

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

Brétigny sur Orge, le 11 septembre 2009

RAPPORT FINAL D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-A-2008-009-A

Date de l'événement	11 juin 2008
Lieu	Merdrignac (Côtes d'Armor)
Type d'appareil	Mirage 2000 N
Immatriculation	N° 363 – FULBK
Organisme	Armée de l'air
Unité	Escadron de chasse 02.004 « La Fayette »

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.

CREDITS PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page 1 (couverture) : @SIRPA air.

Pages 12, 17 : IGN.

Page 24, 26 : Instruction technique armée de l'air.

Pages 17, 18, 19, 20, 21, 26, 33 : BEAD-air.

Page 22 : Pompiers.

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	2
TABLE DES MATIERES	3
GLOSSAIRE	5
TABLE DES ILLUSTRATIONS	7
SYNOPSIS	8
1. Renseignements de base	10
1.1. Déroulement du vol	10
1.1.1. Mission	10
1.1.2. Déroulement	10
1.1.3. Localisation	12
1.2. Tués et blessés	12
1.3. Dommages à l'aéronef	12
1.4. Autres dommages	12
1.5. Renseignements sur le personnel	12
1.5.1. Navigateur, commandant de bord	12
1.5.2. Pilote	13
1.6. Renseignements sur l'aéronef	13
1.6.1. Maintenance appliquée	14
1.6.2. Masse et centrage	14
1.6.3. Carburant	14
1.6.4. Analyses de fluides	14
1.7. Conditions météorologiques	15
1.7.1. Observations à l'aérodrome de Saint Brieuc avant et après l'événement	15
1.7.2. Conditions météorologiques au moment de l'événement	15
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 la zone d'impact et sur l'aéronef	16
1.12.1. Examen de la zone des impacts	16
1.12.2. Examen de l'épave de l'aéronef	18
1.12.3. Opération de relevage des débris de l'épave	19
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	20
1.13.1. Navigateur, commandant de bord	20
1.13.2. Pilote	20
1.14. Incendie	20
1.15. Survie des occupants	21
1.15.1. Abandon de bord	21
1.15.2. Phase sous voile et atterrissage	21
1.15.3. Organisation de l'alerte et des secours	21
1.16. Essais et recherches	22
1.17. Renseignements sur les organismes	22
1.18. Renseignements supplémentaires	22
1.18.1. Déclenchement du mode détresse de l'IFF	22
1.18.2. Témoignages	22
1.18.3. Circuit carburant du M 2000 N	23
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	25
2. Analyse	26
2.1. Analyse de la séquence d'événements	26
2.1.1. Paramètres de vol au moment de l'affichage du voyant « BP rouge »	26
2.1.2. Analyse du vol suite à l'allumage du voyant « BP rouge »	26
2.2. Recherche des causes de la perte de poussée	27
2.2.1. Résultats d'expertises	27
2.2.2. Recherche des causes de l'arrêt brutal du débit carburant	29
2.2.3. Recherche des causes à l'origine de la fermeture du robinet coupe-feu	30
2.3. Gestion de l'événement par l'équipage	36
2.4. Analyse des phases d'abandon de bord et sous-voile	36

2.4.1. Phase d'abandon de bord.....	36
2.4.2. Phase sous voile.....	37
3. CONCLUSION	38
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement	38
3.2. Causes de l'événement.....	38
4. Recommandations de sécurité	39
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	39
4.1.1. Fonction « coupe-feu » sur M 2000.....	39
4.1.2. Gestion des cartes en place avant	39
4.1.3. Absence de vérification inverseur « coupe-feu » dans les procédures de rallumage moteur.....	40
4.1.4. Prise en compte des faits techniques et modifications des aéronefs des flottes export.....	40
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	41
ANNEXES	42
ANNEXE 1 Procédures de secours	43
ANNEXE 2 Événements similaires	44
ANNEXE 3 Description fonctionnelle de l'inverseur et de l'actionneur	46

GLOSSAIRE

AA	Armée de l'air
AIA	Atelier industriel de l'aéronautique
ALAT	Aviation légère de l'armée de terre
AN	Aéronautique naval
ASMP	Air sol moyenne portée
BA	Base aérienne
BEAD-air	Bureau enquêtes accidents défense air
BGA	Brigade de gendarmerie de l'air
CH	Centre hospitalier
CEPr	Centre d'essais des propulseurs de Saclay
COM-V	Circulation opérationnelle militaire de type Victor (VFR)
DGA	Délégation générale pour l'armement
DSV	Détendeur à section variable
EPI	Enquêteur de première information
FDR	<i>Flight Data Recorder</i> – enregistreur de paramètres de vol
ft ¹	<i>Feet</i> – pied (1 ft ≈ 0,305 m) ;
G	Unité de mesure de l'accélération de la pesanteur (9.81 m.s ⁻²)
GTR	Groupe Turboréacteur
GPS	<i>Global Positioning System</i> - Système mondial de positionnement par satellite
IFF	<i>Identification Friend or Foe</i> - Système d'identification radar ami ou ennemi
kt	<i>Knot</i> – nœud (1 kt = 1,852 km/h)
MHz	MégaHertz
N	Newton
Nm	<i>Nautical mile</i> - mille nautique (1 Nm = 1852 mètres).

¹ Toutes les valeurs d'altitude de trajectoire de l'aéronef sont issues du FDR avec une marge de +/- 50 ft ; le recalage en début de vol n'ayant pas pu être réalisé du fait de la dégradation de la bande du FDR.

NOSA	Navigateur Officier Système d'Armes
PA	Pilote Automatique
PGS, PGPC	Plein Gaz Sec, Plein Gaz Post Combustion
PN	Personnel navigant
QNH, QFE	Pression atmosphérique au niveau de la mer, du terrain
QFU	Direction magnétique de la piste
RESEDA	Centre de restitution des enregistreurs d'accidents
RCF	Robinet coupe-feu
RPL	Réservoir pendulaire largable
<i>Run</i>	Axe rectiligne de recalage de la trajectoire
SAMU	Service d'aide médicale d'urgence
TBA	Très basse altitude
T0, T1	Références temporelles correspondant respectivement à l'allumage du voyant « BP rouge » et l'éjection
VHF, UHF	<i>Very high frequency</i> – très haute fréquence <i>Ultra high frequency</i> – ultra haute fréquence
VTH, VTB	Visualisation tête haute, basse
Vi, Vz	Vitesse indiquée, vitesse ascensionnelle
VFR	<i>Visual flight rules</i> - règles de vol à vue
RG, VP, VI	Révision générale, Visite périodique, Visite intermédiaire
WGS84	Référentiel géodésique « <i>World Geodesic System of 1984</i> »

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Photographies

Réservoir pendulaire RPL 541	16
Sièges du pilote et du navigateur.....	17
Traces d'impact de l'aéronef.....	17
Épave du M 2000 N n° 363.....	18
Entrée du compresseur, sortie de turbine et canal PC	18
Calculateur moteur fortement endommagé	19
Robinet coupe-feu	19
Incendie à l'arrivée des pompiers.....	21
Robinet coupe-feu en position fermée	24
Ergonomie de l'inverseur du RCF ou « coupe-feu »	25
Cartes rangées dans le « range-carte » droit à la mise en route	31
Carte de navigation posée sur la banquette droite.....	31

Schémas

Trajectographie.....	11
Site de l'accident aérien	16
Circuit carburant avion autour du RCF	23
Fonctionnement électrique en position « arrêt ouverture ».....	46

SYNOPSIS

Date de l'événement : 11 juin 2008 à 15 h 20.
Lieu de l'événement : commune de Merdrignac (Côtes d'Armor).
Organisme : armée de l'air.
Commandement organique : commandement des forces aériennes stratégiques.
Unité : escadron de chasse 02.004 « La Fayette » (Luxeuil).
Aéronef : Mirage 2000 N n° 363.
Nature du vol : entraînement à vue au tir fictif du missile ASMP.
Nombre de personnes à bord de l'aéronef : 2.

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Lors d'un exercice d'entraînement à vue au tir fictif du missile ASMP, le M 2000 N perd la poussée de son turboréacteur. Après une tentative de rallumage inefficace, l'équipage s'éjecte. Les deux membres d'équipages sont légèrement blessés, l'appareil s'écrase dans un champ et prend feu.

Composition du groupe d'enquête technique

- Un enquêteur du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air), nommé directeur d'enquête technique.
- Un enquêteur adjoint, officier parachutiste d'essai.
- Deux enquêteurs adjoints, mécaniciens.
- Un enquêteur de première information (EPI).
- Un officier pilote ayant une expertise sur M 2000 N.
- Un officier mécanicien ayant une expertise sur M 2000 N.
- Deux sous-officiers mécanicien ayant une expertise sur M 2000.
- Un médecin du personnel navigant.

Autres experts consultés

- Société SNECMA (site de Villaroche).
- Société DASSAULT AVIATION (Site de Saint-Cloud).
- Centre de restitution des enregistreurs d'accidents (DGA/RESEDA).
- Centre d'essais des propulseurs de Saclay (DGA/CEPr).
- Atelier industriel de l'aéronautique de Bordeaux (SIAé/AIA).
- Société INTERTECHNIQUE.
- Société ECE (fournisseur d'interrupteurs pour DASSAULT AVIATION).

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD-air a été informé de l'accident par téléphone à 16 h 00 par le commandement opérationnel de l'armée de l'air.

Un EPI de la section aérienne de la gendarmerie de Rennes a été désigné par le BEAD-air pour effectuer les premières constatations.

Le directeur d'enquête technique, accompagné de ses adjoints, est arrivé sur la commune de Merdrignac dans la soirée du 11 juin 2008. Le groupe d'enquête technique a débuté les investigations dès le lendemain matin.

Enquête judiciaire

Le parquet de Rennes en charge des affaires militaires s'est saisi de l'enquête judiciaire qui a été confiée à la brigade de gendarmerie de l'air (BGA) de la base aérienne 117 de Balard.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Indicatif mission : Requin 87.

Type de vol : COM – V.

Type de mission : entraînement à vue au tir fictif du missile ASMP.

Dernier point de départ : BA de Luxeuil.

Heure de départ : 14 h 36.

Point d'atterrissage prévu : BA de Luxeuil.

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

Le briefing d'une durée d'une quarantaine de minutes a été effectué par le pilote.

La mission consiste en un vol d'entraînement au tir fictif du missile ASMP à vue. Ce vol est effectué au profit du pilote place avant et le navigateur, commandant d'escadron, est le commandant de bord. L'aéronef décolle de la BA de Luxeuil pour un vol d'une durée d'une heure et trente minutes avec retour à Luxeuil. Le vol comprend les phases suivantes :

- itinéraire en haute altitude vers l'ouest de la France ;
- descente puis itinéraire en très basse altitude (TBA) passant par le nord de la ville de Laval puis le nord de la ville de Rennes ;
- lors de ce vol TBA, exercice de tir fictif à vue du missile ASMP ;
- retour sur Luxeuil en haute altitude.

1.1.2.2. Description du vol

La description du vol est basée principalement sur les témoignages de l'équipage, sur les données de l'enregistreur de paramètres ainsi que sur la trajectographie radar récupérée auprès des organismes de contrôle. La première phase du vol se déroule conformément à la préparation du vol.

Arrivant en basse altitude, l'équipage prépare l'aéronef pour l'exercice de tir. Après l'évitement de menaces simulées par le navigateur dans le nord de la ville de Rennes, le M 2000 se présente sur la trajectoire de recalage précédant la cible (« run ») conformément à la préparation du vol. L'équipage est en émission-réception sur la fréquence d'auto-information militaire. Le trafic est important. Lors de ce recalage au cap 230° environ, l'équipage aperçoit un hélicoptère « Puma », même altitude et cap identique. Le pilote vire à droite, l'appareil est ensuite à la vitesse de 430 kt² pour 670 ft³ sol⁴, au cap 244°, ailes à plat sans facteur de charge.

