



Bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État

Rapport d'enquête de sécurité



A-2021-17-A

| | |
|---------------------|-------------------------------|
| Date de l'évènement | 20 juillet 2021 |
| Lieu | Sud de Hombori (Mali) |
| Type d'appareil | Mirage 2000 D |
| Organisme | Armée de l'Air et de l'Espace |



AVERTISSEMENT

UTILISATION DU RAPPORT

Conformément à l'article L.1621-3 du code des transports, l'unique objectif de l'enquête de sécurité est la prévention des accidents et incidents sans détermination des fautes ou des responsabilités.

L'établissement des causes n'implique pas la détermination d'une responsabilité administrative civile ou pénale.

Dès lors, toute utilisation totale ou partielle du présent rapport à d'autres fins que son but de sécurité est contraire aux engagements internationaux de la France, à l'esprit des lois et des règlements et relève de la seule responsabilité de son utilisateur.

COMPOSITION DU RAPPORT

Les faits, utiles à la compréhension de l'évènement, sont exposés dans le premier chapitre du rapport. L'identification et l'analyse des causes de l'évènement font l'objet du deuxième chapitre. Le troisième chapitre tire les conclusions de cette analyse et présente les causes retenues.

Le BEA-É formule ses recommandations de sécurité dans le quatrième et dernier chapitre.

Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heure légale nigérienne (UTC¹+ 1).

CRÉDITS

| | | |
|------------------|--|-------------------------|
| Figures 1 à 3 | Armée de l'Air et de l'Espace RESEDA et BEA-É | Page de garde 8 à 12 |
| Figure 4 | Armée de l'Air et de l'Espace et BEA-É | 15 |
| Figures 5 à 14 | BEA-É | 15 à 20 |
| Figure 15 | Dassault Aviation et BEA-É | 22 |
| Figure 16 | BEA-É | 22 |
| Figure 17 | DGA - Essais en vol et BEA-É | 24 |
| Figures 18 à 21 | BEA-É | 24 à 26 |
| Figures 22 et 23 | Armée de l'Air et de l'Espace et BEA-É | 34 et 35 |

¹ UTC : temps universel coordonné.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|----|
| GLOSSAIRE | 4 |
| SYNOPSIS..... | 5 |
| 1. Renseignements de base | 7 |
| 1.1. Déroulement du vol..... | 7 |
| 1.2. Dommages corporels..... | 9 |
| 1.3. Dommages à l'aéronef | 9 |
| 1.4. Autres dommages | 9 |
| 1.5. Renseignements sur l'équipage..... | 9 |
| 1.6. Renseignements sur l'aéronef..... | 10 |
| 1.7. Conditions météorologiques | 10 |
| 1.8. Aides à la navigation | 11 |
| 1.9. Télécommunications | 11 |
| 1.10. Renseignements sur l'aéroport | 11 |
| 1.11. Enregistreurs de bord..... | 11 |
| 1.12. Constatations sur la zone de l'accident | 11 |
| 1.13. Renseignements médicaux..... | 13 |
| 1.14. Incendie..... | 13 |
| 1.15. Questions relatives à la survie des occupants et à l'organisation des secours | 13 |
| 1.16. Essais et recherches | 14 |
| 1.17. Renseignements sur les organismes..... | 14 |
| 1.18. Renseignements supplémentaires | 15 |
| 2. Analyse..... | 21 |
| 2.1. Expertises techniques..... | 21 |
| 2.2. Séquence des actions du pilote en amont de l'allumage du voyant rouge « BP »..... | 23 |
| 2.3. Recherche des causes de l'évènement..... | 23 |
| 2.4. Gestion de l'évènement | 32 |
| 3. Conclusion | 37 |
| 3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement | 37 |
| 3.2. Causes de l'évènement | 37 |
| 4. Recommandations de sécurité | 39 |
| 4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement | 39 |
| 4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement | 40 |

GLOSSAIRE

| | |
|--------|---|
| AAE | Armée de l’Air et de l’Espace |
| BAP | Base aérienne projetée |
| BP | Baisse de pression |
| CDB | Commandant de bord |
| DAV | Dassault Aviation |
| ESPAR | Enregistreur statique de paramètres |
| ft | <i>Feet</i> – pieds (1 pied vaut 30,46 cm) |
| kt | <i>Knots</i> - nœuds (1 nœud vaut 1,852 km/h) |
| M2000 | Mirage 2000 |
| NOSA | Navigateur officier systèmes d’armes |
| OBIB | Objet baladeur indésirable à bord |
| OCAD | Outil connecté d’aide à la navigation |
| RCF | Robinet coupe-feu |
| RESEDA | Restitution des enregistreurs d’accidents |
| RPL | Réservoir pendulaire largable |
| SAE | Safran Aircraft Engines |
| SSP | Sécurité sauvetage parachute |
| VTH | Vision tête haute |

SYNOPSIS

Date et heure de l'évènement : 20 juillet 2021 à 10h01
Lieu de l'évènement : sud de Hombori (Mali)
Organisme : armée de l'Air et de l'Espace
Commandement organique : commandement des forces aériennes
Commandement opérationnel : force Barkhane / opération Barkhane
Unité : détachement chasse de la base aérienne projetée (BAP) de Niamey (Niger)
Aéronef : Mirage 2000 D (M2000D), immatriculé F-UHMP
Nature du vol : mission d'appui aux troupes au sol
Nombre de personnes à bord : 2

Résumé de l'évènement selon les premiers éléments recueillis

Lors d'une mission d'appui des troupes au sol dans le sud du Mali, une patrouille, composée d'un M2000D et d'un M2000C, quitte la zone de travail pour ravitailler en vol. En phase de rejointe de l'avion ravitailleur, à une altitude d'environ 12 000 ft, l'équipage du M2000D constate l'extinction de son moteur et l'annonce au pilote du M2000C. Alors que l'avion commence à descendre, l'équipage entame une procédure de rallumage vol et largue les charges afin d'alléger l'avion. À cette occasion, le pilote commandant de bord (CDB) constate que l'interrupteur du robinet coupe-feu² (RCF) est cassé à sa base, en position « à gauche », correspondant à un état de fermeture du robinet. Après plusieurs tentatives infructueuses de rallumage du moteur, l'équipage décide de s'éjecter en arrivant en basse altitude³. Après l'éjection, l'avion poursuit son vol quelques instants et s'écrase en explosant dans une zone dégagée. Le pilote se blesse aux jambes en atterrissant tandis que le navigateur officier système d'armes (NOSA) atterrit normalement et rejoint son pilote. L'avion est détruit. L'équipage est évacué par les hélicoptères français environ une heure et quarante minutes après l'éjection.

Composition du groupe d'enquête de sécurité

- un directeur d'enquête de sécurité du bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État (BEA-É) ;
- un enquêteur technique (BEA-É) ;
- un pilote ayant une expertise sur M2000 ;
- un NOSA ayant une expertise sur M2000 ;
- un mécanicien ayant une expertise sur M2000 ;
- un médecin breveté en médecine aéronautique.

Autres experts consultés

- Direction générale de l'armement (DGA) Essais propulseurs / Restitution des enregistreurs d'accidents (RESEDA) ;
- Safran Aircraft Engines (SAE) ;
- Dassault Aviation (DAV) ;
- DGA Essais en vol / Sécurité sauvetage parachute (SSP).

² Le robinet coupe-feu est un robinet situé sur la tuyauterie d'arrivée du carburant, juste en amont du moteur, et permettant la coupure rapide de l'arrivée du carburant au moteur, notamment en cas de détection d'un feu au niveau de ce même moteur. Il est ouvert avant chaque mise en route du moteur et fermé après chaque arrêt du moteur en fin de vol.

³ La basse altitude est comprise entre 1 500 ft et 5 000 ft.

PAS DE TEXTE

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Type de vol : CAM T⁴

Type de mission : mission d'appui aux troupes au sol

Dernier point de départ : aéroport de Niamey au Niger (DRRN)

Heure de départ : 6h10

Point d'atterrissage prévu : aéroport de Niamey au Niger (DRRN)

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

La veille du vol vers 17h, l'équipage du M2000D et le pilote du M2000C débutent la préparation de la mission avec les informations disponibles sur la planification des ordres de missions aériennes du lendemain. Les équipages consultent la documentation opérationnelle et tactique, la prévision météorologique et l'activité aérienne prévue sur la zone pendant le créneau horaire de la mission. À 18h, l'ordre confirmant la mission aérienne arrive. Celle-ci consiste à appuyer les troupes au sol pendant des créneaux de 45 minutes à 1 heure et demie sur quatre secteurs géographiques différents du Niger et du Mali. Les phases tactiques sont entrecoupées de phases de transit intégrant un ravitaillement en vol. Le M2000D est leader de la patrouille. Lors du briefing qui suit, la situation tactique et opérationnelle actualisée et les besoins en renseignements sont présentés aux équipages. Ces derniers échangent ensuite sur l'activité aérienne dans la zone et sur les conditions météorologiques prévues. L'équipage du M2000D briefe ensuite la patrouille sur le déroulé du vol, le pilote présentant les aspects aéronautiques et le NOSA les phases tactiques. Le briefing se termine par une partie sur la sécurité aérienne au cours de laquelle sont considérés le décollage en fin de nuit, les phases de vol à basse altitude et les procédures en cas de panne, ainsi qu'en cas d'éjection en territoire hostile.

Les équipages d'inent ensuite au détachement puis retournent en zone de vie vers 23h15 pour se coucher.

Le lendemain, les équipages se retrouvent à 4h40 pour rejoindre le détachement. Ils y prennent leur petit déjeuner et s'équipent en vue du vol. Ils vérifient les conditions météorologiques et consultent la situation tactique de théâtre et les dernières évolutions concernant leur mission. Ils récupèrent et vérifient leurs matériels : le pilote du M2000D emporte avec lui son casque de vol, une paire de jumelles, un appareil photographique de dotation, un outil connecté d'aide à la navigation⁵ (OCAD) ainsi qu'un sac personnel en tissu contenant une gourde, un peu de nourriture, de la documentation et une batterie pour l'OCAD. Les équipages rejoignent ensuite leurs avions aux environs de 5h35.

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

La mise en route se déroule normalement et les deux avions s'alignent en piste 27 gauche pour un départ en toute fin de nuit. Le décollage a lieu à 6h10.

Les deux premières phases tactiques assurées par la patrouille se déroulent bien, entrecoupées d'un ravitaillement en vol et d'un transit d'environ 40 minutes. À l'issue d'un deuxième ravitaillement, la patrouille débute la deuxième phase de sa mission aux environs de 9h10. Au cours de cette phase tactique, aux environs de 9h40, le pilote du M2000D a besoin d'uriner. Pour ce faire, il l'annonce à son NOSA puis réalise sa « procédure de miction⁶ » pendant quelques minutes. La mission se poursuit ensuite sur le même secteur.

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

À 10h, la patrouille décide de ravitailler. Le M2000D en tête, prend un cap au 150° à une altitude proche de 12 000 ft pour rejoindre l'avion ravitailleur. Le M2000C le rassemble sur son arrière droit, à environ 200 mètres (m). La patrouille passe sur la fréquence de ravitaillement sur le poste tactique et s'annonce en rejointe au ravitailleur. À 10h01, afin d'avoir une meilleure visualisation lors du pilotage de la manœuvre de ravitaillement, le pilote du M2000D abaisse son siège de sa position habituelle de pilotage jusqu'à sa butée

⁴ Circulation aérienne militaire – règles de vol tactique.

⁵ Tablette numérique de dotation comprenant une cartographie tactique et de la documentation numérique.

