



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

RAPPORT D'ENQUÊTE DE SÉCURITÉ



BEAD-air-A-2013-006-I

Date de l'événement	21 mai 2013
Lieu	Base aérienne 133 Nancy-Ochey
Type d'appareil	Mirage 2000 D n° 614
Immatriculation	F-UGUU
Organisme	Armée de l'air
Unité	Escadron de chasse 2/3 « Champagne »

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 retenues. Enfin, des recommandations de sécurité sont proposées dans le dernier chapitre. Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heures locales.

UTILISATION DU RAPPORT

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

CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page de garde : armée de l'air

Photos :

- p 13, p 17 : armée de l'air
- p 14, p 18 : BEAD-air

Schémas :

- p 12, p 19 : BEAD-air
- p 29 : DGA EP/RESEDA
- p 30 : documentation technique de l'armée de l'air

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	2
CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS	2
TABLE DES MATIERES	3
GLOSSAIRE	4
SYNOPSIS	5
1. Renseignements de base	6
1.1. Déroulement du vol	6
1.2. Tués et blessés	7
1.3. Dommages à l'aéronef	7
1.4. Autres dommages	7
1.5. Renseignements sur l'équipage	8
1.6. Renseignements sur l'aéronef	9
1.7. Conditions météorologiques	10
1.8. Aides à la navigation	11
1.9. Télécommunications	11
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	11
1.11. Enregistreurs de bord	11
1.12. Renseignements sur la zone et l'aéronef	11
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	14
1.14. Incendie	14
1.15. Questions relatives à la survie des occupants	15
1.16. Essais et recherches	15
1.17. Renseignements supplémentaires	15
1.18. Techniques spécifiques d'enquête	15
2. Analyse	16
2.1. Analyse des éléments recueillis	16
2.2. Recherche des causes de la perte de contrôle	21
2.3. Analyse des endommagements constatés sur la sortie tuyère	23
2.4. Gestion de l'événement par le pilote	23
3. Conclusion	25
3.1. Eléments établis utiles à la compréhension de l'événement	25
3.2. Causes de l'événement	25
4. Recommandations de sécurité	26
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	26
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	27
ANNEXES	28
ANNEXE 1 DONNEES DE L'ENREGISTREUR DE VOL LORS DE LA SEQUENCE D'ATTERISSAGE	29
ANNEXE 2 FONCTIONNEMENT DU SYSTEME DE FREINAGE	30
ANNEXE 3 RESULTATS DES MESURES DES PRESSIONS HYDRAULIQUES	32
ANNEXE 4 REGULATION DU SYSTEME DE FREINAGE	33
ANNEXE 5 EXTRAIT DU MEMENTO PILOTE	35
ANNEXE 6 ACTE TECHNIQUE VALANT CONSIGNE DE NAVIGABILITE RELATIF AU FAISCEAU DU	
TRAIN AUXILIAIRE	36
ANNEXE 7 RECOMMANDATION EMISE LORS DE L'ENQUETE A-2011-007-A	37

GLOSSAIRE

BA	base aérienne
CPEMPN	centre principal d'expertise médicale du personnel navigant
CRM	<i>cockpit resources management</i> – Gestion des ressources du poste de pilotage
DGA	direction générale de l'armement
DIRAV	dispositif permettant la dirigeabilité du train auxiliaire
EPI	enquêteur de premières informations
ESPAR	enregistreur statique de paramètres
ft	<i>feet</i> - pied (1 ft \approx 0,30 mètre)
hPa	hectoPascal
kt	<i>knot</i> - nœud (1kt = 1,852 km/h)
NOSA	navigateur officier système d'arme
RESEDA	département de restitution des enregistreurs d'accidents
SPAD	système perfectionné anti-dérapant
VTH	visualisation tête haute

SYNOPSIS

Date de l'événement : 21 mai 2013, 23h15

Lieu de l'événement : base aérienne (BA) 133 Nancy-Ochey

Organisme : armée de l'air

Commandement organique : commandement des forces aériennes (CFA)

Unité : escadron de chasse 2/3 « Champagne »

Aéronef : Dassault Aviation - Mirage 2000 D n° 614

Nature du vol : vol d'entraînement

Nombre de personnes à bord : 2

1. Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Lors d'un atterrissage de nuit, peu après le poser de l'atterrisseur auxiliaire, le pilote perd le contrôle de l'appareil. L'avion effectue plusieurs embardées et sort de la piste. L'équipage, indemne, évacue l'appareil.

2. Composition du groupe d'enquête de sécurité

- Un directeur d'enquête de sécurité du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air)
- Un directeur d'enquête de sécurité adjoint du BEAD-air
- Un enquêteur de premières informations (EPI)
- Un officier pilote ayant une expertise sur Mirage 2000 D
- Un officier mécanicien ayant une expertise sur Mirage 2000 D
- Un mécanicien « cellule/hydraulique » ayant une expertise sur Mirage 2000 D
- Un mécanicien « électricien/équipements de bord » ayant une expertise sur Mirage 2000 D
- Un médecin du personnel navigant

3. Autres experts consultés

- Direction générale de l'armement (DGA) / Essais propulseurs : Département de restitution des enregistreurs d'accidents (RESEDA)

4. Déclenchement de l'enquête de sécurité

Le BEAD-air a été prévenu téléphoniquement par le bureau maîtrise des risques de l'armée de l'air le mercredi 22 mai 2013 au matin.

Un EPI de la BA 133 de Nancy-Ochey a été désigné et a procédé aux premières constatations. Le groupe d'enquête de sécurité s'est rendu sur la BA 133 le soir même.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Indicatif mission: CONDE LIMA 1

Type de vol : circulation aérienne militaire aux instruments (CAM I)

Type de mission : mission d'entraînement d'assaut et de pénétration tout temps

Dernier point de départ : BA 133

Heure de décollage : 21h45

Point d'atterrissage prévu : BA 133

1.1.2. Déroulement

L'équipage est composé d'un pilote en place avant et d'un navigateur officier système d'arme (NOSA) en place arrière.

A la fin de la mission d'entraînement, l'équipage est de retour à la base aérienne 133 de Nancy-Ochey et effectue une approche directe aux instruments en vue d'un atterrissage en piste 20.

A 9 nautiques de la piste, le pilote sort le train puis effectue le test du système perfectionné anti-dérapant (SPAD). Aucune anomalie n'est détectée.

Le service de contrôle l'informe que le terrain est jaune¹ et la piste est mouillée.

La vitesse estimée en finale est de 160 *knot* (nœuds : 1 kt \approx 1,852 km/h). Après le poser des atterrisseurs principaux à une vitesse de 150 kt environ, il effectue un freinage aérodynamique. Il pose la roulette de nez à 110 kt environ. Le dispositif permettant la dirigeabilité du train auxiliaire (DIRAV) est enclenché.

Après une action du pilote sur les freins, l'avion se déporte vers la droite sans que l'équipage ne perçoive de décélération. Le pilote cesse l'action sur les freins et tire le parachute frein sans effet ressenti.

Selon le témoignage du pilote, l'appareil effectue de petites oscillations sur l'axe de lacet tout en continuant sa course sur la piste.

L'appareil fait une embardée à gauche et effectue un tête-à-queue par la gauche. Le pilote tente de maintenir l'axe de la piste tout en freinant.

L'avion s'immobilise au cap 050 (axe de poser au cap 200) peu après le panneau 600 m de piste restante. Les atterrisseurs auxiliaire et droit sont en dehors de la piste.

L'équipage évacue l'appareil.

¹ La base des nuages est supérieure ou égale à 300 ft (*feet* - pied : 1 ft \approx 0,30 mètre) et la visibilité est supérieure ou égale à 1 600 mètres.