1.1.2.3. Reconstitution de la partie significative de la trajectoire du vol

Après quinze secondes environ stable au cap 244°, à 15 h 20 (référence temporelle : T0), l'équipage perçoit l'allumage du voyant « BP » et répétiteur de pannes « rouge » accompagné de l'avertisseur sonore puis d'une perte de poussée significative.

² kt : *Knot* – nœud (1 kt = 1,852 km/h).

³ ft : *Feet* – pied (1 ft ≈ 0,305 m).

⁴ Hauteur calculée avec une altitude du relief de 330 ft en moyenne dans le secteur.

Le pilote cabre légèrement, les ailes à plat en conservant le cap avec comme objectif initial de rejoindre le terrain de Lorient dans l'axe de la trajectoire.

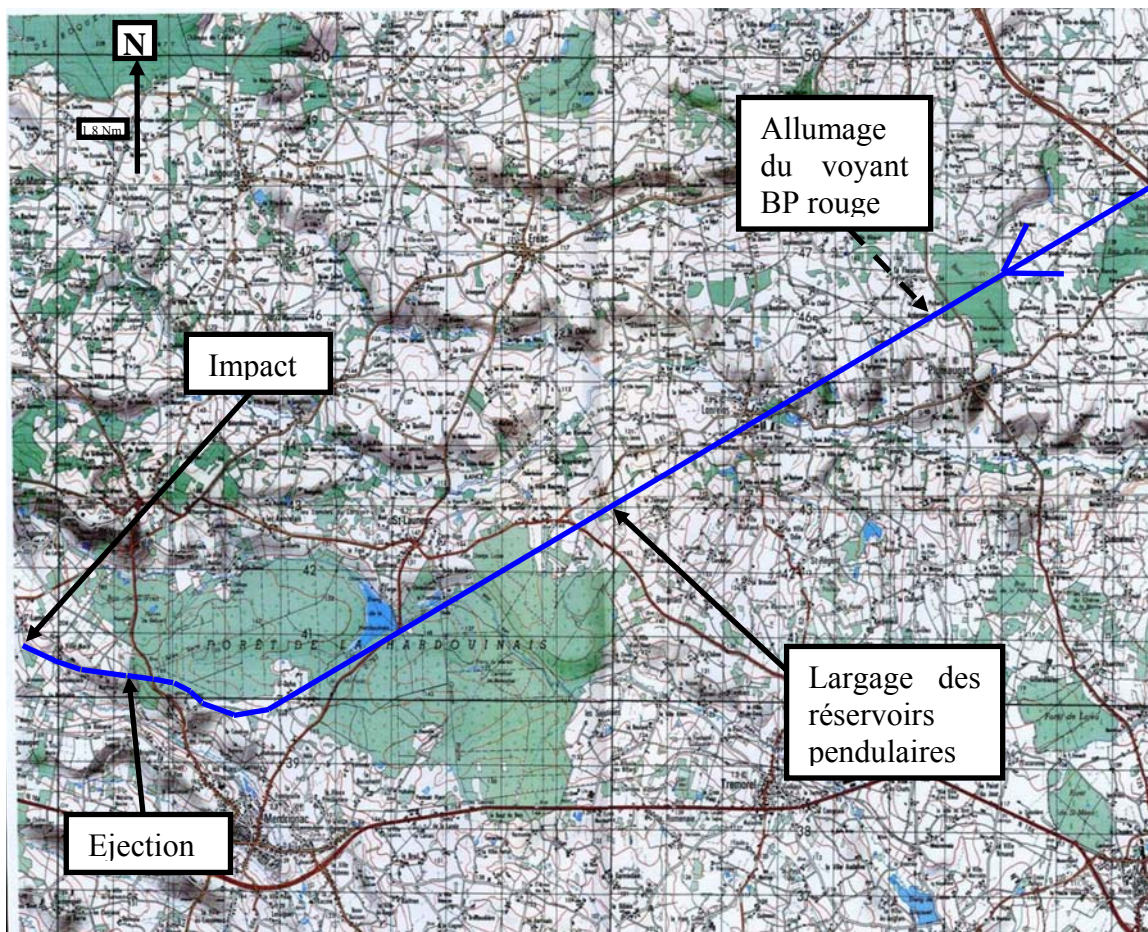
Analysant une extinction moteur, le commandant de bord ordonne le largage des réservoirs pendulaires. La procédure « rallumage en vol TBA » (cf. annexe 1) est appliquée par le pilote. Au sommet de la trajectoire, le M 2000 est à une hauteur sol de 1850 ft⁵ pour une vitesse de 280 kt en constante diminution (T0+40s).

La procédure de rallumage ayant échoué, la décision de s'éjecter est prise par le commandant de bord au sommet de la trajectoire.

Avant l'éjection, l'équipage recherche une zone dégagée pour l'impact de l'avion. La trajectoire est alors descendante, la vitesse en diminution. Plusieurs virages sont effectués de manière à sécuriser l'impact en évitant les habitations.

Ayant jugé l'impact sécurisé et le sol approchant, le navigateur, commandant de bord, ordonne alors l'éjection qui s'effectue à une hauteur sol de 360 ft⁶, à un cap de 280°, ailes à plat, assiette de +7°, à la vitesse de 186 kt et une vitesse ascensionnelle de -1700ft/min environ au-dessus de la campagne dans une zone faiblement habitée.

Il s'est écoulé une minute et cinquante secondes depuis l'allumage du voyant « BP rouge »⁷.



Trajectographie

⁵ Hauteur calculée avec une altitude du relief de 425 ft en moyenne dans le secteur.

⁶ Hauteur calculée avec une altitude du relief de 625 ft en moyenne dans le secteur.

⁷ L'appellation allumage du voyant « BP rouge » représente l'allumage du voyant « BP » carburant situé sur les tableaux d'alarmes et l'allumage des voyants répéteurs de pannes « rouge » sur les planches de bord accompagné de l'avertisseur sonore.

Les deux membres d'équipage présentent des blessures légères. L'appareil s'écrase dans un champ et prend feu.

1.1.3. Localisation

- Lieu de l'impact :
 - pays : France ;
 - département : Côtes d'Armor (22) ;
 - commune : Merdrignac ;
 - coordonnées géographiques :
 - N 48°13'.16'' ;
 - W 002°28'.30''⁸.
 - altitude : 600 ft.
- Moment : jour.
- Aérodrome le plus proche au moment de l'événement : aérodrome de Rennes à 25 Nm dans le relèvement 120° du lieu de l'impact.

1.2. Tués et blessés

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

1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
M 2000 N n° 363		X		

1.4. Autres dommages

Environnement : champ de fourrage contaminé par l'incendie et les débris de l'épave.

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. Navigateur, commandant de bord

- Age : 41 ans.
- Unité d'affectation : escadron de chasse 02.004 « La Fayette ».

⁸ Dans ce rapport, les coordonnées sont données en degrés, minutes et secondes dans le référentiel géodésique « WGS84 ».

- Spécialité :
 - fonction dans l'unité : commandant d'escadron ;
 - qualification : chef navigateur ;
 - école de spécialisation : ENOSA ;
 - année de sortie d'école : 1989.
- Heures de vol comme navigateur :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont M 2000	Sur tous types	Dont M 2000	Sur tous types	Dont M 2000
Total (h)	2415 h	2100 h	70 h 15	70 h 15	19 h 30	19 h 30

- Date du dernier vol comme navigateur : 10 juin 2008.
- L'éjection vécue dans cet événement est la deuxième sur M 2000.

1.5.2. Pilote

- Age : 24 ans.
- Unité d'affectation : escadron de chasse 02.004 « La Fayette » depuis le 20 mars 2008.
- Spécialité :
 - qualification : pilote de combat ;
 - école de spécialisation :
 - école de chasse de Tours, breveté pilote de chasse en juillet 2006 ;
 - centre de formation des équipages de M 2000 N (CFEN) de Luxeuil, sortie en mars 2008.
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont M 2000	Sur tous types	Dont M 2000	Sur tous types	Dont M 2000
Total (h)	490 h 15	113 h 35	65 h 40	65 h 40	13 h 55	13 h 55

Le pilote effectue son deuxième vol avec le commandant d'escadron.

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de l'air.
- Commandement organique d'appartenance : commandement des forces aériennes stratégiques.
- Base de détachement : BA de Luxeuil.
- Unité d'affectation : escadron de chasse 02.004 « La Fayette » :
 - type d'aéronef : M 2000 N ;
 - configuration :
 - deux réservoirs pendulaires largables (RPL 541 et 542) de 1580 kg (2000 litres) chacun sous voilures ;

- 1 missile Magic II d'entraînement ;
- 2 lance-missiles (LM) 2255.
- Motorisation : un GTR Snecma M53-P2.

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis	Heures de vol depuis
Cellule	M 2000 N	363	4020 h 40	GV1 ⁹ : 1617 h 30	VP ¹⁰ : 733 h 35
Moteur	M53-P2	60412	2530 h 25	Sortie NTI2 ¹¹ : 11 h 30	/

1.6.1. Maintenance appliquée

L'aéronef ne fait l'objet d'aucune restriction de vol.

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

Les équipements du circuit carburant, situés dans la zone du robinet coupe-feu, sont d'origine sur l'aéronef et n'ont jamais été démontés.

1.6.2. Masse et centrage

La masse et le centrage sont dans les normes :

- masse à la mise en route à Luxeuil : 14900 kg ;
- masse estimée au moment de la perte de poussée : 12040 kg.

1.6.3. Carburant

- Type de carburant utilisé : kérosène F34.
- quantité de carburant à la mise en route à Luxeuil : 6260 kg.
- quantité de carburant restant au moment de l'événement : estimée à 3400 kg.
- quantité de carburant restant au moment de l'impact : estimée à 2800 kg.
- quantité de carburant restant dans les réservoirs pendulaires : estimées à 2x300 kg.

1.6.4. Analyses de fluides

Les résultats des analyses du carburant issu :

- des points d'avitaillement sur la base de Luxeuil ;
 - d'un des deux bidons largués avant l'éjection ;
- montrent que ces fluides étaient conformes aux spécifications et ne révèlent aucune anomalie.

⁹ GV1 = 1^{re} grande visite.

¹⁰ VP = visite périodique.

¹¹ Le dernier entretien du GTR au NTI2 était une constitution (échange de tous les modules (1,3 à 11) sauf le module 2 et le calculateur moteur).

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Observations à l'aérodrome de Saint Brieu avant et après l'événement

- Vent : 020° / 12 kt.
- visibilité et nébulosité : « CAVOK ».
- température / point de rosée : +19/+11° C.
- QNH : 1025 hPa.

1.7.2. Conditions météorologiques au moment de l'événement

Les conditions constatées au sol sur le lieu de l'événement par différents témoins sont :

- vent : modéré du secteur nord-est ;
- visibilité : supérieure à 10 km ;
- nébulosité : aucun nuage, ciel clair.

1.8. Aides à la navigation

Sans objet.

1.9. Télécommunications

Au moment de l'événement, l'équipage est en émission-réception sur la fréquence auto-information militaire¹².

Les émissions radio sont denses (trafic aéronautique important) et ne sont pas perturbées.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome

Néant.

1.11. Enregistreurs de bord

Le Mirage 2000 N est équipé d'un enregistreur de paramètres de vol à bande magnétique de type PE 6011. Il est aussi équipé d'un enregistreur Hi-8 permettant d'acquérir la vidéo de la Visualisation Tête Haute (VTH) et d'enregistrer les conversations radio émises et entendues par le pilote ainsi que les échanges internes à l'équipage. De plus, un enregistreur d'événement situé sur le calculateur GTR permet l'enregistrement de paramètres moteur lors du déclenchement de pannes « rouge ». Enfin, un GPS manuel de navigation aéronautique en dotation dans l'AA était présent à bord.

