

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

Brétigny sur Orge, le 15 juin 2009

RAPPORT PUBLIC D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-A-2008-010-A

Date de l'événement	Le 19 juin 2008
Lieu	BA 132 Colmar (Haut-Rhin)
Type d'appareil	Mirage F1B
Immatriculation	N° 520, F- UHSO
Organisme	Armée de l'air - CFA
Unité	EC 01.030 ALSACE

AVERTISSEMENT

COMPOSITION DU RAPPORT

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

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

UTILISATION DU RAPPORT

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

CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page de garde : photo SGC Anthony Jeuland – SIRPA-Air

Pages 16, 17, 18, 20, 21, 22, 24 : BEAD-air.

Pages 9, 10, 19 : GCFAG.

Pages 46, 47, 48 : CEAT.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	3
GLOSSAIRE	5
TABLE DES ILLUSTRATIONS	6
SYNOPSIS	7
1. Renseignements de base	8
1.1. Déroulement du vol	8
1.1.1. Contexte du vol	8
1.1.2. Description de la phase d'atterrissage de l'appareil accidenté	8
1.1.3. Manœuvres des autres appareils après l'accident	11
1.1.4. Localisation	11
1.2. Tués et blessés	11
1.3. Dommages à l'aéronef	11
1.4. Autres dommages	11
1.5. Renseignements sur le personnel	11
1.5.1. Pilote	11
1.5.2. Pilote place arrière	12
1.6. Renseignements sur l'aéronef	13
1.6.1. Maintenance	13
1.6.2. Points particuliers relevés dans la documentation du suivi de la maintenance	13
1.6.3. Opérations de dépollution du circuit hydraulique avion	14
1.6.4. Masse – carburant	14
1.7. Conditions météorologiques	14
1.8. Aides à la navigation	15
1.9. Télécommunications	15
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	15
1.11. Enregistreurs de bord	15
1.12. Renseignements sur l'épave et sur l'impact	15
1.12.1. Examen de la piste	15
1.12.2. Examen de l'épave	18
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	22
1.13.1. Pilote	22
1.13.2. Pilote place arrière	22
1.14. Incendie	23
1.15. Survie des occupants	23
1.15.1. Séquence d'éjection	23
1.15.2. Organisation des secours	23
1.16. Essais et recherches	23
1.17. Renseignements sur les organismes	24
1.18. Renseignements supplémentaires	24
1.18.1. Témoins de l'accident	24
1.18.2. Synthèse de l'étude d'événements liés à un dysfonctionnement de la dirigibilité sur Mirage F1, survenus dans l'armée de l'air	24
1.18.3. Évolutions de la définition du bloc de distribution	25
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	25
2. Analyse	26
2.1. Préambule	26
2.2. Analyse de la phase d'atterrissage – détermination de l'origine de la perte de contrôle après le poser du train auxiliaire	26
2.2.1. Séquence d'événements	26
2.2.2. Analyse de la phase d'atterrissage	27
2.2.3. Analyse de la cause de l'embarquée	28
2.2.4. Analyse de la gestion de l'événement par le pilote	29
2.2.5. Synthèse	29
2.3. Analyse des causes du braquage non commandé du train auxiliaire	30
2.3.1. Résultats des recherches menées sur la chaîne de dirigibilité et sur le circuit hydraulique avion	30
2.3.2. Synthèse des travaux – analyse des causes du braquage non commandé du train auxiliaire	32

3. Conclusion	35
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement	35
3.1.1. Contexte du vol et de l'atterrissage	35
3.1.2. La sortie de piste et la double-éjection	35
3.1.3. Faits marquants concernant la maintenance du bloc de dirigibilité du Mirage F1B 520	35
3.1.4. Résultats des investigations techniques relatives au dysfonctionnement de la dirigibilité	35
3.2. Causes de l'événement	36
4. Recommandations de sécurité	37
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	37
4.1.1. Revue du processus de révision générale des blocs chez Messier Services	37
4.1.2. Maintenance du circuit hydraulique de la dirigibilité sur Mirage F1	37
4.1.3. Procédure de secours en cas d'embarquée à l'atterrissage sur Mirage F1	38
4.1.4. Étude de faisabilité de poser sans dirigibilité sur Mirage F1 biplace	38
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	38
4.2.1. Suivi médical des PN en cas d'éjection	38
ANNEXES	40
Annexe 1 : Description du train auxiliaire et du bloc de distribution du Mirage F1	41
Annexe 2 : Pollution constatée dans le bloc de dirigibilité du Mirage F1B 520	44
Annexe 3 : Description des commandes et contrôles liés à la dirigibilité sur Mirage F1	48

GLOSSAIRE

BEAD-air	Bureau enquêtes accidents défense air
CABA 117	Cité de l'air et base aérienne 117 – Paris Balard
CAM	Circulation aérienne militaire
CEPr	Centre d'essais des propulseurs
CEV	Centre d'essais en vol
CFA	Commandement des forces aériennes
CTH	Collimateur tête haute
Dirigibilité	Fonction d'orientation des roues du train auxiliaire
EPI	Enquêteur de première information
ESIS	Escadron de sécurité incendie et sauvetage
GTR	Groupe turboréacteur
Kt	<i>Knot</i> , nœud (1kt \approx 1,852 km/h)
PN	Personnel navigant
QFU	Direction magnétique de la piste
RESEDA	Centre de restitution des enregistreurs d'accidents
RG	Révision générale
UHF	<i>Ultra high frequency</i> , ultra haute fréquence (300 à 3000 MHz)
VIRP	Véhicule d'intervention rapide polyvalent
VMA	Véhicule mousse d'aérodrome

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Photographies :

Vue aérienne du site de l'accident.....	9
Vue aérienne du site de l'accident.....	10
Vue aérienne du site de l'accident.....	10
Vue des traces de pneumatiques sur la piste (début d'apparition des traces)	16
Vue des traces de pneumatiques sur la piste	17
Vue des traces de pneumatiques sur la piste (fin des traces sur la piste)	17
Vue des ornières provoquées par les trains dans l'herbe	18
Vue de l'appareil accidenté	19
Vue du train principal droit rompu.....	20
Vue du vérin de dirigibilité et du bloc de distribution	21
Vue de la roue gauche du train auxiliaire.....	22
Détail des traces de ripage sur le flanc gauche de la roue gauche du train auxiliaire	22

SYNOPSIS

Date de l'événement : jeudi 19 juin 2008 à 16 h 04.
Lieu de l'événement : BA 132 Colmar Meyenheim (Haut-Rhin).
Organisme : Armée de l'air.
Commandement organique : Commandement des forces aériennes (CFA).
Unité : Escadron de chasse 01.030 Alsace¹.
Aéronef : Mirage F1B n° 520.
Nature du vol : entraînement présentation tactique.
Nombre de personnes à bord : 2 pilotes.

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Lors de l'atterrissage, peu après le poser du train auxiliaire, le Mirage F1B effectue une embardée à droite et sort de la piste. L'équipage s'éjecte. Le pilote en place arrière se blesse légèrement au pied lorsqu'il atterrit sous voile sur la piste. Le pilote en place avant est indemne. L'avion poursuit sa course et s'arrête à l'extérieur de l'enceinte de la base.

Composition du groupe d'enquête technique

- Un directeur d'enquête technique du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air).
- Deux adjoints du BEAD-air, dont un officier parachutiste d'essai.
- Un enquêteur de première information (EPI).
- Un officier pilote ayant une expertise sur Mirage F1.
- Un officier et un sous-officier mécaniciens ayant une expertise sur Mirage F1.
- Un médecin du personnel navigant.

Autres experts consultés

- Centre d'essais aéronautiques de Toulouse (DGA/CEAT).
- Centre d'essais des propulseurs de Saclay (DGA/CEPr).
- Sociétés Messier Bugatti, Messier Services, Dassault Aviation.

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD-air est prévenu de l'accident vers 16 h 20 par le bureau maîtrise des risques de l'EMAA.

L'enquêteur de première information, présent sur la base, a débuté le recueil des faits dans la soirée. L'ensemble du groupe d'enquête technique s'est réuni le lendemain matin sur la base aérienne de Colmar afin de poursuivre les investigations.

Enquête judiciaire

Le parquet de Strasbourg s'est saisi de l'affaire.

Un officier de police judiciaire de la section judiciaire de la brigade de gendarmerie de l'air de la CABA 117 de Balard a été commis.

¹ Unité de transformation sur Mirage F1.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Contexte du vol

Indicatif mission : MENTON FOX.

Type de vol : CAM V.

Type de mission : entraînement présentation tactique.

Dernier point de départ : BA 132 Colmar.

Heure de décollage : 15 h 49.

Point d'atterrissage prévu : BA 132 Colmar.

Ce vol d'entraînement d'une durée de 20 minutes est réalisé au-dessus de la base, en préparation d'un défilé aérien devant avoir lieu lors d'une cérémonie sur la base le 27 juin 2008. Il met en œuvre cinq Mirage F1 dont deux biplaces :

- FOX 0, appareil solo, décoré ;
- FOX 1, leader du box (monoplace), FOX 2 (appareil accidenté), FOX 3 et FOX 4.

L'équipage du Mirage F1B FOX 2 est composé en place avant d'un pilote commandant de bord seul à agir aux commandes durant l'ensemble du vol (désigné « pilote » dans le texte), et d'un pilote qualifié sur l'appareil en place arrière (désigné « pilote place arrière » dans le texte).

1.1.2. Description de la phase d'atterrissage de l'appareil accidenté

Cette description est basée sur le témoignage de l'équipage, ainsi que sur la vidéo de la visualisation tête haute et les données extraites de l'enregistreur de vol de l'appareil.

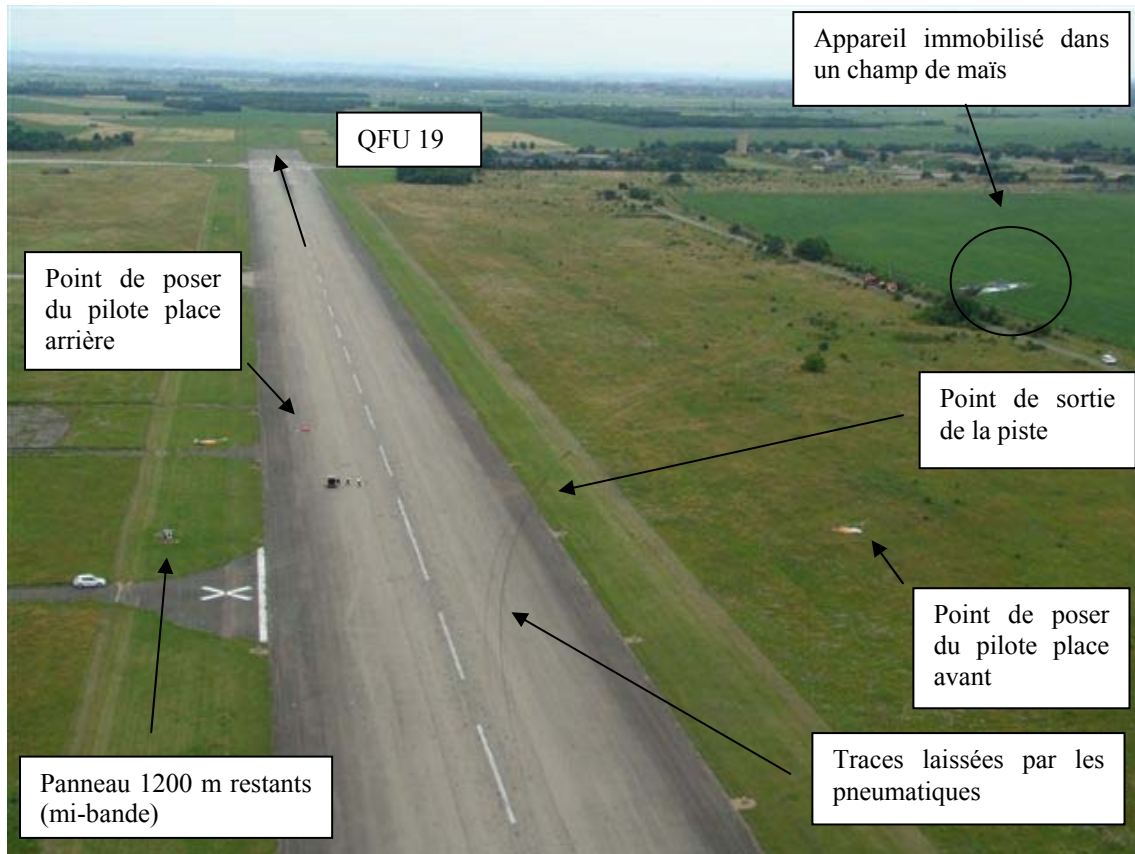
Après le dernier passage à la verticale de la formation à cinq appareils, le box effectue un break tactique puis se présente à l'atterrissage au QFU 19 avec un espacement d'une demi-bande entre chaque appareil.

FOX 2 atterrit après FOX 1. La deuxième vérification du verrouillage bas des trains (signalisation « BIP ») est effectuée en dernier virage sur demande du contrôle puis celui-ci annonce le vent en surface (210°/10 kt maximum 16). Le poser des trains principaux a lieu à 143 kt. Le pilote conserve une assiette à cabrer permettant le freinage aérodynamique de l'appareil.