1.1.3. Localisation

- Lieu : BA 133
 - pays : France métropolitaine
 - département : Meurthe et Moselle
 - commune : Ochey
 - coordonnées géographiques :
 - N 48° 34'
 - E 005° 57'
- Moment : nuit

1.2. Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles			
Graves			
Légères			
Aucune	2		

1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
			X	

1.4. Autres dommages

Le revêtement de la piste est partiellement endommagé par le frottement des jantes.

1.5. Renseignements sur l'équipage

1.5.1. Pilote

- Age : 31 ans
- Sexe : masculin
- Unité d'affectation : escadron de chasse 2/3 « Champagne »
- Formation :
 - qualification : chef de patrouille
 - école de spécialisation : école de l'aviation de chasse – Tours
 - année de sortie d'école : 2003
 - stage de transformation sur Mirage 2000 B et C : du 18 août 2010 au 6 septembre 2010
 - stage de transformation sur Mirage 2000 D : du 21 septembre 2010 au 6 octobre 2010
 - stage cockpit ressources management (CRM)² : juillet 2004
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tous types	dont sur Mirage 2000 D	sur tous types	dont sur Mirage 2000 D	sur tous types	dont sur Mirage 2000 D
Total (h)	2 177	320	50	50	13	13
Dont nuit	177	50	14	14	2	2

- Date du dernier vol comme pilote sur Mirage 2000 D :
 - de jour : 17 mai 2013
 - de nuit : 25 avril 2013
- Carte de circulation aérienne :
 - type : verte
 - date d'expiration : 6 septembre 2013

² Gestion des ressources du poste de pilotage

1.5.2. Navigateur officier système d'arme

- Age : 31 ans
- Sexe : masculin
- Unité d'affectation : escadron de chasse 2/3 « Champagne »
- Formation :
 - qualification : chef navigateur
 - stage CRM : effectué le 27 juillet 2010

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tous types	dont Mirage 2000 D	sur tous types	dont Mirage 2000 D	sur tous types	dont Mirage 2000 D
Total (h)	1 600	300	80	80	20	20

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de l'air
- Commandement organique d'appartenance : commandement du soutien des forces aériennes (CSFA)
- Base aérienne de stationnement : BA 133 – Nancy Ochey
- Unité d'affectation : escadron de soutien technique aéronautique (ESTA) 2E003
- Type d'aéronef : Mirage 2000 D :
 - configuration : 2 réservoirs pendulaires largables (RPL) de 2 000 litres
 - armement : sans
- caractéristiques :

	Type – série	Numéro	Heures de vol totales
Cellule	D	614	4 694
Moteur	M 53 P2	60 146	4 565

1.6.1. Maintenance

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

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

La cellule est sortie de sa visite intermédiaire fin avril 2013.

1.6.1.2. Evolution du faisceau électrique inférieur

Suite à des défauts de continuité constatés sur les faisceaux électriques inférieurs d'atterrisseur auxiliaire de Mirage 2000, des améliorations techniques de conception visant à augmenter la résistance mécanique ont été adoptées en commission de gestion de configuration en 2003 et réalisées sur avion. La nouvelle version du faisceau électrique est référencée D23798000.

Ce faisceau inférieur avait fait l'objet de deux évolutions l'une adoptée lors de la commission locale de modification en 1986 et l'autre en 1991, les deux ayant pour but d'augmenter la tenue mécanique du câblage.

Le faisceau électrique inférieur de l'appareil étudié est référencé C23941001 au sein de la société MESSIER BUGATTI.

1.6.2. Performances

L'appareil fait l'objet d'une restriction de vol. Le système du suivi de terrain est inopérant³.

1.6.3. Masse et centrage

A l'atterrissage, la masse de l'avion est de 10,3 tonnes. Le centrage est dans les normes.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : TRO F34
- Masse de carburant au décollage : environ 6,2 tonnes
- Masse de carburant restant au moment de l'événement : 1,5 tonne environ

1.6.5. Autres fluides

Le liquide hydraulique des circuits de servitudes et de frein (H515) est conforme.

1.7. Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques relevées à 23h20 par la station de de la BA 133 Nancy-Ochey sont :

- vent du 290°, une vitesse de 06 kt avec des pointes à 10 kt
- visibilité : 8,6 km environ
- pression atmosphérique au niveau de la mer (QNH) : 1012 hecto Pascal (hPa)
- température : 9 °C
- hydrométéore : pluie modérée continue.

En courte finale, le vent est du 300° avec une vitesse de 10 kt et la base des nuages est à une hauteur de 550 ft.

³ sans lien avec l'événement.

1.8. Aides à la navigation

Sans objet.

1.9. Télécommunications

L'appareil est en contact radio avec la tour de contrôle.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome

La piste orientée 02/20 est au standard OTAN (2 400 mètres sur 45 mètres).

Elle est équipée de deux barrières d'arrêt et ne souffre d'aucune restriction.

La piste est mouillée au moment de l'événement.

1.11. Enregistreurs de bord

L'appareil est équipé d'un enregistreur d'accident à mémoires statiques de type Enregistreur statique de paramètres (ESPAR).

L'action sur les freins ainsi que l'allumage des voyants « frein » et « Système perfectionné anti-dérapant (SPAD) » sur le panneau de configuration ne sont pas enregistrés.

La visualisation de la tête haute (VTH) ainsi que les conversations sont enregistrées sur bande magnétique au format Hi-8. La durée de l'enregistrement est d'1 heure et la durée du vol étant d'environ 1 heure et 40 minutes, la phase d'atterrissage n'a pas été enregistrée.

La restitution des données de l'enregistreur de vol de l'appareil accidenté a été réalisée par le centre RESEDA. L'ensemble des informations enregistrées était exploitable.

1.12. Renseignements sur la zone et l'aéronef

1.12.1. Examen de la zone

Des élastiques du parachute frein sont répandus sur l'axe de piste entre les panneaux 1 200 mètres et 900 mètres de piste restante.

Des débris de pneumatiques sont répartis sur l'axe de la piste entre les panneaux 900 mètres et 600 mètres de piste restantes.

A une centaine de mètres avant le panneau indiquant 600 mètres de piste restante, le revêtement de la piste est marqué par une rainure d'une largeur de deux centimètres environ qui débute à droite de l'axe de la piste 20 et la traverse sous un angle faible. La rainure s'arrête au niveau du panneau indiquant 600 mètres de piste restante.

Deux rainures d'une longueur d'une soixantaine de mètres se situent sur le côté gauche de la piste et se croisent à une trentaine de mètres environ avant l'appareil.

Une trace de l'atterrisseur auxiliaire a été constatée en bordure de piste.