L'incendie déclaré après l'impact a complètement détruit l'enregistreur Hi-8 et sa cassette ainsi que l'enregistreur de paramètres du calculateur du réacteur (GTR) et le GPS.

La bande de l'enregistreur de paramètres est très dégradée, probablement par l'exposition à la chaleur induite par l'incendie. Cependant, des données de bonne qualité ont pu être restituées par le centre RESEDA sur deux durées de :

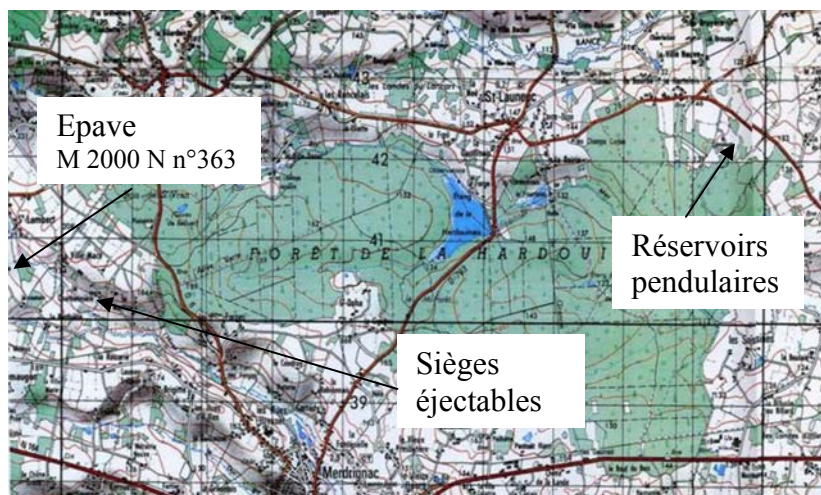
- cinq minutes correspondant au début de vol en haute altitude ;
- deux minutes correspondant à la fin de vol incluant l'événement.

¹² Cette fréquence, non écoutée par un organisme de contrôle, n'était pas enregistrée.

1.12. Renseignements sur la zone d'impact et sur l'aéronef

1.12.1. Examen de la zone des impacts

1.12.1.1. Site de l'accident aérien



Site de l'accident aérien

1.12.1.2. Zone d'impact des réservoirs pendulaires RPL 541 et RPL 542



Réservoir pendulaire RPL 541

Les deux réservoirs ont été retrouvés relativement intègres. Du carburant a pu être prélevé pour analyse.

1.12.1.3. Zone d'impact des sièges éjectables



Sièges du pilote et du navigateur

Les sièges de l'équipage ont été retrouvés distants de 250 mètres environ l'un de l'autre.

1.12.1.4. Zone d'impact de l'appareil



Traces d'impact de l'aéronef

L'appareil a percuté le sol sur sa partie arrière, à faible inclinaison à droite. Après l'impact, l'aéronef a glissé à plat sur une cinquantaine de mètres. L'aéronef ne s'est pas disloqué à l'impact¹³. Aucune trace de carburant n'a été détectée en amont de l'impact.

¹³ L'analyse du FDR donne un taux de descente de l'ordre de 3500 ft/min et une vitesse de 95 kt à l'impact.

1.12.2. Examen de l'épave de l'aéronef

1.12.2.1. Aspect général



Épave du M 2000 N n° 363

Les pompiers interviennent pour éteindre le feu. L'épave de l'avion est calcinée. Seule la structure du moteur est relativement intègre. Les principaux éléments structuraux de l'aéronef (AU4G¹⁴, composite...) ont fondu ou brûlé. Les équipements constituant le cockpit sont inexploitable en l'état.

1.12.2.2. Résultats d'investigation utiles à l'analyse

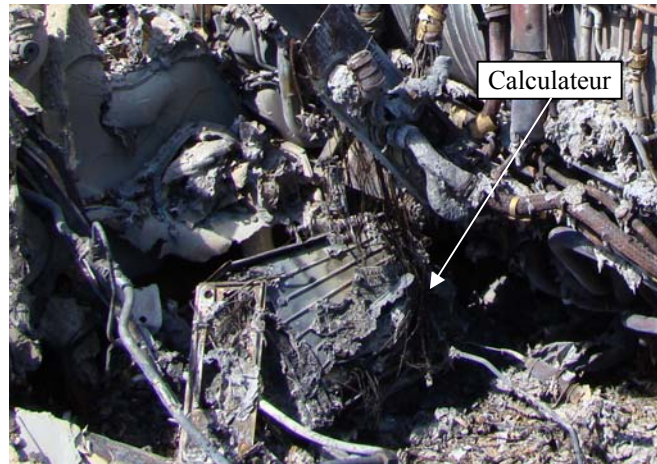
– GTR



Entrée du compresseur, sortie de turbine et canal PC

Aucun dommage mécanique n'a été constaté au niveau de l'entrée du compresseur, la sortie de turbine et le canal PC (rampes d'injection, chemise thermique et tuyère). Les éléments externes au moteur ont été détruits ou fortement dégradés lors de l'incendie.

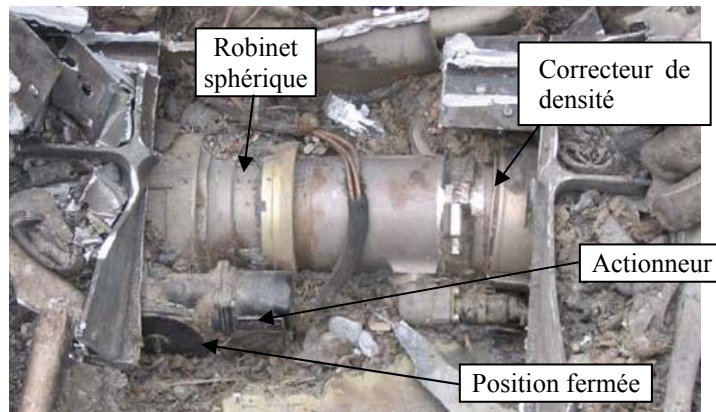
¹⁴ Matériaux alliage d'aluminium.



Calculateur moteur fortement endommagé

Le calculateur est fortement dégradé. L'enregistreur d'événement associé n'est pas exploitable.

– Circuit carburant



Robinet coupe-feu

L'actionneur est en position fermée. Le robinet sphérique est fermé.

1.12.3. Opération de relevage des débris de l'épave

A la vue des premières constatations, les investigations se sont plus particulièrement portées sur la recherche des éléments constitutifs du circuit carburant. Ainsi, les pièces ou ensembles suivants ont été envoyés pour expertise au CEPr (cf. paragraphe 1.18.3) :

- les deux pompes basse pression gauche et droite ;
- la pompe de démarrage ;
- le robinet coupe-feu (robinet sphérique et son actionneur) ;
- le correcteur de densité lié au RCF ;
- le transmetteur débit-métrique ;
- l'échangeur air-carburant ;
- le robinet intercom nourrice ;
- quelques fragments de tuyauterie.

Le raccord de tuyauterie correspondant à la jonction en « Y » des deux circuits BP a fondu sous l'effet de la chaleur. Les câbles électriques de commande des équipements carburant précités ont été détruits par l'incendie.

Le GTR a été relevé et envoyé pour expertise à l'AIA de Bordeaux.

53 interrupteurs cabines ont pu être prélevés et envoyés pour expertise au CEPr.

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1. Navigateur, commandant de bord

- Dernier examen médical :
 - type : visite annuelle au CPEMPN de Percy ;
 - date : 30/04/2008 ;
 - résultat : apte navigateur de combat ;
 - validité : 12 mois.
- Examens biologiques : négatifs.
- Blessures :
 - douleurs lombaires et aux mollets ;
 - excoriations du thorax.

Le navigateur est sorti du centre hospitalier de Saint Briec dans l'après-midi du 12 juin 2008.

1.13.2. Pilote

- Dernier examen médical :
 - type : visite annuelle au CPEMPN de Percy ;
 - date : 11/01/2008 ;
 - résultat : apte pilote de chasse ;
 - validité : 12 mois.
- Examens biologiques : négatifs.
- Blessures :
 - douleurs au pied gauche et genou gauche ;
 - excoriations de la main gauche ;
 - cervicalgies basses n'ayant pas bénéficié d'une exploration radiographique.

Le pilote est sorti du centre hospitalier de Saint Briec dans la soirée du 11 juin 2008.

1.14. Incendie

Aucune alarme incendie n'a été rapportée par l'équipage. Aucune fumée, aucun sillage ou incendie n'ont été constatés par les témoins au sol sur la fin de trajectoire en vol de l'aéronef. L'incendie, au sol, a détruit la plus grande partie de l'aéronef.



Incendie à l'arrivée des pompiers

1.15. Survie des occupants

1.15.1. Abandon de bord

Les actions préparatoires à l'éjection ont été effectuées à l'exception du passage de l'IFF en détresse. Un message de détresse a pu être émis par le pilote sur la fréquence de détresse. L'équipage s'est éjecté sur ordre du navigateur à 15 h 22 (T1). Les deux membres d'équipage ont tiré sur leur commande d'éjection.

Type de siège éjectable : Martin Baker MK10 (poignée d'éjection basse).

– Paramètres estimés au moment de l'éjection :

- hauteur : 360 ft¹⁵ ;
- vitesse : 186 kt en diminution ;
- ailes à plat ;
- assiette à 7° à cabrer ;
- taux de descente : -1700 ft/min.

1.15.2. Phase sous voile et atterrissage

La durée de descente sous voile est estimée à une vingtaine de secondes par l'équipage. Le navigateur a atterri dans les arbres à une centaine de mètres d'une maison. Le pilote a atterri dans un champ à proximité du navigateur.

1.15.3. Organisation de l'alerte et des secours

Un message de détresse a pu être émis par le pilote sur la fréquence de détresse avec intention d'éjection. Plusieurs équipages en vol ont entendu ce message de détresse, les services de secours sont activés. L'éjection de l'équipage a lieu à 15 h 22 (T1). Un hélicoptère du SAMU, en vol non loin de la zone, se dérouta en vue de rechercher l'équipage. L'équipage de l'hélicoptère acquiert le visuel des pilotes éjectés vers 15 h 38 (T1+16 min).

¹⁵ Hauteur calculée avec une altitude du relief de 625 ft en moyenne dans le secteur.

Parallèlement, environ trois minutes après avoir été dépassé par la droite vers 500 ft sol par le M 2000, l'équipage d'un hélicoptère Puma de l'ALAT, perçoit une fumée noire dense à 15-20 kilomètres de leur position. Après avoir identifié la zone du crash, l'équipage engage la recherche des pilotes éjectés et obtient leur visuel au même moment que l'hélicoptère du SAMU. L'équipage du Puma se met alors à la disposition des secours.

Le navigateur, ressentant diverses douleurs, a été médicalisé et hélicoptéré par le SAMU au CH de Saint-Brieuc pour un bilan complet. Le pilote a été hélicoptéré, non médicalisé, par le Puma de l'ALAT au CH de Saint-Brieuc pour un bilan plus sommaire. Ce pilote éjecté n'a en effet pas bénéficié d'un bilan radiographique rachidien complet. L'équipage éjecté est arrivé vers 16 h 35 au CH soit 1 heure et 13 minutes après l'éjection.

1.16. Essais et recherches

Néant.

1.17. Renseignements sur les organismes

Sans objet.

1.18. Renseignements supplémentaires

1.18.1. Déclenchement du mode détresse de l'IFF

L'éjection provoque le passage du transpondeur IFF en mode détresse avec l'émission du code 7700. Ce dernier a été détecté et est apparu sur les écrans de contrôle des organismes de contrôle.