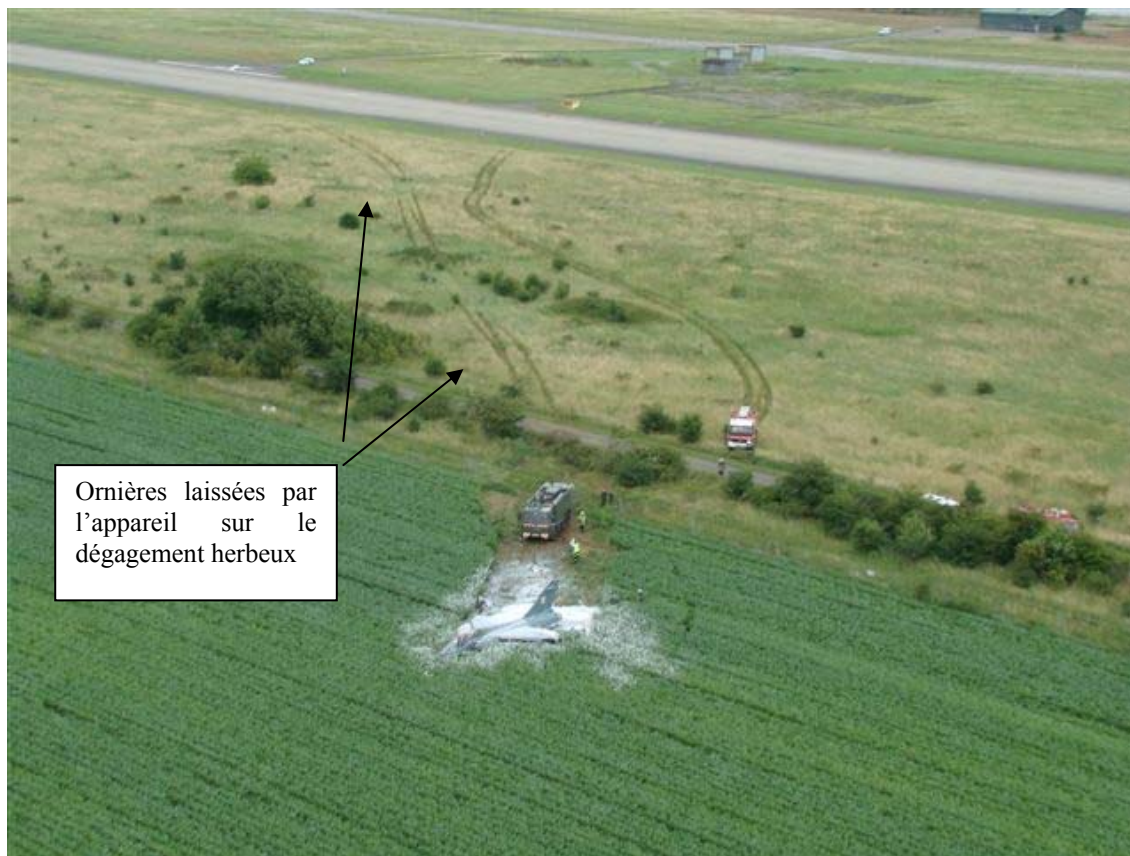
Entre 3 et 4 secondes après le poser du train auxiliaire, vers 100 kt, l'appareil effectue une embardée à droite. Le pilote contre au palonnier et au manche sans parvenir à contrôler l'appareil. La manette des gaz est passée du ralenti au plein gaz sec. L'appareil sort de la piste environ à mi-bande et roule sur la partie herbeuse. Le pilote annonce puis commande la double éjection.

Le pilote se pose dans la partie herbeuse à droite de la piste. Il est indemne, se relève et se dirige vers le pilote place arrière qui a atterri sur la partie gauche de la piste. Celui-ci est légèrement blessé au pied droit et reste assis sur la piste jusqu'à l'arrivée des secours.

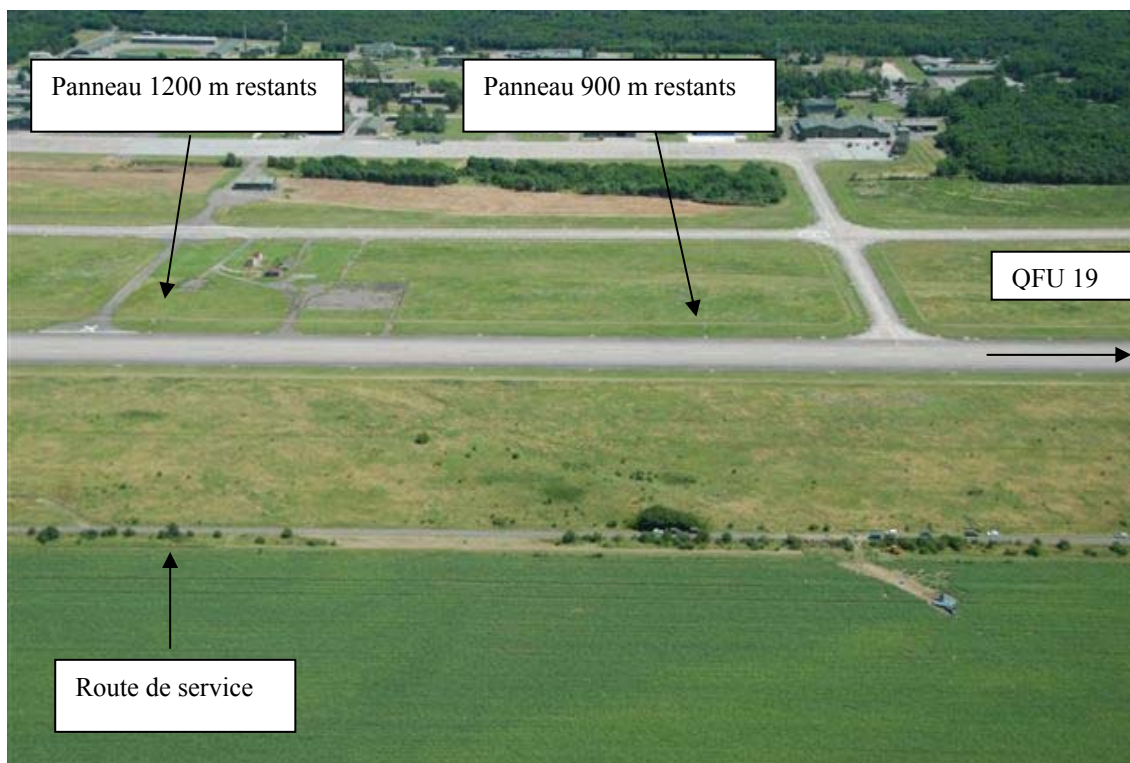
L'avion a poursuivi sa course dans l'herbe, alternant un dérapage gauche puis de nouveau à droite avant de percuter le talus de la route de service, ce qui provoque la rupture des trois trains d'atterrissage. Il provoque la destruction de la clôture grillagée de la base puis termine sa course sur le ventre, une trentaine de mètres après celle-ci, dans un champ de maïs haut. Il ne prend pas feu. L'ingestion de plants de maïs provoque l'extinction du réacteur.



Vue aérienne du site de l'accident



Vue aérienne du site de l'accident



Vue aérienne du site de l'accident

1.1.3. Manœuvres des autres appareils après l'accident

Lors des éjections, FOX 3 est au poser des trains principaux. Il freine en urgence et sort le parachute. Il parvient à rouler à faible vitesse lorsqu'il croise le pilote place arrière assis sur la piste.

Au même moment :

- FOX 4 est en finale, il remet les gaz en effectuant une baïonnette à droite,
- FOX 0 réalise un passage dans l'axe, il effectue une baïonnette à gauche.

Ces deux appareils rassemblent et se déroutent sur la base aérienne de Nancy.

1.1.4. Localisation

- Lieu :
 - pays : France ;
 - département : Haut-Rhin ;
 - commune : Meyenheim.
- Moment : jour.

1.2. Tués et blessés

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

1.3. Dommages à l'aéronef

	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
Aéronef			X	

1.4. Autres dommages

La clôture de la base et une parcelle de culture de maïs ont été endommagées lors de l'accident puis au cours de l'enlèvement de l'appareil.

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. Pilote

- Age : 40 ans.
- Unité d'affectation : escadron de chasse 01.030 Alsace ;
 - fonction dans l'unité : pilote instructeur – adjoint au chef des opérations.

- Formation :
 - qualification : chef de patrouille ;
 - école de spécialisation : chasse ;
 - année de sortie d'école : 1991.
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont sur Mirage F1	Sur tous types	Dont sur Mirage F1	Sur tous types	Dont sur Mirage F1
Total	3700 h	2200 h	65 h 45	65 h 45	23 h 10	23 h 10

- Date du dernier vol comme pilote :
 - sur Mirage F1B : 18 juin 2008.
- Carte de circulation aérienne :
 - type : verte ;
 - date d'expiration : 19 décembre 2008.

1.5.2. Pilote place arrière

- Age : 35 ans.
- Unité d'affectation : escadron de chasse 01.030 Alsace ;
 - fonction dans l'unité : pilote instructeur.
- Formation :
 - qualification : chef de patrouille ;
 - école de spécialisation : chasse ;
 - année de sortie d'école : 1996.
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont sur Mirage F1	Sur tous types	Dont sur Mirage F1	Sur tous types	Dont sur Mirage F1
Total	2800 h	800 h	64 h 00	64 h 00	19 h 20	19 h 20

- Date du dernier vol comme pilote :
 - sur Mirage F1B : 19 juin 2008.
- Carte de circulation aérienne :
 - type : verte ;
 - date d'expiration : 11 septembre 2008.

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Unité d'affectation : EC 01.030 Alsace.
- Configuration : 2 lance-missiles LM 69.

	Type	Numéro	Heures de vol totales	Atterrissages	Heures de vol depuis
Cellule	Dassault Mirage F1B	520	4521 h 15	6040	sortie de stockage : 51h05 GV2 : 2109 h 40
Moteur	Snecma ATAR 9K50	11551	2923 h 45	--	Pose : 41h10

1.6.1. Maintenance

L'examen de la documentation technique témoigne d'un entretien conforme aux programmes de maintenance en vigueur.

1.6.2. Points particuliers relevés dans la documentation du suivi de la maintenance

Cette documentation mentionne notamment les points suivants :

- Février 1994 : sortie de GV2 ;
- février 2004 : pose jambe de train auxiliaire s/n U553² ;
- juin 2005 : dépannage suite à une perte de dirigibilité à l'atterrissage³ ;
- mars 2006 à mars 2008 : stockage sur la BA 279 de Châteaudun ;
- avril 2008 : livraison à l'EC 01.030 ;
- mai 2008 : échange GTR (pose GTR 11551) ;
- 17 juin 2008 : échange du bloc de distribution de la dirigibilité⁴ (dépose bloc s/n U30, pose bloc s/n U 448⁵), fin des travaux le 18 juin 2008.

Cet échange du bloc a été réalisé dans le cadre d'une noria mise en place en mars 2008 dans le but de remettre à niveau la flotte Mirage F1, en instaurant un suivi individualisé des blocs de distribution et en leur attribuant une limite à 3000 atterrissages.

Dans ce cadre, le bloc s/n U448 a subi en avril et mai 2008 une révision générale chez Messier Services puis a été monté sur le Mirage F1B 520.

² 772 atterrissages ont été réalisés depuis le remplacement de la jambe de train avant.

³ La dirigibilité n'était pas en fonction au poser de la roulette (voyant allumé). L'électro-distributeur secours et le commutateur amortisseur ont été remplacés lors du dépannage. Il s'agit de la seule panne de dirigibilité recensée dans la documentation depuis 2002.

⁴ Ce bloc hydraulique asservit l'orientation des roues du train avant au déplacement du palonnier.

⁵ 4 vols ont été réalisés avec ce bloc entre la sortie de visite et le vol de l'accident (au total : durée 4h, 10 atterrissages).

D'après les informations fournies par l'industriel concernant l'historique de ce bloc :

- ce bloc était avant la révision générale (RG) en situation de « stock état »⁶ ;
- puis il a fait partie d'un lot de 5 blocs ayant subi une RG dans le cadre de la noria ;
- ces blocs, ayant été repeints avant la mise en stock, n'ont pas été décapés avant d'être révisés⁷.

Lors d'examens techniques réalisés en novembre 2008 sur des blocs récemment sortis de RG, il est apparu que des courbes tracées lors des essais au banc en fin de RG, bien que déclarées conformes à l'issue de ces essais, se sont révélées non conformes aux critères définis⁸. Le bloc de l'appareil accidenté est concerné par cette non-conformité.

1.6.3. Opérations de dépollution du circuit hydraulique avion

La génération et la distribution de l'énergie hydraulique du Mirage F1B comportent 2 circuits principaux indépendants et un circuit secours. La dirigibilité est alimentée par le circuit 2. Le fluide utilisé est le liquide hydraulique minéral de type H515.

La documentation ne mentionne pas de dépollution des circuits hydrauliques depuis au moins 2002. Elle mentionne 2 dépollutions de la dirigibilité réalisées en juin 2005 lors d'un dépannage suite à une perte de la dirigibilité à l'atterrissage. Le plan de maintenance ne prévoit pas de réaliser ces opérations à titre préventif.

1.6.4. Masse – carburant

Le vol est effectué en plein partiel (2500 litres). La masse de l'appareil à l'atterrissage est estimée à 8,8 T (1000 litres restants).

La masse et le centrage de l'appareil sont dans les limites durant l'ensemble du vol.

1.7. Conditions météorologiques

Les conditions relevées par le centre météorologique de la base au moment de l'accident sont les suivantes :

- visibilité supérieure à 10 km ;
- peu de nuages à 6000 ft, nuages épars à 10000 ft, nuages fragmentés à 11000 ft ;
- vent 210°/12 kt rafales à 18 kt ;
- température/point de rosée, au sol : 25,2/11,7°C ;
- pression au sol : 991 hPa.

Il n'y a pas eu de précipitations dans la journée, la piste est sèche.

Les vents en surface annoncés par le contrôle aux appareils en finale sont :

- à FOX 1 : 220°/10 kt (1 min 40 sec avant la sortie de piste de FOX 2) ;
- à FOX 2 : 210°/10 kt maximum 16 (1 min 20 sec avant la sortie de piste) ;
- à FOX 3 : 210°/10 kt (1 minute avant la sortie de piste).

⁶ Pièces révisées en attente d'utilisation.

⁷ Le processus usuel de RG ne prévoit pas de décapage systématique préalable.

⁸ Cette non-conformité a été analysée par le bureau d'études de Messier-Bugatti, concepteur de l'équipement. Elle a été acceptée sur l'ensemble des blocs (courrier DAV/TS 1183/08 du 11/12/08) car sans impact sur le fonctionnement, étant donné les faibles écarts des courbes courant-déplacement par rapport à l'enveloppe définie.