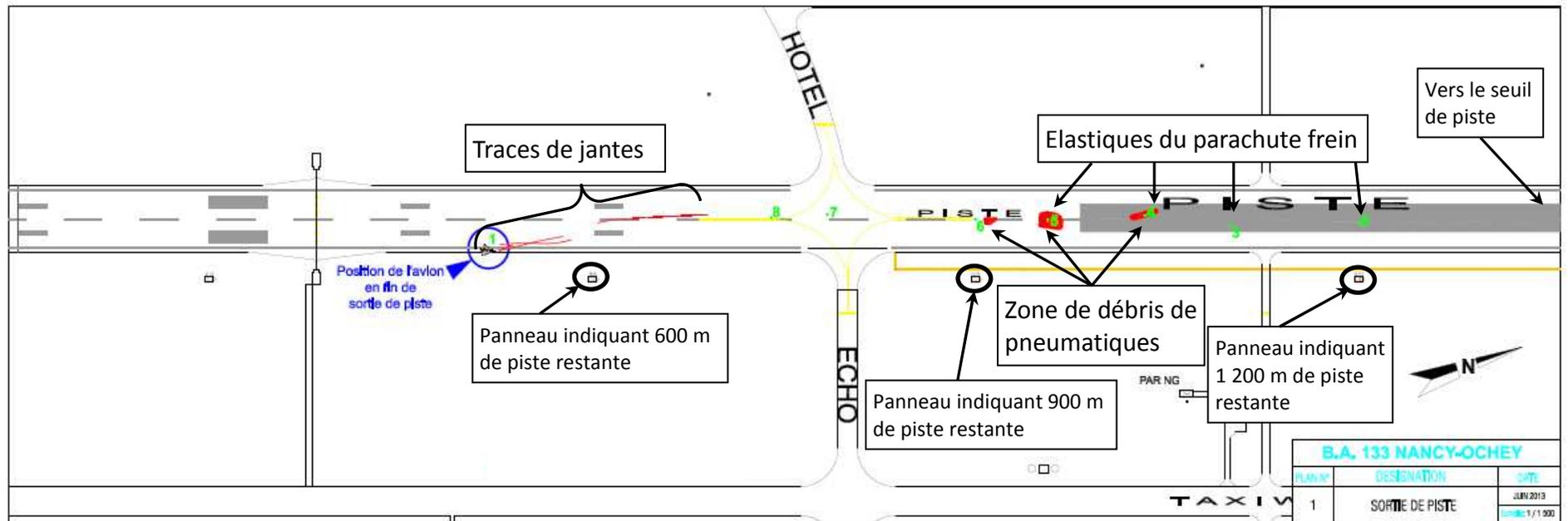


Schéma des éléments relevés sur la piste

1.12.2. Examen de l'appareil

L'appareil s'est immobilisé en bordure de piste au cap 050 à 500 m environ du seuil de piste 02. Il est incliné à droite sur l'axe de roulis. La roue de l'atterrisseur principal gauche est sur la piste. La roue de l'atterrisseur principal droit est enlisée de 40 cm environ dans la terre bordant la piste.

Le parachute frein est sorti de son logement, déployé, en bon état et toujours accroché à l'avion.



Atterrisseur gauche



Atterrisseur droit

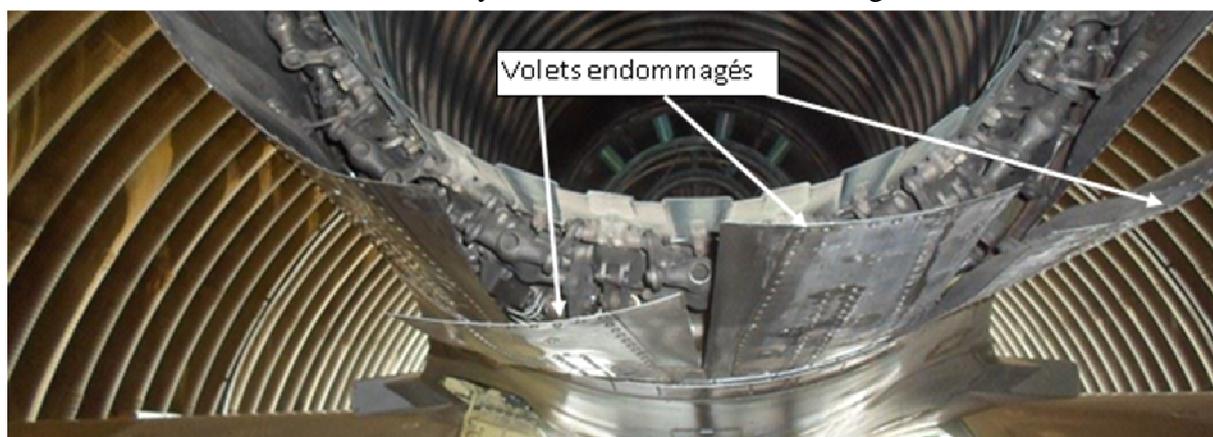
L'atterrisseur auxiliaire n'est pas endommagé.

1.12.2.1. Cabine

Le sélecteur du système de freinage est en position « circuit 1 ».

1.12.2.2. Tuyère moteur

Trois volets froids inférieurs de la tuyère du moteur sont endommagés.



Volets froids de la tuyère moteur

1.12.2.3. Constat sur l'atterrisseur principal gauche

- La bande de roulement du pneumatique présente une abrasion jusqu'au percement.
- La jante de la roue gauche et la bande de roulement du pneumatique sont endommagées.
- Les flancs du pneumatique sont déchirés en plusieurs endroits.
- Aucun fusible thermique⁴ situé à l'intérieur de la jante n'a fondu.
- Les plaques de freins ne présentent aucune altération.
- Les pistons actionnant ces plaques ne présentent aucun dysfonctionnement.

1.12.2.4. Constat sur l'atterrisseur principal droit

- La jante de la roue droite est abrasée et présente un méplat.
- Le flanc extérieur du pneumatique est déchiré sur tout le pourtour.
- Aucun fusible thermique situé à l'intérieur de la jante n'a fondu.
- Les plaques de freins ne présentent aucune altération.
- Les pistons actionnant ces plaques ne présentent aucun dysfonctionnement.

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1. Pilote commandant de bord

- Dernier examen médical :
 - type : visite annuelle d'aptitude au centre principal d'expertise médicale du personnel navigant (CPEMPN)
 - date : 2 mai 2013
 - résultat : apte à l'emploi de pilote de chasse
 - validité : 12 mois
- Blessures : aucune
- Examens biologiques effectués: résultat négatif

1.13.2. Navigateur officier système d'arme

- Dernier examen médical :
 - type : visite annuelle au CPEMPN
 - date : 30 avril 2013
 - résultat : apte à l'emploi de navigateur de combat
 - validité : 12 mois
- Blessures : aucune
- Examens biologiques effectués: résultat négatif

1.14. Incendie

Sans objet.

⁴ Dispositif de protection, dont la fonte au-delà de 199°C provoque le dégonflement du pneu pour prévenir un éclatement par surpression.

1.15. Questions relatives à la survie des occupants

1.15.1. Abandon de bord

Après l'immobilisation de l'appareil, le pilote met la manette des gaz sur la position STOP, place l'interrupteur coupe-feu sur arrêt et ouvre la verrière. L'équipage évacue l'appareil.

1.15.2. Organisation des secours

Le « klaxon crash » est déclenché par les services de la circulation aérienne (ESCA). Les pompiers interviennent près de l'avion et l'équipe des mécaniciens « crash » sécurise les sièges éjectables.

Aucun examen médical n'est effectué sur l'équipage après la sortie de piste ou le lendemain matin.

1.16. Essais et recherches

L'extraction et l'exploitation des données de l'enregistreur d'accident ESPAR et de l'enregistrement vidéo (Hi-8) ont été effectuées dans les laboratoires de RESEDA.

Des tests sur les organes électriques et mécaniques du système de freinage ont été réalisés par les experts mécaniciens du groupe d'enquête.

1.17. Renseignements supplémentaires

Néant.

1.18. Techniques spécifiques d'enquête

Néant.

2. ANALYSE

La perte de contrôle de l'avion lors de la phase de décélération à l'atterrissage a conduit à une sortie de piste.

L'analyse établit le scénario de l'événement au regard des témoignages et des éléments recueillis. Elle recherche les causes de la perte de contrôle et de l'endommagement de la tuyère, puis étudie la gestion de l'événement par le pilote.