1.18.2. Témoignages

1.18.2.1. Témoignage n°1

Un témoin situé sous la trajectoire de l'avion à l'endroit où les réservoirs pendulaires ont été largués n'a constaté :

- aucun signe de détresse particulier ou bruit suspect et aucune flamme sur l'avion qui évoluait de façon rectiligne ;
- aucun sillage derrière l'aéronef ;
- aucune odeur de carburant ou autre fluide après que l'avion l'ait survolé¹⁶.

1.18.2.2. Témoignage n°2

Un témoin, situé à 100 m environ du point d'atterrissage du pilote sous voile, a vu les deux éjections et entendu les deux détonations associées. Aucun sillage derrière l'aéronef avant l'éjection n'a été constaté. Aucune odeur de carburant ou d'autre fluide n'a été ressentie.

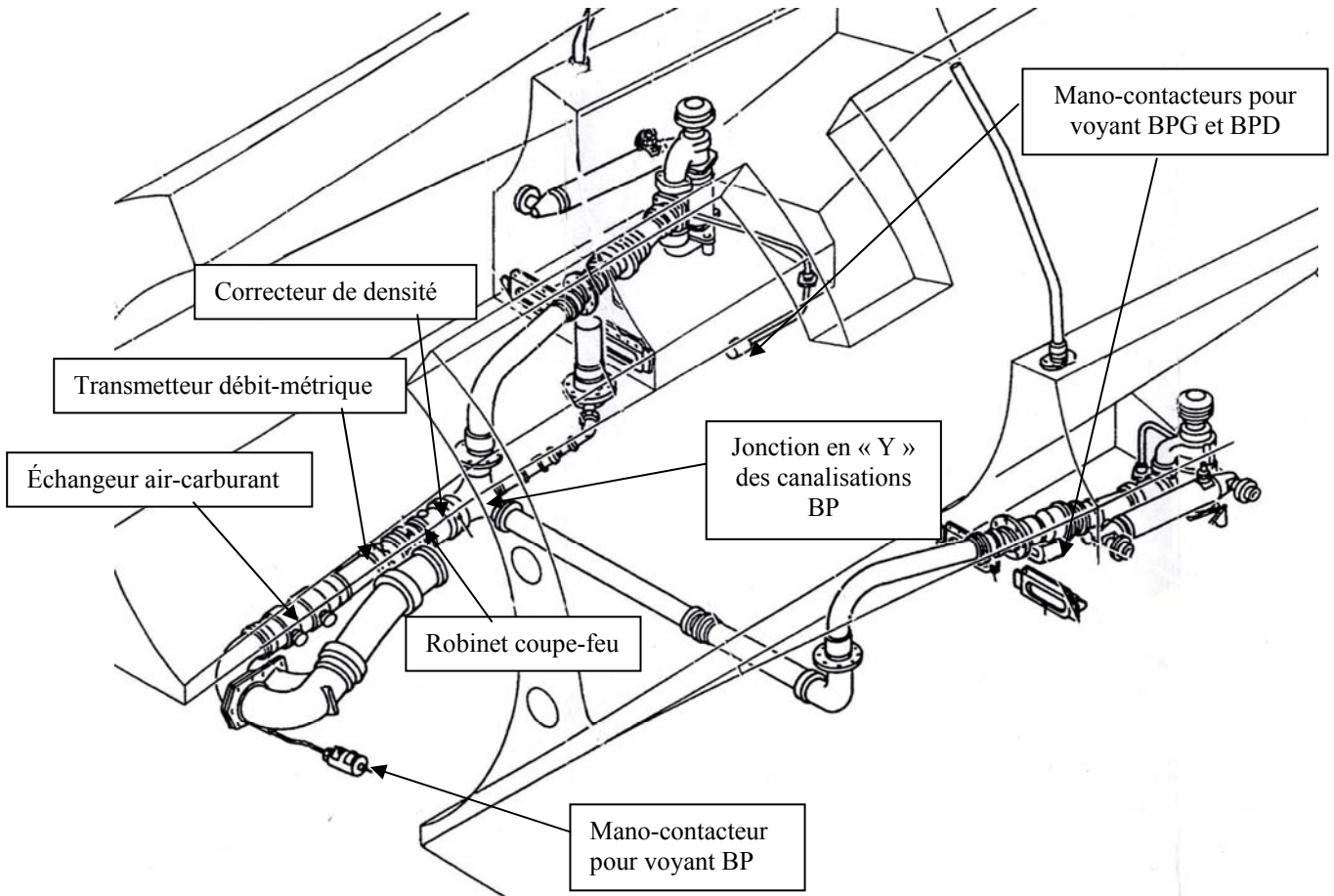
Le temps estimé sous voile est de l'ordre de la vingtaine de secondes.

¹⁶ L'analyse du FDR montre que le « M 2000 » a survolé ce témoin à une hauteur de 1100 ft environ dans une phase ascendante.

1.18.2.3. Témoignage n°3

L'équipage du Puma de l'ALAT, qui a porté secours à l'équipage éjecté, a aperçu le M 2000 N sans constater d'anomalie dans le sillage de l'aéronef. L'avion a dépassé l'hélicoptère sur une trajectoire parallèle et une altitude proche. Ce constat a été effectué environ une minute avant la perte de poussée.

1.18.3. Circuit carburant du M 2000 N



Circuit carburant avion autour du RCF

1.18.3.1. Zone du circuit carburant où se situe le RCF

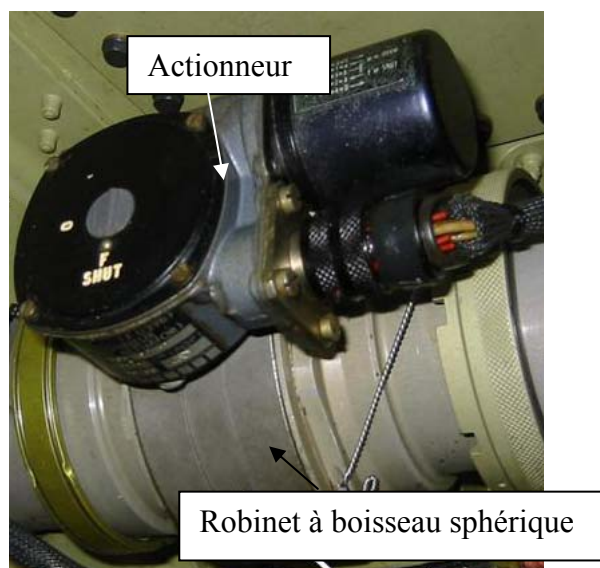
Les équipements proches du RCF dans le sens de circulation du carburant sont les suivants :

- en amont du RCF :
 - la jonction en « Y » des deux circuits BP (fondue par l'incendie) ;
 - le correcteur de densité (envoyé en expertise au CEPr).
- en aval du RCF :
 - le transmetteur débit-métrique (envoyé en expertise au CEPr) ;
 - l'échangeur air-carburant du calculateur du GTR (envoyé en expertise au CEPr).

1.18.3.2. Signalisation en cabine d'une baisse de pression BP

Deux voyants ambre « BPG » et « BPD » sont situés sur les tableaux d'alarme (place avant et arrière). Ils sont répétés aux voyants répéteurs de pannes « ambre » sur les planches de bord et répétés à l'avertisseur sonore avec une temporisation de 20 secondes. L'allumage de ces voyants s'effectue au travers des mano-contacteurs BP pour une pression inférieure à 500 mbar en sortie de pompe avion. Ces deux mano-contacteurs sont proches des réservoirs. Un voyant « BP » carburant est situé sur les tableaux d'alarmes. Il est répété aux voyants répéteurs de pannes « rouge » sur les planches de bord et à l'avertisseur sonore. L'allumage de ce voyant s'effectue au travers du mano-contacteur BP pour une pression inférieure à 350 mbar relatif ou une pression absolue inférieure à 825 mbar. Ce mano-contacteur est en amont de la pompe de gavage du GTR.

1.18.3.3. Fonctionnement du robinet coupe-feu



Robinet coupe-feu en position fermée

Le robinet coupe-feu se compose d'un robinet à boisseau sphérique et de son actionneur. Le moteur électrique de l'actionneur alimenté en 28V permet la rotation à 90° du robinet à boisseau sphérique dans la séquence de fermeture et d'ouverture.

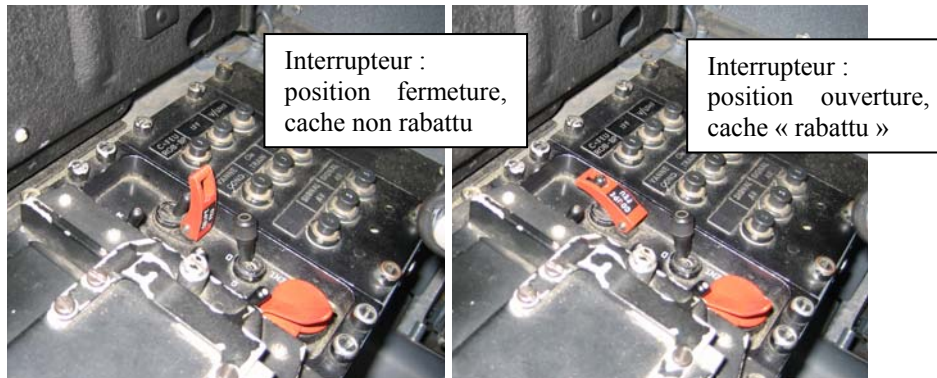
L'inverseur du robinet coupe-feu ou « coupe-feu » permet de commander en ouverture et fermeture le robinet à boisseau sphérique. Il permet :

- de couper le circuit BP d'alimentation en carburant du réacteur en cas de problème (« coupe-feu général ») par application d'une procédure de secours au sol ;
- d'isoler le circuit BP turboréacteur éteint dans le cadre des procédures normales au sol.

Dans les procédures normales et de secours, l'action sur l'inverseur n'est demandée qu'au sol. Cet inverseur est constitué d'un interrupteur et d'un cache-interrupteur qui, en position « rabattu », maintient l'inverseur en position ouverture et doit éviter la fermeture involontaire du robinet coupe-feu. Il est situé sur la banquette droite en place pilote avant. L'interrupteur est formé d'un levier non verrouillable.

Le risque de fermeture accidentelle du robinet coupe-feu en vol est atténué par une ergonomie particulière intégrant les défenses suivantes :

- l'inverseur est situé dans un « puits » sur la platine de démarrage ;
- l'inverseur est orienté selon un axe parallèle à l'axe de tangage de l'aéronef ;
- le cache-interrupteur, en position « rabattu », maintient l'interrupteur en position ouverture.



Ergonomie de l'inverseur du RCF ou « coupe-feu »

1.18.3.4. Description fonctionnelle de l'inverseur et de l'actionneur

Cette description fait l'objet de l'annexe 3.

1.19. Techniques spécifiques d'enquête

Sans objet.

2. ANALYSE

L'analyse s'attache à déterminer les causes de la perte de poussée entretenue du GTR subie en vol très basse altitude. Elle fait l'objet des deux premiers paragraphes. Le dernier paragraphe est consacré à la phase de survie/sauvetage de l'équipage éjecté.

Cette analyse repose sur l'exploitation de l'enregistreur de paramètres de l'aéronef, les témoignages des membres d'équipage, des témoins au sol et l'expertise des débris du M 2000 N.

2.1. Analyse de la séquence d'événements

2.1.1. Paramètres de vol au moment de l'affichage du voyant « BP rouge »

L'allumage du voyant « BP rouge » accompagné de l'avertisseur sonore est le premier indicateur d'une anomalie ressentie par l'équipage. Auparavant, aucun problème au niveau GTR n'est détecté par celui-ci (odeur, vibration, paramètres moteur, performances...). Les voyants « BPG » et « BPD » ne se sont pas allumés dans cette phase de vol. En début de vol, le pilote a agi sur la manette moteur dans toute sa plage de fonctionnement (plein réduit à PGPC) sans observer de phénomène particulier. L'équipage est dans une phase de préparation du tir fictif du missile ASMP dans la configuration suivante :

- vers 500 ft de hauteur ;
- ailes à plat ;
- sans facteur de charge ;
- V_i de 430 kt.

