 66

Annexe 2 : Cinématique de l'impact _____ page 70

Annexe 3 : Moteur et accessoires _____ page 72

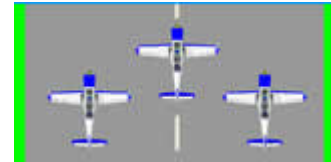
Annexe 4 : Traduction clinique du facteur de charge _____ page 74

Annexe 5 : Variabilité de la tolérance aux accélérations _____ page 75

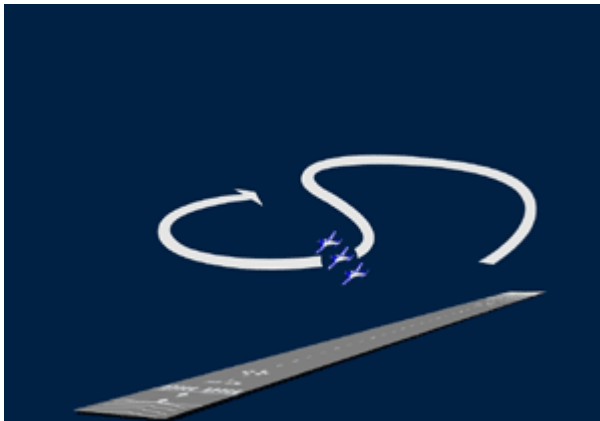
Annexe 6 : Amélioration de la performance grâce aux techniques de protection anti-G _ page 76