2.1. Analyse des éléments recueillis

2.1.1. Analyse des éléments recueillis sur la piste



Position des rainures marquant le revêtement de la piste

La détérioration des pneumatiques a eu lieu après l'ouverture du parachute frein. Les traces de jantes sont représentatives d'un blocage complet des roues des atterrisseurs principaux. Le croisement des traces montre que l'avion a effectué un tête-à-queue. Elles se poursuivent jusqu'à la sortie de piste indiquant que l'appareil a fini sa course en reculant.

2.1.2. Analyse des dommages sur les pneumatiques et roues des atterrisseurs principaux



Roue droite de l'atterrisseur principal



Roue gauche de l'atterrisseur principal

Le pneumatique droit et la jante droite présentent des endommagements plus importants que ceux de gauche. L'abrasion constatée sur la jante est consécutive au blocage et au percement du pneumatique droit.

La roue gauche a subi deux blocages brefs provoquant la perforation de la bande de roulement et l'abrasion du caoutchouc sur la bande de roulement.

2.1.3. Analyse de l'enregistreur de paramètres

Les principales phases sont listées dans le tableau ci-dessous :

Temps	Evénement	Vitesse (kt)	Observations
T0	Contact des roues de l'atterrisseur principal avec la piste.	149	
T0 + 15 s	Contact des roues de l'atterrisseur auxiliaire avec la piste.	112	
T0 + 15,6 s	Le pilote actionne les freins.	111	J _x = -0,28 g
T0 + 15,6 s à T0 + 19 s	L'appareil dévie sa trajectoire de quelques degrés à droite. Le pilote compense progressivement cette dérive par une action sur le palonnier gauche sur la moitié environ du débattement.		J _x < - 0,2 ⁵ g
T0 + 19 s	Ouverture du parachute frein.	98	J _x = -0,15 g
T0 + 19 s à T0 + 22 s	Le cap évolue entre 197° et 200°. L'appareil est maintenu sur l'axe de la piste.		J _x < - 0,2 g
T0 + 22 s	Eclatement du pneumatique droit.	87	Cap : 202° J _x = 0,22 g
T0 + 22 s à T0 + 25,5 s	L'appareil dévie à droite. Le pilote appuie sur la pédale gauche du palonnier jusqu'à la mise en butée.		
T0 + 25,5 s	Eclatement du pneumatique gauche.	68	Cap : 208° J _x = - 0,27 g
T0 + 25,5 s à 30,6 s	L'appareil dévie à gauche. Le pilote appuie sur la pédale droite du palonnier jusqu'à la mise en butée.		J _x < -0,15 g
T0 + 30,6 s	L'appareil dévie à droite.	0 ⁶	Cap : 156°
T0 + 30,6 s à 34 s	Le pilote appuie sur la pédale gauche du palonnier jusqu'à la mise en butée et l'appareil effectue un tête-à-queue.		
T0 + 34 s	L'appareil recule.	0	J _x > 0
T0 + 37,7 s	L'appareil s'arrête brutalement.	0	J _x = 0,8
T0 + 38 s	L'appareil se cabre et retombe.	0	Assiette = 16,4° Cap = 51°

La représentation graphique des paramètres de vol est présentée en annexe 1.

⁵ Selon la check list, « FREINAGE NORMAL », la valeur moyenne est comprise entre -0,2 et -0,3.

⁶ La vitesse calculée est erratique, les mesures issues des sondes étant perturbées par le dérapage de l'appareil.

2.1.4. Scénario possible de la phase d'atterrissage

La phase de présentation et de poser des trains principaux est nominale. La piste est mouillée et la composante de vent de travers est de 6 kt.

- Dès le poser du train auxiliaire, le pilote actionne les freins. La roue droite se bloque brièvement et l'appareil dévie légèrement à droite. Le pilote compense la déviation constatée par une action sur la pédale gauche du palonnier. Il perçoit une absence de décélération et tire la poignée du parachute-frein. La décélération est faible ($J_x = -0,15 \text{ g}$)⁷ et la vitesse est de 98 kt.
- Le pilote a vraisemblablement relâché son action sur les freins pour appuyer à nouveau sur les pédales de freins créant un blocage de la roue droite allant jusqu'au percement du pneumatique. La vitesse est alors de 87 kt. La force de frottement ainsi générée à droite dévie l'appareil à droite et oblige le pilote à la mise en butée de la pédale gauche du palonnier. Ni la dérive dont l'action est effective pour une vitesse supérieure à 100 kt, ni la dirigeabilité, ne peuvent compenser la force de frottement produite par le blocage.
- L'action de freinage se poursuit et provoque le blocage de la roue gauche puis le percement du pneumatique. La force de frottement devient plus importante à gauche et l'appareil dévie à gauche. La pédale du palonnier droit est enfoncée jusqu'à la butée.

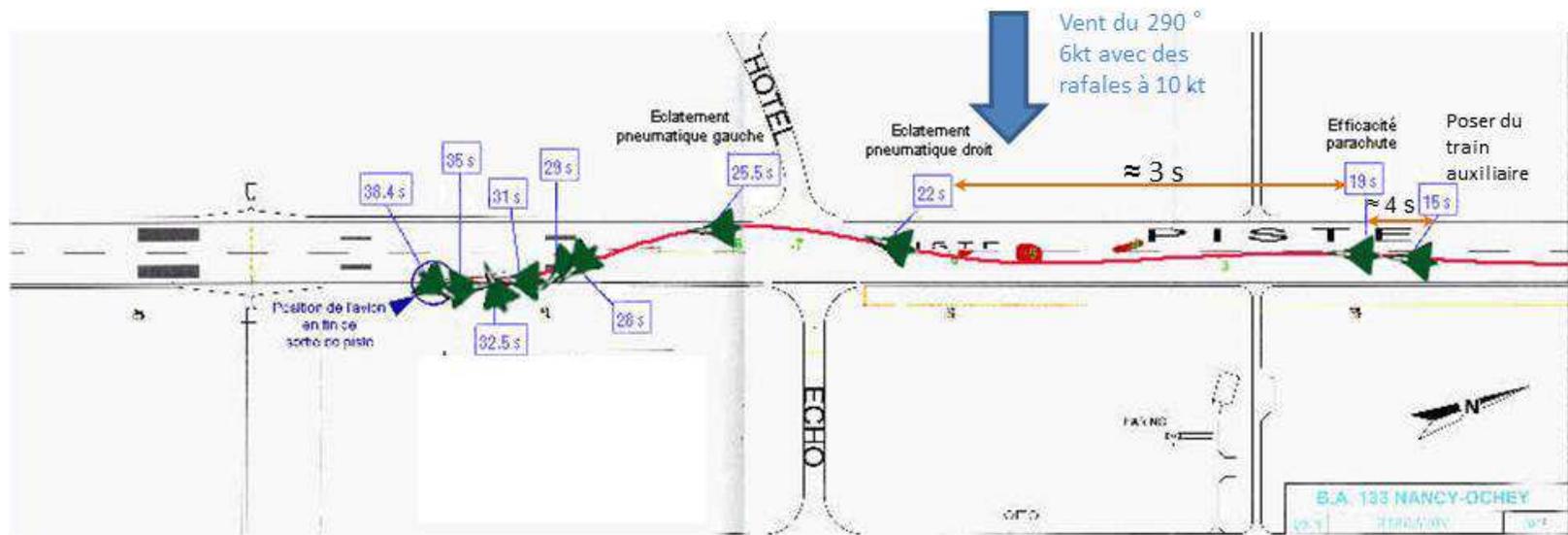
La trajectoire du Mirage 2000 sur la piste dépend de la dissymétrie aléatoire des forces de résistance provoquées par le contact des jantes sur la piste mouillée. L'appareil effectue un tête-à-queue, finit sa course à reculons et s'immobilise avec une assiette de $16,5^\circ$ à cabré.