1.8. Aides à la navigation

Sans objet.

1.9. Télécommunications

Les cinq appareils sont en contact avec le contrôle local sur la fréquence tour UHF et communiquent entre eux sur cette fréquence.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome

La base est équipée d'une piste 01/19 d'une longueur de 2430 mètres et d'une largeur de 45 mètres.

La route de service franchie par l'appareil lors de l'accident se trouve à l'ouest de la piste, à une distance latérale d'environ 170 mètres par rapport à la bordure de piste. Elle est construite sur une butte d'une hauteur d'environ 80 cm par rapport au sol environnant.

1.11. Enregistreurs de bord

Les Mirage F1B de l'armée de l'air sont équipés :

- d'un enregistreur de vol ENERTEC type PE 6010-5, à bande magnétique :
 - il enregistre 24 paramètres dont 8 binaires à des fréquences allant de 1 à 4 Hz ;
 - aucune position des organes de la chaîne de lacet et de la dirigibilité n'est enregistrée ;
- d'un enregistrement vidéo en noir et blanc du collimateur tête haute (CTH) ; les sons issus de l'interphone de bord et de la radio sont enregistrés.

La restitution des données de l'enregistreur de vol de l'appareil accidenté a été réalisée par le centre RESEDA (CEV). L'enceinte et la bande magnétique sont intactes. Par précaution, la bande magnétique a été déposée avant lecture. Tous les paramètres ont pu être exploités.

Les données des derniers vols des quatre autres appareils ont été extraites par les moyens détenus sur base.

Les cinq cassettes CTH ont pu être exploitées.

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

1.12.1. Examen de la piste

Aucune pièce⁹, aucun épanchement de fluide n'a été constaté sur la piste.

Les traces laissées par les pneumatiques de l'appareil accidenté sur la piste :

- s'étalent sur environ 180 mètres ;
- débutent à environ 1350 mètres restants (à 1080 mètres du début de bande) et sortent de la piste à environ 1170 mètres restants ;
- sont courbes, orientées vers la droite, sans inflexion.

⁹ Autre que celles résultant des éjections.

Sont relevées successivement :

- la trace des pneumatiques du train auxiliaire ;
- puis, à une trentaine de mètres, les traces des pneumatiques du train principal droit ;
- puis, à une quinzaine de mètres, les traces des pneumatiques du train principal gauche.

La trace la plus marquée (la plus noire) est laissée par le pneumatique de la roue gauche du train auxiliaire.

Les traces des pneumatiques du train auxiliaire se rapprochent progressivement de celles des pneumatiques du train principal droit, attestant d'un dérapage s'accroissant.

La trace du pneumatique de la roue extérieure du train principal droit est moins marquée que celles des autres roues des trains principaux.

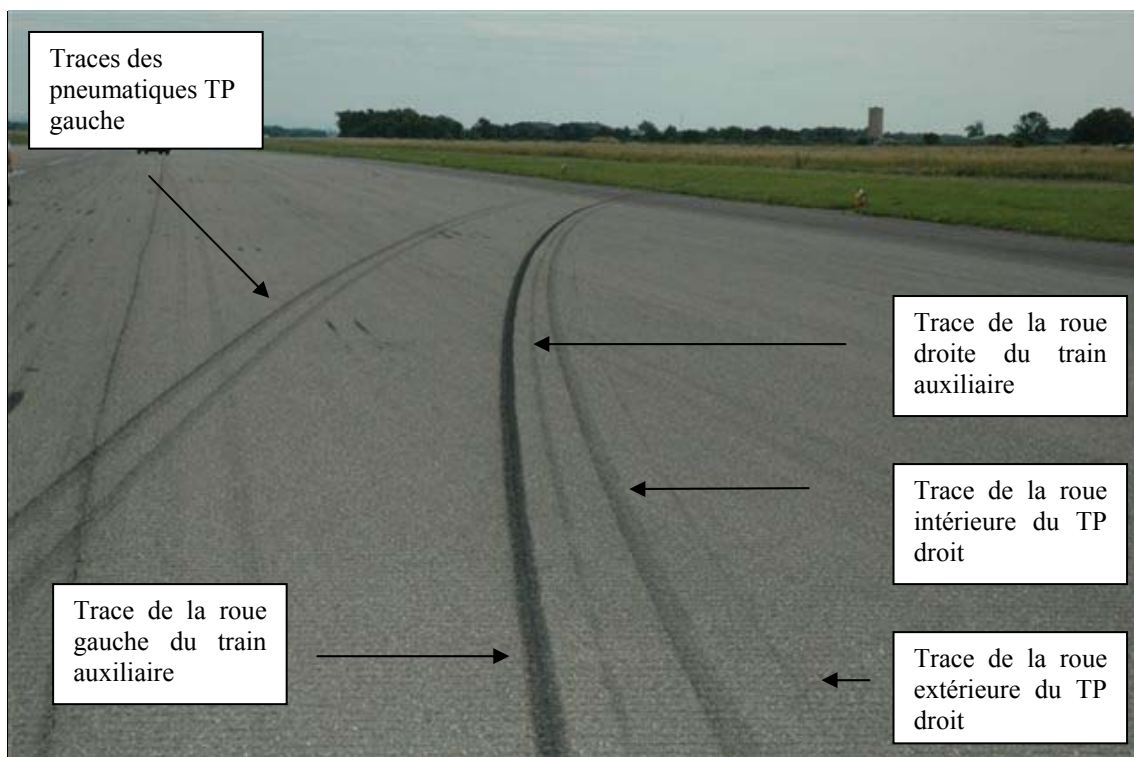
Les roues du train auxiliaire ont labouré la terre lorsque l'appareil a pénétré la partie herbeuse ; les traces correspondantes des trains principaux sont moins marquées.

Les photos ci-dessous sont prises successivement dans l'axe de progression de l'appareil, depuis le début des traces jusqu'à la sortie de la piste de l'appareil.



Vue des traces de pneumatiques sur la piste (début d'apparition des traces)¹⁰

¹⁰ Sur cette photo, la trace marquée au premier plan n'a pas été laissée par l'appareil accidenté.



Vue des traces de pneumatiques sur la piste



Vue des traces de pneumatiques sur la piste (fin des traces sur la piste)



Vue des ornières provoquées par les trains dans l'herbe

1.12.2. Examen de l'épave

L'appareil s'est immobilisé une trentaine de mètres après avoir franchi la route de service, et après avoir pénétré dans le champ de maïs haut.



Vue de l'appareil accidenté

L'appareil n'a pas pris feu.

Le groupe turboréacteur (GTR) est éteint à l'arrivée des pompiers¹¹.

Les dommages les plus significatifs sont :

- la rupture des trois trains lors de leur impact avec la butte soutenant la route de service, et en conséquence l'endommagement de la partie inférieure du fuselage ;
- la séparation de la coque radar du fuselage ;
- des enfoncements du bord d'attaque de l'empennage gauche.

1.12.2.1. Configuration des commandes et systèmes en rapport avec l'événement

La manette des gaz était sur plein gaz sec¹² avant l'intervention des pompiers.

Concernant la configuration d'atterrissage :

- les hypersustentateurs sont en configuration d'atterrissage ;
- le parachute frein n'est pas sorti ; la commande n'a pas été actionnée.

Concernant le système de dirigibilité :

- les interrupteurs dirigibilité sont sous cache (postes avant et arrière) ;
- les poussoirs de sélection de la grande sensibilité sont sur petite sensibilité¹³ (postes avant et arrière).

¹¹ De la mousse carbonique a été répandue par précaution par les pompiers, suite à un dégagement de fumée blanche par la tuyère lors de l'extinction du GTR.

¹² Ceci est confirmé par l'analyse des données de l'enregistreur de vol.

¹³ Ce constat ne permet pas de conclure sur leur position avant la sortie de piste, la perte d'alimentation électrique les basculant automatiquement sur cette position.

Concernant le système de freinage :

- les interrupteurs SPAD sont sous cache (postes avant et arrière) ;
- les poignées frein secours n'ont pas été actionnées.

1.12.2.2. Examen des trains principaux

Les principales constatations sont les suivantes :

- les trains principaux sont rompus au niveau des jambes et des vérins de manœuvre ;
- les roues tournent librement ;
- les blocs de freins sont intègres ;
- aucun pneumatique n'est dégonflé, excepté la roue intérieure du train gauche qui présente une large déchirure, due aux chocs subis après la sortie de piste.



Vue du train principal droit rompu

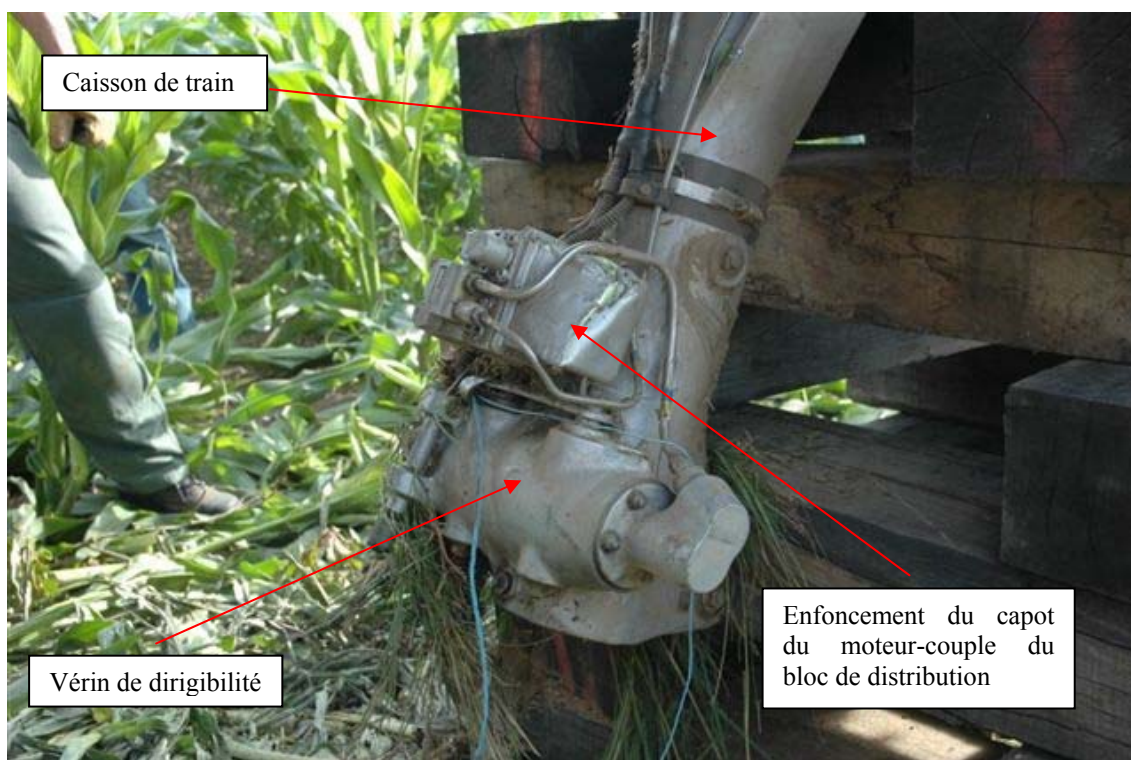
1.12.2.3. Examen du train auxiliaire

Le train auxiliaire du Mirage F1 est décrit en annexe 1.

Les principales constatations sont les suivantes :

- le caisson de train manœuvre normalement dans les axes d'articulation ;
- l'ensemble coulissant amortisseur s'est extrait du caisson suite à la rupture de sa liaison avec la chape double et à la rupture de la branche inférieure du compas ;
- l'amortisseur est sous pression et le dispositif de remise dans l'axe des roues à la détente fonctionne ;
- le secteur cranté et la came du tube de l'ensemble tournant sont intègres ;
- le vérin de dirigibilité, le bloc de distribution et les tuyauteries associées sur le caisson ne présentent pas de fuite hydraulique ;

- le bloc de distribution a été endommagé lors de la sortie de piste (arrachement des 4 vis de fixation, enfoncement du carter couvrant le moteur-couple, endommagement du connecteur et de sa fixation) ;
- la trappe arrière est fermée verrouillée ;
- les roues tournent librement ;
- les pneumatiques ne sont pas dégonflés. Le flanc gauche de la roue gauche présente des érosions sous formes de stries provoquées par un ripage du flanc sur la piste.



Vue du vérin de dirigibilité et du bloc de distribution



Vue de la roue gauche du train auxiliaire



Détail des traces de ripage sur le flanc gauche de la roue gauche du train auxiliaire

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1. Pilote

Le pilote était apte au vol. Il est indemne.

1.13.2. Pilote place arrière

Le pilote place arrière était apte au vol comme pilote.

Il présente une contusion au pied droit survenue lors de l'atterrissage sous voile sur la piste. Cette blessure a induit un arrêt des vols d'environ 3 mois.

1.14. Incendie

Sans objet.

1.15. Survie des occupants

1.15.1. Séquence d'éjection

Type de siège éjectable : Martin Baker MK 10 (commande basse unique).

Le séquenceur est sur la position « biplace ». Le pilote annonce « éjection, éjection » puis tire la commande. Le pilote place arrière a identifié avant la sortie de la piste une perte de contrôle de la trajectoire et a alors positionné ses mains sur la commande, sans l'actionner.

Les éjections ont eu lieu dans le domaine d'emploi du siège (à une vitesse de l'ordre de 80 kt). La séquence s'est déroulée sans anomalie.

1.15.2. Organisation des secours

L'ensemble de secours d'aérodrome de l'escadron de sécurité incendie et sauvetage (ESIS) est pré-positionné en sortie de hangar, moteur tournant, tout au long de la présentation. L'équipe médicale de la base est prévenue du début de la présentation par la tour et placée en alerte au service médical.

Les pompiers se rendent sur le lieu de l'accident dès qu'ils constatent les éjections.