⁶ Enchaînement des actions réalisées par le pilote, ne reposant sur aucune documentation officielle, lui permettant d'uriner en toute sécurité dans une pochette de type « Ulmer » prévue à cet effet.

basse. Le NOSA ressent deux petits à-coups sur l'axe longitudinal de l'avion. Une alarme retentit alors, accompagnée de l'allumage d'un voyant rouge. Le NOSA constate qu'il s'agit du voyant rouge « BP⁷ », signifiant la baisse de pression dans le circuit carburant, et visualise un débit carburant nul sur l'indicateur associé. Il annonce alors « BP rouge, on a le moteur qui dévisse » sur le téléphone de bord et sur la fréquence inter patrouille. Le pilote partage ce constat et diminue son assiette pour garder de la vitesse. L'équipage tente ensuite un rallumage infructueux, au cours duquel le pilote regarde la platine de démarrage sur sa banquette latérale droite et contrôle la bonne position des interrupteurs des pompes carburant. Il voit alors l'interrupteur du RCF cassé à sa base en position « à gauche » (robinet fermé). Il l'annonce au NOSA puis essaie de le repousser vers sa position « à droite » à l'aide de ses ongles sans y parvenir. Le pilote du M2000C, qui suit son leader, invite celui-ci à larguer les charges sur la fréquence inter patrouille. Le pilote du M2000D appuie alors sur le bouton de largage de détresse. Puis il tente à nouveau de repousser l'interrupteur du RCF cassé pendant quelques secondes.

L'équipage effectue une nouvelle tentative de rallumage du moteur en vain. L'avion arrivant dans la tranche de basse altitude, le NOSA annonce au pilote qu'ils doivent s'éjecter afin que l'avion s'écrase suffisamment loin de l'équipage. Après avoir annoncé un message de détresse de type « *mayday* » sur la fréquence de coordination de l'activité aérienne, le pilote évolue par la droite pour viser une zone dégagée, positionne l'avion en léger cabré puis déclenche l'éjection par l'annonce réglementaire sur le téléphone de bord. L'éjection a lieu à environ 3 000 ft, sous la vigilance du M2000C resté à 8 500 ft. L'avion s'écrase à environ 5,5 kilomètres (km) dans le 196° de la position de l'éjection. Une explosion non suivie d'un incendie se produit au moment de l'impact.

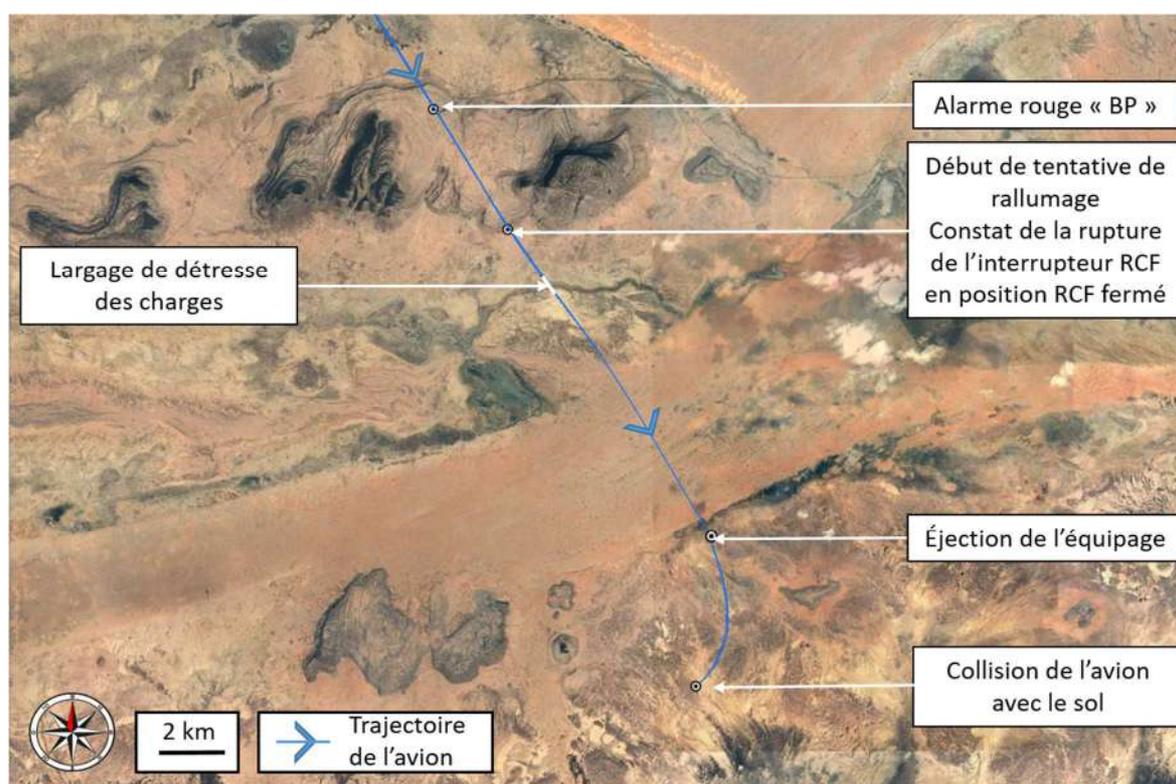


Figure 1 : vue de la partie significative de la trajectoire de l'avion

1.1.3. Localisation

– Lieu :

- pays : Mali
- coordonnées géographiques : N 15°06'7" / O 001°37'52"
- altitude du lieu de l'évènement (extinction du moteur) : environ 12 000 ft

– Moment : jour

– Aérodrome le plus proche au moment de l'évènement : aéroport de Gao au Mali (GAGO)

⁷ BP : baisse de pression.

1.2. Dommages corporels

Le CDB est gravement blessé et le NOSA est indemne.

1.3. Dommages à l'aéronef

L'aéronef est détruit.

1.4. Autres dommages

Sans objet.

1.5. Renseignements sur l'équipage

1.5.1. Pilote CDB

- Âge : 33 ans
- Unité d'affectation : escadron de chasse 2/3 « Champagne »
- Fonction dans l'unité : chef des opérations
- Formations :
 - qualification : chef de patrouille depuis le 1^{er} janvier 2018
 - école de spécialisation : école de l'aviation de chasse en 2012
- Heures de vol comme pilote :

| | Total | | Dans le semestre écoulé | | Dans les 30 derniers jours | |
|------------------------|---------------|-------------|-------------------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | sur tout type | dont M2000D | sur tout type | dont M2000D | sur tout type | dont M2000D |
| Total (h) | 2 101 | 1 448 | 163 | 163 | 70 | 70 |
| Dont OPEX ⁸ | 583 | 583 | 116 | 116 | 70 | 70 |

- Date du précédent vol sur l'aéronef : 17 juillet 2021 de jour

1.5.2. NOSA

- Âge : 31 ans
- Unité d'affectation : escadron de chasse 2/3 « Champagne »
- Fonction dans l'unité : chef de la cellule tactique
- Formations :
 - qualification : chef navigateur depuis le 1^{er} juillet 2020
 - école de spécialisation : école de l'aviation de chasse en 2014
- Heures de vol comme NOSA :

| | Total | | Dans le semestre écoulé | | Dans les 30 derniers jours | |
|-----------|---------------|-------------|-------------------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | sur tout type | dont M2000D | sur tout type | dont M2000D | sur tout type | dont M2000D |
| Total (h) | 1 775 | 1 357 | 197 | 197 | 70 | 70 |
| Dont OPEX | 583 | 583 | 116 | 116 | 70 | 70 |

- Date du précédent vol sur l'aéronef: 17 juillet 2021 de jour

⁸ Opérations extérieures.

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de l'Air et de l'Espace
- Commandement d'appartenance : commandement des forces aériennes
- Aérodrome de stationnement : base aérienne 133 de Nancy Ochey
- Unité d'affectation : escadron de soutien technique aéronautique 15.003 « Malzéville »
- Type d'aéronef : M2000D
- Configuration : deux réservoirs pendulaires largables (RPL) de 1 580 kg chacun, deux bombes guidées laser de 250 kg chacune, un POD d'observation de 340 kg, deux pylônes lance-missile équipés de détecteurs de départ de missiles (environ 150 kg les deux).

| | Type-série | Numéro | Heures de vol totales | Heures de vol depuis maintenance |
|---------|------------|--------|-----------------------|--|
| Cellule | M2000D | 623 | 5 182 | 75 depuis « visite des 15 ans » |
| Moteur | M53 P2 | 60 344 | 4 119 | 47 depuis « visite normale du réacteur » |

1.6.1. Maintenance

La documentation de maintenance témoigne d'un entretien conforme aux prescriptions en vigueur. L'interrupteur du RCF a été changé le 10 décembre 2012 pour installer une version modifiée de celui-ci, visant à renforcer sa sécurité, conformément à l'instruction technique 1 486 de DAV du 9 décembre 2011 et à la consigne de navigabilité associée. Cette modification de l'interrupteur du RCF faisait suite à une recommandation émise par le BEAD-air suite à la fermeture intempestive d'un interrupteur du RCF au cours d'un vol sur M2000N le 11 juin 2008. Le modèle d'interrupteur installé à cette occasion comporte un dispositif physique empêchant le basculement involontaire de l'interrupteur de sa position « à droite » (robinet ouvert) vers sa position « à gauche » (robinet fermé).

1.6.2. Performances

L'aéronef est exploité dans son domaine de vol tout au long de la mission.

1.6.3. Masse et centrage

La masse du M2000D au décollage est de 16,1 tonnes pour 16,5 tonnes autorisées. Elle n'est plus que de 12,4 tonnes au moment de l'évènement. Le centrage est dans les normes tout au long de la mission.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : kérosène F34
- Quantité de carburant au décollage : 6 tonnes
- Quantité de carburant au moment de l'évènement : 2,5 tonnes (RPL vides)

1.6.5. Autre fluide

- Huile moteur utilisée : O-150
- Quantité d'huile dans le moteur : 10 litres

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

Les prévisions météorologiques sur le secteur géographique de la mission annoncent un ciel clair, une bonne visibilité, un vent d'ouest pour environ 15 kt en basses couches et un vent de secteur opposé dans les couches moyennes à hautes, induisant un cisaillement vertical des vents autour de 7 000 ft. La température attendue au sol est supérieure à 30 degrés.

1.7.2. Observations

Les observations météorologiques réalisées le jour du vol sont conformes aux prévisions.

1.8. Aides à la navigation

Le M2000D est équipé de deux centrales à inertie recalées automatiquement sur un système GPS équipant l'avion. L'équipage visualise sa position sur un fond de carte numérique défilant en partie basse du cockpit. L'OCAD fournit également la position de l'avion en temps réel sur un fond de carte intégrant l'ensemble des données tactiques nécessaires à la conduite de la mission.

1.9. Télécommunications

L'avion est équipé de deux postes de radiocommunication V/UHF⁹. L'un est utilisé pour les communications tactiques, soit avec les troupes au sol, soit avec l'avion ravitailleur selon la phase de vol. Il est aussi utilisé pour les communications inter patrouille. L'autre sert à la communication avec les organismes de contrôle aérien ou de coordination de l'activité aérienne sur la zone d'opérations. Au moment de l'évènement, l'avion vient de passer son poste tactique sur la fréquence de ravitaillement tandis qu'il est sur la fréquence de coordination de l'activité aérienne de théâtre sur l'autre poste.

1.10. Renseignements sur l'aéroport

Sans objet.

1.11. Enregistreurs de bord

Le M2000D est équipé d'un enregistreur statique de paramètres (ESPAR) et d'un calculateur « SCARABEE » (système de communication aéroterrestre, de restitution, d'acquisition et de bibliothèques embarquées, évolutif). Le premier a pu être exploité par RESEDA tandis que le second était trop détérioré.

1.12. Constatations sur la zone de l'accident

1.12.1. Zone générale

La zone d'intérêt de l'accident s'étend sur environ 15 km du nord au sud et 6 km d'est en ouest. Elle est un espace géographique semi-désertique, clairsemé de steppes arborées, d'altitude comprise entre 280 et 300 m, à l'exception d'un point culminant à 368 m. Elle se décompose en trois zones distinctes.