1 FIGURES DE LA PRESENTATION

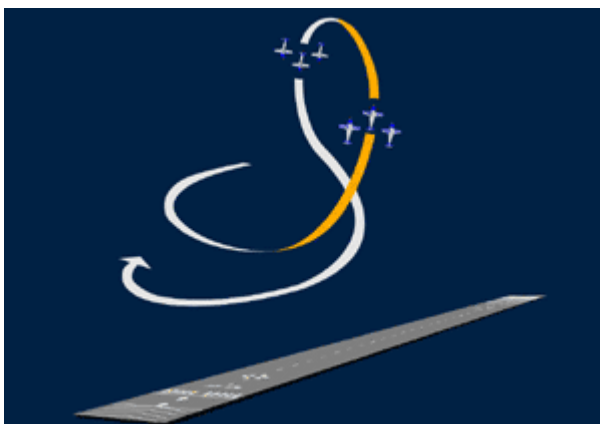
○ Décollage



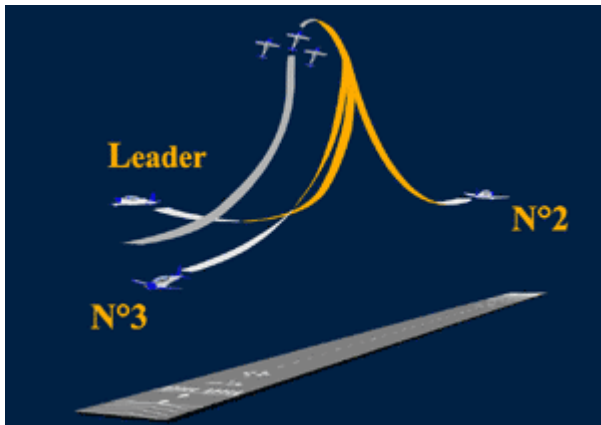
○ Virage public



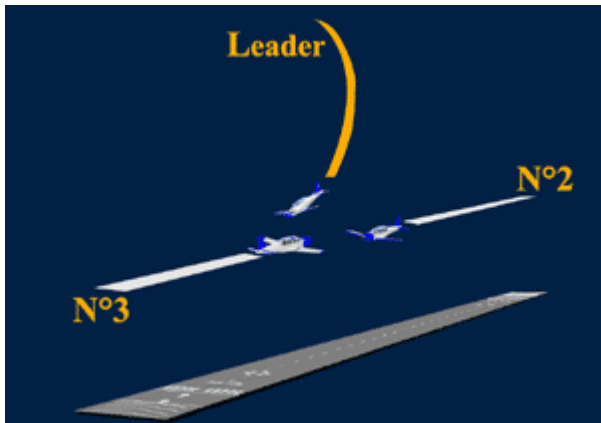
○ Boucle



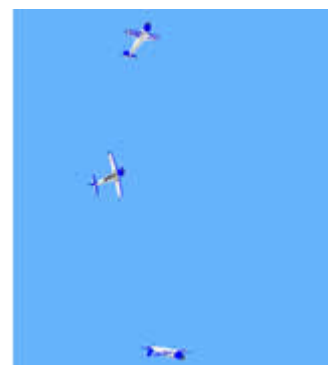
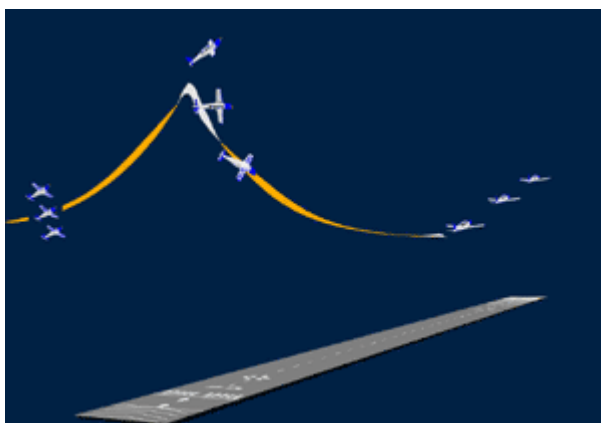
○ Bomba