Arrivés aux abords de la piste, le chef des secours oriente le véhicule mousse d'aérodrome (VMA) vers l'appareil et dirige vers les pilotes le véhicule d'intervention rapide polyvalent (VIRP) dans lequel il se trouve, en intervenant en premier lieu sur le pilote allongé sur la piste.

L'équipe médicale entend le klaxon *crash* et se rend sur le lieu de l'accident, indiqué par la tour, qu'elle rejoint en moins de 3 minutes par le chemin le plus direct (parking escale).

Le pilote est transporté assis au service médical dans l'ambulance de l'infirmerie. Le pilote place arrière est transporté en position allongée au service médical dans l'ambulance des pompiers.

A leur arrivée au service médical, les deux pilotes sont examinés par le médecin du service médical. A 17 h 20, ils sont transportés par une ambulance routière de type *Jumpy* avec une infirmière et une auxiliaire sanitaire du service médical au service des urgences de l'hôpital de Colmar afin de réaliser les radiographies de contrôle de la colonne vertébrale. Le pilote voyage assis, le pilote place arrière est allongé.

Le médecin urgentiste ne souhaite pas dans un premier temps effectuer le bilan radiographique étant donné que les pilotes n'ont pas mal au dos. L'infirmière militaire en réfère par téléphone au médecin chef resté sur la base qui décide alors de se rendre à son tour à l'hôpital pour expliquer le bien fondé du bilan radiographique demandé. Celui-ci est finalement effectué après discussion entre les deux médecins.

1.16. Essais et recherches

Néant.

1.17. Renseignements sur les organismes

Néant.

1.18. Renseignements supplémentaires

1.18.1. Témoins de l'accident

Deux pilotes de l'escadron sont positionnés sur la partie herbeuse à droite de la piste QFU 19. L'un d'eux filme la présentation puis l'atterrissage du premier appareil et de l'appareil accidenté. Il filme notamment cet appareil alors qu'il roule. Il rapporte notamment :

- ne pas entendre de crissement de pneus sur la piste, comme lorsqu'une roue se bloque ;
- entendre l'accélération du GTR.

1.18.2. Synthèse de l'étude d'événements liés à un dysfonctionnement de la dirigibilité sur Mirage F1, survenus dans l'armée de l'air

D'après les comptes-rendus consultés, une quarantaine d'événements liés à la dirigibilité ont été recensés depuis 1979.

Ceux s'étant produit à l'atterrissage peuvent être classés en deux grandes catégories :

- l'absence de mise en service de la dirigibilité :
 - lors du poser de la roulette, les conditions de mise en service de la commande ne sont pas remplies et par conséquent le bloc n'est pas alimenté en haute pression hydraulique ;
 - les roues ont par conception tendance à rester dans l'axe d'avancement de l'appareil, leurs oscillations restent amorties par la fonction anti-shimmy ;
 - le pilote est alerté par l'allumage du voyant ambre, l'appareil reste contrôlable à la direction et aux freins, la sortie du parachute pouvant également contribuer au contrôle de l'axe ;
- le dysfonctionnement de l'asservissement :
 - la commande est en service suite au poser de la roulette mais l'asservissement de position présente un défaut de fonctionnement immédiatement ou durant la décélération : l'appareil est alors plus ou moins rapidement contrôlé au palonnier et/ou aux freins, parfois avec l'aide du parachute ;
 - il ressort des comptes-rendus que le contrôle de l'axe est alors maintenu ou repris dans des conditions très variables en fonction :
 - de l'ampleur du dysfonctionnement¹⁴ (écart entre les ordres au palonnier et l'orientation des roues) ;
 - de la vitesse à laquelle il se produit ;
 - de la rapidité avec laquelle le pilote coupe la dirigibilité ou, si elle n'est pas coupée, de l'efficacité résiduelle de la commande.

¹⁴ Un pilote rapporte une inversion de la commande (embarquée d'un côté lors d'une correction au palonnier de l'autre côté). Une telle inversion a également été constatée lors d'essais au sol. Le dysfonctionnement peut également être une amplification d'un ordre au palonnier ou un braquage intempestif (sans ordre au palonnier).

2 sorties de piste sont recensées :

- Mirage F1C n° 15 à Reims en 1981 : la fiche d'incident mentionne notamment :
 - *qu'après un atterrissage normal ... le pilote pose la roulette de nez vers 110 kt ... L'avion embarque brutalement à droite ;*
 - *que la cause principale est le décalage du neutre de la dirigibilité, qui a pu être la conséquence de l'obstruction partielle d'un gicleur du bloc de distribution par une particule ;*
 - *que le contre du pilote au palonnier n'a pu éviter la mise en dérapage ;*
 - *que la seule possibilité de garder l'avion sur la piste était de couper la dirigibilité, mais que le pilote n'a pu réagir en temps voulu (un temps de 4 secondes est estimé entre le poser de la roulette et la sortie de piste) ;*
 - *que le pilote ne s'est pas éjecté (la vitesse en sortie de piste n'est pas mentionnée).*

- Mirage F1C n° 247 à Cambrai en 1990 : la fiche d'incident mentionne notamment :
 - *que le pilote pose la roulette de nez vers 110 kt et constate une légère embardée à gauche, il contre au palonnier et l'avion revient dans l'axe. Ensuite, le pilote ne parvient pas à contrer une tendance de l'appareil à virer à gauche ;*
 - *qu'un dysfonctionnement du capteur de position du palonnier est à l'origine de la panne constatée ;*
 - *que la seule possibilité de rattraper l'embardée était de couper l'interrupteur dirigibilité et d'agir sur les freins ;*
 - *que la réaction tardive du pilote est due à son manque d'expérience (30 heures sur Mirage F1).*

1.18.3. Évolutions de la définition du bloc de distribution

Une évolution du bloc de distribution a été décidée en 1981¹⁵ sur les Mirage F1 mono et biplaces suite à des incidents au décollage et à l'atterrissage (*embardées incontrôlables par le pilote*) afin de diminuer la possibilité de colmatage des gicleurs et diaphragmes internes au bloc, par augmentation du diamètre des diaphragmes (de 0.18 à 0.3 mm) et de la distance obturateur-gicleurs (de 35 à 70 microns).

1.19. Techniques spécifiques d'enquête

Néant.

¹⁵ Modification n°813, suivant fiche d'évolution d'équipement Messier Hispano Bugatti n°208.

2. ANALYSE

2.1. Préambule

L'événement est une perte de contrôle lors de la phase de roulage à l'atterrissage, menant à une sortie de piste.

Le pilote commande la double-éjection dès que l'appareil sort de la piste, entre 80 et 90 kt¹⁶. Ceci a garanti la sauvegarde de l'équipage, car le choc subi par l'appareil lors du franchissement de la route de service pouvait mener à une situation dans laquelle l'éjection n'aurait soit plus été possible, soit n'aurait plus permis de sauvegarder l'équipage.

La phase d'éjection n'amène pas de remarques.

La nature du sol sur lequel le pilote place arrière a atterri a contribué à sa légère blessure au pied.

2.2. Analyse de la phase d'atterrissage – détermination de l'origine de la perte de contrôle après le poser du train auxiliaire

Cette analyse s'appuie sur le témoignage du pilote, sur l'analyse de la vidéo du collimateur tête haute et des données extraites de l'enregistreur de vol, ainsi que sur l'exploitation des traces des pneumatiques sur la piste.

2.2.1. Séquence d'événements

Les principales phases de la séquence d'événements lors du poser sont listées dans le tableau ci-dessous.

	Événement	cap	VC (kt)	Régime GTR (tr/min)	Observations
T0 – 12 sec	Poser des trains principaux, passage manette sur ralenti	193°	137	5200	
T0	Poser du train auxiliaire	193	100	3100	L'assiette est passée de 10 à 2°. Le cap a très légèrement augmenté lors de l'abattée.

¹⁶ Le mémento pilote Mirage F1 ne donne pas de consigne vis-à-vis de l'éjection en cas de sortie de piste.

	Événement	cap	VC (kt)	Régime GTR (tr/min)	Observations
T0 + 3,5 sec	Début de l'embardée à droite	194	99	3000	Le cap augmente de 194 à 248° en 7 secondes.
T0 + 4,2 sec	Apparition panne ambre (cette panne est ensuite permanente)	199	95	2970	
T0 + 4,5 sec	La manette passe du ralenti au PG sec en moins de 0,5 sec	201	95	2970	
T0 + 6 sec environ	Sortie de la piste. Le pilote lâche le manche.	218	Vers 85 kt	6000	
T0 + 7 sec	Annonce du pilote « <i>éjection, éjection</i> » (l'éjection est commandée dans la demi-seconde suivante)				
T0 + 10 sec	Atteinte du régime GTR plein gaz	245		8400	
T0 + 10,5 sec	Le cap atteint un maximum à 248° (puis l'appareil va repartir vers la gauche et enfin vers la droite avant de s'immobiliser).	248		8400	
T0 + 13 sec	Fin de fermeture de la tuyère	220	(*)	8400	Atteinte de la pleine poussée PG sec du GTR
T0 + 16 sec	Chute rapide de la vitesse vers zéro. Chute rapide de la température turbine. Début de décélération du régime GTR.	250		8400	L'appareil a franchi le talus et pénétré le champ de maïs. L'ingestion massive de végétaux par le GTR provoque son extinction, la manette étant toujours sur plein gaz.

(*) La vitesse calculée est erratique, les mesures issues des sondes étant perturbées par le dérapage de l'appareil.

2.2.2. Analyse de la phase d'atterrissage

Le pilote place arrière rapporte qu'il n'a manœuvré les commandes ni lors du vol ni lors de l'embardée.

La sortie du train est nominale.

La phase de présentation et de poser des trains principaux est nominale. La piste est sèche et la composante de vent de travers est faible (maximum 4 kt de la droite)¹⁷.

L'embarquée débute entre 3 et 4 secondes après le poser du train auxiliaire, lorsque le pilote repousse le manche du cabré vers le neutre, ce qui a pour effet l'application de la charge sur le train auxiliaire.

Le pilote n'a pas, dans cette phase ni ensuite, d'action aux freins.

Il contre au palonnier à gauche et simultanément en gauchissement à droite (jusqu'à 60% du débattement en gauchissement). Il est probable que l'allumage du voyant ambre soit la conséquence de l'action au palonnier¹⁸. Ces actions du pilote n'ont aucun effet sur le cap qui continue à augmenter.

Le pilote tient comme d'habitude lors de l'atterrissage la manette des gaz de sa main gauche¹⁹. Une seconde environ après le début de l'embarquée, il met plein gaz avec une légère action à cabrer sur le manche (de 30 à 50% du débattement). Le pilote ne se souvient pas avoir mis plein gaz et il rapporte ne pas être dans une optique de remise des gaz, ni avant ni lors de l'embarquée²⁰. Ce témoignage amène à analyser cette action comme étant un réflexe conditionné de sauvegarde. L'analyse des paramètres du GTR montre que cette action, étant donné le temps d'accélération de celui-ci, n'est pas une cause de la sortie de piste. Cependant, l'application de la poussée a accru l'énergie cinétique de l'appareil et probablement les endommagements subis.

Le pilote maintient son action au palonnier et au manche jusqu'à la sortie de piste. Il n'effectue aucune action en cabine. Il n'a perçu aucune vibration du train auxiliaire. Il ne rapporte aucun allumage de voyant.

L'appareil s'est mis en fort dérapage et sort de la piste sous un angle d'environ 30° par rapport à l'axe et à une vitesse de l'ordre de 85 kt.

2.2.3. Analyse de la cause de l'embarquée

La trace laissée sur la piste par la roue gauche du train auxiliaire, celle constatée à l'entrée dans l'herbe, et l'endommagement du flanc gauche de cette roue attestent d'un braquage du train auxiliaire, toujours à droite.

L'angle de braquage n'a pu être déterminé, il est cependant probable qu'il ait été supérieur au débattement maximal pouvant être obtenu en petite sensibilité²¹.

Les traces des pneumatiques des trains principaux sont la conséquence de la mise en dérapage et du déport des masses vers la gauche. Leur aspect montre que l'embarquée n'est pas due à un freinage dissymétrique.

¹⁷ Le pilote qui vient de se poser ne rapporte aucune difficulté particulière.

¹⁸ Les mouvements du palonnier ne sont pas enregistrés. Sur Mirage F1, il est fréquemment constaté qu'une action modérée à forte au palonnier au roulage provoque le déclenchement de l'amortisseur de lacet et par conséquence l'allumage de ce voyant (ceci s'est notamment produit lors du roulage avant le décollage de l'appareil).

¹⁹ Les relevés des efforts de manœuvre des manettes des gaz n'ont pas révélé d'anomalie.

²⁰ FOX 1 n'a pas encore dégagé la piste à cet instant.

²¹ Ce débattement maximal est respectivement de 7° et de 45° en petite et grande sensibilité (il est obtenu à 70% de la course du palonnier).

2.2.4. Analyse de la gestion de l'événement par le pilote

Les procédures de secours du Mirage F1²² prévoient en cas d'embarquée à l'atterrissage – au poser de la roulette de nez, de :

- couper la dirigibilité²³,
- contrer au palonnier,
- sortir le parachute,
- freiner en normal.

Le pilote est très expérimenté sur Mirage F1, monoplace et biplace. Il n'avait jamais été confronté à une embarquée à l'atterrissage.

Il avait connaissance d'une embarquée survenue le 21 mai 2008 sur un Mirage F1B de son escadron, au cours de laquelle le pilote avait pu appliquer les actions prévues, et contrôler l'appareil²⁴. Les informations recueillies sur cet événement montrent que la première action du pilote, de l'ordre du réflexe, a été de contrer au palonnier et qu'il disposait encore d'une autorité au moins partielle sur cette commande.