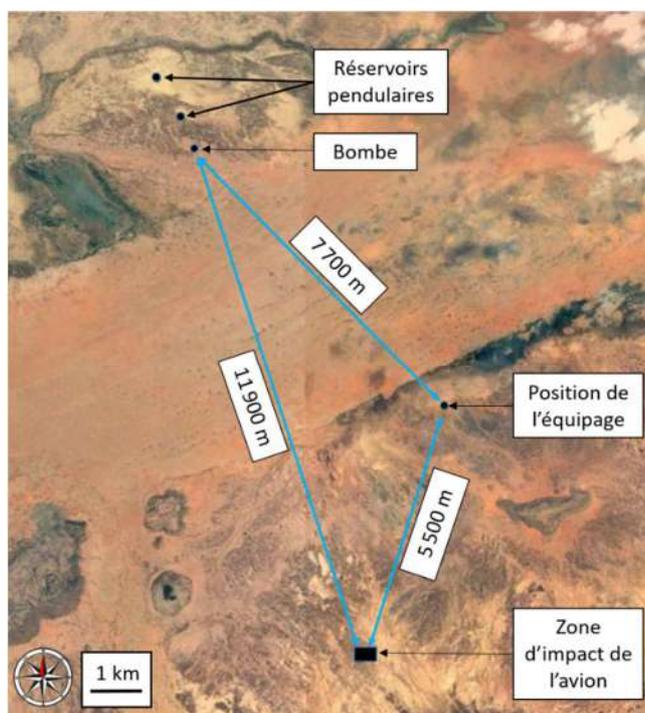


Figure 2 : vue de la zone générale de l'accident

⁹ Very/Ultra high frequency – Très/Ultra haute fréquence.

La zone de largage des charges située au nord de la zone d'intérêt s'étend sur un axe rectiligne de 1 800 m, orienté au cap 150°, correspondant au cap de l'avion au moment du largage des charges. On y trouve les deux RPL, espacés de 1 000 m, et l'une des deux bombes 800 m plus loin. La deuxième zone, à environ 7 700 m de la précédente, est celle où ont atterri les deux membres d'équipage. On trouve la zone d'impact de l'avion à 11 900 m de la zone de retombée des charges et à 5 500 m de la position de l'équipage.

L'ensemble de la zone étant située en territoire hostile, l'équipe d'enquête n'a pas pu se rendre sur les lieux et la plupart des différents éléments matériels résiduels susceptibles d'intéresser l'enquête ont été volontairement détruits, à l'exception des divers systèmes d'enregistrement de données qui ont pu être récupérés.

1.12.2. Zone de l'épave

La zone de l'épave est recouverte d'une steppe arborée dans sa partie centrale et s'étend sur 380 m de longueur et 100 m de largeur. Elle est orientée selon l'axe de la collision de l'avion avec le sol.

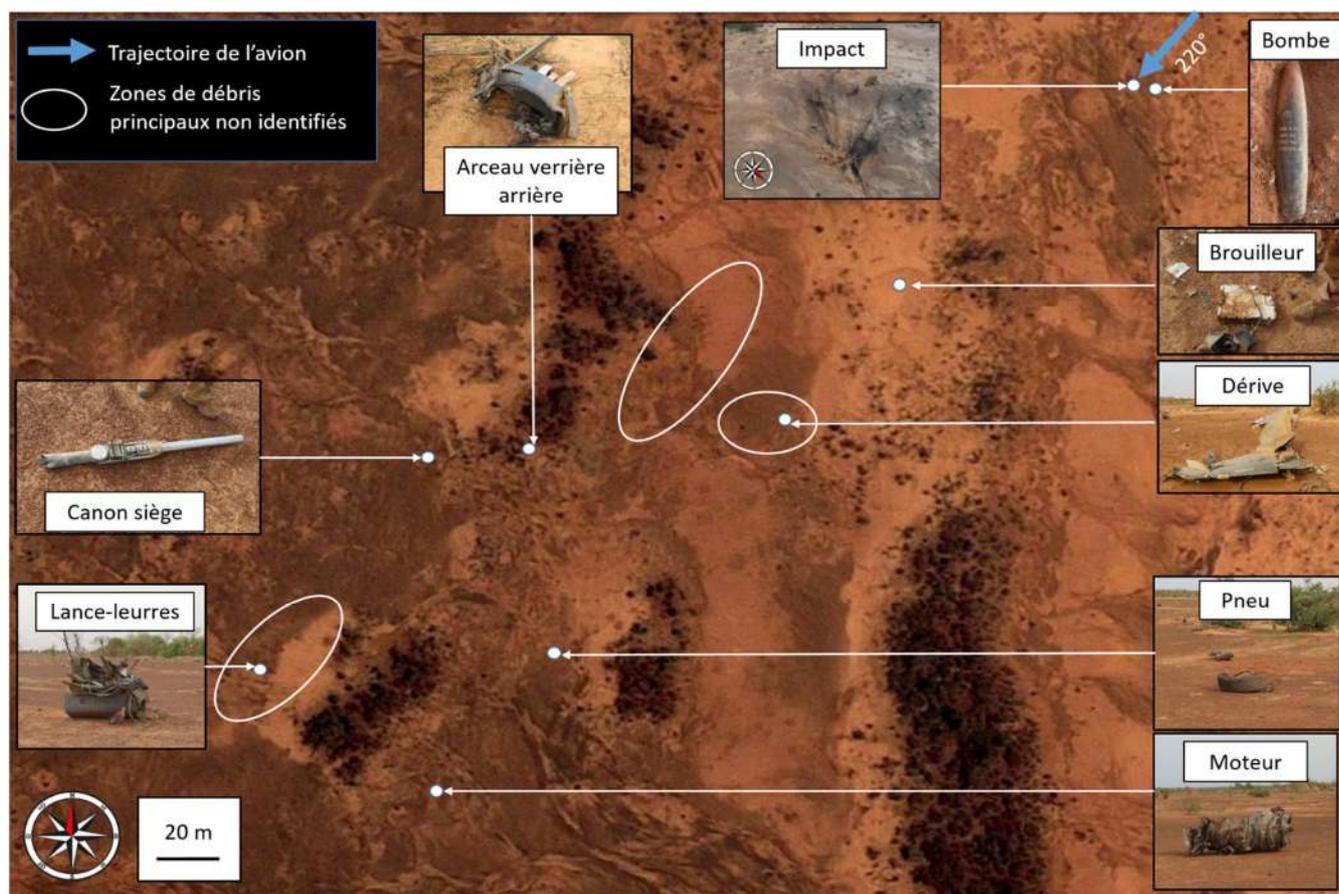


Figure 3 : vue de la zone de l'épave

Le point d'impact de l'avion confirme l'attitude de ce dernier au moment de sa collision avec le sol. Il montre également la forte énergie du choc, confirme l'explosion par la présence de traînées noires orientées dans le sens d'arrivée de l'avion (arrivée au cap 220°). Un éparpillement important sur une grande zone des débris de l'avion, jusqu'à 370 m de son point d'impact, est également constaté, attestant de la puissance de l'explosion.

1.13. Renseignements médicaux

1.13.1. Pilote CDB

- Derniers examens médicaux :
 - type : visite révisionnelle du personnel navigant du 28 avril 2021 (en référence du certificat du centre d'expertise médicale du personnel navigant¹⁰ du 15 janvier 2021)
 - résultat : apte
 - visite de dépassement des heures de vol du 18 juillet 2021 autorisant la réalisation de 15 heures de vol supplémentaires dans les trente jours glissants
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : graves

1.13.2. NOSA

- Derniers examens médicaux :
 - type : visite d'aptitude au centre d'expertise médicale du personnel navigant du 23 mars 2021
 - résultat : apte
 - visite de dépassement des heures de vol du 18 juillet 2021 autorisant la réalisation de 15 heures de vol supplémentaires dans les trente jours glissants
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : aucune

1.14. Incendie

Sans objet.

1.15. Questions relatives à la survie des occupants et à l'organisation des secours

1.15.1. Abandon de bord

- Éjection en vol :
 - type de sièges éjectables : Martin Baker MK10 (poignée d'éjection basse)
- Données morphologiques du pilote CDB :
 - taille : 1,72 m
 - poids : 68 kg
- Données morphologiques du NOSA :
 - taille : 1,73 m
 - poids : 66 kg
- Éléments au moment de l'éjection :
 - Hauteur : 2 750 ft
 - Vitesse : 260 kt
- Conséquences : le pilote se blesse gravement à l'atterrissage et le NOSA perd son casque au moment de l'extraction de la voile de son parachute.
- L'éjection est préparée par l'équipage qui prend soin de positionner l'avion dans une direction évitant des dommages au sol avec une légère assiette à cabrer et une faible inclinaison à droite. La procédure d'éjection est réalisée normalement et les deux membres d'équipage tirent leur poignée quasi simultanément. Le NOSA est éjecté en premier suivi du pilote.

¹⁰ Instruction n° 4000/DRH-AA/SDEPRH-HP/BPECA du 20 avril 2017 relative aux normes médicales d'aptitude applicable au personnel militaire de l'armée de l'Air et à la définition des standards d'aptitude médicale minimaux à requérir pour les emplois de personnel navigant.

1.15.2. Phase sous voile et atterrissage

Après la séquence d'éjection, les deux membres d'équipage dérivent vers l'est sous voile du fait du vent d'ouest d'environ 15 kt, en vue l'un de l'autre. Le NOSA voit l'avion poursuivre sa course avec une inclinaison à droite et s'écraser en explosant. La phase sous voile dure plusieurs minutes. Arrivant dans une zone dégagée, le NOSA adopte une position d'atterrissage adaptée et atterrit face à l'est. Il se libère de son harnais après avoir été traîné un bref instant. Sa voile finit dans un acacia.

Le pilote cherche à éviter un acacia à l'atterrissage. Il y parvient mais se blesse au genou gauche et à la cheville droite au cours de l'atterrissage et se retrouve traîné par sa voile un court instant avant de s'en libérer. Celle-ci finit dans un acacia tandis que le pilote se retrouve assis. Il aperçoit le NOSA, au sud-ouest de sa position pour une centaine de mètres, qui le rejoint. Puis l'équipage regagne la zone d'atterrissage du NOSA pour profiter de l'ombre d'un acacia, recouvert d'une voile de parachute visible depuis le ciel. Il s'organise ensuite en vue de sa survie. Le NOSA assure la protection du binôme tandis que le pilote signale leur position via sa balise de détresse. Il arrive très rapidement à parler par radio au pilote du M2000C qui assure un appui aérien pendant cette phase d'attente. Le NOSA rend ensuite compte au détachement chasse grâce au téléphone satellite de dotation.

1.15.3. Organisation des secours

L'équipage transmet sa position à l'équipier dans le M2000C, qui la relaye vers l'organisme de coordination aérienne de théâtre. Elle est ensuite transmise au commandement de l'opération de récupération et à l'ensemble des protagonistes de celle-ci sur la messagerie instantanée du théâtre. Une opération de récupération est lancée à 10h02. L'équipage est récupéré à 11h45. Il est évacué vers Gao où il arrive à 12h52 pour être ensuite transporté à l'hôpital de Gao.

1.16. Essais et recherches

RESEDA exploite les données de vol issues de l'enregistreur de paramètres à des fins de trajectographie.

SAE exploite les paramètres moteurs disponibles.

DAV exploite les paramètres de vol et réalise des essais de rupture de l'interrupteur du RCF.

La section sécurité sauvetage parachute de DGA Essais en vol réalise des expertises pour expliquer les problématiques constatées à l'éjection et à l'atterrissage.

Le BEA-É réalise une expertise sur les facteurs organisationnels et humains.