Au moment de l'allumage du voyant « BP rouge » :

- le NOSA n'a aucune action sur les commandes de l'avion (manche et manette des gaz) ;
- la manette des gaz est à 29% de débattement sans action du pilote ;
- les paramètres de gauchissement et de profondeur de l'enregistreur de paramètres révèlent une légère activité sur le manche du pilote ;
- le PA est en service, déconnecté (gâchette enfoncée).

2.1.2. Analyse du vol suite à l'allumage du voyant « BP rouge »

2.1.2.1. Paramètres moteur

Immédiatement, l'équipage ressent une perte de poussée sans percevoir ni vibration, ni odeur. Le régime moteur est en forte diminution. Le pilote cabre légèrement et réduit les « gaz » avec une position manette à 26%. Le pilote est alors dans un plan d'action correspondant à l'application de la procédure de secours « allumage du BP rouge et avertisseur sonore » (cf. annexe 1). Cette procédure n'a pu être effectuée complètement¹⁷ avant l'allumage des voyants « DSV » et « RPM » qui s'allument successivement. Une action sur la manette des gaz par le pilote (T0 + 10s) vers le plein gaz sec n'induit aucune modification des paramètres moteurs (procédure « allumage voyant RPM », cf. annexe 1).

Les voyants « feu » et « surchauffe » ne se sont pas allumés dans cette phase de vol.

¹⁷ Le point 6 de la procédure n'a pu être effectué : vérification du débit instantané pour détecter une fuite éventuelle.

2.1.2.2. Analyse de l'équipage, procédure de rallumage

L'équipage détermine une extinction moteur à partir des éléments suivants :

- perte de la poussée entretenue de son réacteur ;
- régime moteur en diminution proche du régime en autorotation¹⁸.

Le pilote largue les réservoirs pendulaires (vers T0 + 13s). La masse larguée est estimée à 800 kg. Le largage ne permet pas une évolution significative de la trajectoire.

Le pilote applique la procédure de « rallumage en vol TBA » (cf. annexe 1) sur ordre du commandant de bord.

La manette des gaz est mise sur stop (T0 + 19s) et le secours carburant enclenché (T0 + 25,2s). La procédure de rallumage, effectuée dans le domaine¹⁹ de rallumage, est un échec. Plus tard (T0+ 45s environ), le pilote vérifie la commutation du secours carburant et agit sur le manipulateur sans plus de résultat.

2.2. Recherche des causes de la perte de poussée

2.2.1. Résultats d'expertises

2.2.1.1. Constatations issues de l'expertise du FDR

L'analyse des paramètres donne la séquence d'événements suivante :

- arrêt brutal du débit carburant relevé au niveau du transmetteur débit-métrique et allumage du voyant « BP rouge » (T0) ;
- ouverture de la tuyère (T0 + 0,6s) ;
- la section de tuyère se stabilise dans une position dans le « lit du vent » (5200 cm²) correspondant à une perte de pression en carburant dans les vérins de tuyère ;
- chute de température TT7 avec un gradient de température plus faible que pour une réduction franche de la manette (T0 + 1,3s) ;
- chute de régime moteur avec un gradient de régime plus faible²⁰ que pour une réduction franche de la manette (T0 + 4 secondes) ;
- réarmement du voyant répétiteur de pannes (T0 + 6,8s) ;
- allumage du voyant « DSV rouge » correspondant à un « écart DSV » (T0 + 7,5s environ) ;
- activation du système anti-dévisage (SAD) à 56% de régime, allumage du voyant « RPM rouge » (T0 + 8,6s) et mise au plein gaz sec par le pilote (T0 + 10s) ;
- au moment où apparaît l'événement, aucune action sur la manette moteur n'est constatée.

Ainsi, la perte de poussée ressentie par l'équipage est la conséquence de l'ouverture de la section de tuyère et de la chute du régime moteur induites par un arrêt brutal du débit carburant sans action du pilote sur la manette moteur. L'arrêt en alimentation en carburant du moteur a entraîné l'extinction du moteur.

De plus, des tests au banc d'essais effectués par le constructeur SNECMA complétés par l'expérience de ce dernier permet de déduire la quantité de carburant utilisé entre l'allumage du voyant « BP rouge » et le dévissage.

¹⁸ Après la chute de régime conséquente, le moteur est en autorotation avec un régime évoluant de 23% vers 7% alors que la Vi évolue de 360 vers 150 kt.

¹⁹ Le secours carburant est enclenché dans le domaine de rallumage en vol : Vi = 316 kt (270 kt mini), et 18% de régime (13% mini).

²⁰ Les gradients en diminution de la température et du régime moteur sont plus faibles que pour une réduction franche de la manette conséquence des lois de régulation du GTR.

Cette analyse permet de situer l'anomalie à l'origine de l'arrêt du débit carburant en amont du circuit moteur dans une zone où se situe le robinet coupe-feu.

Un arrêt brutal du débit carburant en amont du circuit moteur est à l'origine de l'extinction moteur. De plus, l'anomalie à l'origine de cet arrêt brutal se situe dans une zone du circuit carburant proche du robinet coupe-feu.

2.2.1.2. Constatations issues de l'expertise du réacteur

L'expertise a été réalisée sur le GTR relevé par la cellule de crise AA et envoyé à l'AIA de Bordeaux. Les principaux résultats sont les suivants :

- l'état du premier étage compresseur ne présente pas d'indice d'absorption ou de dommage survenu en fonctionnement. Le régime de rotation moteur était très faible voire nul à l'impact ;
- la tuyère est en position ouverte dans une position dans le « lit du vent » cohérente avec une chute de pression d'alimentation en carburant des vérins ;
- aucun indice de dommage au niveau du canal PC ou de la turbine ;
- six ensembles vérins-pelles DSV sont dans une position « plutôt fermée » cohérente avec :
 - une chute de pression d'alimentation en carburant des vérins ;
 - l'allumage de l'alarme « DSV rouge ».
- la grande majorité des équipements des circuits d'huile et de carburant a été détruite par l'incendie.

Les éléments recueillis lors de l'expertise du réacteur sont cohérents avec une chute de la pression carburant dans le circuit carburant du moteur.

2.2.1.3. Constatations issues de l'expertise des équipements du circuit carburant

Les expertises suivantes ont été réalisées par le CEPr.

Le robinet coupe-feu

L'expertise effectuée a montré que :

- le robinet à boisseau sphérique et son actionneur sont en position fermée ;
- aucune anomalie concernant le fonctionnement n'a été détectée :
 - pas d'anomalie mécanique du boisseau sphérique (pas de couple résistant) ;
 - pas d'anomalie mécanique (cinématique) de l'actionneur ;
 - pas d'anomalie électrique de l'actionneur.
- le bobinage du moteur électrique de l'actionneur ne présente aucune coloration consécutive à une surchauffe.

Le correcteur de densité

Aucune obstruction de la section passage n'a été constatée sur cet équipement.

Le transmetteur débit-métrique

Aucune obstruction de la section passage n'a été constatée sur cet équipement. De plus, la turbine tourne librement et le signal délivré est proportionnel à sa vitesse de rotation.

L'échangeur air-carburant

Aucune obstruction de la section passage n'a été constatée sur cet équipement.

La seule obstruction constatée sur les éléments du circuit carburant expertisés se situe sur le robinet coupe-feu retrouvé en position fermée.

2.2.1.4. Constatations issues de l'expertise des 53 interrupteurs cabine

53 interrupteurs cabine ont été prélevés sur l'épave et expertisés. Trois des six²¹ interrupteurs identiques à l'inverseur du RCF ont pu être retrouvés sans que l'inverseur n'ait pu être identifié. Ces trois inverseurs font l'objet de constats indiquant qu'ils pouvaient être sur « ON » (levier interrupteur baissé).

Les expertises des interrupteurs cabine retrouvés ne permettent pas de définir la position de l'inverseur du RCF au moment de l'événement ou à l'impact.

2.2.1.5. Séquence de l'extinction

La perte de poussée est liée à l'extinction moteur, conséquence d'un arrêt brutal du débit carburant en amont du GTR dans une zone où se situe le robinet coupe-feu. L'arrêt du débit carburant a généré une perte de pression en aval de cette zone, endroit où se situe le mano-contacteur BP carburant. Le voyant « BP rouge » s'est alors allumé lorsque la pression a chuté sous le seuil de déclenchement. Le GTR n'étant plus alimenté en carburant, la section de tuyère s'est ouverte et le régime a fortement diminué entraînant la perte de poussée ressentie par l'équipage. La température T7 a commencé à chuter alors que les vérins-pelles DSV n'étaient plus alimentés engendrant un écart DSV et l'allumage du voyant « DSV rouge ». Le régime a chuté engendrant l'enclenchement du SAD à 56% de régime et l'allumage du voyant « RPM rouge ». Le turboréacteur s'est éteint en autorotation.

Le RCF a été retrouvé en position fermée et en bon état de fonctionnement.

Aucune conclusion ne peut être donnée sur la position de l'inverseur du RCF au moment de l'événement.

2.2.2. Recherche des causes de l'arrêt brutal du débit carburant

L'arrêt brutal du débit carburant en amont du GTR dans une zone où se situe le robinet coupe-feu est susceptible de provenir soit d'une obstruction soit d'une fuite du circuit carburant.

2.2.2.1. Analyse de l'hypothèse : fuite du circuit carburant

L'analyse du circuit carburant montre qu'une fuite ne peut se produire que dans la zone comprise entre le transmetteur débit-métrique et la jonction en « Y » des canalisations BP. Une partie du circuit carburant de cette zone a été détruite à l'impact et dans l'incendie et ne permet donc pas, en expertisant les pièces, de rejeter l'hypothèse de la fuite.

Cependant, les trois points suivants apparaissent :

- deux témoins proches de la trajectoire après l'événement n'ont pas constaté :
 - de sillage dans l'axe de progression de l'aéronef ;
 - d'odeur de carburant ou autre fluide lorsque l'avion est passé au dessus de l'un d'eux ;
- aucune trace de carburant n'a été détectée en amont de l'impact ;
- la perte d'alimentation en carburant est complète et rapide (de l'ordre de la seconde entre le début de la baisse de débit à l'annulation de celui-ci).

²¹ Six interrupteurs avec cache sont présents sur M 2000 N : 1 en place navigateur et 5 en place pilote dont 3 avec cache de couleur rouge et 2 de couleur noire et jaune.

Ces trois derniers points ne sont pas compatibles avec une fuite du circuit carburant (rupture de canalisation, autres...) qui aurait induit un débit de carburant suffisamment important pour être aperçu²².

L'hypothèse d'une fuite carburant est rejetée.

Ainsi, l'arrêt du débit carburant est la conséquence d'une obstruction du circuit carburant dans la zone où se situe le RCF.

2.2.2.2. Analyse des causes possibles de l'obstruction

Les conditions de vol montrent que le scénario mettant en jeu la formation de gel dans le circuit carburant n'est pas envisageable. Seule une obstruction mécanique est analysée. Tous les équipements, concernés par une obstruction dans la zone où se situe le RCF, ont été expertisés ou étudiés.

Les expertises réalisées par le CEPr montrent que la seule obstruction constatée sur les éléments du circuit carburant expertisés se situe sur le robinet coupe-feu retrouvé en position fermée.

Le raccord de tuyauterie joignant les deux circuits BP voit sa section de passage augmenter. Ce point est difficilement compatible avec le blocage d'une pièce provenant des circuits en amont de la jonction en « Y » des canalisations BP.

Par ailleurs, la durée de la séquence de fermeture du boisseau sphérique est cohérente avec la durée d'arrêt de débit carburant constatée sur le FDR.