2.1.5. Synthèse

Dès le poser de l'atterrisseur auxiliaire, le pilote actionne les freins. Les roues subissent des blocages brefs et dissymétriques qui provoquent les percements des pneumatiques droit et gauche. L'abrasion des jantes génère des forces de résistance importantes et dissymétriques qui ne peuvent être contrées par les actions sur le palonnier.

La trajectoire de l'avion résulte de la dissymétrie de frottement des jantes. Le pilote perd le contrôle de son appareil qui effectue un tête-à-queue et sort de piste en reculant.

⁷ Même ordre de grandeur lors de l'événement A-2011-004-I à une vitesse de 104 kt, le $J_x = -0,15 \text{ g}$ lors de l'effet du parachute frein avec une absence totale de freinage.



Événements caractéristiques lors de l'atterrissage

2.2. Recherche des causes de la perte de contrôle

La séquence d'événement a révélé que la perte de contrôle à l'atterrissage est due à des forces de frottement importantes et dissymétriques provoquées par le blocage des roues et la détérioration des pneumatiques.

L'analyse des différents éléments du système de freinage permet d'établir la cause du blocage des roues.

2.2.1. Eléments mécaniques de la cinématique des blocs de frein

Les disques de frein ne présentent pas d'endommagement et les pistons ne montrent aucune anomalie ou grippage.

En conséquence, aucun dysfonctionnement d'ordre mécanique n'est venu perturber le système de freinage.

Le blocage des roues de l'atterrisseur principal n'a pas été provoqué par un dysfonctionnement mécanique du système de freinage.

2.2.2. Circuit hydraulique du système de freinage⁸

Les investigations menées sur le circuit hydraulique montrent que :

- la circulation du liquide hydraulique n'est pas perturbée par la présence d'air ou de gaz ;
- les mesures de pression hydraulique relevées sont conformes (les résultats sont fournis en annexe 3) ;
- les pressions relevées sur le circuit hydraulique 1 (SPAD actif) de l'atterrisseur principal gauche et droit sont symétriques et les valeurs mesurées sont conformes.

Les prélèvements de fluide hydraulique H-515 provenant des circuits n° 1 et n° 2 ne présentent pas des teneurs anormalement élevées en éléments métalliques susceptibles d'indiquer une dégradation importante des pièces constitutives des circuits hydrauliques.

Par ailleurs, aucune pollution d'origine organique n'a été mise en évidence.

Le blocage des roues de l'atterrisseur principal n'a pas été provoqué par un dysfonctionnement hydraulique du système de freinage.

2.2.3. Système de régulation du boîtier SPAD

Le boîtier SPAD permet le calcul et la gestion de l'adhérence maximum⁹ pneu-sol des roues des atterrisseurs principaux. Le contrôle du SPAD a été effectué selon la carte de travail¹⁰ en vigueur : le contrôle au banc n'a pas révélé de défauts de fonctionnement.

Le test avant atterrissage ne met pas en évidence d'anomalie.

Le blocage des roues de l'atterrisseur principal n'a pas été provoqué par un dysfonctionnement du boîtier SPAD.

⁸ Le fonctionnement du système de freinage est exposé en annexe 2

⁹ La régulation du système de freinage est exposée en annexe 4

¹⁰ Référence de la carte de travail : 15-50-607

2.2.4. Les génératrices tachymétriques

Les trois génératrices tachymétriques mesurent la vitesse des roues des atterrisseurs qui est ensuite traitée par le boîtier SPAD.

Les génératrices tachymétriques ont été testées en les entraînant à une vitesse de référence. Les valeurs de tension produite par ces trois génératrices tachymétriques sont dans les tolérances.

Le blocage des roues de l'atterrisseur principal n'a pas été provoqué par un dysfonctionnement d'une des trois génératrices tachymétriques.

2.2.5. Une discontinuité ou un défaut d'isolement des faisceaux électriques des trains d'atterrissage

Un défaut de continuité sur le faisceau électrique inférieur du train auxiliaire était constaté lors des investigations techniques sur l'avion. Le signal électrique fourni par la génératrice tachymétrique de l'atterrisseur auxiliaire n'est plus acheminé au système perfectionné anti-dérivant (SPAD).

Une discontinuité ou un défaut d'isolement des faisceaux électriques équipant le système de freinage a contribué au blocage des roues de l'atterrisseur principal.

2.2.6. Fiabilité du faisceau électrique inférieur du train auxiliaire

Le faisceau inférieur a fait l'objet de trois évolutions afin d'améliorer la tenue mécanique en vibration lorsque le train auxiliaire est sorti. Les deux premières ont été approuvées en commission de modification locale en 1986 et en 1991. Les faisceaux de trains ont alors été remplacés pour prendre en compte ces modifications.

Toutefois, des cas de rupture du faisceau inférieur du train auxiliaire ont perduré. Aussi, la modification n° 1437 visant à améliorer à nouveau la tenue mécanique en vibration du faisceau électrique a été adoptée en commission de gestion de configuration n° 46 le 12 mars 2003. Or la documentation technique (la carte de travail n° 15 01 904 « Réparation des faisceaux de train » et la notice technique) n'intègre pas les modalités permettant la modification des faisceaux inférieurs.

La documentation technique existante n'a pas permis l'application de la modification approuvée en 2003 visant à améliorer la fiabilité du faisceau électrique inférieur du train auxiliaire.

2.3. Analyse des endommagements constatés sur la sortie tuyère

L'endommagement des trois volets froids a été constaté après l'événement. L'étude des paramètres de vol montrent que l'assiette de l'avion a atteint $16,5^\circ$ à une très faible vitesse au moment de la sortie de piste.

Les volets présentent des rainures. L'absence d'abrasion confirme la faible vitesse lors de l'endommagement. L'empreinte de la rotule sur la face interne du volet indique que la force s'est appliquée du bas vers le haut. L'absence de terre sur les volets froids indique que l'impact s'est produit avec le revêtement de la piste.

L'appareil sort de la piste en reculant et s'immobilise brutalement. L'inertie produite entraîne alors un cabré de $16,5^\circ$ et les trois volets froids inférieurs de la tuyère heurtent la piste.

L'endommagement des volets froids de la tuyère du moteur s'est produit lors de la sortie de piste. L'embourbement de la roue droite a provoqué l'immobilisation de l'avion qui possédait encore de l'inertie issue du tête-à-queue. L'incidence a alors augmenté jusqu'à l'impact des volets froids avec le sol.

2.4. Gestion de l'événement par le pilote

2.4.1. Représentation de la situation

Lors de la vérification du fonctionnement du SPAD par le pilote avant l'atterrissage, aucune alarme n'est apparue.

Après sa première action sur les freins, le pilote constate une déviation de l'avion vers la droite. Il contre par une action sur la pédale gauche du palonnier. Au regard du déroulement de cette phase d'atterrissage inhabituelle, il actionne le parachute frein qui produit une décélération $-0,15\text{ g}$ ¹¹ cohérente avec une vitesse inférieure à 100 kt.

Les informations de performance du freinage (J_x) fournies par la VTH après le déploiement du parachute sont : $-0,10\text{ g} < J_x < -0,17\text{ g}$ ¹²,

En 7 secondes environ et de nuit, le pilote analyse trois événements inattendus et successifs après le poser du train auxiliaire :

- la déviation de la trajectoire,
- la faiblesse de la décélération ressentie à l'ouverture du parachute frein,
- la faiblesse de la décélération indiquée sur la VTH ($J_x < 0,2\text{ g}$),

sans signe précurseur en vol ou au sol.