1.17. Renseignements sur les organismes

1.17.1. Base aérienne 133 de Nancy Ochey

La base aérienne 133 de Nancy Ochey est un système de combat qui contribue aux missions de l'AAE : protection des espaces aériens grâce à sa piste et à la maintenance des sites radio et radar du nord-est de la France ; intervention immédiate sous court préavis en tout point de l'arc de crise sur décision du chef des armées. Pour ce faire, la base s'organise autour de deux grandes entités : la 3^e escadre de chasse composée de trois escadrons spécialisés dans l'attaque au sol et servant une flotte de M2000D, dont le 2/3 « Champagne » auquel appartient l'équipage de l'évènement ; le groupement d'appui à l'activité comprenant des unités techniques logistiques et de maintenance des systèmes aéronautiques et de contrôle aérien.

1.17.2. Détachement chasse de la base aérienne projetée de Niamey

Le détachement chasse de la BAP de Niamey a pour mission d'appuyer les forces déployées au sol dans le cadre de l'opération Barkhane. Soutenu par la BAP pour son fonctionnement général, il est composé de pilotes, de NOSA, d'officiers renseignement et de mécaniciens issus des escadres de chasse de Nancy Ochey et Orange. Ils mettent en œuvre des M2000D venant de Nancy Ochey et des M2000C d'Orange. La mise en œuvre des avions s'effectue depuis la piste de l'aéroport de Niamey et grâce au soutien de la base, qui s'exerce notamment au travers d'un service météorologique, d'une direction des vols et d'un service de sécurité incendie et sauvetage. Déployés depuis plusieurs semaines, les militaires du détachement chasse entament leur dernière semaine de séjour en opérations extérieures le jour de l'évènement.

1.18. Renseignements supplémentaires

1.18.1. Description du circuit carburant du M2000D et position du RCF

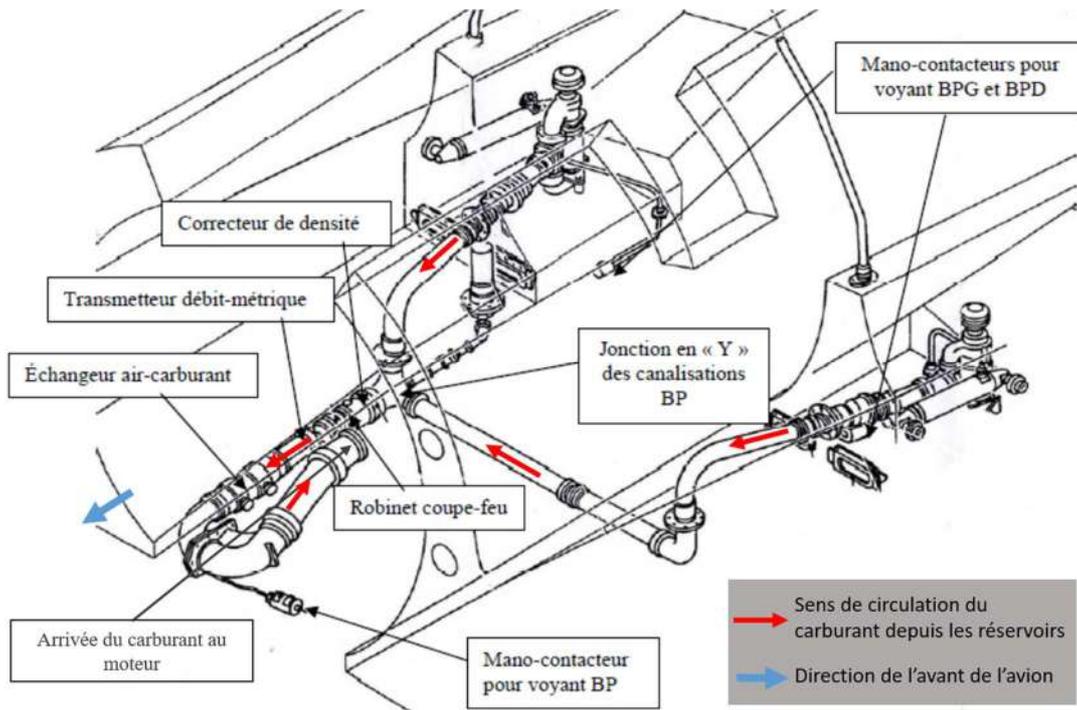


Figure 4 : circuit carburant de l'avion autour du robinet coupe-feu

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 canalisations BP issues des nourrices et le correcteur de densité ;
- en aval du RCF, le transmetteur débit-métrique fournissant l'indication de débit de carburant et l'échangeur air-carburant.

Aucun des éléments matériels constitutifs du circuit carburant autour du RCF n'a pu être retrouvé et rapporté du site de l'accident.

1.18.2. Signalisation en cabine d'une baisse de pression carburant

Un voyant d'alarme rouge « BP » est situé sur les tableaux des alarmes des cabines du pilote et du NOSA. Il est répété aux voyants répéteurs des pannes rouges sur les parties gauches des planches de bord pilote et NOSA, dans leurs champs visuels. Il déclenche un avertisseur sonore.

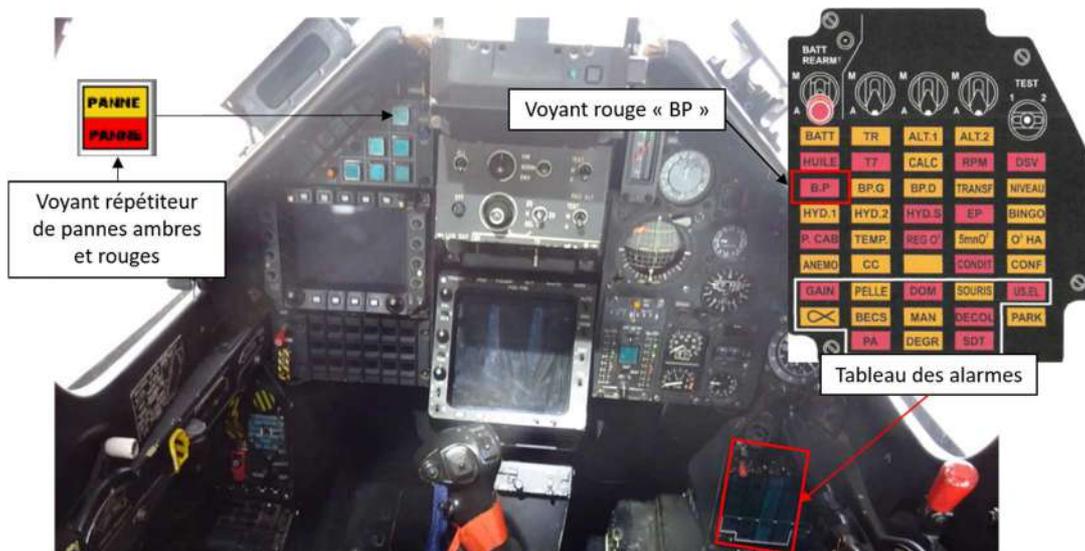


Figure 5 : signalisation de l'alarme de baisse de pression carburant dans la cabine pilote du M2000D

L'allumage de ce voyant s'effectue au travers du mano-contacteur BP lorsque la différence de pression entre le carburant et l'air ambiant devient inférieure à 350 mbar ou que la pression du carburant est inférieure à 825 mbar. Ce mano-contacteur est en amont de la pompe haute pression du moteur et en aval du RCF.

1.18.3. Fonctionnement du robinet coupe-feu

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

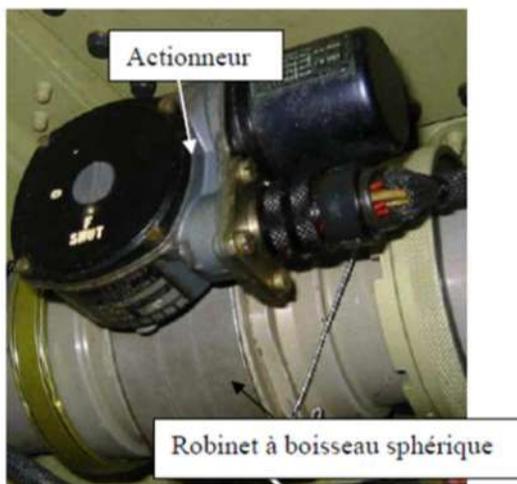


Figure 6 : robinet coupe-feu en position fermée

L'inverseur du RCF, situé sur la platine de démarrage, permet de commander en ouverture et en fermeture le robinet à boisseau sphérique. Il permet :

- de couper le circuit BP d'alimentation en carburant du moteur en cas de problème par application d'une procédure de secours au sol ;
- d'isoler le circuit carburant BP lorsque le moteur est éteint dans le cadre des procédures normales au sol.

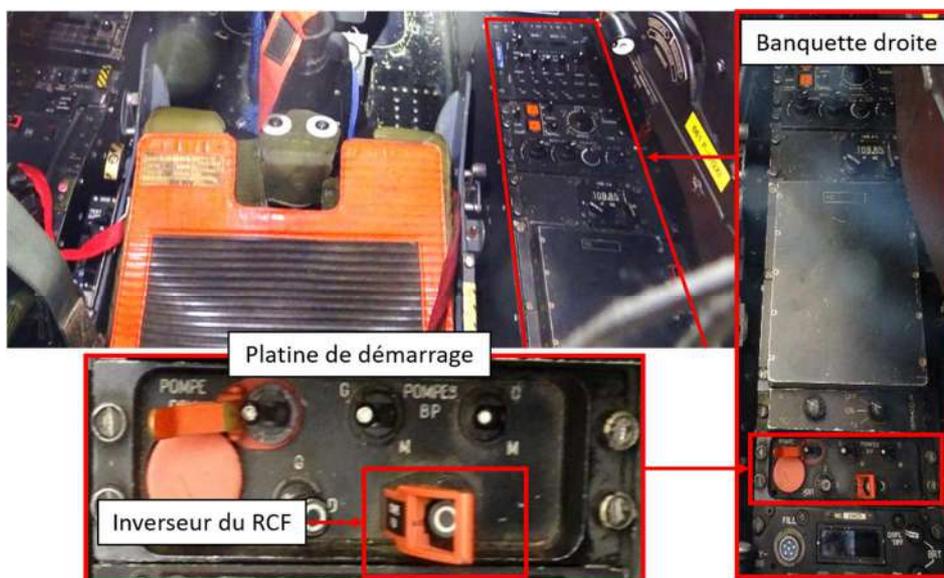


Figure 7 : emplacements de la platine de démarrage et de l'inverseur du RCF

Dans les procédures normales et de secours, l'action sur l'inverseur n'est demandée qu'au sol. L'inverseur est constitué d'un interrupteur et d'un cache-interrupteur. Lorsqu'il est en position « à droite », le RCF est ouvert. Dans cette position le cache-interrupteur est rabattu. Dans sa position « à gauche » avec le cache-interrupteur ouvert, le RCF est fermé.