Ainsi, l'hypothèse selon laquelle la fermeture du robinet coupe-feu est à l'origine de l'arrêt du débit carburant est certaine.

2.2.3. Recherche des causes à l'origine de la fermeture du robinet coupe-feu

Une reconstitution de la phase de mise en route a été effectuée avec le pilote au sol dans un M 2000 N. L'action sur l'interrupteur du robinet coupe-feu est effectuée en rabattant le cache-interrupteur et peut difficilement être effectuée autrement. Dans le reste de l'analyse, il est donc considéré que le cache a été rabattu à la mise en route.

2.2.3.1. Bascule de l'inverseur du RCF : objet se déplaçant sous facteur de charge

Le témoignage de l'équipage et l'analyse du FDR montrent que dans la phase de vol précédant l'événement, l'aéronef évolue ailes à plat sans facteur de charge. Ainsi, l'hypothèse selon laquelle l'inverseur a basculé suite au déplacement sous facteur de charge d'un objet est rejetée.

2.2.3.2. Bascule de l'inverseur du RCF : action involontaire du pilote

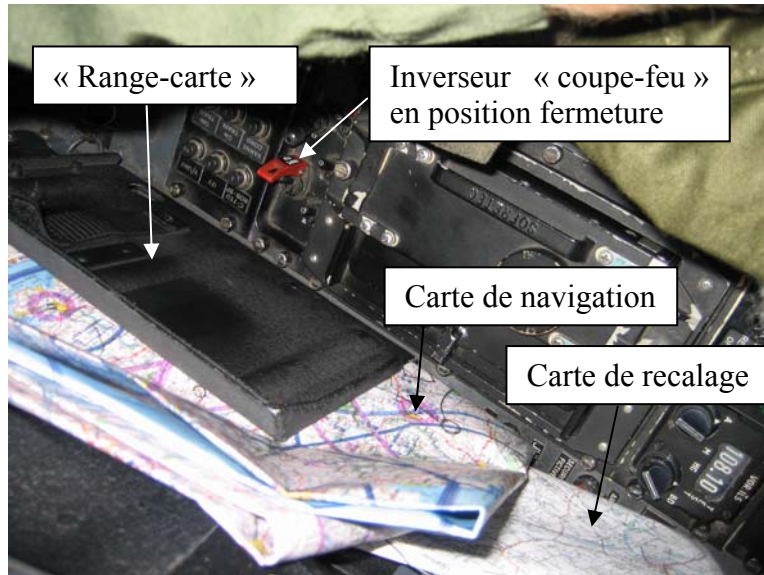
Une reconstitution de la phase de vol précédant l'événement a pu être effectuée avec le pilote au sol en place avant dans un M 2000 N.

Le pilote a préparé deux cartes :

²² Après arrêt des alternateurs n°1 et 2, les pompes BP droite et gauche ne fonctionnent plus, mais la pompe de démarrage, alimentée en 28V fonctionne toujours.

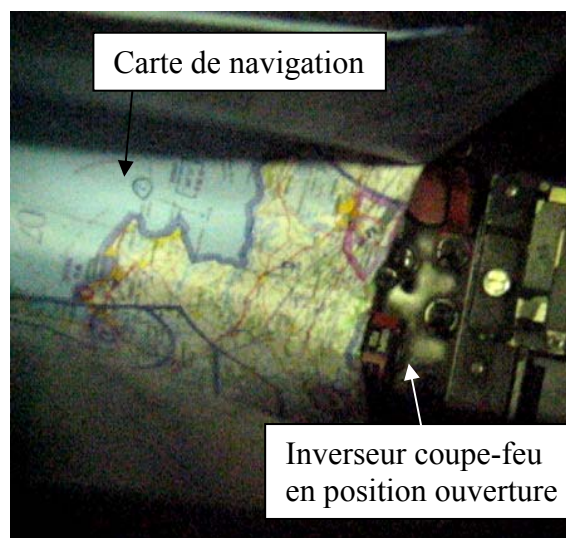
- la carte nord-ouest à l'échelle 1/500 000, appelée « carte de navigation » dans la suite du rapport ;
- une carte à l'échelle 1/50 000, sur laquelle est reporté le « run » de recalage, appelée « carte de recalage ».

A la mise en route, ces deux cartes sont rangées dans le « range-carte » à droite du pilote au-dessus de la banquette droite où se situe l'inverseur du robinet coupe-feu.



Cartes rangées dans le « range-carte » droit à la mise en route

Lors de la simulation de menaces par le navigateur, le pilote a sorti la « carte de navigation » pour adapter sa trajectoire et l'a ensuite posée sur la banquette droite. Le fait de ne pas utiliser le « range-carte » prévu à cet effet peut s'expliquer par une surcharge de travail à ce moment précis de la mission.



Carte de navigation posée sur la banquette droite

Lors du « run » de recalage, le pilote a sorti la « carte de recalage ». A la fin de cette trajectoire, le pilote vire à droite pour rejoindre l'axe de tir. Dans ce virage, le pilote a probablement rangé la « carte de recalage » sous sa cuisse gauche.

Le pilote vérifie l'apparition du domaine de tir au niveau de la « Visualisation Tête Basse ». A ce moment, le pilote peut avoir eu la volonté de vérifier les paramètres de tir inscrits sur la « carte de navigation » posée sur la banquette droite. Dans ce cas, le pilote garde la main droite sur le manche, gâchette du PA enfoncée et récupère la carte de navigation de la main gauche en croisant les bras, bras gauche sur bras droit.

Plusieurs reconstitutions concernant la manipulation de la « carte de navigation » ont été effectuées et donnent les résultats suivants :

- lorsque le cache-interrupteur est rabattu, la manipulation de la carte peut entraîner la levée de ce dernier et le basculement de l'interrupteur²³ ;
- lorsque le cache-interrupteur est relevé, il est plus facile de basculer l'interrupteur ;
- lorsque le bras gauche est au-dessus du bras droit, une légère action sur le manche est perceptible.

Ainsi, l'hypothèse selon laquelle une action du pilote en place avant a permis la bascule involontaire de l'interrupteur de l'inverseur du robinet coupe-feu est possible.

Dans cette phase de vol, le PA est en service, le NOSA n'a aucune action sur les commandes. L'enregistreur de paramètres montre que le PA est déconnecté. La gâchette est donc compressée par la main droite du pilote.

Les paramètres de gauchissement et de profondeur de l'enregistreur de paramètres révèlent une légère activité sur le manche à ce moment du vol. Il est toutefois difficile d'associer de manière certaine cette activité de la main droite sur le manche à l'effet parasite induit par le bras gauche sur le bras droit.

La bascule de l'interrupteur a pu être effectuée selon deux processus différents mais aboutissant finalement à la fermeture du robinet coupe-feu :

- cache-interrupteur « rabattu », la conception de l'inverseur rend possible la bascule du cache et de son interrupteur en une seule action ;
- cache-interrupteur relevé lors d'une première action involontaire du pilote pendant le vol, la bascule de l'interrupteur s'effectuant dans une seconde étape.

Conception et ergonomie de l'inverseur « coupe-feu »

La fonction « coupe-feu » doit pouvoir être activée au sol de façon intentionnelle et rapide dans le cas d'application d'une procédure de secours. La fonction « coupe-feu » doit aussi être suffisamment protégée afin de réduire le risque de fermeture accidentelle du robinet coupe-feu en vol. Sur le M 2000, une ergonomie particulière intègre les défenses ou barrières suivantes :

- l'inverseur est situé dans un « puits » sur la platine de démarrage (barrière : « inverseur dans un puits ») ;
- l'inverseur est orienté selon un axe parallèle à l'axe de tangage de l'aéronef (barrière : « axe inverseur perpendiculaire ») ;
- le cache-interrupteur, en position « rabattu », maintient l'interrupteur en position ouverture (barrière : « effort résistant sur le cache »).

²³ La carte, pliée, positionnée entre la platine et le levier de l'interrupteur, peut faire basculer l'interrupteur et son cache lorsqu'on la prélève.

La reconstitution de la phase de vol précédant l'événement a montré que les barrières « inverseur dans un puits » et « axe inverseur perpendiculaire » pouvaient être inefficaces dans le cas de l'interférence d'une carte avec l'interrupteur (cf. photo page 31).

Ainsi, l'hypothèse selon laquelle les deux barrières « inverseur dans un puits » et « axe inverseur perpendiculaire » ne sont plus efficaces dans le cas de l'interférence d'une carte avec l'interrupteur est certaine.

La bascule du cache-interrupteur nécessite de contrer un effort induit par une lamelle métallique. L'analyse de cet effort résistant à l'ouverture du cache-interrupteur donne les constats suivants :

- aucune spécification n'est précisée dans la documentation de conception ;
- aucun critère de remplacement du cache-interrupteur n'est appliqué dans le cadre de la maintenance de l'aéronef ;
- aucun suivi n'est effectué sur l'inverseur et son cache-interrupteur (référence consommable) ;
- l'effort nécessaire à l'ouverture est très variable.

Une opération d'acquisition de connaissance (OAC) a été effectuée sur 22 M 2000. L'effort nécessaire à l'ouverture du cache-interrupteur varie de 2 N à 15 N. Pour des inverseurs neufs, l'effort nécessaire est de l'ordre de 10 N. Dans le cadre de cette opération, il apparaît qu'en dessous de 5 N, l'effort n'est plus suffisant pour protéger l'interrupteur (environ 30% des caches sont concernés).

Ainsi, l'hypothèse selon laquelle l'effort nécessaire pour basculer le cache-interrupteur de l'inverseur du M 2000 N n°363 n'était plus suffisant pour protéger l'interrupteur est possible.

La fonction « coupe-feu » sur M 2000 peut-être commandée en une seule action (cache et interrupteur basculables de façon simultanée). Sur d'autres aéronefs, il est nécessaire d'effectuer deux actions voire plus.

Ainsi, la conception de l'inverseur permettant de basculer le cache et son interrupteur en position fermeture en une seule action a pu contribuer à l'action possible du pilote sur l'inverseur.

2.2.3.3. Fermeture du robinet coupe-feu sans action du pilote sur l'inverseur

Vulnérabilité électromagnétique

L'analyse de l'environnement et du système de commande de l'actionneur du robinet coupe-feu permet de rejeter toute cause issue d'un effet électromagnétique induit.

Anomalie électrique filaire

Défaut d'isolement sur un câble

Parmi tous les défauts d'isolement envisagés, seul celui amenant un potentiel 28V sur la ligne de fermeture est envisageable. L'analyse du fonctionnement de l'actionneur indique que le moteur électrique va fonctionner en fermeture et amener le boisseau sphérique à une position

intermédiaire (bascule du microrupteur « S2 »). Le moteur électrique se retrouve alors alimenté en fermeture et ouverture.

Un premier essai, effectué à l'air libre sur l'actionneur seul par l'équipementier « Inter technique », a consisté à alimenter les lignes de fermeture et d'ouverture en 28V. L'actionneur parcourt une course à la fermeture de 10° environ et se fige.

Un deuxième essai, effectué dans les mêmes conditions, montre qu'il suffit d'avoir une baisse de 1,5V sur la ligne d'ouverture pour que le moteur fonctionne en fermeture. L'actionneur poursuit alors sa course jusqu'à la fermeture. Il oscille ensuite entre une position de fermeture complète et une position entrouverte. Au bout d'environ une minute, le moteur électrique de l'actionneur surchauffe. Ces deux derniers points sont incompatibles avec :

- le débit carburant continuellement nul, relevé par le FDR ;
- le bobinage du moteur électrique ne présentant aucune coloration consécutive à une surchauffe²⁴.

Ainsi, cette anomalie isolée ne peut expliquer une fermeture complète du robinet coupe-feu.

Défauts d'isolement sur les deux câbles

Si un défaut d'isolement supplémentaire amenait le potentiel de la ligne d'ouverture à la masse ou à l'air libre, le robinet coupe-feu se fermerait alors complètement.