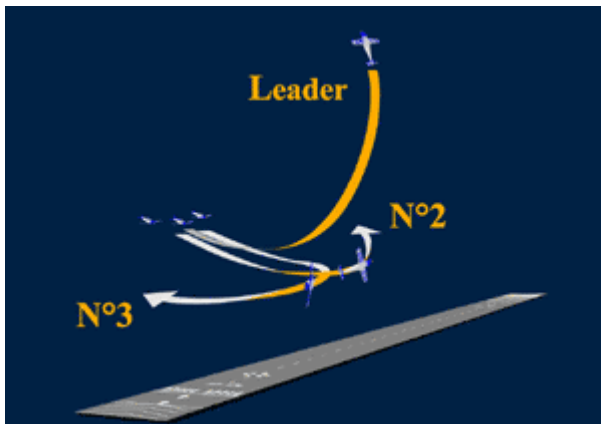
○ Percussion



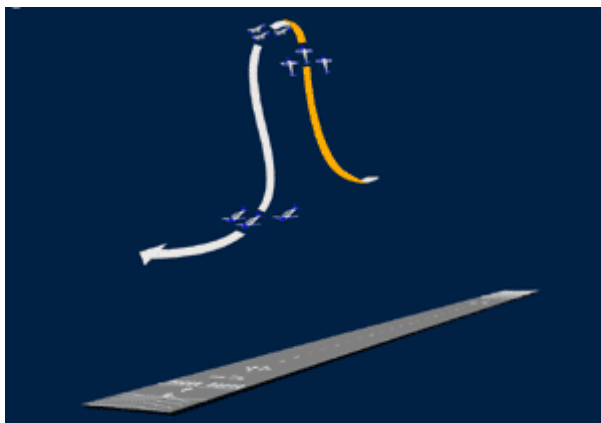
○ Volute



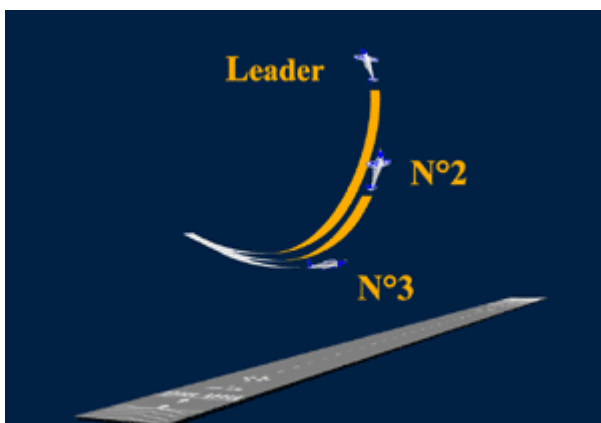
- Éclatement intermédiaire



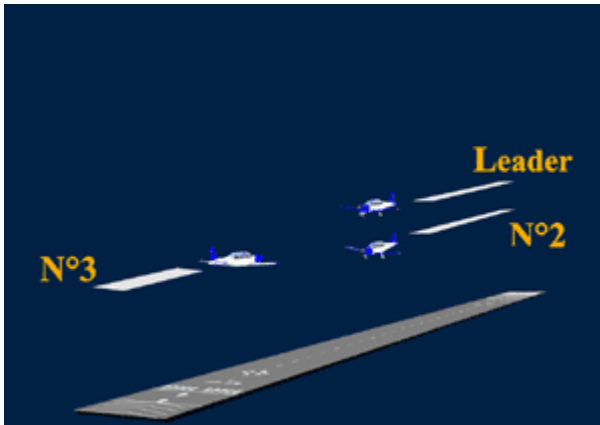
- Barrique



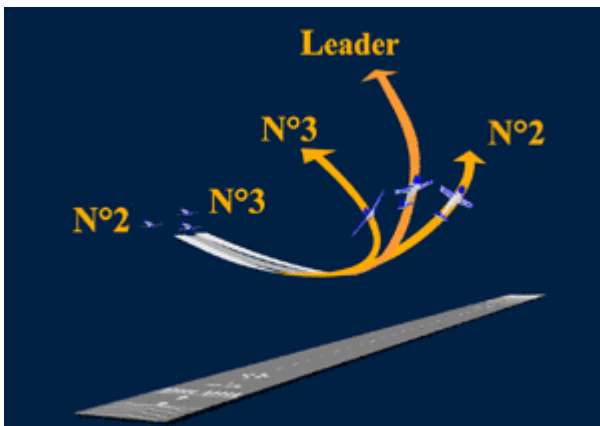
- Éclatement colonne



- Croisement 2+1



- Éclatement final.



2 CINEMATIQUE DE L'IMPACT

➤ Impact du saumon gauche :



➤ Creusement du sillon :



➤ **Arrachage de la demi-voilure gauche :**



➤ **Impact de la partie avant du fuselage :**



3 MOTEUR ET ACCESSOIRES

➤ **Hélice :**



➤ Moteur :



4 TRADUCTION CLINIQUE DU FACTEUR DE CHARGE

- **1 Gz** : pesanteur normale,

- **2 Gz** : compression modérée sur le siège, lourdeur de la tête et des membres,

- **3 Gz** : sensation d'extrême lourdeur des membres et du corps,

- **Entre 3 et 4,5 Gz** : voile gris,

- **Entre 4 et 5,5 Gz** : voile noir,

- **Entre 4, 5 et 6 Gz** : perte de conscience.

5 VARIABILITE DE LA TOLERANCE AUX ACCELERATIONS

Tolérance aux accélérations (Gz)
 (sujets en état de relâchement musculaire, sans protection anti-G
 - mise en accélération progressive)

	<u>Voile gris</u>	<u>Voile noir</u>	<u>Perte de conscience</u>
Valeurs <u>moyennes</u> :	4,1	4,7	5,4
Écart-type :	0,7	0,8	0,9
Minimum :	2,2	2,7	3,0
Maximum :	7,1	7,8	8,4

*D'après L.B. COCHRAN, P.W. GARD, M.E. NORSWORTHY
 Variations in human G tolerance to positive acceleration
 (31 août 1954)*

6 AMELIORATION DE LA PERFORMANCE GRACE AUX TECHNIQUES DE PROTECTION ANTI-G

Conditions	Tolérance moyenne (G)	Gain de tolérance (G)
Sujets au repos	3,23	
Équipement anti-G	4,25	1,02
Manœuvres	4,93	1,71
Équipement anti-G & Manœuvres	6,22	3,00

D'après COHEN (1983)

Conditions	Gain de tolérance (G)	Gain de tolérance max (G)
Équipement anti-G	Entre 1 G et 1.5 G, si bien ajusté	Jusqu'à 2 G, si très serré
Manœuvres		Jusqu'à 4 G, si manœuvres bien réalisées
Équipement anti-G & Manœuvres		Jusqu'à 6 G

D'après GREEN (2006)

BIBLIOGRAPHIE

1 - L. B. Cochran, P. W. Gard, M. E. Norsworthy (1954)

Variations in human G-tolerance to positive acceleration

USN Sch. Of Av. Med. Rpt. N°001 059.02.10.

2 - N.D.C. Green (2006)

Protection against long-duration acceleration

In Ernsting's Aviation Medicine ; D.J. Rainford, D.P. Gradwell ; Oxford University Press Inc. ; Chapter 9 : 159-167.

3 - A. M. Stoll (1956)

Human tolerance to positive G as determined by the physiological end points

J. Aviat. Med. 27: 356-367.

4 - Col Albert A. Hartzell, Col Michael D. Parkinson (1^{er} décembre 1999)

G-awareness for aircrew

Air Force Pamphlet 11-419; Flying Operations.

5 - Col Albert A. Hartzell, Maj Gen P. K. Carlton (1^{er} décembre 1999)

Centrifuge training for high-G aircrew

Air Force Instruction 11-404; Flying Operations.

6 - Col Albert A. Hartzell, Maj Gen Earl W. Mabry (20 février 2001)

Aerospace physiological training program

Air Force Instruction 11-403; Flying Operations.