Il apparaît que dans le cas du présent accident :

- le temps entre le début de l'embarquée et la sortie de piste est court (environ 3 secondes) ;
- le braquage intempestif des roues du train auxiliaire est intervenu à forte vitesse (vers 100 kt) et a été suffisamment important pour mettre rapidement l'appareil en dérapage, rendant la reprise du contrôle aléatoire ;
- seule une coupure très rapide de la dirigibilité, en action réflexe, dès le constat de l'inefficacité de celle-ci, pouvait permettre le retour naturel dans l'axe des roues du train auxiliaire puis une tentative de reprise du contrôle de l'appareil à l'aide de la direction, des freins et du parachute, sans pouvoir garantir que la sortie de piste aurait alors pu être évitée ;
- le pilote rapporte ne pas avoir eu le temps de réagir autrement qu'en actionnant les commandes de vol.

2.2.5. Synthèse

**L'embarquée est consécutive à un braquage non commandé du train auxiliaire survenu vers 100 kt et qui a provoqué la mise en dérapage de l'appareil.
Le contre à gauche du pilote au palonnier n'a jamais permis de corriger la trajectoire.
Il apparaît que la seule issue était une coupure rapide de la dirigibilité, dès l'inefficacité de celle-ci constatée, sans que l'on puisse garantir dans ce cas que la sortie de piste aurait été évitée.**

²² Cette procédure est identique sur les F1 monoplace et biplace.

²³ Il apparaît que le contre au palonnier est une action réflexe et sera de ce fait toujours effectué avant que le pilote ne coupe la dirigibilité. La rédaction de cette procédure met cependant en exergue la nécessité d'une coupure rapide de celle-ci.

²⁴ Embarquée à l'atterrissage du F1B 502 le 21 mai 2008. L'appareil a embarqué à gauche après le poser du train avant, vers 100 kt. D'après le témoignage du pilote, celui-ci a pu contrôler l'appareil au palonnier, puis il a tiré le parachute et coupé la dirigibilité. L'appareil n'est pas sorti de la piste.

2.3. Analyse des causes du braquage non commandé du train auxiliaire

2.3.1. Résultats des recherches menées sur la chaîne de dirigibilité et sur le circuit hydraulique avion

2.3.1.1. Investigations sur l'appareil

L'appareil a été manutentionné sur une plate-forme puis entreposé dans un hangar de la base de Colmar le lendemain soir de l'accident.

Ont été vérifiés visuellement sur l'appareil, sans constater d'anomalie :

- l'état des palonniers avant et arrière et de la liaison mécanique entre le palonnier avant et le capteur de position ;
- l'état externe de ce capteur et sa fixation.

Le câblage avion depuis ce capteur jusqu'à la jambe de train a été vérifié, sans constater d'anomalie.

2.3.1.2. Tests aux bancs d'équipements (ESTS Colmar)

Les composants suivants ont été testés aux bancs d'équipements de la base de Colmar ; aucune anomalie n'a été constatée²⁵ :

- capteur de position du palonnier ;
- résistance repère 43G, relais 41G, 42G, et leurs liaisons filaires.

2.3.1.3. Expertise du train auxiliaire et de composants de la chaîne de dirigibilité au CEAT, hors bloc de distribution

Les composants suivants ont été fournis pour expertise²⁶ :

- caisson de train équipé du bloc de distribution et du vérin de dirigibilité ;
- composants de la centrale hydraulique : distributeurs électro-hydrauliques repères 32G et 35G, détendeur repère 2, manoccontact repère 36G, accumulateur repère 3.

Aucune anomalie n'a été constatée sur le vérin et sur les composants de la centrale.

La ligne électrique venant du capteur de position, située sur la jambe de train, a été vérifiée : aucune anomalie n'a été constatée.

D'autre part, le CEAT a réalisé des analyses de 5 prélèvements de fluide hydraulique réalisés au niveau du train auxiliaire :

- prélèvement du fluide contenu dans les 2 tuyauteries situées entre le bloc et le vérin, réalisé à Colmar par l'ESTS en présence du BEAD-air, avant dépose du train ;
- prélèvements du fluide contenu dans la tuyauterie d'alimentation du bloc et dans les clapets anti-shimmy du vérin, réalisés à Toulouse par le CEAT.

²⁵ Les génératrices tachymétriques ont également été testées.

²⁶ Le capteur de position a également fait l'objet de relevés de courbes courant-déplacement qui ont permis de confirmer son bon fonctionnement.

Ces analyses ont mis en évidence :

- la cohérence des résultats des analyses des prélèvements réalisés à Colmar et au CEAT dans les circuits situés entre le bloc et le vérin ;
- pour l'ensemble des prélèvements :
 - des classes de propreté allant de 11 à hors classe²⁷ ;
 - une forte pollution en particules métalliques et en fibres diverses.

2.3.1.4. Résultats de l'expertise du bloc de distribution réalisée par le CEAT

Une description du bloc et son principe de fonctionnement figurent en annexe 1.

Une analyse des causes possibles du dysfonctionnement rencontré a été réalisée puis le bloc a été démonté le 14 octobre pour examen des composants internes, en présence du BEAD-air, de l'équipe technique Mirage F1 et de Messier Services. Des investigations complémentaires ont ensuite été menées par le CEAT (dont notamment la détermination de la nature des particules trouvées dans le bloc).

Les constatations faites lors de ces travaux sont les suivantes²⁸ :

- un des 2 fils délivrant le signal électrique de position du palonnier au moteur couple est sectionné : cet endommagement est consécutif au choc subi par le connecteur et ne peut pas expliquer l'embarquée, étant donné le principe de câblage des bobines du moteur-couple ;
- aucune anomalie n'est constatée sur le moteur-couple, excepté le tube de torsion qui s'est déformé sous le choc ;
- il n'est constaté aucune rupture, aucun endommagement, blocage ou tendance au blocage des organes internes de la partie hydraulique ;
- les micros orifices des diaphragmes ne sont pas obstrués ;
- les gicleurs et leurs conduits ne sont pas obstrués ; la présence d'un copeau sur le chanfrein de l'orifice d'arrivée de fluide vers les gicleurs, constaté sur un bloc lors d'examen techniques en novembre 2008, n'a pas été constatée sur le bloc de l'appareil accidenté²⁹ ;
- les chanfreins des orifices d'entrée des conduits (côté opposé aux gicleurs) sont usinés grossièrement ; de nombreux coups d'outils sont visibles ;
- aucun filtre ou tamis n'est colmaté ou endommagé³⁰ ;
- une particule, constituée de peinture très similaire à celle couvrant l'extérieur du bloc, est trouvée sur la platine porte-gicleurs, côté gicleurs ; malgré les précautions prises, il ne peut être exclu que cette particule se soit déposée lors de l'expertise du bloc ;
- trois particules sont visibles dans la grille du filtre situé sur la platine porte-gicleurs, côté gicleurs ; ce filtre a donc fait l'objet d'investigations complémentaires, dont les conclusions sont les suivantes :
 - ces trois particules sont insérées dans les orifices de la grille³¹, dans le sens de circulation normal du fluide à cet endroit ; ceci montre que ces particules étaient présentes sur la grille avant l'expertise du bloc ;

²⁷ Ces valeurs reflètent une pollution mais ne sont pas strictement conformes à la norme de classement, car d'une part les quantités de fluide disponibles sont inférieures à celles préconisées et d'autre part les prélèvements n'ont pu être effectués avec le circuit en fonctionnement.

²⁸ Il s'agit ici d'une synthèse réalisée par le BEAD-air du rapport d'expertise CEAT n°MT-07/7236 129/F1/A du 31 mars 2009.

²⁹ Un tel copeau est susceptible, s'il se rompt, d'obstruer un gicleur et de provoquer un déséquilibre hydraulique du bloc et donc une rotation non commandée des roues avant.

³⁰ Le filtre métallique d'entrée présente de légères déformations qui ne remettent pas en cause son efficacité.

³¹ Le diamètre minimal de ces orifices est de l'ordre de 170 microns.

- elles sont constituées d'une peinture similaire à celle couvrant l'extérieur du bloc ; elles sont molles et non cassantes ;
- une quatrième particule, de nature métallique (rigide), a été recueillie après un nettoyage du filtre aux ultra-sons ; elle était donc présente dans le corps du filtre.

La pollution constatée par le CEAT sur le filtre de la platine porte-gicleurs est décrite en annexe 2.

2.3.1.5. Résultats des analyses de fluide hydraulique et des examens des filtres du circuit hydraulique avion, réalisés par le CEPr

Suite au constat de pollution à divers points du train auxiliaire, des prélèvements ont été réalisés mi-novembre sur le circuit hydraulique avion et fournis au CEPr pour analyse (ainsi qu'un flacon témoin) :

- prélèvements sur bêche circuit 2, refoulement pompe circuit 2, filtre BP circuit 1, filtre BP circuit 2, filtre HP circuit 2 ;
- filtres dans leurs bols (filtre BP1, filtre BP2, filtre HP2).

Les principaux résultats de ces travaux sont les suivants³² :

- les caractéristiques physico-chimiques (indice d'acide, teneur en eau, viscosité³³) sont normales ;
- les analyses spectrométriques révèlent des teneurs en cuivre et en zinc, à des niveaux habituellement relevés sur les circuits hydrauliques ;
- les constatations faites sur les filtres et les bols ne révèlent pas de pollution caractérisée³⁴.

2.3.2. Synthèse des travaux – analyse des causes du braquage non commandé du train auxiliaire

2.3.2.1. Synthèse relative aux analyses de fluide hydraulique

Il ressort des analyses de fluide réalisées que la pollution constatée au niveau du train auxiliaire est localisée et qu'elle n'est pas la conséquence d'une pollution accidentelle du circuit avion.

Des prélèvements de fluide similaires ont été réalisés par l'armée de l'air au niveau de trains auxiliaires d'autres appareils ; elles n'ont pas mis en évidence de pollution de ce niveau.

L'origine de cette pollution n'a pas été déterminée, il est probable qu'elle se soit accumulée au fil du temps, ce phénomène étant favorisé par :

- les faibles débits hydrauliques mis en jeu par la fonction « dirigibilité » ;
- la situation en « cul de sac » du bloc et du vérin ;
- l'absence de maintenance préventive sur le circuit hydraulique.

³² Il s'agit ici d'une synthèse réalisée par le BEAD-air du rapport d'investigations CEPr n°98-DAI-08 du 23 février 2009.

³³ Les viscosités sont inférieures à la norme, il s'agit d'un effet connu du vieillissement de ce type de fluide.

³⁴ Il a par ailleurs été constaté sur l'appareil que les indicateurs de colmatage sur la génération hydraulique ne se sont pas déclenchés.

2.3.2.2. Analyse des causes du braquage non commandé du train auxiliaire

L'analyse des circonstances de l'accident et des symptômes de la panne rencontrée, ainsi que les premiers constats réalisés sur l'appareil, ont permis :

- de rejeter les hypothèses suivantes :
 - défaut structurel ou de montage du train auxiliaire ;
 - passage commandé ou non en grande sensibilité ;
 - gazage du circuit ;
- de retenir les hypothèses suivantes :
 - ordre électrique erroné reçu par le bloc de distribution ;
 - dysfonctionnement de l'asservissement réalisé par le bloc de distribution.

L'analyse des modes de pannes et l'absence d'anomalie constatée sur le capteur de position, sur le câblage avion (cellule et train auxiliaire) et sur la connectique du bloc permettent de rejeter l'hypothèse d'un ordre électrique erroné reçu par le bloc de distribution.

La non-conformité des courbes courant-déplacement tracées lors des essais de réception du bloc en fin du processus de RG (cf. chapitre 1.6.2) n'a pas pu participer à l'événement, étant donné les faibles écarts des valeurs relevées au banc par rapport à l'enveloppe définie.

L'expertise du bloc n'a pas mis en évidence de façon certaine l'origine du dysfonctionnement de l'asservissement. Notamment, aucune obstruction des gicleurs n'a été constatée.

Étant donné la texture molle des particules insérées dans les orifices de la grille, leur cinématique au travers des différents filtres et orifices du bloc est complexe.

Cependant, la présence de ces grosses particules (au regard des dimensions des diaphragmes et gicleurs internes au bloc) dans une partie du bloc hydraulique par conception sensible à la pollution permet de retenir comme hypothèse possible de dysfonctionnement de l'asservissement le passage d'une particule dans un gicleur, ceci provoquant un déséquilibre hydraulique du système buse-palette et en conséquence un braquage intempestif du train auxiliaire.

2.3.2.3. Analyse de l'origine de la présence de ces particules

En tout état de cause, ces particules ont été, à un moment donné, arrêtées par des orifices chanfreinés dont le diamètre minimal est de 170 microns.

Deux hypothèses se dégagent de l'analyse de la conception du bloc et des opérations réalisées sur celui-ci³⁵ :

- hypothèse 1 : les particules insérées dans le filtre de la platine porte-gicleurs proviennent de la tuyauterie d'alimentation du bloc³⁶ :
 - dans ce cas, ces particules doivent traverser successivement le filtre de 5 microns puis le filtre de 40 microns, puis enfin un diaphragme de 300 microns ;
 - compte tenu de la taille de ces particules et du faible temps de fonctionnement, cette hypothèse est rejetée.

³⁵ D'après les éléments recueillis, l'obturateur du logement du filtre d'entrée, freiné en usine, n'a pas été déposé.

³⁶ Elles se seraient alors introduites dans le bloc lors des opérations liées au remplacement du bloc ou ensuite en fonctionnement.

- hypothèse 2 : ces particules étaient résidentes dans le bloc avant son montage sur l'appareil :
 - l'hypothèse 1 étant rejetée, cette hypothèse est certaine ;
 - compte tenu de la taille de ces particules, elles étaient résidentes dans une zone située entre le filtre de 40 microns et le filtre retour de la platine porte-gicleurs ; cette zone est illustrée en annexe 2 ;
 - le réparateur Messier Services, consulté sur ce point, a indiqué que l'absence de décapage préalable à la RG a pu permettre l'introduction de particules dans le bloc lors du remontage de celui-ci au banc de réception ; les 4 autres blocs du lot concerné par cette absence de décapage ont fait l'objet en avril 2009 d'une procédure de retour en atelier pour contrôle.