Il faudrait donc un scénario de dégradation comparable à la coupure des deux câbles de fermeture et d'ouverture du robinet coupe-feu associés à une mise à un potentiel de 28V du câble de fermeture. Ce scénario est difficilement envisageable mais son analyse complexe n'ayant pas pu être effectuée, il ne peut être rejeté.

Ainsi, l'hypothèse selon laquelle une anomalie électrique filaire est à l'origine de la fermeture du robinet coupe-feu est difficilement envisageable mais reste possible.

Anomalie de fonctionnement de l'inverseur : déclenchement intempestif

L'analyse des plans de conception et de fonctionnement chez l'équipementier ECE a permis de révéler que la commande intempestive est possible. Lorsque l'interrupteur est en position ouverture et le cache-interrupteur en position « rabattu », la rupture d'un ressort interne au mécanisme de l'interrupteur peut permettre la commande en fermeture du robinet coupe-feu sans action sur le cache ou son interrupteur. La rupture d'une seule pièce peut donc amener à un contact électrique amenant à la fermeture du robinet coupe-feu.

Le risque concernant la commande intempestive suite à une panne de l'inverseur « coupe-feu » est défini ci-après. Il est le produit :

- de la probabilité de la seule rupture du ressort interne au mécanisme de l'interrupteur ;
- de la gravité des conséquences de cette rupture.

Le taux de panne associé à cette simple panne a été estimé ($0,3.10^{-7}$ ²⁵) et fait l'objet d'une analyse de fiabilité de l'interrupteur.

La conséquence de cette rupture est la fermeture du robinet coupe-feu qui arrête l'alimentation en carburant du GTR du M 2000 mono réacteur. Cette panne simple amène à la perte de l'avion de façon irrémédiable car aucune procédure de secours ne permet la réouverture du robinet coupe-feu.

²⁴ Le temps de fonctionnement du moteur électrique aurait été supérieur à environ 2 minutes (temps de vol restant avant impact).

²⁵ Le taux est donné à l'heure de vol pour un nombre de cycles inférieur ou égal à 10 par heure.

Ainsi, l'hypothèse selon laquelle un déclenchement intempestif en fermeture de l'inverseur est à l'origine de la fermeture du robinet coupe-feu est possible. Cette panne simple amène à la perte irrémédiable de l'avion.

Choix de l'interrupteur pour la fonction « coupe-feu »

Le choix de l'interrupteur du robinet « coupe-feu » a été effectué sur le respect d'un taux de fiabilité minimum à respecter parmi plusieurs interrupteurs homologués par la DGA.

L'analyse de fiabilité de certains de ces interrupteurs homologués ne fait pas apparaître systématiquement la possibilité d'une commande intempestive suite à une panne. En effet, ces interrupteurs ont une conception interne qui ne permet pas la commande intempestive suite à une simple panne. La double panne amène à des taux d'anomalie extrêmement faibles et n'est donc pas prise en compte.

Ainsi, l'enquête a permis de montrer que le risque associé à la fonction « coupe-feu » diffère de façon très importante selon le choix de l'interrupteur.

2.2.3.4. Événements similaires

La recherche des événements similaires a porté sur :

- les pannes intempestives d'inverseurs similaires sur Alphajet, Mirage F1 et M 2000, SEM sans action du pilote ;
- les cas de bascule involontaire de l'inverseur « coupe-feu » sur M 2000.

Les éléments donnés en annexe 2 sont des extractions de rapports de commandement ou d'investigation.

Un événement aérien grave a concerné un M 2000 export. Les conclusions de l'utilisateur concernant cet événement précisent que l'extinction du GTR est consécutive à la fermeture du robinet coupe-feu. Cette fermeture est consécutive soit à une panne électrique du circuit de commande du robinet « coupe-feu », soit à une action involontaire du pilote sur l'inverseur « coupe-feu ».

Consécutivement, la platine de démarrage a été modifiée sur les M 2000 du client export. Un cache fixe diminue fortement la probabilité d'une action involontaire du pilote durant le vol sur l'inverseur.

L'analyse des événements similaires ne permet pas de privilégier un des scénarios possibles.

Un événement aérien similaire a concerné un M 2000 export. La protection de l'inverseur a été renforcée pour limiter la survenue de l'événement sur la flotte export alors que la flotte française n'en a pas bénéficié.

2.2.3.5. Conclusion succincte de l'analyse de la fermeture du RCF

L'analyse des causes à l'origine de la fermeture du robinet coupe-feu donne les résultats suivants :

- les défauts d'isolement sur les deux câbles de fermeture et d'ouverture sont difficilement envisageables mais restent possibles ;
- la panne interne à l'interrupteur entraînant la commande intempestive en fermeture est possible ;
- l'action involontaire du pilote sur l'interrupteur en place avant est possible.

L'analyse des événements similaires ne permet pas de privilégier l'un des trois scénarios précédents.

La modification de l'inverseur réalisée sur une flotte de M 2000 export aurait probablement permis d'éviter l'éventuelle action involontaire du pilote sur l'inverseur en prélevant sa carte de navigation sur la banquette droite.

2.3. Gestion de l'événement par l'équipage

Dans les cas possibles de :

- commandes intempestives de l'inverseur suite à panne interne ;
 - défauts d'isolement sur les deux câbles de commande du robinet coupe-feu,
- aucune action sur l'inverseur par le pilote n'aurait permis la réouverture du robinet coupe-feu.

Dans le cas d'une bascule involontaire de l'inverseur par le pilote, une action sur l'inverseur aurait permis de rouvrir le robinet coupe-feu. Le pilote n'a pas vérifié la position de l'inverseur. Ce dernier point s'explique par le fait que la procédure de secours « rallumage en vol TBA » ne mentionne pas la vérification de la position de l'inverseur du RCF. Seules les procédures normales de :

- « mise en route » demande l'action « coupe-feu : cache rabattu » ;
- « interruption de mise en route » et « arrêt du réacteur » demandent l'action « coupe-feu fermé ».

Les autres procédures de secours du M 2000 concernant une anomalie du moteur ou du circuit carburant ne mentionnent pas non plus cette vérification.

Dans le cas possible de la bascule de l'inverseur par le pilote entraînant l'arrêt du moteur, une vérification et l'action sur l'inverseur auraient pu permettre de rouvrir le robinet coupe-feu. Cette action précédant l'application de la procédure « rallumage en vol TBA » aurait probablement permis le rallumage du moteur et la sauvegarde de l'aéronef (compte tenu du temps nécessaire au rétablissement de la poussée).

Ainsi, dans le cas possible de fermeture du robinet coupe-feu par action du pilote sur l'inverseur induisant l'arrêt moteur en vol, l'hypothèse selon laquelle l'absence de vérification de la position de l'inverseur est une cause du maintien de l'extinction moteur est certaine. La réouverture du robinet coupe-feu aurait probablement permis le succès de la procédure de secours « rallumage en vol TBA ».

2.4. Analyse des phases d'abandon de bord et sous-voile

2.4.1. Phase d'abandon de bord

2.4.1.1. Décision d'éjection

Une fois la constatation de l'inefficacité de l'application de la procédure de rallumage par l'équipage, la décision de s'éjecter est prise aux environs du sommet de la trajectoire vers 1850 ft de hauteur. L'éjection est retardée afin de sécuriser l'impact de l'aéronef. L'éjection est effectuée à une hauteur de 360 ft. L'analyse effectuée par l'équipementier Martin Baker donne une hauteur voile ouverte de 430 ft sol environ pour les deux membres d'équipage.

2.4.1.2. Actions préparatoires à l'éjection

La procédure d' « évacuation de l'avion » du manuel d'utilisation de l'avion Mirage 2000 N précise de passer, si le temps et les conditions le permettent, le transpondeur IFF en mode détresse. La procédure « éjection » précise de passer le transpondeur IFF en mode détresse.

Cette action n'a pas été réalisée par le pilote et peut être expliquée. Dans une telle situation, l'équipage mobilise toutes ses ressources attentionnelles sur les éléments qui sont :

- vitaux pour sa sauvegarde ;
- vitaux pour autrui par rapport au pilotage de l'aéronef avant l'impact.

Les vérifications de la manette des gaz sur « stop » et de la déconnection du PA ont été effectuées par le pilote juste avant de tirer sur la poignée d'éjection. Lors du briefing matinal en escadron, le pilote avait présenté la procédure d'éjection.

2.4.2. Phase sous voile

La durée passée sous voile a été calculée par l'équipementier Martin Baker et estimée à 22 secondes. Cette valeur est cohérente avec les témoignages de l'équipage et du témoin n° 2 (vingtaine de secondes).

3. CONCLUSION

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

L'allumage du voyant « BP rouge » accompagné d'une perte de poussée ressentie par l'équipage est la conséquence de la fermeture du robinet coupe-feu induisant une extinction moteur.

Le pilote, après avoir largué les réservoirs pendulaires, applique la procédure de rallumage en vol. Mais l'arrêt de l'alimentation en carburant du GTR n'a pas permis le rallumage de celui-ci. L'équipage s'éjecte sur ordre du navigateur.

3.2. Causes de l'événement

L'extinction moteur est consécutive à la fermeture du robinet coupe-feu dont trois causes possibles ont pu être déterminées :

- des défauts d'isolement sur les deux câbles de fermeture et d'ouverture du robinet coupe-feu. Ils sont difficilement envisageables mais restent possibles ;
- une panne de l'interrupteur « coupe-feu », par rupture d'un ressort interne au mécanisme, entraînent la commande intempestive en fermeture. Cette panne simple est possible. Elle amène à la perte de l'avion quelles que soient les actions du pilote ;
- l'action involontaire du pilote sur l'interrupteur en place avant. Cette action se situe dans un plan d'action induisant une gestion de carte, le pilote voulant prélever sa carte de navigation présente sur la banquette droite. Les trois défenses sécurisant l'interrupteur ont pu disparaître. La conception de l'inverseur qui permet de basculer l'interrupteur et son cache en une seule action a pu contribuer à rendre l'action du pilote possible.

L'analyse des événements similaires ne permet pas de privilégier un des scénarios possibles.

Un événement aérien similaire a concerné un M 2000 export. La protection de l'inverseur a été renforcée pour limiter la survenue de l'événement sur la flotte export. La flotte française n'en a pas bénéficié.

Dans le cas possible de fermeture du robinet coupe-feu par action du pilote sur l'inverseur induisant l'arrêt moteur en vol, l'hypothèse selon laquelle l'absence de vérification de la position de l'inverseur est une cause du maintien de l'extinction moteur est certaine. La réouverture du robinet coupe-feu aurait probablement permis le succès de la procédure de secours « rallumage en vol TBA »

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

4.1.1. Fonction « coupe-feu » sur M 2000

4.1.1.1. Modification de l'interrupteur « coupe-feu »

L'analyse des causes de la fermeture du robinet coupe-feu en vol a amené aux conclusions suivantes :

- les défenses de l'inverseur peuvent être inefficaces face à certaines actions du pilote ;
- la bascule de l'interrupteur en position fermeture est possible en une seule action ;
- une panne interne à l'interrupteur (rupture d'une seule pièce) conduit à la commande intempestive en fermeture du robinet coupe-feu sans possibilité de récupérer l'avion.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à la DGA en relation avec l'industriel avionneur DASSAULT AVIATION et les utilisateurs du M 2000 (armée de l'air, DGA) de faire étudier et de mettre en place une modification de l'interrupteur « coupe-feu » sur M 2000 permettant d'augmenter le niveau de sécurité par rapport à :

- l'action involontaire du pilote ;
- la commande intempestive suite à une panne simple du mécanisme concerné.