Le pilote est soumis à un état de stress croissant causé par des événements inattendus et successifs impactant le comportement l'avion après le poser du train auxiliaire. Cet état de stress croissant ne lui permet pas d'analyser la situation et d'identifier un dysfonctionnement du système de freinage.

¹¹ Décélération nominale du parachute frein : $-0,45\text{ g} < J_x < -0,30$ pour une vitesse supérieure à 100 kt.

¹² Dans le cas où le $J_x < -0,2\text{ g}$, une procédure spécifique est établie.

2.4.2. Actions du pilote

Dans le cas d'une détection d'un défaut de performance de freinage ($J_x < 0,2 g$), la procédure prévoit de remettre les gaz ou de sélectionner le « CIRCUIT 2 » (ou « FREINS 2 ») du système hydraulique qui permet de s'affranchir du système de régulation SPAD, puis d'« attendre 2 secondes » avec les « pédales relâchées » puis de « freiner modérément (SPAD inopérant) ».

Lors de l'événement, le pilote applique la seconde partie de la procédure (sortie du parachute frein), sans parvenir à actionner le sélecteur « FREINS 2 », toute son attention étant focalisée sur ses actions sur les pédales du palonnier pour maintenir l'avion sur la piste et freiner en appuyant sur le haut de ces mêmes pédales.

Dans les conditions de l'événement, l'application de la procédure « FREINS 2 » était peu envisageable pour un pilote qui tente de maintenir son avion sur l'axe de la piste. En effet, cette procédure implique de relâcher toute pression sur les freins pendant deux secondes malgré la trajectoire erratique de l'avion.

En situation stressante croissante, le pilote ne peut à la fois gérer la trajectoire erratique de son appareil et appliquer une procédure pour laquelle il doit relâcher les freins.

3. CONCLUSION

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

L'événement se produit lors d'un atterrissage après une mission d'entraînement de nuit :

- avant l'atterrissage, le pilote effectue le test de fonctionnement du SPAD qui révèle aucune anomalie ;
- dès le poser de l'atterrisseur auxiliaire sur la piste mouillée, le pilote actionne les freins ;
- suite au freinage, le pilote constate une réaction anormale de l'appareil et déclenche le parachute ;
- les percements successifs des pneus droit et gauche produisent des forces de résistance dissymétriques par frottement des jantes.
- le pilote maintient sa trajectoire sur la piste grâce à son action sur le palonnier commandant la dérive et la DIRAV ;
- ni la dérive dont l'action est effective pour une vitesse supérieure à 100 kt, ni la dirigeabilité, ne peuvent compenser la force de frottement produite par le blocage des roues ;
- l'appareil sort de piste après un tête-à-queue.

3.2. Causes de l'événement

Les causes de la perte de contrôle de la trajectoire sur la piste lors de l'atterrissage sont :

- un défaut de continuité au niveau du faisceau électrique placée sur le train auxiliaire qui permet le transfert d'information au système de régulation de freinage ;
- une absence de mise à jour de la documentation technique permettant l'application de l'amélioration de la tenue mécanique du faisceau électrique inférieur du train auxiliaire des Mirage 2000 approuvée en 2003 ;
- une absence d'information vers le pilote du défaut de continuité sur le système de freinage lorsque celui-ci est avéré.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

4.1.1. Fiabilité du faisceau électrique inférieur du train avant

La perte de contrôle de la trajectoire sur la piste lors de l'atterrissage a pour origine un défaut de continuité au niveau du faisceau électrique placée sur le train auxiliaire qui permet le transfert d'information au système de régulation de freinage.

De nombreux cas de rupture du faisceau inférieur du train auxiliaire ont été rencontrés sur Mirage 2000 depuis plusieurs années.

La modification n° 1437 visant à améliorer la tenue mécanique en vibration du faisceau électrique a été adoptée en commission de gestion de configuration n° 46 le 12 mars 2003. Or, la documentation technique n'intègre pas les modalités permettant la modification des faisceaux inférieurs.

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

la DGA d'établir :

**- les modalités techniques permettant la modification des faisceaux inférieurs n° 1437,
- un acte technique valant consigne de navigabilité demandant l'application impérative de la modification n° 1437 « nouveau faisceau inférieur de train avant »¹³.**

4.1.2. Etude de la remise des gaz avec une décélération anormale à l'atterrissage ($J_x < - 0,2 g$)

Dans le cas d'une décélération anormale ($J_x < - 0,2g$) le mémento pilote¹⁴ du Mirage 2000 prévoit en premier lieu de remettre les gaz. L'information de décélération (J_x) n'est disponible en VTH qu'avec le train auxiliaire comprimé.

L'étude de plusieurs atterrissages au travers des paramètres issus de FDR montre que les pilotes freinent dès le poser du train auxiliaire. Cette action peut révéler un dysfonctionnement du système de freinage sans que le pilote soit informé de l'élément en panne et des dommages causés sur l'appareil. Dans le cas présent, un atterrissage de nuit sur une piste mouillée à l'issue d'une procédure IFR après une remise des gaz avec des pneumatiques endommagés ou percés n'est pas garanti d'une totale sécurité.

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

l'armée de l'air d'évaluer la pertinence de la remise des gaz en cas de $J_x < - 0,2 g$ et plus généralement une fois le train auxiliaire posé.

¹³ La DGA a établi un acte technique valant consigne de navigabilité demandant l'application impérative de la modification n° 1437 le 14 octobre 2013

¹⁴ Cf. Annexe 5

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

4.2.1. Enregistrement vidéo de la VTH

La durée d'enregistrement de la cassette HI-8 de la VTH étant d'une heure alors que le vol durait une heure et quarante minutes, la séquence de l'atterrissage n'a pas pu être visualisée.

Le défaut d'enregistrement, constaté au retour de mission, n'est pas exceptionnel (temps de vol supérieur à une heure, qualité de la cassette Hi 8, dysfonctionnement de l'enregistrement,...).

Cette recommandation fait référence à celle de l'enquête A-2011-007-A (cf. Annexe 7).

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

L'armée de l'air et à la direction générale de l'armement de poursuivre les travaux :
- d'études d'intégration d'une capacité d'enregistrement conforme à la norme ED 112^E ;
- de modification pour remplacer les enregistreurs sur bande magnétique Hi 8 actuellement utilisés.

4.2.2. Prise en charge médicale des équipages après événement

Dans le cadre de la sécurité de l'équipage, il apparaît nécessaire de procéder à un examen médico-psychologique à l'issu un événement aérien et dans des délais adaptés au niveau des blessures. Or, lors de cet événement, le médecin d'astreinte du centre médical des armées n'a pas été prévenu immédiatement de l'incident aérien.

Le document relatif à l'organisation des secours de la base aérienne¹⁵ ainsi que la note d'organisation du soutien santé de la plateforme ne prévoit pas les modalités d'alerte du médecin d'astreinte lors de la survenance d'un événement aérien.

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

L'armée de l'air conjointement avec la direction centrale du service de santé des armées de formaliser sur toutes les bases aériennes :
- les moyens d'alerte du médecin d'astreinte lors de tout incident ou accident aérien survenant sur une plateforme ;
- la prise en charge médicale et psychologique de l'équipage impliqué (deux recommandations similaires ont déjà été émises par le bureau enquêtes accident défense air lors des enquêtes A-2008-006-A et T-2009-012-I).