2.3.2.4. Conclusions

Trois particules, de grande dimension au regard de celles des ajutages et orifices internes au bloc, ont été trouvées insérées dans le filtre retour de la platine porte-gicleurs. Elles sont constituées d'une peinture similaire à celle couvrant l'extérieur du bloc.

Ces particules étaient présentes dans le bloc avant son montage sur l'appareil 2 jours avant l'accident.

Il est possible que l'absence de décapage de la peinture préalable à la révision générale subie par cet équipement ait permis l'introduction de particules dans le bloc lors du remontage de celui-ci ou lors des essais au banc de réception.

Il est possible que le braquage non commandé du train auxiliaire ait pour origine une pollution interne du bloc hydraulique par ces particules de peinture.

Il a par ailleurs été constaté :

- **une forte pollution des circuits hydrauliques du train auxiliaire, par des particules métalliques et des fibres diverses ;**
- **que cette pollution n'est pas la conséquence d'une pollution ponctuelle du circuit hydraulique avion.**

3. CONCLUSION

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

3.1.1. Contexte du vol et de l'atterrissage

Le Mirage F1 biplace se présente en numéro 2 à l'atterrissage à Colmar après un vol d'entraînement à une présentation tactique, d'une durée de 20 minutes.

L'équipage est composé de 2 pilotes instructeurs expérimentés sur Mirage F1. Le pilote place avant est seul à agir aux commandes.

Le contexte de l'atterrissage est favorable : le pilote ne ressent pas de fatigue, un léger vent de travers souffle de la droite (maximum 4 kt), la piste est sèche.

3.1.2. La sortie de piste et la double-éjection

3 à 4 secondes après le poser du train auxiliaire, le pilote est confronté vers 100 kt à un braquage non commandé du train auxiliaire qui provoque une violente embardée vers la droite.

Le contre au palonnier à gauche ne modifie pas la trajectoire. Le pilote met plein gaz ; cette manœuvre non consciente est analysée comme étant un réflexe conditionné de sauvegarde. Elle n'a pas participé à la sortie de piste.

L'appareil se met en fort dérapage et sort de piste vers 85 kt, environ 3 secondes après le début de l'embardée.

Le pilote place avant annonce et commande l'éjection lorsque l'appareil sort de la piste. Le pilote place arrière est légèrement blessé au pied lors de l'atterrissage sous voile sur la piste.

3.1.3. Faits marquants concernant la maintenance du bloc de dirigibilité du Mirage F1B 520

Le bloc a subi une révision générale chez Messier Services en avril et mai 2008 avant d'être monté sur l'appareil accidenté deux jours avant l'accident, dans le cadre d'une maintenance programmée.

Il a fait partie d'un lot de 5 blocs qui n'ont pas été décapés avant d'être révisés.

Le processus usuel de RG ne prévoit pas de décapage systématique préalable.

3.1.4. Résultats des investigations techniques relatives au dysfonctionnement de la dirigibilité

L'expertise de la chaîne de dirigibilité n'a pas révélé de cause certaine de dysfonctionnement.

Lors de l'expertise du bloc, trois particules, de grande dimension au regard de celles des ajutages et orifices internes au bloc, ont été trouvées, insérées dans un filtre interne au bloc. Elles sont constituées d'une peinture similaire à celle couvrant l'extérieur du bloc.

Il a par ailleurs été constaté une forte pollution des circuits hydrauliques du train auxiliaire, par des particules métalliques et des fibres diverses. Cette pollution n'est pas la conséquence d'une pollution ponctuelle du circuit hydraulique avion.

Il ressort de la conception du bloc, de l'endroit du bloc où ont été constatées ces particules et du fait que ce bloc a été révisé puis monté très peu de temps avant l'accident :

- que la pollution des circuits hydrauliques du train auxiliaire n'est pas à l'origine de la présence des particules de peinture dans le bloc ;
- que ces particules étaient présentes dans le bloc avant son montage sur l'appareil ;

- qu'elles ont pu alors transiter par un des gicleurs interne au bloc en créant un déséquilibre hydraulique de celui-ci, provoquant un braquage intempestif du train auxiliaire non rattrapable au palonnier.

3.2. Causes de l'événement

Il est possible que le braquage non commandé du train auxiliaire ait eu pour origine une pollution interne du bloc hydraulique par des particules de peinture.

Il est possible que le processus de réparation adopté lors de la révision générale du bloc ait contribué à l'introduction de particules de peinture.

Il apparaît que :

- la seule issue lors de l'embarquée était une coupure de la dirigibilité, de l'ordre du réflexe, dès l'inefficacité de celle-ci constatée, sans que l'on puisse garantir dans ce cas que la sortie de piste aurait été évitée ;
- la rapidité du phénomène a été telle que le pilote n'a pas effectué d'autres actions que le contre aux commandes de vol.

Plusieurs facteurs ont contribué ou pu contribuer à la violence de l'embarquée et donc au faible temps de réaction offert au pilote :

- d'une façon certaine, la vitesse de l'appareil au moment de l'embarquée, qui est dans la gamme des vitesses maximales à laquelle elle peut se produire (autour de 100 kt) ;
- probablement :
 - un braquage du train auxiliaire rapide et d'une forte amplitude ;
 - une efficacité résiduelle de la commande très faible, voire nulle.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

4.1.1. Revue du processus de révision générale des blocs chez Messier Services

L'expertise du bloc a montré que des particules de peinture étaient présentes dans celui-ci avant son montage sur avion, dans une zone présentant un risque de déséquilibre hydraulique et donc de braquage intempestif du train auxiliaire.

Il est possible que le processus de réparation adopté lors de la RG du bloc (révision d'un bloc non décapé au préalable), bien que conforme aux pratiques, ait contribué à l'introduction de ces particules.

L'industriel a précisé en avril 2009 que ce processus particulier n'est plus utilisé.

De manière plus générale, afin de fiabiliser le processus industriel de réparation, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à la DGA, de mener une revue du processus de révision générale des blocs de dirigibilité Mirage F1.

4.1.2. Maintenance du circuit hydraulique de la dirigibilité sur Mirage F1

L'enquête a mis en évidence sur l'appareil accidenté une pollution par particules du circuit hydraulique de la dirigibilité au niveau du train auxiliaire, qui s'est probablement accumulée au fil du temps. Le risque de pollution par boue (polluants inférieurs à 5 microns) n'est pas exclu.

Aucune maintenance préventive visant à la propreté du circuit hydraulique avion et a fortiori du circuit de la dirigibilité n'est prévue au plan de maintenance.

Le mode opératoire du nettoyage du circuit de dirigibilité, lorsqu'il est mis en œuvre, ne permet pas une purge efficace de l'alimentation du bloc.

Or, il est avéré, depuis la mise en service du Mirage F1, que le bloc de dirigibilité est un organe par conception sensible à la pollution.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air :

- afin de compléter la caractérisation du phénomène de pollution constaté sur le circuit hydraulique du train auxiliaire de l'appareil accidenté :**
 - de réaliser des prélèvements sur ce circuit sur un échantillon d'appareils ;**
 - de réaliser systématiquement des prélèvements sur ce circuit lorsqu'un dysfonctionnement de la dirigibilité est suspecté ;**
- d'étudier une adaptation de la procédure de nettoyage de ce circuit afin de garantir une purge efficace et de mettre en place une adaptation du plan de maintenance visant à obtenir un niveau de propreté de ce circuit compatible avec les exigences liées à la conception de la dirigibilité ;**
- de sensibiliser les équipes de maintenance sur les précautions à prendre lors des interventions sur ce circuit.**

4.1.3. Procédure de secours en cas d'embarquée à l'atterrissage sur Mirage F1

Cet accident remet en évidence qu'alors que de nombreuses embarquées à l'atterrissage se sont produites sur Mirage F1 sans dommage, certaines sont d'une violence telle, notamment parce qu'elles surviennent peu après le posé de la roulette, que seule une coupure rapide de la dirigibilité suivie de la sortie du parachute peuvent permettre une reprise du contrôle.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air et au CEV :

- **de mettre en œuvre un large retour d'expérience sur cet événement vers les équipage ;**
- **d'insister, lors de la formation et de l'entraînement des équipages, sur la gestuelle relative à la procédure en cas d'embarquée à l'atterrissage.**

4.1.4. Étude de faisabilité de poser sans dirigibilité sur Mirage F1 biplace

L'ergonomie de la commande de coupure dirigibilité sur biplace est moins favorable à une coupure rapide, de l'ordre du réflexe, de la dirigibilité. En effet, de conception plus ancienne, le biplace n'est pas muni de la gâchette de coupure rapide au manche qui équipe le monoplace. Ainsi, alors que le pilote porte son regard sur la piste car il est confronté à un problème de contrôle de l'axe, il doit détourner son regard vers le cockpit pour manœuvrer l'interrupteur sous cache.

D'autre part, la reprise du contrôle par le moniteur en cas d'embarquée peut également contribuer à générer un délai dans l'action de coupure de la dirigibilité.

Afin de supprimer l'influence de ces facteurs contributifs en cas de dysfonctionnement de la dirigibilité lors du roulage à haute vitesse sur Mirage F1 biplace, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à la DGA, à l'armée de l'air et au CEV, d'étudier la faisabilité d'une modification de la procédure d'atterrissage sur Mirage F1 biplace qui consisterait à poser l'appareil sans dirigibilité, celle-ci étant enclenchée en fin de décélération.

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

4.2.1. Suivi médical des PN en cas d'éjection

Le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air et au service de santé des armées, de rappeler aux acteurs de l'ensemble de la chaîne des secours (équipe médicale de base, équipage SAR, centre de coordination et sauvetage) qu'un pilote éjecté doit être évacué en position allongée, avec collier cervical et immobilisation par matelas à dépression, et cela jusqu'à certitude de l'absence de lésion rachidienne sur les clichés radiographiques.

D'autre part, le bureau enquêtes accidents défense air renouvelle la recommandation émise dans le rapport d'enquête A-2006-008-A³⁷ et recommande

à l'armée de l'air :

- **que les équipages confiés aux soins médicaux en milieu civil soient accompagnés par un médecin PN ;**
- **qu'en cas d'impossibilité, le médecin militaire s'assure que les spécificités des traumatismes redoutés en cas d'éjection soient prises en compte par le milieu médical civil.**

³⁷ Accident du M2000D n°684 le 31 mars 2006.

ANNEXES

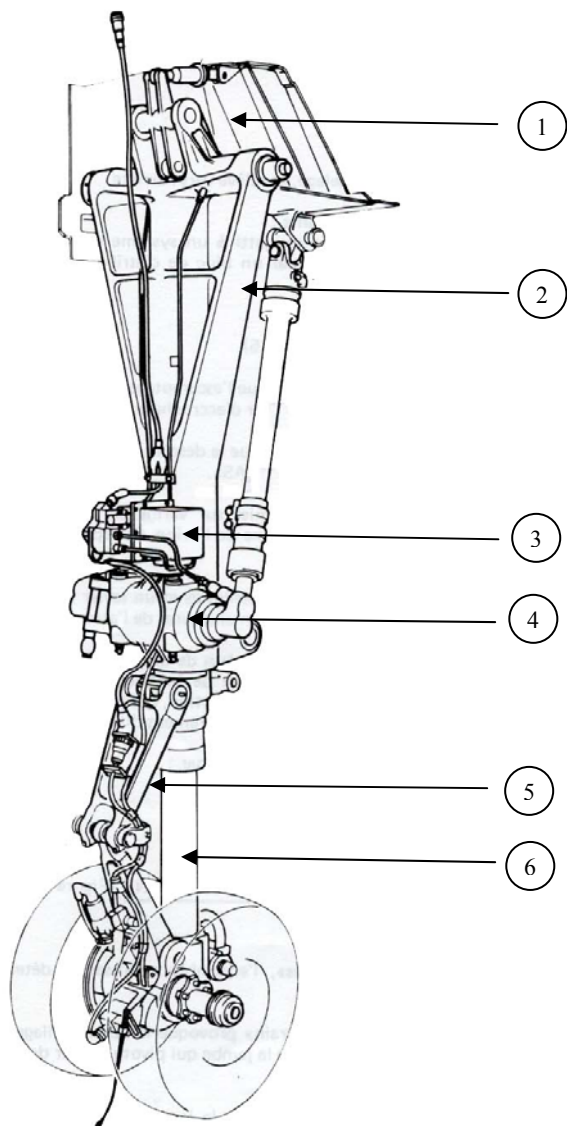
Annexe 1 : Description du train auxiliaire et du bloc de distribution du Mirage F1 _____	41
Annexe 2 : Pollution constatée dans le bloc de dirigibilité du Mirage F1B 520 _____	44
Annexe 3 : Description des commandes et contrôles liés à la dirigibilité sur Mirage F1 ____	48

Annexe 1

Description du train auxiliaire et du bloc de distribution du Mirage F1

1. DESCRIPTION DU TRAIN AUXILIAIRE

Sur ce schéma, l'avant de l'appareil est à droite.



- 1 – chape double
- 2 – caisson équipé
- 3 – bloc de distribution
- 4 – vérin de dirigibilité
- 5 – compas
- 6 – ensemble coulissant - amortisseur



Bloc de distribution

Vérin de dirigibilité

2. DESCRIPTION DU BLOC DE DISTRIBUTION

Le bloc de distribution est un système électro-hydraulique qui reçoit une information électrique d'un potentiomètre lié mécaniquement au palonnier et assure l'asservissement de l'orientation du train auxiliaire à la position du palonnier. Il contrôle, en sens et en volume, l'énergie hydraulique nécessaire au vérin de dirigibilité.

En l'absence de haute pression, il permet le fonctionnement du vérin en anti-shimmy.

Cet asservissement est basé sur l'équilibre d'une barre de torsion soumise à 2 forces antagonistes, celle créée par un moteur-couple recevant le signal électrique et celle créée par le bras de recopie du braquage des roues.