4.1.1.2. Maintenance de l'interrupteur « coupe-feu »

Parmi les trois défenses protégeant la bascule involontaire de l'interrupteur par le pilote, un effort est nécessaire pour basculer le cache-interrupteur. Les constats suivants sont apparus :

- aucun critère de remplacement du cache-interrupteur n'est appliqué dans le cadre de la maintenance de l'aéronef ;
- aucun suivi n'est effectué sur l'inverseur et son cache (référence consommable) ;
- l'effort, nécessaire à la bascule du cache-interrupteur, mesuré sur un parc représentatif de M 2000 est très variable.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à la DGA, en relation avec l'industriel avionneur DASSAULT AVIATION et les utilisateurs du M 2000 (armée de l'air, DGA), de définir un plan de maintenance adapté au standard de l'interrupteur « coupe-feu » permettant de garantir un niveau de sécurité acceptable face à l'action involontaire du pilote.

4.1.2. Gestion des cartes en place avant

La reconstitution de la phase de vol précédant l'événement a révélé que :

- le pilote a posé une carte sur la banquette droite sans utiliser le « range-carte » prévu à cet effet ;
- cette gestion des cartes a pu être initiatrice d'une action involontaire du pilote sur le cache-interrupteur et l'interrupteur de l'inverseur du robinet « coupe-feu ».

Cette problématique concerne essentiellement les cabines étroites.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

aux organismes mettant en œuvre des aéronefs à cabine étroite (avions de chasse (armée de l'air, ALAVIA, DGA), hélicoptère Tigre (ALAT)) de rappeler aux équipages l'importance de la gestion des cartes en assurant un large retour d'expérience de cet événement.

4.1.3. Absence de vérification inverseur « coupe-feu » dans les procédures de rallumage moteur

Les procédures de secours concernant les anomalies du moteur ne mentionnent pas la vérification de la position de l'inverseur du robinet « coupe-feu ». Dans le cas possible de la bascule de l'inverseur par le pilote entraînant l'arrêt du moteur, une vérification et l'action sur l'inverseur auraient pu permettre de rouvrir le robinet coupe-feu. Cette action précédant l'application de la procédure « rallumage en vol TBA » aurait probablement permis le rallumage du moteur et la sauvegarde de l'aéronef.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à l'armée de l'air, en relation avec l'industriel avionneur DASSAULT AVIATION, d'analyser l'opportunité d'intégrer l'action de vérification de la fonction « coupe-feu » dans les procédures de secours du M 2000 impliquant une possible anomalie du circuit carburant BP.

Cette recommandation prend toute son importance dans l'attente de l'application éventuelle de la modification de l'interrupteur « coupe-feu ».

4.1.4. Prise en compte des faits techniques et modifications des aéronefs des flottes export

Un événement aérien grave similaire a concerné un Mirage 2000 export. Les conclusions de l'utilisateur concernant cet événement donnent :

- l'extinction du GTR est consécutive à la fermeture du robinet coupe-feu ;
- cette fermeture a pu être causée par l'une des raisons suivantes :
 - une panne électrique du circuit de commande du robinet « coupe-feu » ;
 - l'action involontaire du pilote sur l'inverseur « coupe-feu ».

La modification de l'inverseur réalisée sur une flotte de M 2000 export aurait sans doute permis d'éviter l'éventuelle action involontaire du pilote sur l'inverseur prélevant sa carte de navigation sur la banquette droite.

Cet événement export ainsi que les actions qui ont suivi par la mise en place d'une modification, n'ont pas profité aux M 2000 de l'armée de l'air et de la DGA.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à la DGA et à l'industriel avionneur DASSAULT AVIATION en concertation avec les utilisateurs, de proposer l'application aux aéronefs français des décisions prises suite aux événements export.

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

Suivi médical en milieu civil des pilotes éjectés

Le pilote n'a pas bénéficié d'un bilan radiographique rachidien complet. Ce point peut s'expliquer par la méconnaissance des lésions possibles occasionnées par une éjection par les médecins du domaine civil. Sans remettre en cause la compétence du milieu médical civil, seul un médecin PN est apte à mesurer les spécificités des traumatismes subis par un pilote éjecté. Cela s'est produit lors d'événements antérieurs et ce point a déjà fait l'objet d'une recommandation du BEAD-air²⁶.

De plus, une éjection est un événement relativement traumatisant pour un pilote et nécessite un soutien psychologique.

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

aux organismes mettant en œuvre des avions équipés de sièges éjectables (ALAVIA, armée de l'air et DGA) que les équipages éjectés confiés aux soins médicaux en milieu civil soient accompagnés par un médecin PN²⁷.

²⁶ Enquête BEAD-air-A-2006-008-A : double éjection sur M 2000 D n° 684 le 31 mars 2006.

²⁷ Au minimum un contact téléphonique devrait être effectué.

ANNEXES

Annexe 1 : Procédures de secours	43
Annexe 2 : Événements similaires	44
Annexe 3 : Description fonctionnelle de l'inverseur et de l'actionneur	46

ANNEXE 1

Procédures de secours

Allumage BP rouge + avertisseur sonore

La pression d'alimentation du réacteur est trop faible.

- 1 - Couper la PC et réduire, si nécessaire larguer les charges.
- 2 - Descendre à $Z < 10\,000$ ft.
- 3 - Atterrissage immédiat.
- 4 - Vérifier les interrupteurs BP et les voyants correspondants.
- 5 - Pas de grands mouvements manette et conserver $N < PG$ Sec
- 6 - Vérifier le débit instantané pour détecter une fuite éventuelle :

Si fuite inverseur coupure PC vers l'arrière (cache relevé), surveiller voyant feu (si fuite persiste). ATR avec parachute, freinage modéré

Allumage RPM rouge + avertisseur sonore

Cette alarme intervient pour $N < 56\%$. En régulation normale ou en secours calculateur l'allumage de RPM s'accompagne d'une augmentation de N ou de sa stabilisation.

- 1 - Avancer la manette des gaz vers le PG sec, le voyant RPM doit s'éteindre vers 85% ;
- 2 - RPM éteint : RETOUR DE SECURITE.

Si insuccès :

- 3 - rejoindre le domaine SEC CARB

$$Z \leq 30\,000 \text{ ft}$$

$$130 \leq V_i \leq 550 \text{ kt ; mach} \leq 0,95$$

- 4 - ABAISSER la palette SECOURS CARB à $N > 50\%$

SI $N < 50\%$ appliquer la procédure RALLUMAGE SEC CARB (S49)

Rallumage en vol TBA

- 1 - Cabrer seulement les ailes horizontales.
- 2 - Larguer les charges.
- 3 - Manette des gaz sur STOP.
- 4 - Dès $V_i < 400$ kt, inverseur de rallumage vers l'avant.
- 5 - Secours carburant sur marche.
- 6 - Si pas rallumage en haut du cabré (≈ 200 kt) : EJECTION
- 7 - Après rallumage utiliser le manipulateur secours carburant.
- 8 - Manette des gaz sur RALENTI

ANNEXE 2

Événements similaires

Alphajet n° 74

Le turboréacteur gauche s'arrête en vol. Le pilote, après gestion de l'événement, se pose en monomoteur. Les investigations réalisées sur l'aéronef démontrent qu'une défaillance de l'inverseur « coupe-feu » gauche aurait amené à la commande intempestive en fermeture du robinet coupe-feu gauche.

Aucun résultat d'expertise de cet inverseur n'a pu être retrouvé au niveau de l'armée de l'air. La carte de travail a été appliquée en changeant l'inverseur sans investigation complémentaire sur ce dernier.

Cet inverseur a un mécanisme interne différent de celui équipant le M 2000. L'analyse de fiabilité montre la rupture possible d'un des quatre ressorts internes à l'inverseur. Cette panne induit la commande intempestive avec un taux de 3.10⁻⁷.

Mirage 2000 Export

Un événement aérien grave a concerné un M 2000 export. Le pilote s'est éjecté, l'appareil s'est écrasé. Les conclusions de l'utilisateur concernant cet événement donnent :

- l'extinction du GTR est consécutive à la fermeture du robinet coupe-feu ;
- cette fermeture a pu être causée par l'une des raisons suivantes :
 - une panne électrique du circuit de commande du robinet « coupe-feu » ;
 - l'action involontaire du pilote sur l'inverseur « coupe-feu ».

Le rapport technique précise que la platine de démarrage a été modifiée sur les M 2000 du client export. Un cache fixe diminue fortement la probabilité d'une action involontaire du pilote durant le vol sur l'inverseur.

Mirage 2000 N n° 338

Au retour d'un vol, au roulage, le turboréacteur s'arrête. Les investigations techniques montrent que l'arrêt du GTR est dû à la coupure de l'alimentation en carburant par la fermeture du robinet coupe-feu. La cause de cette fermeture n'a pas pu être déterminée.

Le pilote pense ne pas avoir basculé l'interrupteur du robinet coupe-feu et l'analyse des actions du pilote montre qu'il n'avait pas de raison d'actionner une commande au niveau de la banquette droite.

Les expertises réalisées par l'industriel sur le robinet coupe-feu et l'inverseur n'ont révélé aucune anomalie de fonctionnement.

Mirage 2000 C n° 65

Au roulage, il est constaté l'extinction du turboréacteur. Les essais réalisés sur cet avion ont mis en évidence que les symptômes rencontrés sont représentatifs d'une coupure d'alimentation en carburant par fermeture du robinet coupe-feu. La fiche sécurité des vols relative à cet incident précise que, selon toute vraisemblance, le pilote a agi inconsciemment sur l'inverseur.

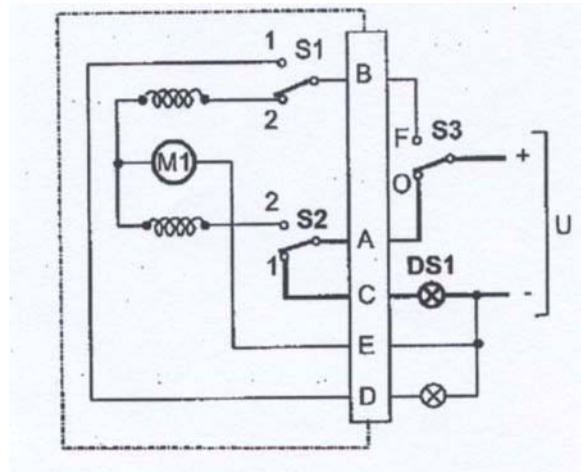
Autres cas d'action involontaire du pilote sur robinet coupe-feu sur Alphajet et Mirage F1

De multiples cas d'action involontaire de pilote en vol sur l'inverseur du robinet coupe-feu sur Alphajet et Mirage F1 ont été rencontrés. L'ergonomie de ces deux derniers appareils est différente de celle du M 2000. Ces deux types d'appareil ont été modifiés au niveau de l'inverseur²⁸.

²⁸ La modification de l'inverseur sur « Alphajet » a consisté à le remplacer par un modèle possédant un levier verrouillable. La modification de l'inverseur sur « Mirage F1 » a consisté à rajouter un cache fixe augmentant les défenses par rapport à la bascule du levier.

ANNEXE 3

Description fonctionnelle de l'inverseur et de l'actionneur



Fonctionnement électrique en position « arrêt ouverture »

Commande fermeture

Le basculement de l'inverseur « S3 » sur la position fermée « F » permet d'appliquer une tension positive de 28VDC sur le contact « B » du connecteur. Cette tension est appliquée sur le contact « 2 » du microrupteur « S1 » et sur l'enroulement « L2 » qui provoque la rotation du moteur « M1 ».

Course fermeture

La rotation du moteur entraîne le réducteur de vitesse, l'axe de commande du robinet et la sphère du robinet dans une rotation angulaire de 90° dans le sens fermeture. L'axe est couplé à une came qui commande le basculement du microrupteur « S2 » sur le contact « 2 » en attente de commande d'ouverture.

Arrêt fermeture

En fin de course, la came provoque le basculement du microrupteur « S1 » sur le contact « 1 » et la rupture d'alimentation moteur.