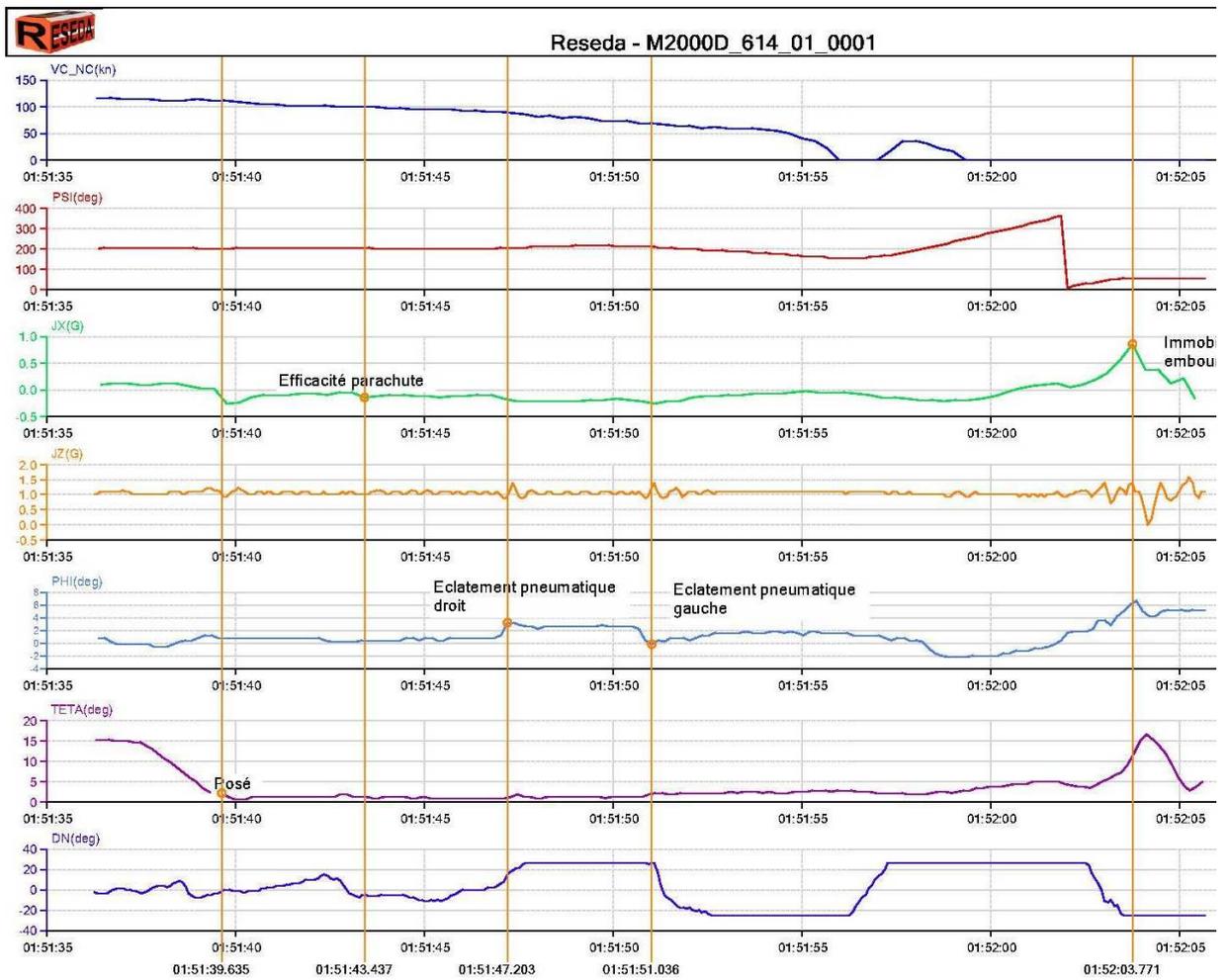
¹⁵ « Le plan secours interne ne définit que l'organisation des actions des intervenants appartenant à la base aérienne »

ANNEXES

ANNEXE 1	Données de l'enregistreur de vol lors de la séquence d'atterrissage.....	29
ANNEXE 2	Fonctionnement du système de freinage	30
ANNEXE 3	Résultats des mesures des pressions hydrauliques.....	32
ANNEXE 4	Régulation du système de freinage	33
ANNEXE 5	Extrait du mémento pilote.....	35
ANNEXE 6	Acte technique valant consigne de navigabilité relatif au faisceau du train auxiliaire.....	36
ANNEXE 7	Recommandation émise lors de l'enquête A-2011-007-A.....	37

ANNEXE 1

Données de l'enregistreur de vol lors de la séquence d'atterrissage



ANNEXE 2

Fonctionnement du système de freinage

Le Mirage 2000 est équipé de deux circuits de freinage indépendants :

- un circuit de freinage normal, alimenté hydrauliquement par la génération « circuit 1 », qui permet d'obtenir :
 - un freinage progressif et différentiel normalement contrôlé par un système perfectionné anti-dérapant : le SPAD ;
 - un freinage non différentiel utilisé pour le point fixe : lorsque les pédales sont enfoncées à fond, que la manette des gaz est sur plein gaz et que l'amortisseur avant est comprimé ;
- un circuit de freinage secours, alimenté hydrauliquement par la génération « circuit 2 », qui permet d'obtenir :
 - un freinage progressif et différentiel à partir des pédales ;
 - un freinage, non différentiel, utilisé pour le freinage au parking, à partir de la manette de commande de freinage au poste avant.

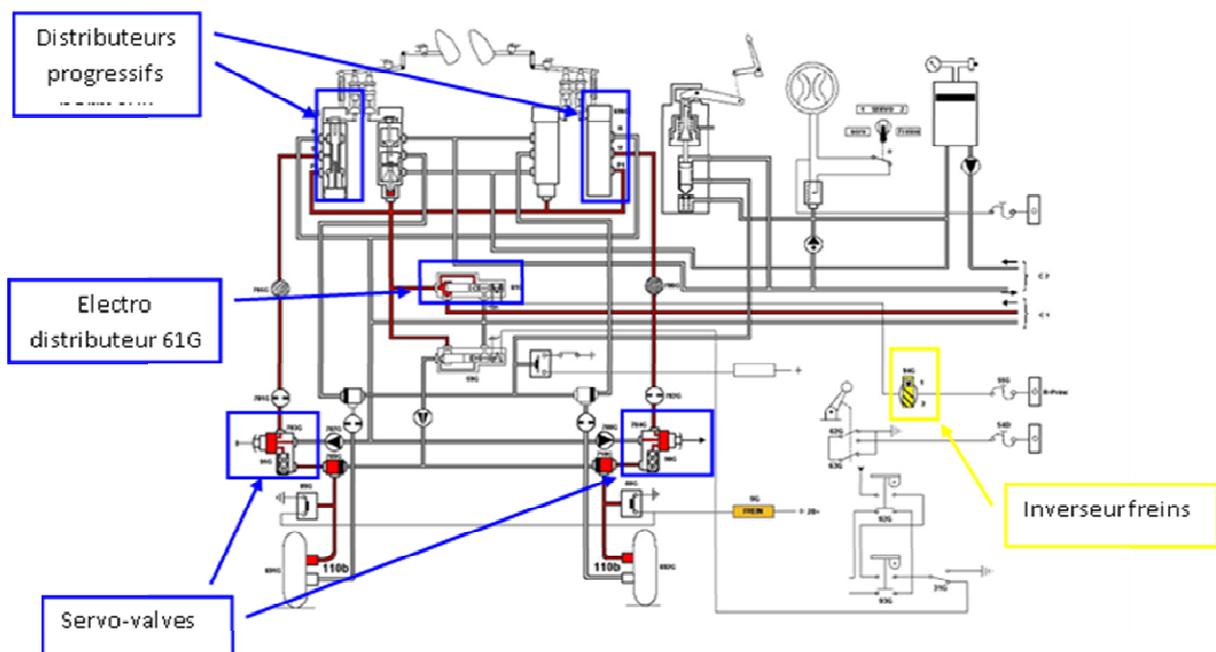


Schéma de principe du freinage normal

Le freinage normal est obtenu lorsque :

- l'inverseur « FREIN » est positionné sur la position « 1 » ;
- un des membres de l'équipage enfonce les pédales de l'un des deux postes ;
- la pression hydraulique de la génération circuit 1 est envoyée vers les distributeurs progressifs normaux au travers de l'électro-distributeur 61G ;
- l'enfoncement des pédales agit sur les leviers des distributeurs ;
- les leviers poussent les tiroirs des distributeurs, les retours sont isolés ;
- la pression détendue par ces distributeurs est admise aux servo-valves SPAD 90G et 91G.