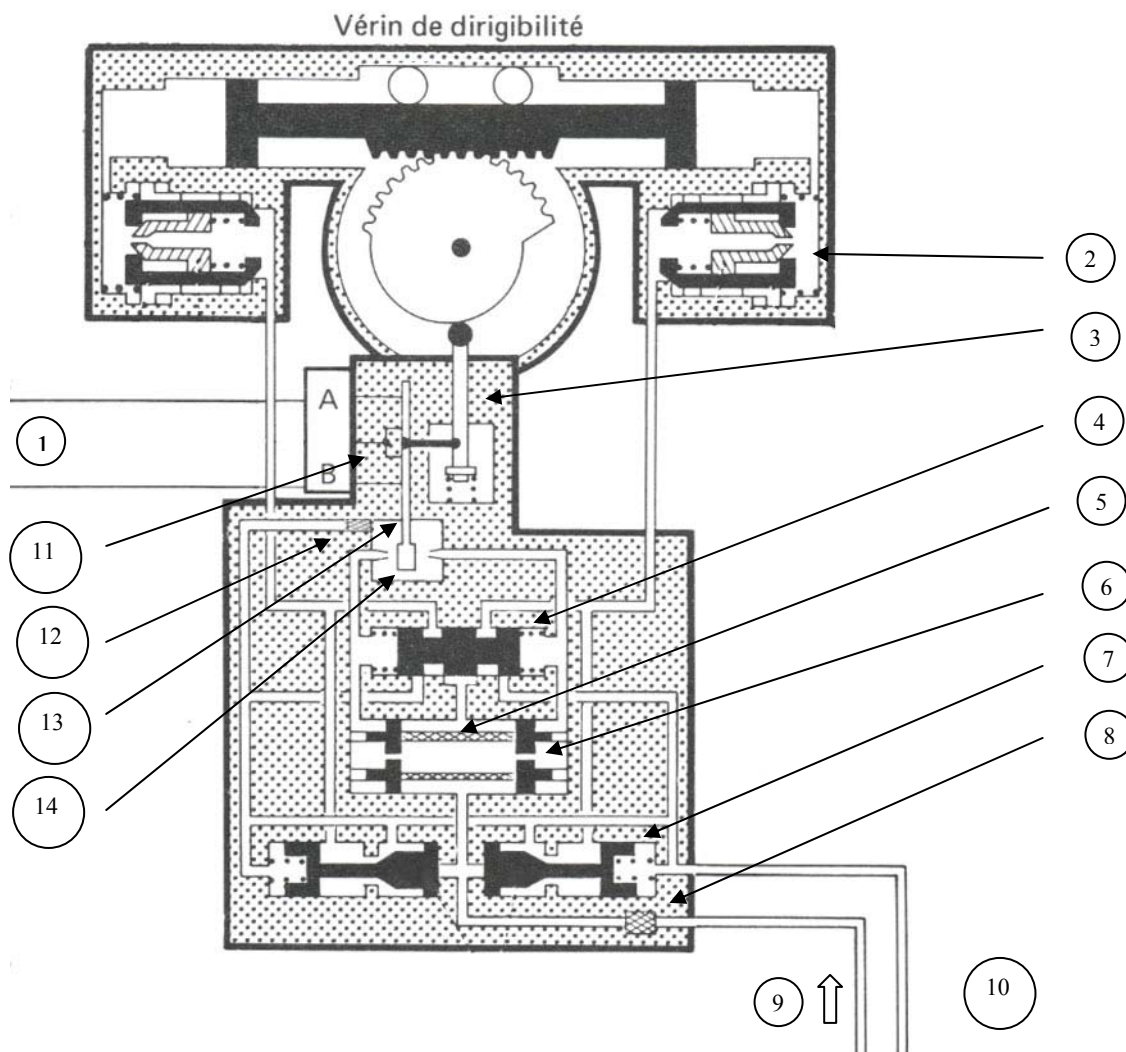
Lorsque ces 2 forces s'équilibrent, cette barre de torsion est au neutre, l'obturateur qui lui est lié est à égale distance des gicleurs, les pressions dans les chambres du tiroir de distribution sont égales. Ce tiroir, qui commande hydrauliquement le vérin, est au neutre et le braquage des roues est constant.

Lorsque le palonnier est manœuvré, le moteur-couple provoque le déplacement de l'obturateur, ce qui déséquilibre le système buse-palette (constitué par l'obturateur et les gicleurs) et provoque le déplacement du tiroir puis celui du vérin, jusqu'à ce que le déplacement des roues permette la remise au neutre du bras de torsion par l'action du bras de recopie. La rotation des roues s'arrête alors à un braquage correspondant à la nouvelle position du palonnier.

Une obstruction d'un des gicleurs peut créer un déséquilibre du système buse-palette et en conséquence un braquage des roues sans action au palonnier.

Représentation schématique du bloc et du vérin de dirigibilité

- 1 – alimentation électrique du moteur-couple (information de position du palonnier)
- 2 – clapets anti-shimmy
- 3 – tige de recopie de position
- 4 – tiroir de distribution ; il coulisse dans une chemise équipée d'un tamis filtrant (600 microns)
- 5 – filtre (40 microns)
- 6 – diaphragmes (diamètre 300 microns)
- 7 – clapets
- 8 – filtre d'entrée (5 microns à 98% ; 18 microns à 100%)
- 9 – alimentation HP
- 10 – tuyauterie retour
- 11 – moteur-couple
- 12 – filtre retour sur platine porte-gicleurs (170 microns)
- 13 – barre de torsion
- 14 – système buse-palette (obturateur – gicleurs) ; la distance buse-palette est de 70 microns ; le diamètre des gicleurs est de 400 microns.



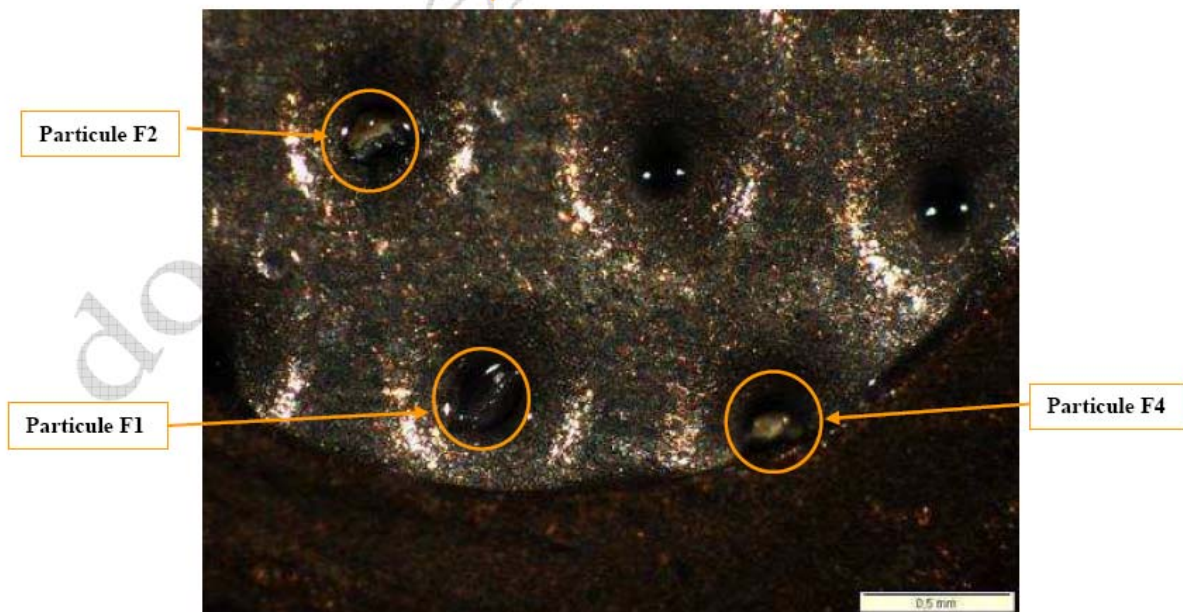
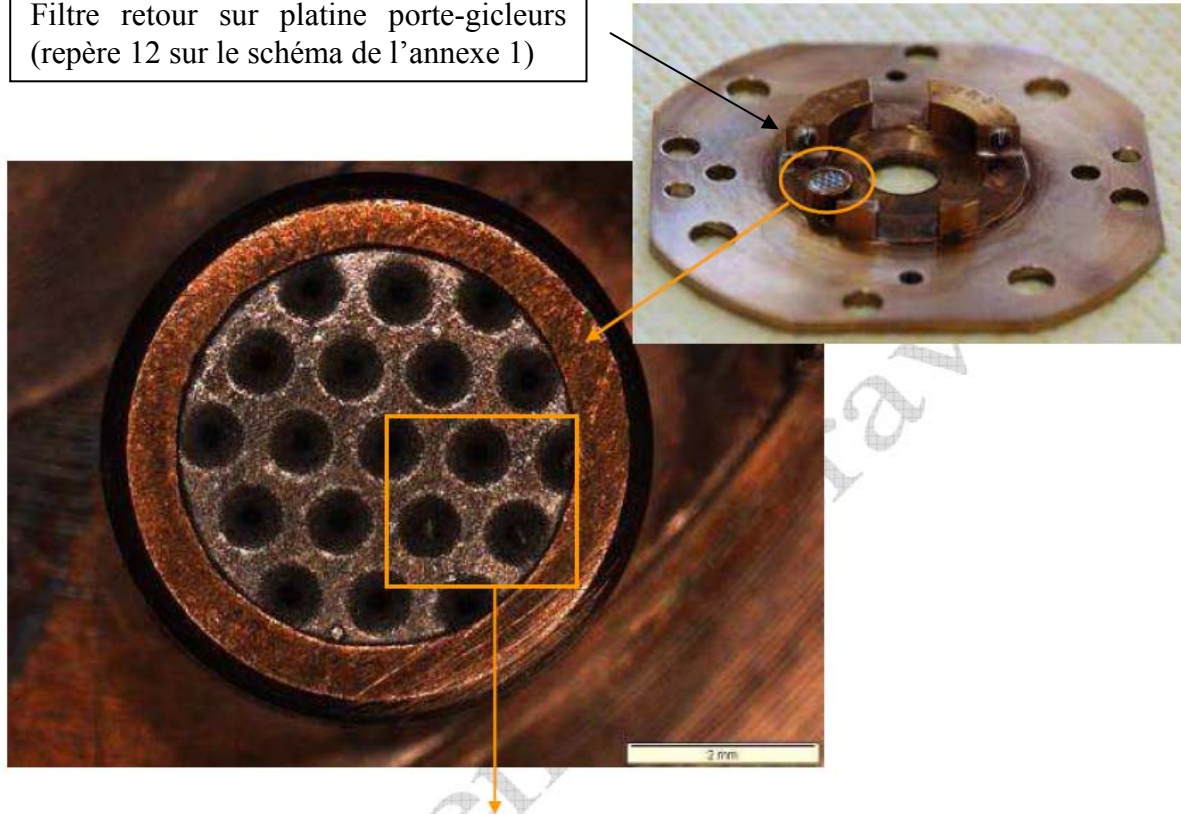
Annexe 2

Pollution constatée dans le bloc de dirigibilité du Mirage F1B 520

1. PARTICULES DE PEINTURE INSEREES DANS LA GRILLE DU FILTRE RETOUR SITUE SUR LA PLATINE PORTE-GICLEURS

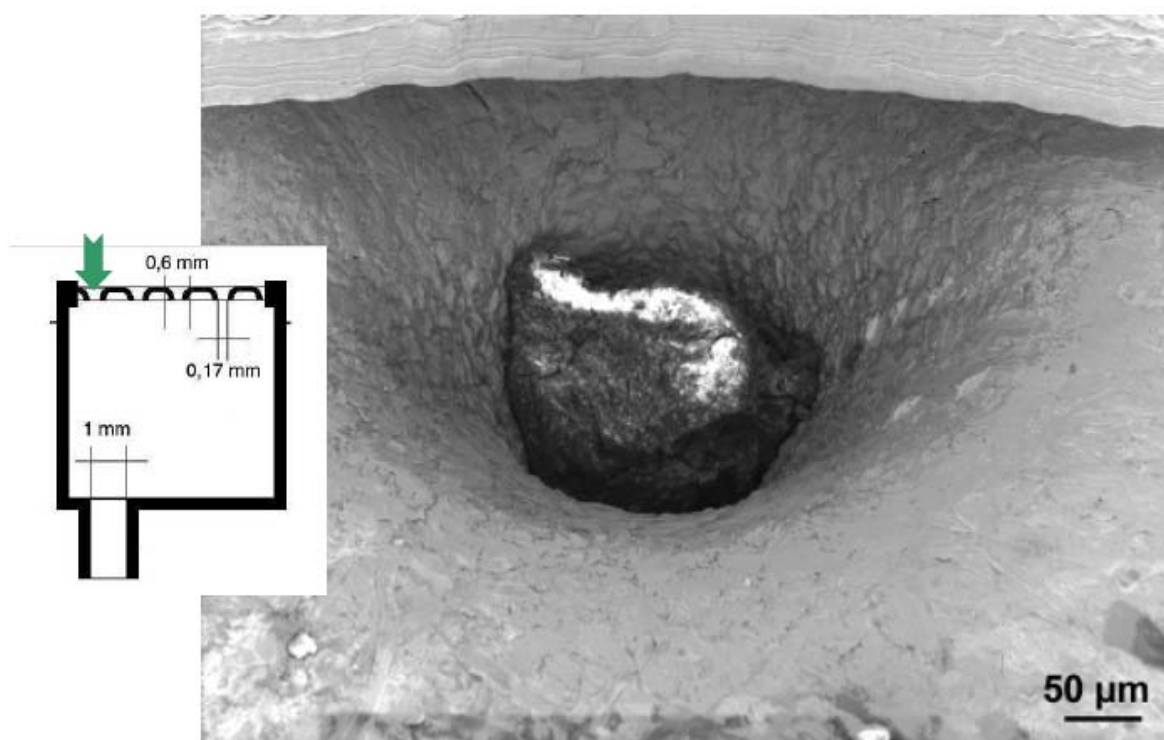
Les constatations ci-dessous sont extraites du rapport d'expertise CEAT n°MT-07/7236 129/F1/A du 31 mars 2009.