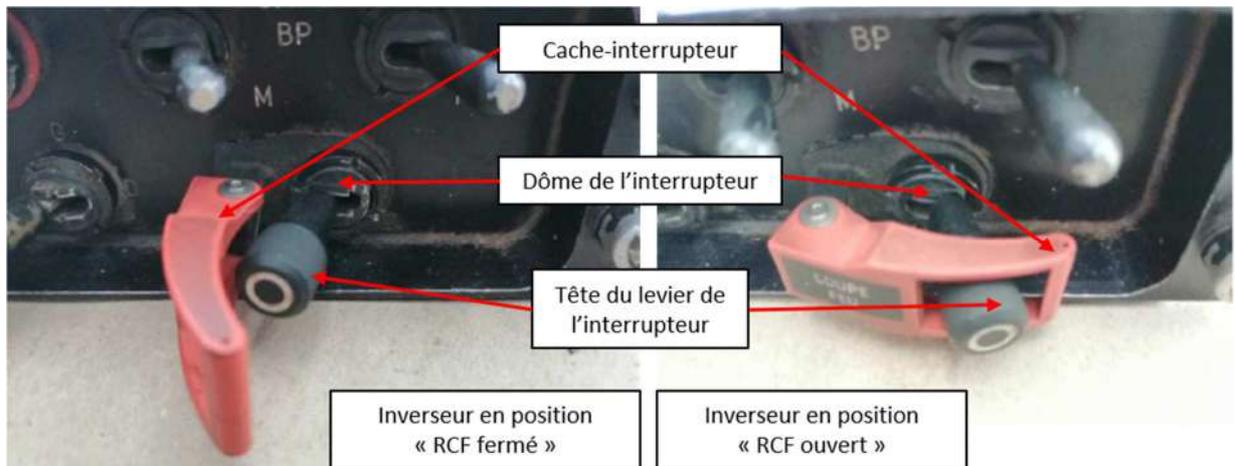


Figure 8 : inverseur du RCF

Le risque de fermeture accidentelle du RCF est très réduit du fait de l'ergonomie particulière de l'inverseur, intégrant les sécurités suivantes :

- l'inverseur est situé dans un « puits » sur la platine de démarrage ;
- le cache-interrupteur rabattu maintient l'interrupteur en position « à droite » (RCF ouvert) ;
- en cas d'ouverture involontaire du cache, l'interrupteur est verrouillé par un dispositif mécanique en position « à droite » (RCF ouvert), depuis la modification introduite en 2012.

Pour fermer le RCF, il faut donc relever le cache-interrupteur puis tirer la tête du levier de l'interrupteur vers le haut et pousser l'interrupteur vers la gauche jusqu'à la position « à gauche » (RCF fermé) en maintenant la traction vers le haut pour permettre le passage des ergots de verrouillage au-dessus des surfaces bloquantes du dôme de l'interrupteur.

La position « à gauche » (RCF fermé) de l'interrupteur n'est pas verrouillée. Pour ouvrir le RCF, il suffit donc de pousser le cache-interrupteur qui exerce alors une pression vers la droite sur le levier de l'interrupteur qui bascule en position « à droite » (RCF ouvert).



Figure 9 : dispositif mécanique de verrouillage de l'interrupteur du RCF

1.18.4. Siège éjectable pilote du Mirage 2000D

Le siège éjectable pilote du M2000D se trouve entre les deux banquettes latérales gauche et droite. Il est équipé d'un harnais « six points » comprenant deux sangles d'épaule, deux sangles latérales, deux sangles inguinales et une boucle, solidaires du siège et permettant un harnachement suffisant du pilote pour sa sécurité en vol et lors d'une éjection.

Une traction sur la poignée d'éjection située en avant de l'assise, entre les jambes du pilote, permet de déclencher la séquence d'éjection. Un dispositif mécanique de sécurisation du type « goupille » peut être installé au niveau de la poignée pour empêcher mécaniquement son déplacement et ainsi éviter une éjection intempestive et involontaire au sol ou lors d'une miction en vol nécessitant un desserrage du harnais ou un déverrouillage. Un sélecteur de séquence d'éjection est situé contre la partie verticale arrière droite de la cabine. Il comporte deux positions (« solo » ou « biplace ») correspondant chacune à une séquence d'éjection des sièges avant et arrière après déclenchement de l'éjection. Lorsque le sélecteur est sur « biplace », la traction sur l'une des poignées (siège avant ou arrière) suffit à déclencher l'éjection des deux sièges. Lorsque le sélecteur est sur « solo », l'action sur l'une des poignées ne déclenche l'éjection que du siège associé à celle-ci. Une surface plane située sur la banquette droite permet de poser un équipement utile pendant le vol, tel qu'une paire de jumelles ou un appareil photographique.

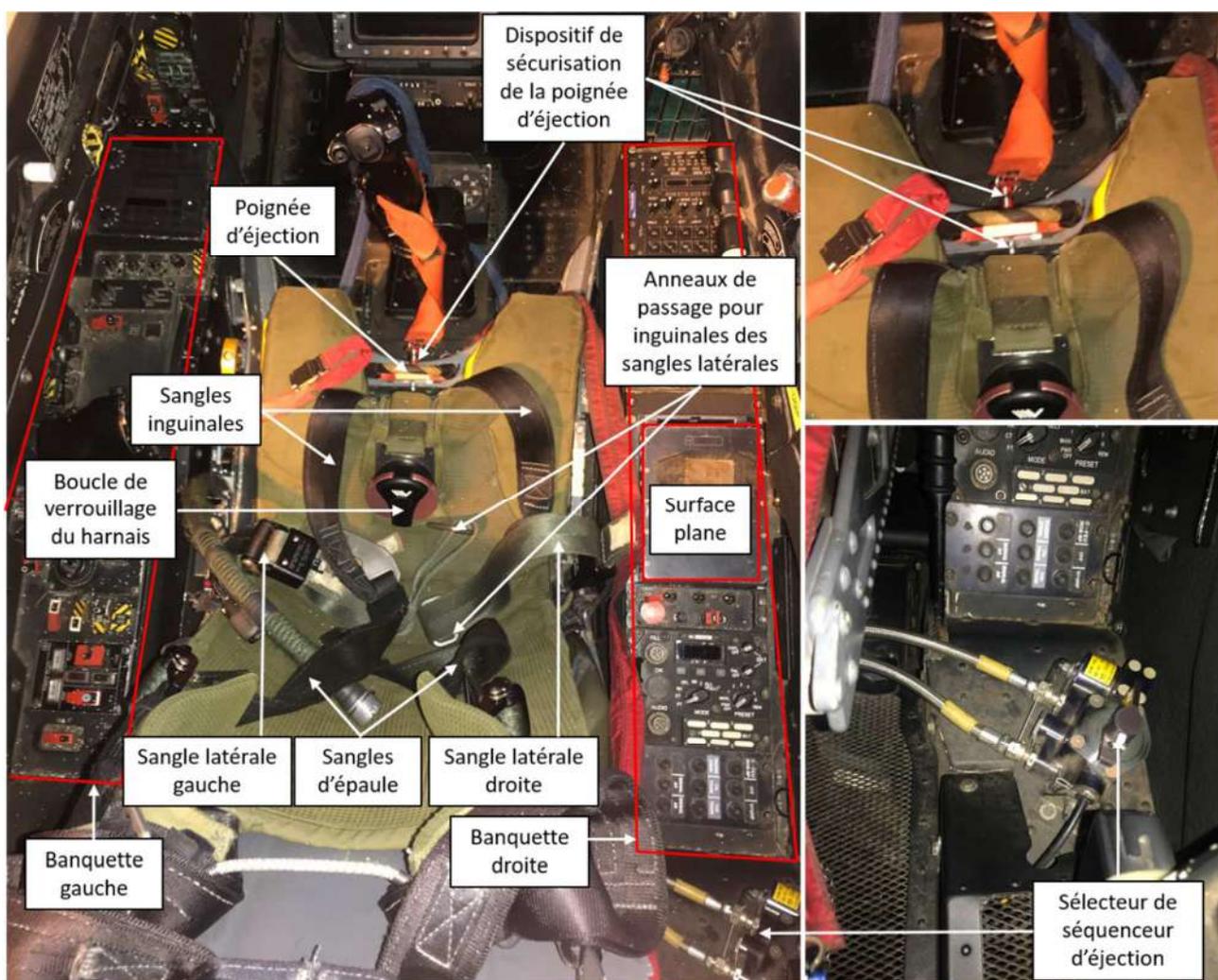


Figure 10 : siège éjectable dans la cabine pilote

Les banquettes latérales sont espacées de 3,5 cm à droite et 8 cm à gauche avec la base du siège, assurant la libre éjection du siège lorsqu'elle est déclenchée. Sur le côté droit de la base du siège sont présents des éléments de tringlerie métalliques appartenant au système de séparation manuelle du siège après l'éjection et de verrouillage du harnais. Ces éléments métalliques se déplacent vis-à-vis de la banquette latérale droite lors des déplacements du siège le long de l'axe de son dossier. L'amplitude de réglage du siège est de 11 cm.

En position normale usuelle de pilotage, le pilote de l'évènement règle son siège à 3 cm de la butée haute et 8 cm de la butée basse. En position haute, les éléments métalliques de séparation manuelle du siège se retrouvent à la hauteur du haut de la banquette droite tandis que le tube du système de verrouillage du harnais est 1,5 cm en-dessous.

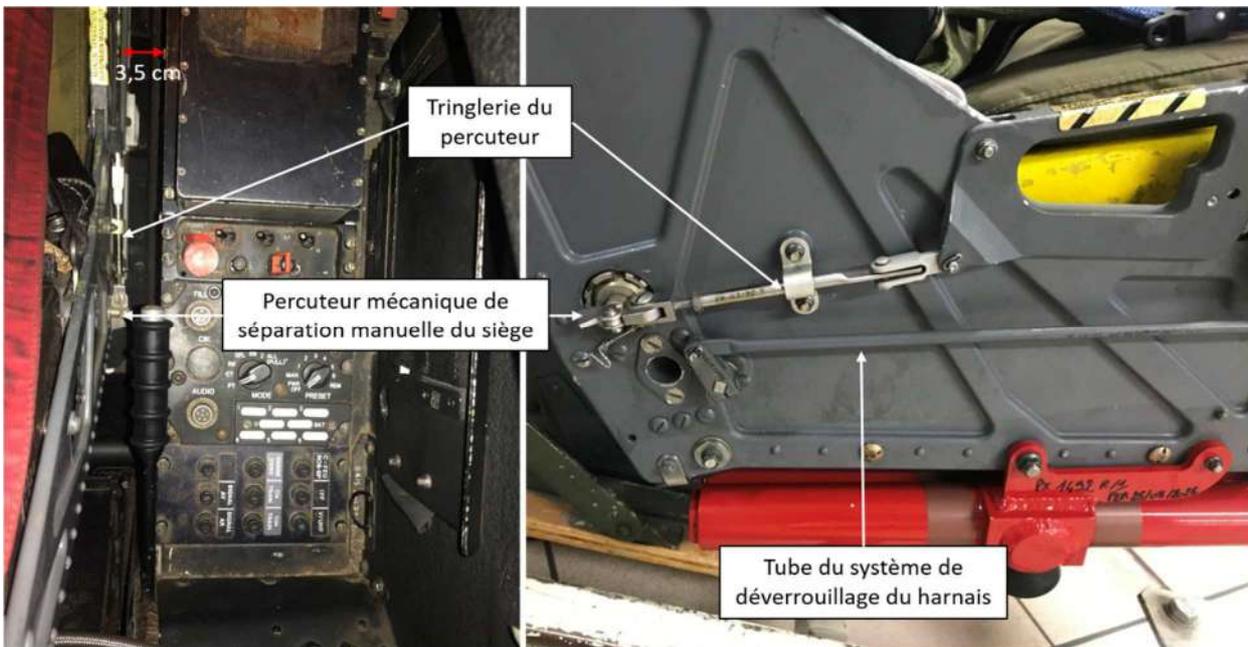


Figure 11 : environnement de l'espace entre le siège et la banquette droite

Pour garantir leur sécurité en vol et lors de l'éjection, le harnachement correct du pilote et du NOSA est vérifié par un mécanicien au sol avant le départ de l'avion. À l'exception de la réalisation d'une miction en vol, qui peut nécessiter de déverrouiller le harnais dans certains cas, le pilote et le NOSA restent toujours harnachés au cours du vol. Le harnachement correct suppose les étapes suivantes :

- passage des sangles inguinales dans les anneaux de passage des sangles latérales ;
- passage des sangles d'épaule dans les sangles inguinales ;
- verrouillage des sangles d'épaule dans la boucle de verrouillage du harnais ;
- passage des mous de sangles latérales sous les cuisses.



Figure 12 : harnachement correct

1.18.5. Matériel présent sur la banquette droite au moment de la miction en vol

Au moment de la miction du pilote en vol, environ trente minutes avant l'extinction du moteur, le sac personnel du pilote et une paire de jumelles se trouvent sur la banquette droite.