ANNEXE 3

Résultats des mesures des pressions hydrauliques

Les essais de pressions hydrauliques ont donné les résultats suivants :

		Pressions en circuit hydraulique 1 (en frein 1)		Pressions en circuit hydraulique 2 (en frein 2)	
		SPAD	Freinage point fixe	Frein 2	Parking
Train principal droit	Valeurs théoriques	90 bars mini	260 bars mini	45 bars mini	65 bars mini
	Valeurs mesurées	100 bars	270 bars	54 bars	70 bars
Train principal gauche	Valeurs théoriques	90 bars mini	260 bars mini	45 bars mini	65 bars mini
	Valeurs mesurées	90 bars	260 bars	55 bars	68 bars

Les valeurs nominales sont issues de la carte de travail 15-50-601.

ANNEXE 4

Régulation du système de freinage

Dans le cas de l'événement, la génération « circuit 1 » est sélectionnée. Le circuit de freinage normal se trouve alors activé avec le SPAD en fonctionnement.

Le boîtier de régulation SPAD permet de contrôler le freinage afin d'optimiser l'adhérence pneu-sol des roues freinées.

L'adhérence est fonction du glissement qui se définit par la relation $g=(V_a-V_r)/V_a$, où V_a est la vitesse périphérique de la roue non freinée de l'atterrisseur auxiliaire correspondant à la vitesse de l'avion au roulage, et V_r est la vitesse périphérique de la roue freinée de l'atterrisseur principal.

La vitesse de référence sol V_a est donnée par la génératrice tachymétrique placée sur l'axe de la roue gauche du train auxiliaire.

Les vitesses des roues freinées V_r sont mesurées par les 2 génératrices tachymétriques situées sur les axes des roues du train principal.

Ces génératrices tachymétriques délivrent un signal électrique continu proportionnel à la vitesse de rotation des roues.

Le boîtier de régulation permet d'ajuster la vitesse de rotation de la roue freinée autour d'une vitesse de référence correspondant à une valeur donnée de glissement fournissant le coefficient d'adhérence maximal en fonction de la vitesse de l'avion au roulage. Cet ajustement de vitesse réalisé par le SPAD fonctionne si $V_a-V_r>0$ ($g>0$).

Par conception, en dessous d'une vitesse V_a minimale (2 m/s environ \approx 7,2 km/h \approx 4 kt), le SPAD autorise le freinage progressif jusqu'au blocage des roues et par voie de conséquence, la possibilité d'immobiliser l'avion.

Trois cas sont à envisager :

- si $V_a < V_r \Rightarrow \Delta V < 0$, alors le régulateur autorise le freinage ;
- si $V_a > V_r \Rightarrow \Delta V > 0$, alors la roue tend à partir vers le patinage, le régulateur envoie un ordre de défreinage compris entre 0 % et 100 % proportionnel à la valeur de ΔV ;
- cas particulier du ΔV minimum > 0 : en dessous d'une V_a minimum (2 m/s environ), il n'est plus possible d'obtenir un ΔV suffisant pour générer un ordre de défreinage. A partir de cette V_a minimum, le SPAD devient inopérant.

Conséquence de la discontinuité constatée que le faisceau électrique

Du fait de la discontinuité, une tension électrique nulle ($V_a = 0$ V) est perçue par le SPAD. Ce dernier régule le freinage selon que $V_a - V_r < 0$ ou $V_a - V_r > 0$

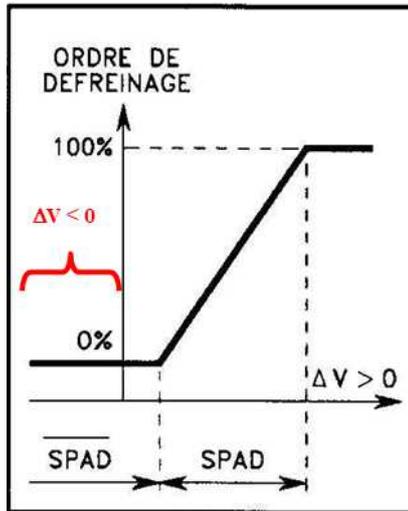


Diagramme de fonctionnement du SPAD selon la valeur de ΔV

Lorsque que le pilote freine, $V_a - V_r < 0$ puisque $V_a = 0$ V. Or, le système de régulation contrôle le freinage selon la valeur $V_a - V_r = \Delta V$. Comme $\Delta V < 0$, le système autorise le freinage, en inhibant le SPAD. Dès lors, le SPAD devient inopérant et aucune régulation n'est possible. La pression appliquée sur les freins par le pilote étant proportionnelle à la pression de freinage : l'action sur les freins par le pilote bloque alors les roues.

ANNEXE 5

Extrait du mémento pilote

Jx INFÉRIEUR A - 0,2 A L'ATERRISSAGE sur piste sèche

- Si longueur de piste suffisante et en fonction des conditions (pannes, MTO, pétrole, etc.) :

- 1 - Remettre les gaz
- 2 - SELECTEUR BRAKES : 2
- 3 - Consommer le pétrole jusqu'aux minima carburant
- 4 - ATR avec parachute

- Sinon :

- 1 - Sortir le parachute (si installé)
- 2 - SELECTEUR BRAKES : 2
- 3 - Attendre 2 secondes
- 4 - Freiner modérément (SPAD inopérant)
- 5 - Contrôler le freinage à la VTH : $Jx = - 0.2 \text{ à } - 0.3$
- 6 - Se préparer à engager la barrière

NOTA : *Le passage de BRAKES 1 à BRAKES 2 doit être effectué pédales relâchées*

ANNEXE 6

Acte technique valant consigne de navigabilité relatif au faisceau du train auxiliaire

ACTE TECHNIQUE

VALANT CONSIGNE DE NAVIGABILITE

N° 1247 -13/DT/ASA/AAC

- Objet** : Mirage 2000 : Application impérative de la modification 1437
- Référence** : Fiche de modification 1437 : Nouveau faisceau inférieur de train avant

La direction technique demande l'application impérative de la modification 1437 « Nouveau faisceau inférieur de train avant » sur l'ensemble de la flotte des Mirage 2000 avant le 31/12/2014.

ANNEXE 7

Recommandation émise lors de l'enquête A-2011-007-A

Mesure de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement

Enregistreur de voix embarqué

Le Mirage 2000 D dispose d'un système d'enregistreur vidéo Hi 8 qui peut permettre une transcription des conversations internes à l'équipage au retour de mission. Cependant, la violence de l'impact a empêché l'exploitation de ces enregistrements.

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

l'armée de l'air et à la direction générale de l'armement de mener une réflexion sur la mise en place d'enregistreurs de voix « durcis » à bord des avions.