Filtre retour sur platine porte-gicleurs
(repère 12 sur le schéma de l'annexe 1)

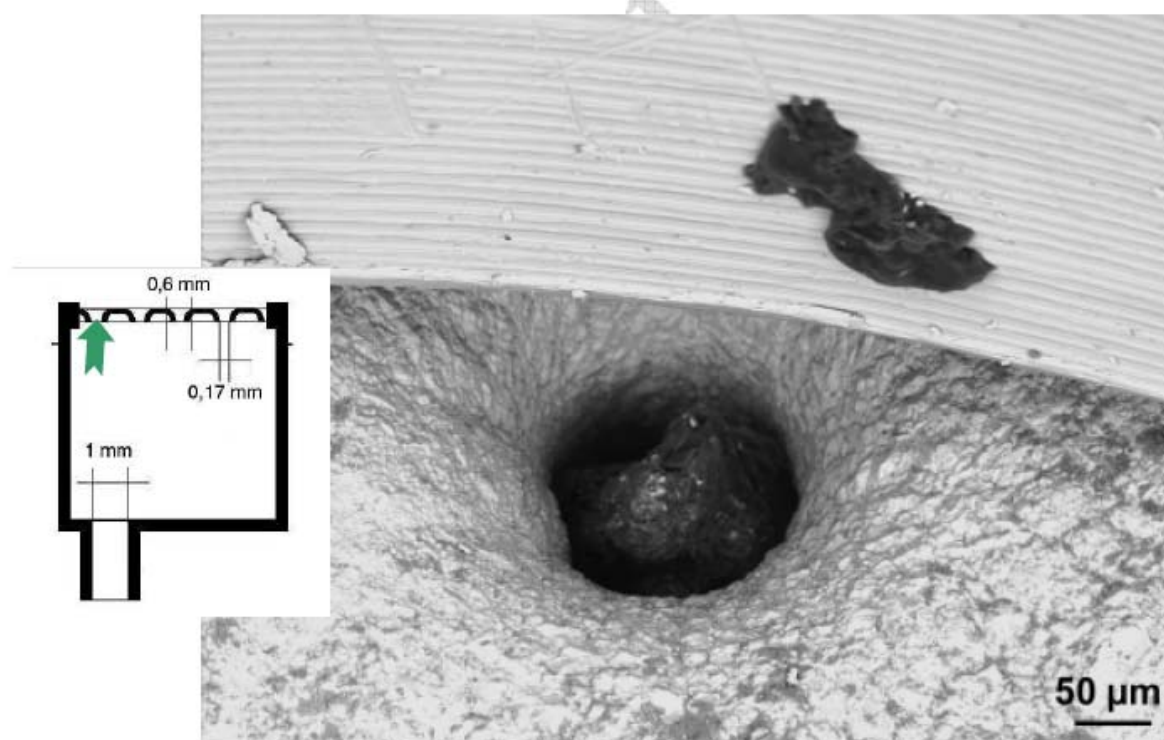




Vue au MEB de la particule F1



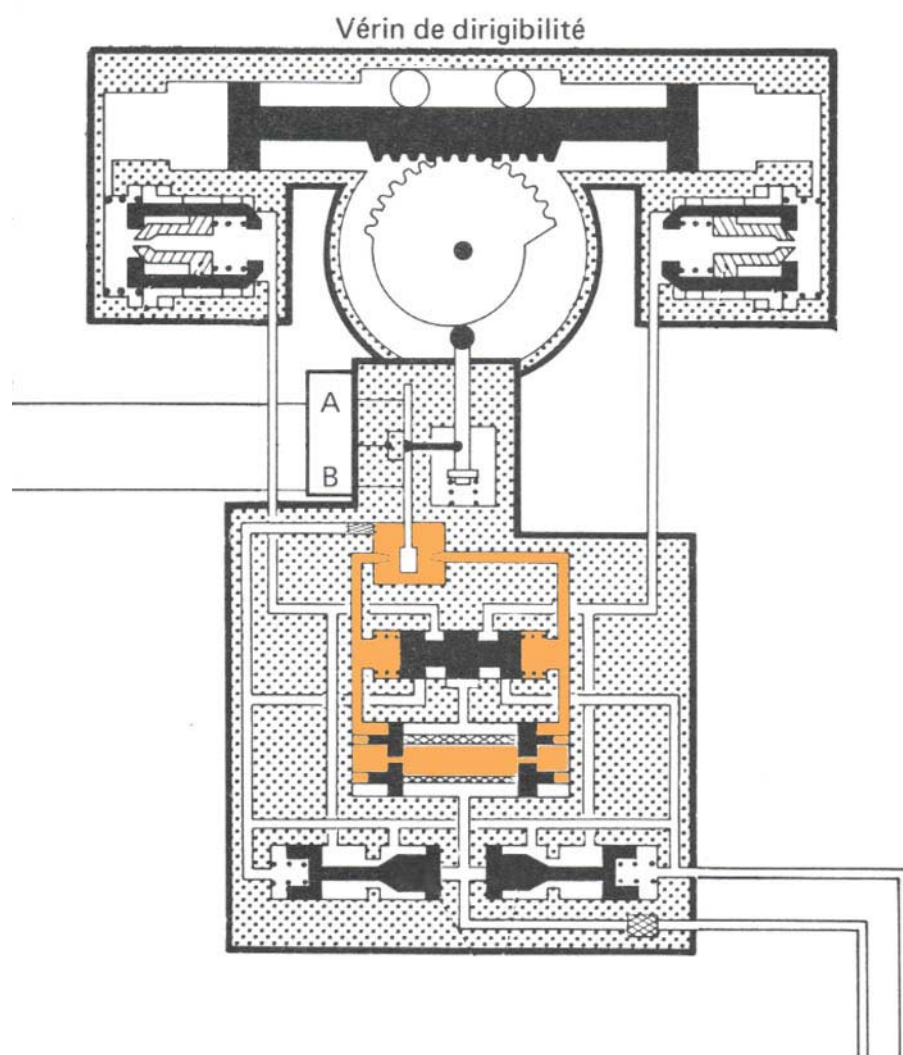
Particule F4 vue depuis la surface de la crépine (côté buse palette)



Particule F4 vue depuis l'intérieur du filtre

2. ZONE DU BLOC DANS LAQUELLE CES PARTICULES ETAIENT RESIDENTES AVANT L'ACCIDENT

Cette zone est celle située entre le filtre retour sur la platine porte-gicleurs (repère 12 sur le schéma de l'annexe 1), le tiroir de distribution (repère 5) et le filtre de 40 microns (repère 4).

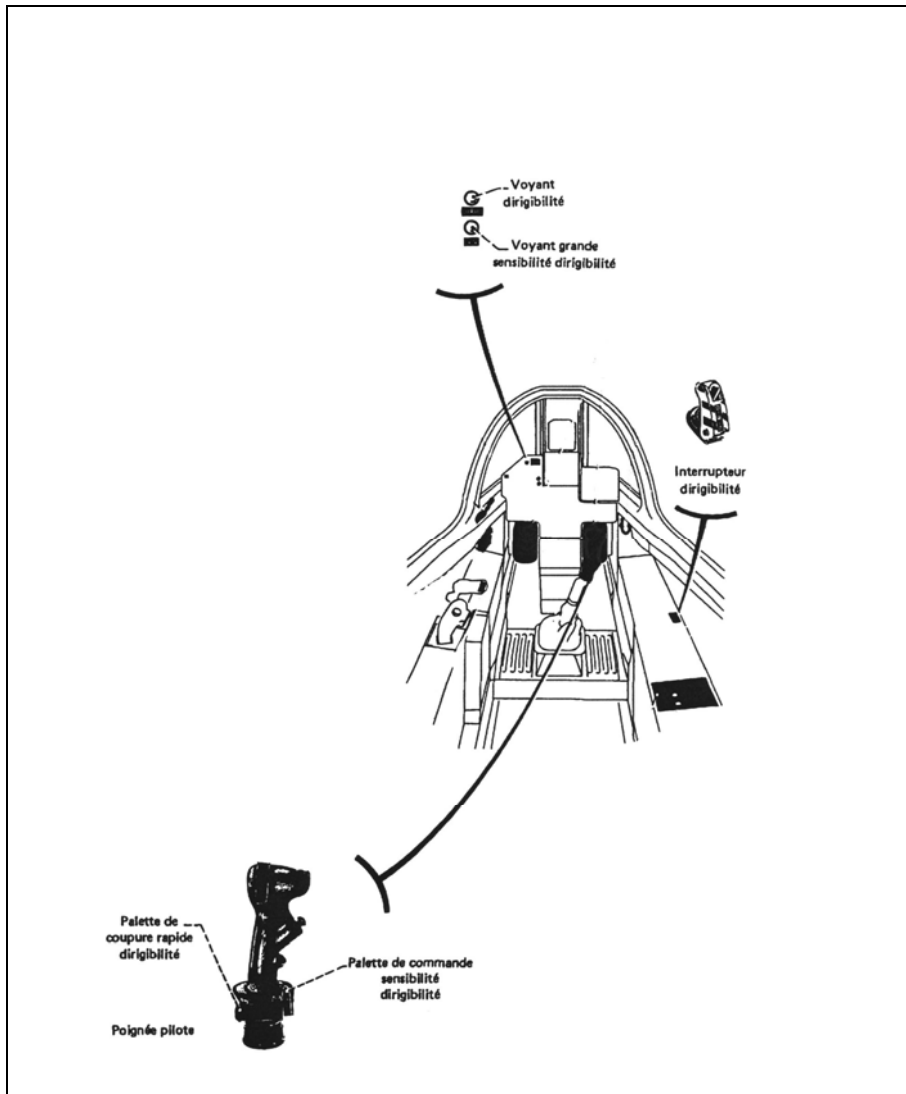


Annexe 3

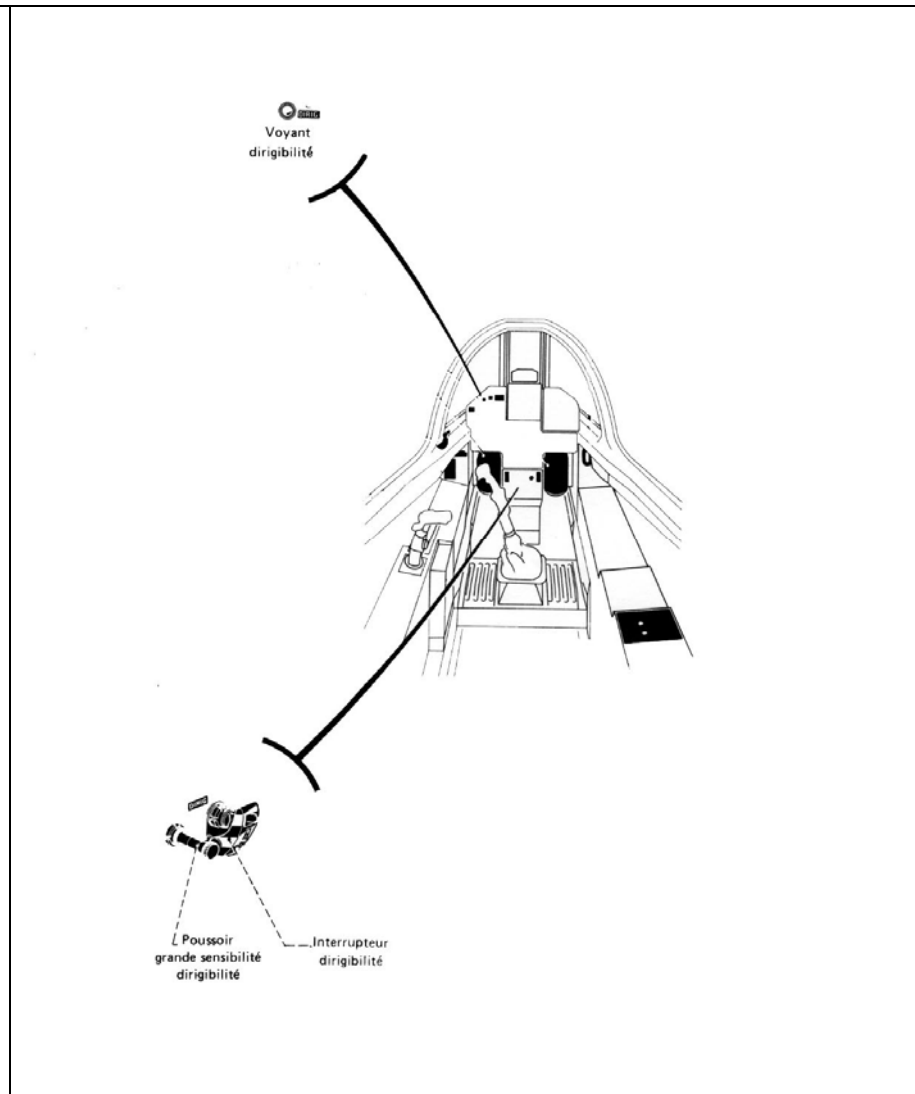
Description des commandes et contrôles liés à la dirigibilité sur Mirage F1

Commandes et contrôles (procédures normales)	monoplace	biplace³⁸
<i>Commande grande sensibilité</i>	Palette verticale à l'embase de la poignée pilote	Poussoir sur panneau central bas
<i>Voyant grande sensibilité (voyant vert)</i>	Sur panneau supérieur gauche	Non équipé
Commandes et contrôles (procédures secours)	monoplace	biplace
<i>Coupure dirigibilité</i>	Interrupteur sous cache strié, sur banquette droite	Interrupteur sous cache strié, sur panneau central bas
<i>Commande coupure rapide dirigibilité</i>	Palette horizontale à l'embase de la poignée pilote	Non équipé
<i>Indicateur de panne dirigibilité (voyant ambre)</i>	Sur panneau supérieur gauche	Sur panneau supérieur gauche

³⁸ L'emplacement de ces commandes est le même dans le poste arrière, excepté pour l'interrupteur dirigibilité et le poussoir grande sensibilité, sur le même panneau mais légèrement décalés.



Monoplace



Poste avant biplace