Ce sac comporte une poche principale et une poche avant ainsi qu'une sangle de portage attachée à l'origine par deux anses situées sur les extrémités hautes du sac. Cette sangle de portage d'une trentaine de centimètres n'est plus attachée qu'à l'anse située du côté de la gourde. De plus, le sac du pilote est vraisemblablement usé et peut comporter des déchirures ou des trous dans son tissu, comme constaté sur d'autres sacs de la même marque utilisés par d'autres équipages sur des durées comparables.



Figure 13 : présentation d'un sac similaire à celui emporté par le pilote

Initialement, le sac du pilote est posé verticalement sur l'arrière de la banquette latérale droite contre le sélecteur de séquence d'éjection. La gourde est vers l'avant pour permettre au pilote de s'en saisir pendant le vol. Au moment de la miction du pilote, il est très probable que la gourde ne soit plus dans le sac, mais positionnée sur le côté droit de la casquette supérieure de la planche de bord après utilisation. Positionné verticalement, le sac empêche l'accès au sélecteur de séquence d'éjection. Seule sa bascule en position couchée permet cet accès. La paire de jumelle est posée sur la surface plane offerte par la banquette droite. Elle ne comporte aucune sangle ou élément susceptible de s'accrocher à un interrupteur.

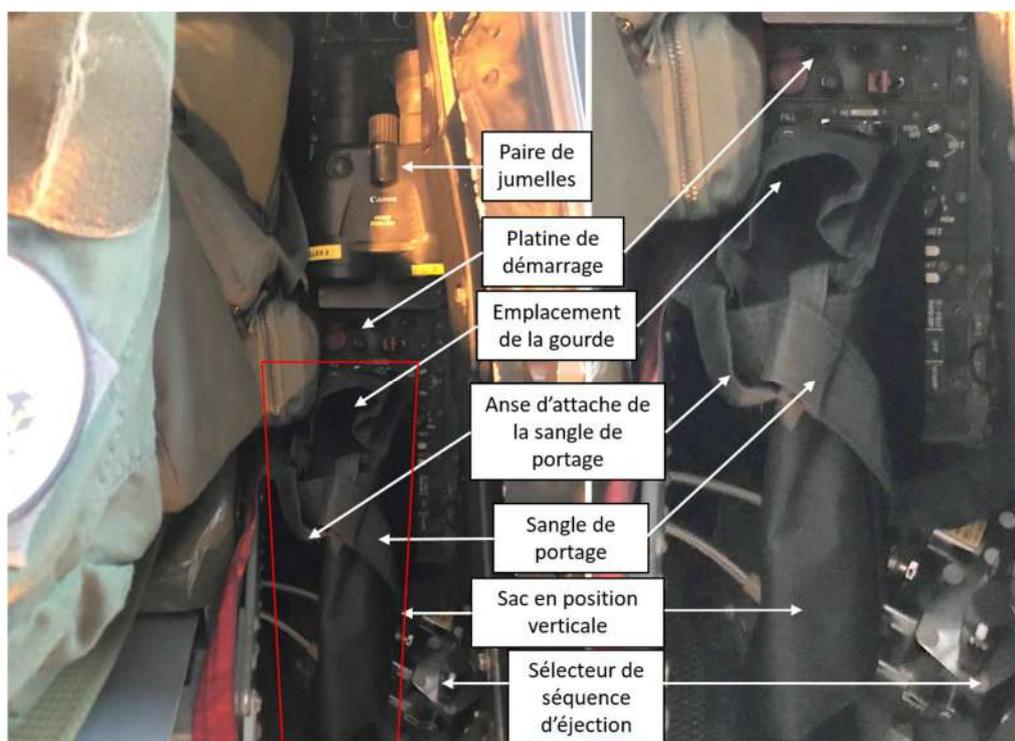


Figure 14 : disposition du matériel sur la banquette droite

2. ANALYSE

2.1. Expertises techniques

2.1.1. Expertises des paramètres moteurs

Les expertises des différents paramètres moteurs issus de l'ESPAR montrent que le moteur a fonctionné nominalement pendant le vol, jusqu'au moment de son extinction. Concernant cette dernière, alors que les paramètres moteurs sont stables, on note :

- au temps T0, 3h51 minutes et 30 secondes après le décollage, une brutale réduction du débit carburant suivi d'un allumage du voyant d'alarme rouge « BP » puis d'un arrêt complet du débit carburant ;
- à T0+1 seconde, une chute de la température tuyère ;
- à T0+3,5 secondes, une ouverture de la tuyère ;
- à T0+5,8 secondes, une chute du régime moteur accompagné d'une nouvelle baisse de la température tuyère, témoignant d'un manque de carburant dans la chambre de combustion ;
- à T0+11,5 secondes, un sursaut bref de la température tuyère et du régime moteur correspondant à l'activation du système anti-dévissage du moteur vidangeant la tuyauterie d'arrivée de carburant ;
- par la suite, un débit de carburant nul, une température tuyère et un régime moteur témoignant d'un moteur éteint et libre en rotation.

Cette séquence des paramètres du moteur est caractéristique d'une extinction moteur résultant d'un débit de carburant nul. Elle est cohérente avec une extinction du moteur suite à la fermeture du RCF.

L'évolution des paramètres moteur est cohérente avec une extinction du moteur par fermeture du RCF, 3h51 minutes et 30 secondes après le décollage du M2000D de Niamey.

2.1.2. Essais de rupture de l'interrupteur du RCF

2.1.2.1. Séquence de rupture

Des essais de rupture de l'interrupteur du RCF ont été réalisés, par traction d'une sangle en tissu de largeur similaire aux anses de la sangle de portage du sac du pilote, exercée à l'aide d'un vérin. Ces essais démontrent la nécessité d'exercer la traction sur l'interrupteur via la sangle selon un axe formant un angle avec le plan de la platine de démarrage afin d'aboutir à la rupture de l'interrupteur après la fermeture du RCF.

En effet, dans le cas d'un premier essai de traction exercée parallèlement au plan de la platine de démarrage, le levier de l'interrupteur rompt au passage des surfaces bloquantes du dôme de l'interrupteur, empêchant le basculement de l'interrupteur en position « RCF fermé ».

Dans le cadre du second essai de traction avec un angle de 28 degrés par rapport au plan de la platine de démarrage, la séquence de rupture suivante est observée :

- augmentation progressive de l'effort exercé par la sangle sur l'interrupteur simultanément avec une traction vers le haut de la tête du levier de l'interrupteur permettant le passage des surfaces bloquantes du dôme et le basculement en position « RCF fermé » ;
- augmentation de l'effort exercé par la sangle sur la tête du levier de l'interrupteur, en position haute, jusqu'à la rupture de l'axe de ce dernier au niveau de sa section la plus petite située à 1 mm sous la surface du dôme de l'interrupteur.

L'effort nécessaire à la rupture est de 507 Newton avec une course du vérin de 36 mm à partir de la mise sous tension de la sangle.

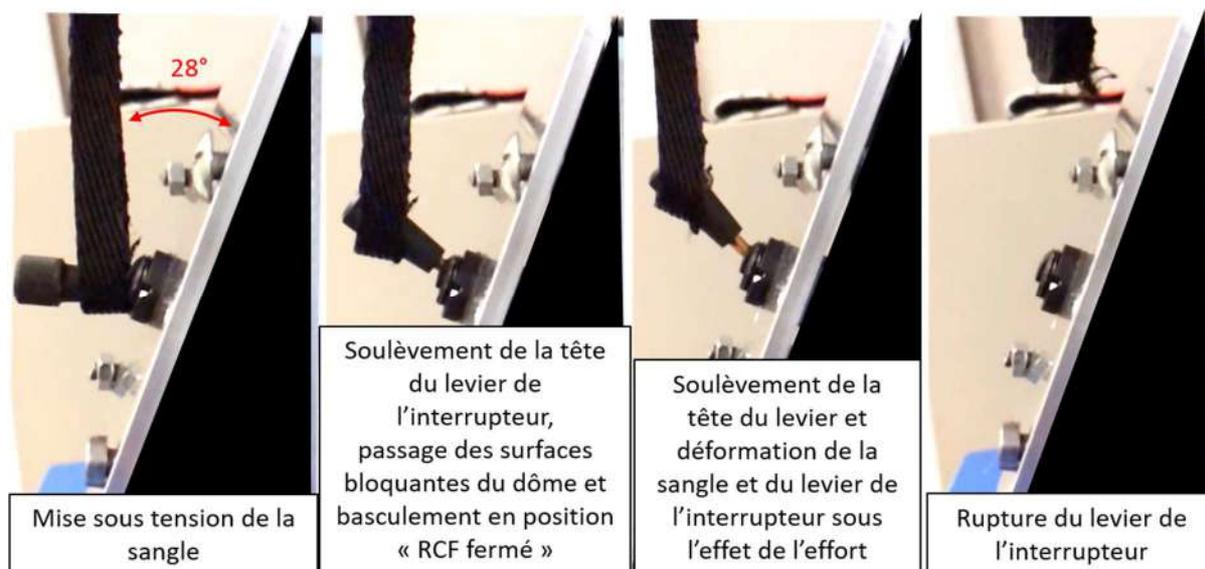


Figure 15 : séquence de rupture du levier de l'interrupteur du RCF

La fermeture du RCF et la rupture du levier de son interrupteur se produisent sous l'effet de la traction d'une sangle similaire à l'anse du sac du pilote, si l'effort est exercé selon un axe formant un angle avec le plan de la platine de démarrage. L'effort nécessaire est de 507 Newton avec un déplacement de 36 mm.

2.1.2.2. Position du levier de l'interrupteur rompu

Lors des tests, le levier de l'interrupteur rompt toujours au niveau de sa section la plus faible, 1 mm sous la surface du dôme de l'interrupteur. Son faciès de rupture montre une déformation dans le sens de l'effort. Il est en contact parfait avec la surface interne du dôme, ne laissant apparaître aucun espace visible entre les deux, empêchant l'utilisation d'un objet suffisamment rigide, tel que la pointe d'un couteau de vol, pour le faire basculer en position « à droite ».

De ce fait, il était impossible de repositionner le levier dans sa position « à droite » à la main ou à l'aide de tout autre objet à disposition du pilote en cabine.

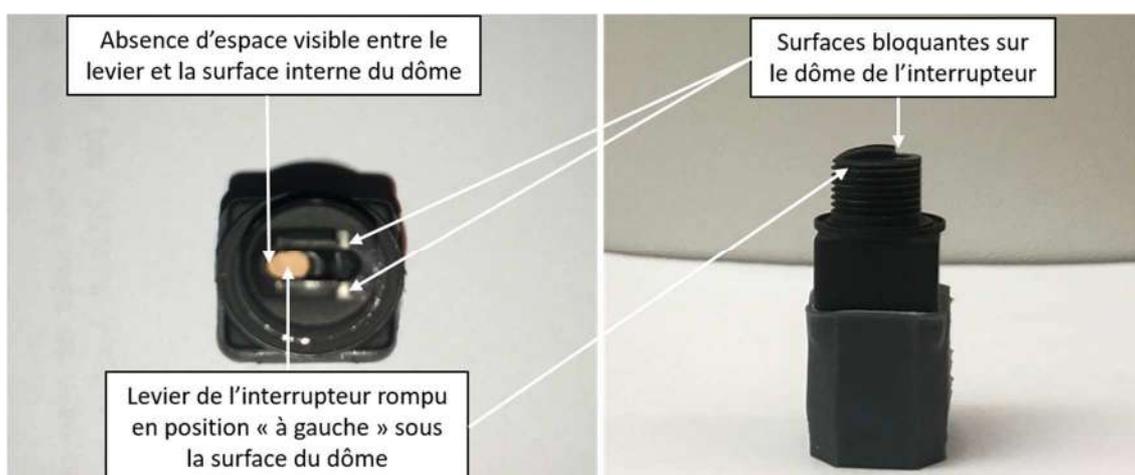


Figure 16 : position du levier de l'interrupteur rompu

Après rupture, le levier de l'interrupteur déformé se trouve à 1 mm sous la surface du dôme de l'interrupteur et en contact parfait avec sa surface interne. De ce fait, il était impossible de rebasculer le levier de l'interrupteur en position « à droite » en vol.

2.1.3. Effort mécanique produit par le vérin de réglage du siège

L'effort que peut développer le vérin électrique de réglage du siège, actionné par le pilote juste avant l'allumage du voyant rouge « BP », est de 7 000 à 8 000 Newton. Cet effort est plus de dix fois supérieur à l'effort de 507 Newton nécessaire pour rompre le levier de l'interrupteur. Par ailleurs, le siège s'est déplacé d'environ 80 mm vers le bas, lors du réglage de celui-ci par le pilote en position basse. Cette course est plus de deux fois supérieure à celle de 36 mm nécessaire à la rupture du levier de l'interrupteur.

Le déplacement du siège précédant l'allumage du voyant rouge « BP » est donc suffisant pour occasionner la rupture de l'interrupteur du RCF, à condition qu'un lien mécanique suffisamment rigide existe entre le siège et l'interrupteur. Le vérin de réglage du siège est par ailleurs le seul élément présent dans le cockpit produisant un effort mécanique suffisant pour rompre le levier de l'interrupteur du RCF.

Le déplacement du siège précédant l'allumage du voyant rouge « BP » produit un effort mécanique suffisant pour rompre le levier de l'interrupteur du RCF. Seul un lien physique suffisamment rigide entre le siège et le levier de l'interrupteur peut provoquer sa rupture.

2.2. Séquence des actions du pilote en amont de l'allumage du voyant rouge « BP »

Environ trente minutes avant l'allumage du voyant rouge « BP », le pilote réalise une procédure de miction en vol. Les actions qu'il enchaîne au cours de celle-ci sont les suivantes :

- il passe le sélecteur de séquence d'éjection sur « solo » avec son bras droit ;
- il met en place le dispositif mécanique de sécurisation de la poignée d'éjection de son siège ;
- il remonte le siège en position la plus haute (environ 3 cm) ;
- il ramène les palonniers vers l'arrière ;
- il détache son harnais, laissant reposer les sangles latérales sur les banquettes ;
- après avoir sorti la pochette prévue à cet effet et uriné dedans, il la place dans le rangement à carte sur le côté droit de la cabine ;
- il rattache son harnais ;
- il enlève le dispositif mécanique de sécurisation de la poignée d'éjection de son siège ;
- il repositionne le sélecteur de séquence d'éjection sur « biplace » ;
- il baisse son siège (environ 3 cm) et repositionne les palonniers.

À 10h01, alors que la patrouille se prépare à ravitailler, le pilote du M2000D baisse son siège (environ 8 cm). Immédiatement après, le voyant rouge « BP » s'allume.

2.3. Recherche des causes de l'évènement

2.3.1. Établissement d'un lien physique entre le siège et l'interrupteur du RCF

Plusieurs hypothèses ont été testées afin d'établir la nature du lien physique entre le siège et l'interrupteur du RCF.

2.3.1.1. Sangle latérale droite du harnais

En supposant que le pilote n'a pas rattaché la sangle latérale droite de son harnais, celle-ci peut avoir reposé librement sur la banquette droite et être entrée en interaction avec l'interrupteur du RCF. Ce cas comporte deux possibilités :

- le pilote n'a pas non plus rattaché sa sangle inguinale droite à la sangle d'épaule droite, elle-même accrochée à la boucle de verrouillage du harnais. Dans ce cas, sa cuisse droite aurait été totalement en dehors du harnais après cette erreur ;
- la seconde impliquerait que le pilote n'a attaché que la sangle inguinale droite au harnais, via la sangle d'épaule droite.

Dans ces deux cas, le pilote n'aurait pas pu être maintenu correctement dans son harnais au cours de la séquence d'éjection puis lors de la phase sous voile et l'aurait forcément ressenti, à supposer qu'il ne sorte pas de son harnais avant d'arriver au sol.

La sangle latérale droite n'a donc pas pu servir de lien rigide entre le siège et l'interrupteur du RCF.

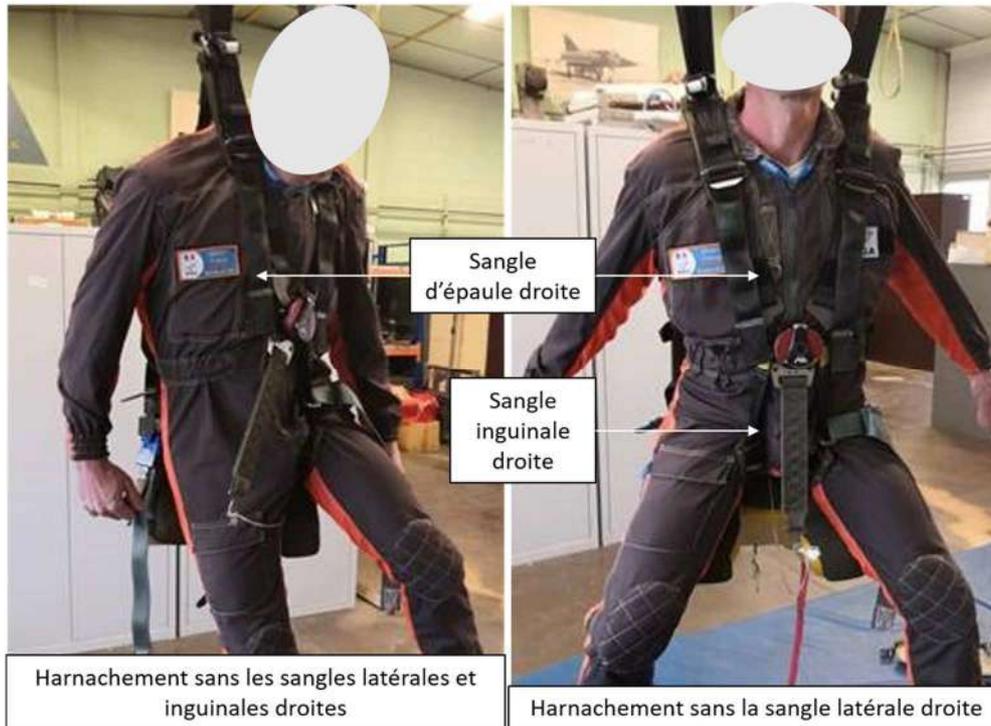


Figure 17 : positions sous voile après harnachements incorrects

Par ailleurs, il est possible que le mou de la sangle latérale droite du harnais ait traîné sur la banquette droite, au lieu d'être coincé sous la cuisse droite du pilote, après que le pilote ait rattaché son harnais à l'issue de sa miction. Ce mou aurait pu accrocher l'inverseur du RCF soit par le biais d'un trou dans son tissu, soit en passant autour et en revenant se coincer au niveau du siège.

Les essais fait en cabine montrent que le mou de la sangle latérale droite, une fois le pilote à nouveau harnaché, n'est pas suffisamment long pour aller jusqu'à l'inverseur du RCF, passer derrière celui-ci puis revenir jusqu'au siège. Par ailleurs, l'inspection des sangles des harnais des sièges de M2000D a mis en évidence qu'elles ne présentent pas d'usure ou de trou susceptibles d'accrocher l'inverseur du RCF.



Figure 18 : interaction entre le mou de la sangle latérale droite et l'inverseur RCF

La sangle latérale droite ou son mou n'ont pas pu servir de lien physique entre le siège et l'interrupteur du RCF.

2.3.1.2. Sac du pilote

2.3.1.2.1. Accrochage du sac du pilote à l'inverseur du RCF

Au cours de la réalisation de la procédure de miction en vol par le pilote ou avant, le pilote bascule son sac en position couchée sur sa tranche, du côté de l'emplacement de la gourde, pour passer le sélecteur de séquence d'éjection sur « solo » avant de détacher son harnais. Dans cette position, l'anse du sac se retrouve exactement au niveau de l'inverseur du RCF. Il est ainsi probable que cette anse du sac se soit accrochée à l'inverseur du RCF, entre le début de la procédure de miction en vol et l'extinction du moteur, rendant le sac physiquement solidaire de l'inverseur du RCF.

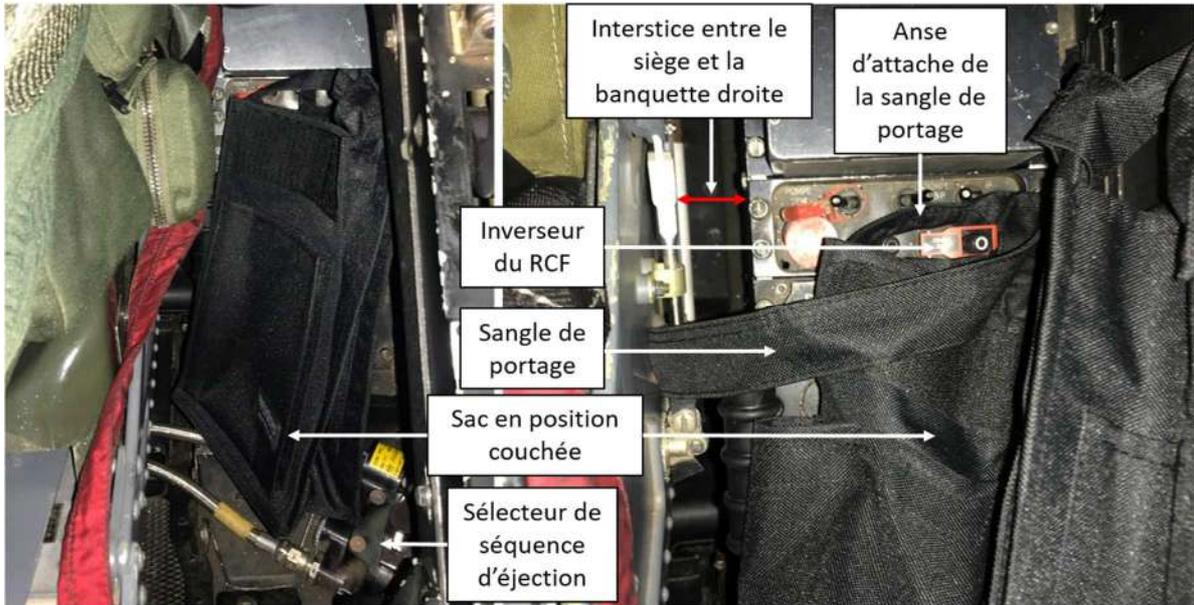


Figure 19 : accrochage de l'inverseur par l'anse du sac du pilote

Il est très probable que le sac personnel du pilote se soit accroché à l'inverseur du RCF, par l'une des anses d'attache de sa sangle de portage, entre le début de la procédure de miction en vol et l'extinction du moteur.

2.3.1.2.2. Lien physique entre le sac et le siège

En couchant son sac pour positionner le sélecteur de séquence d'éjection sur « solo », la sangle de portage reliée à cette anse peut aisément se placer entre la banquette et le siège. Le pilote remonte son siège en butée haute, ce qui peut favoriser l'interaction entre la sangle de portage du sac et les éléments métalliques de tringlerie du siège. Après la miction et le verrouillage de son harnais, le pilote modifie certainement la position de son sac en repositionnant le sélecteur de séquence d'éjection sur « biplace » et redescend son siège. Cela peut favoriser la mise en place de ce lien entre le sac et le siège, voire provoquer un début de mise en tension du sac entre le siège et l'inverseur du RCF, l'anse du sac enserrant l'inverseur du RCF. Une vingtaine de minutes plus tard, ce lien rigide, entraîné par le mouvement du siège vers le bas, peut alors provoquer la rupture du levier de son interrupteur en position « RCF fermé » constatée par le pilote.



Figure 20 : accrochage du siège par la sangle de portage du sac

Le corps du sac pourrait également s'être accroché au siège au cours des différentes manœuvres de siège associées à la procédure de miction en vol et des interactions du pilote avec le sac au cours de celle-ci. En effet, il a pu s'accrocher aux divers éléments de tringlerie métalliques du siège présents sur la tranche de sa base, notamment au percuteur mécanique de séparation manuelle du siège, au travers de ses différentes poches ou de déchirures dans son tissu. Ce scénario permet d'envisager le déplacement du corps du sac avec le siège au moment de son mouvement vers le bas précédant l'extinction du moteur, entraînant la fermeture du RCF et la rupture de son interrupteur accroché au préalable par une anse du sac.

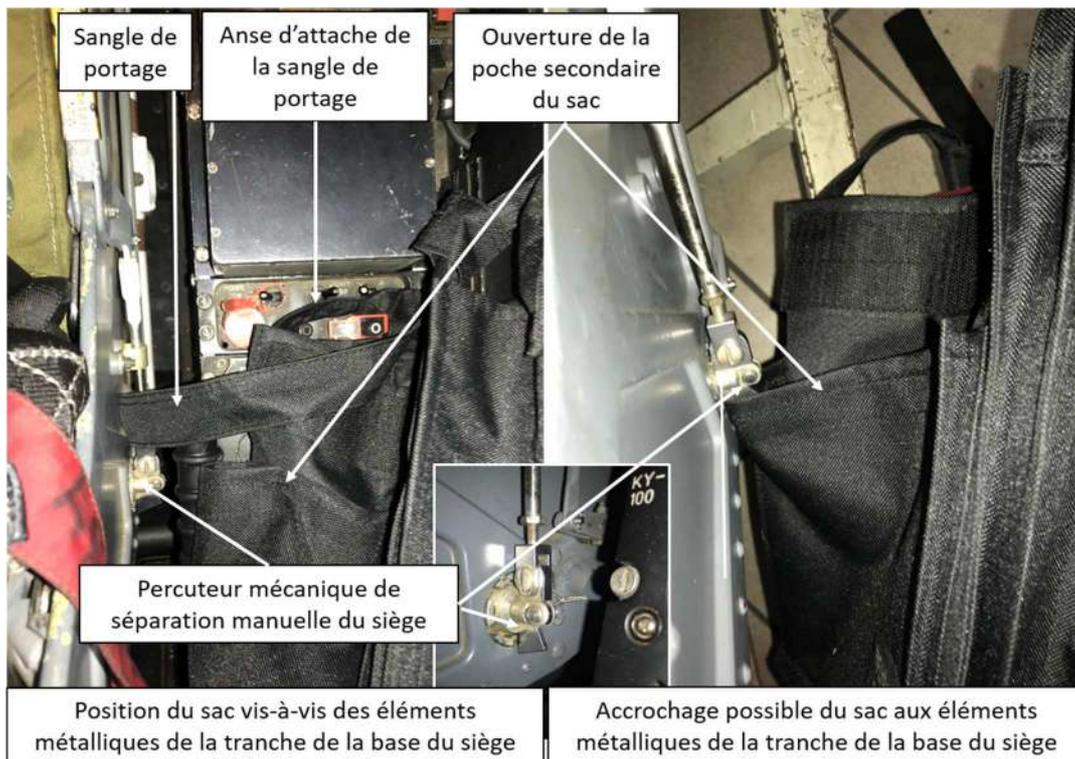


Figure 21 : accrochage du siège par le corps du sac

Le sac du pilote peut s'être accroché à la tranche de la base du siège, au travers de sa sangle de portage ou de son corps. Accroché au préalable à l'interrupteur du RCF par l'une de ses anses, il a ainsi pu servir de lien physique rigide entre l'interrupteur du RCF et le siège.

2.3.2. Emport d'un sac personnel en cabine

2.3.2.1. Cabine étroite inadaptée aux besoins de rangement

Le M2000 est un avion conçu à la fin des années 1970 pour réaliser des missions de défense aérienne du territoire de courte durée et au-dessus du territoire national. Il n'a donc pas été conçu pour les missions qu'il réalise aujourd'hui. Ces missions sont longues et ont lieu dans un environnement beaucoup plus contraignant pour l'organisme humain. Elles nécessitent d'emporter de quoi s'alimenter et s'hydrater, et de pouvoir uriner si nécessaire grâce à d'autres matériels. De plus, ces missions ont évolué vers de l'appui aux forces au sol. Malgré l'évolution de l'aéronef (avionique) et de ses optionnels, elles nécessitent l'emport de matériel permettant l'amélioration des conditions de vol (jumelles de vision nocturne), l'observation et la captation d'images (jumelles gyro stabilisées et appareil photographique) ainsi que la gestion aisée de l'environnement tactique beaucoup plus complexe (OCAD).

Pour autant, aucun espace de rangement supplémentaire n'a été créé dans une cabine étroite qui n'en contient pas suffisamment pour permettre l'emport de ce matériel en toute sécurité.

Ainsi, l'emport nécessaire de matériel supplémentaire à bord complexifie le rangement de la cabine avec un risque significatif d'interactions accidentelles avec les interfaces de contrôle du vol et des systèmes de l'avion.

La multiplication des objets en lien avec l'évolution des missions, embarqués dans une cabine étroite ne disposant pas d'assez d'espaces de rangement, augmente le risque d'interactions non souhaitées avec les interfaces qui y sont présentes.

2.3.2.2. Normalisation d'une situation à risque

2.3.2.2.1. Tolérance vis-à-vis de l'emport de sacs personnels

Les équipages se sont adaptés pour faire face à l'évolution des missions et au manque d'espaces de rangement en cabine.

L'emport et l'utilisation d'un sac personnel en vol par certains membres d'équipage, bien que non explicitement autorisé par le répertoire d'emploi de l'aviation de chasse, répond à ce besoin d'adaptation. Cette solution permet de disposer d'un espace de rangement fermé et facile d'accès, dédié notamment à des éléments petits ou fragiles susceptibles de s'abîmer ou de tomber en cabine à des endroits problématiques pour la sécurité du vol. Bien que présentant un risque d'interactions du sac avec certaines interfaces de la cabine, cette pratique est acceptée par l'organisation au niveau central comme au niveau des escadres.

Face au manque d'espaces de rangement en cabine, l'emport de sacs personnels est courant et toléré par l'organisation dans une optique opérationnelle et de sécurité.

2.3.2.2.2. Absence de standardisation des caractéristiques des sacs personnels

En l'absence d'une solution pour répondre aux contraintes d'emport de matériel et de rangement en cabine, chaque personnel a développé ses propres stratégies qui reposent pour certaines sur l'achat de matériel. Ce matériel étant personnel, il ne fait l'objet d'aucune standardisation et d'aucun suivi. Chacun peut ainsi emporter en cabine un sac plus ou moins usé et présentant des formes, des ouvertures, des anses, des sangles qui sont autant de risques d'interactions avec des interfaces de la cabine. Les déchirures et trous indissociables de l'usure de ces matériels créent un risque supplémentaire.

L'absence de standardisation des stratégies adoptées pour faire face au manque d'espaces de rangement aboutit ainsi à l'emport de sacs personnels susceptibles d'interagir défavorablement avec des interfaces de la cabine.

L'absence de standardisation des caractéristiques des sacs personnels emportés en cabine empêche de maîtriser les risques d'interactions de ceux-ci avec des interfaces sensibles de la cabine.

2.3.2.3. Sous-estimation du risque

Dans son animation de la maîtrise du risque d'interactions accidentelles d'objets emportés dans la cabine avec des interfaces de contrôles de systèmes de l'avion, l'AAE se concentre essentiellement sur la problématique des objets baladeurs indésirables à bord (OBIB). En effet, le retour d'expérience des unités est grand dans ce domaine, entraînant des incidents plus ou moins graves et des indisponibilités techniques des avions pendant les recherches des objets concernés, très préjudiciables à la sécurité des vols. La prise en compte de ce risque est finalement plus orientée sur le coût des indisponibilités entraînées par les OBIB que sur les interactions potentielles de ces derniers avec des systèmes de l'avion en vol. En effet, le premier risque se concrétise systématiquement lors d'un « incident OBIB » tandis que le second est extrêmement rare. Au final, les retours d'expérience d'interaction entre des objets emportés en cabine et les systèmes de l'avion étant quasiment inexistant, l'AAE n'initie que peu d'actions de prévention dans ce domaine. De plus, les équipages emportent un certain nombre d'objets en vol, dont des sacs personnels, sans rencontrer d'incident. Cette situation tend à justifier cette pratique et à induire chez eux une sous-estimation du risque d'interactions accidentelles avec les systèmes de l'avion généré par cette pratique.

Le risque d'interactions accidentelles entre un objet extérieur et l'interface de contrôle des systèmes de l'avion est sous-estimé par l'organisation et les équipages.

2.3.2.4. Réglementation relative aux objets embarqués en cabine

Il n'existe pas de directive formelle portant sur les matériels autorisés en cabine. Par conséquent, la réglementation de l'AAE permet l'emport de tous types de sacs en cabine, sans préciser toutefois les caractéristiques de ces sacs.

De plus, les directives portant sur le rangement des matériels en cabine ne concernent que les matériels de dotation (jumelles de vision nocturne et gyrostabilisées, appareil de prise de vues, OCAD...), utiles à l'exécution des missions. Un positionnement dans la cabine est recommandé ou demandé pour chacun de ces objets, issu des expérimentations préalables à la mise en service de ces équipements. Ces directives tiennent également compte du risque d'interaction de ces objets avec les interfaces sensibles de la cabine (poignées d'éjection, manche) et de celui de perdre certaines parties de ces objets à bord (OBIB), avec une vigilance particulière sur les sangles. Enfin le risque lié à l'éjection est également évoqué, notamment pour l'OCAD ou les jumelles de vision nocturne, qui devront être retirés avant l'éjection.

En revanche, le cas des matériels personnels n'est pas abordé dans cette réglementation. De plus, celle-ci n'insiste pas sur la vigilance à exercer sur les objets en cabine et à leur rangement avant des procédures impliquant des mouvements du pilote, du harnais ou du siège, qui génèrent pourtant des risques supplémentaires d'interactions non voulues.

La réglementation relative aux objets embarqués en cabine ne liste pas les matériels autorisés, n'aborde pas le cas des matériels personnels et n'insiste pas sur la vigilance à porter sur le rangement de ces matériels avant certaines procédures. Cela génère des risques d'interactions non voulues.

2.3.2.5. Capitalisation insuffisante du retour d'expérience

Le besoin d'espaces de rangement supplémentaires sur M2000 est très régulièrement évoqué par les équipages au travers des comptes rendus de fin de mission. Un compte rendu sur cinq aborde cette problématique. Malgré cela, aucune analyse des risques des stratégies palliatives mises en œuvre par les équipages n'a été réalisée par l'AAE. En outre, l'AAE n'a réalisé aucune étude sur les matériels personnels de stockage emportés à bord des cabines par les équipages, sur leurs caractéristiques acceptables, sur leur rangement et sur l'attention à y porter dans certaines phases du vol. Ainsi, l'AAE n'a pas profité de ce retour d'expérience pour organiser la prévention des risques soulevés par cette problématique au travers d'une évolution de sa réglementation et d'une communication préventive ciblée vers les équipages.

L'AAE a insuffisamment capitalisé le retour d'expérience des équipages portant sur le manque d'espaces de rangement en cabine. Cela l'a conduit à minimiser la prise en compte des risques induits par cette problématique.

2.3.3. Ergonomie de l'inverseur du RCF

L'inverseur du RCF est particulièrement protégé en comparaison des autres inverseurs du cockpit. Il est positionné sur la platine de démarrage à droite, qui forme un « puits » au milieu de la banquette droite. Suite à un accident passé, cet inverseur a fait l'objet d'une modification de conception. L'interrupteur est aujourd'hui protégé à la fois par un cache-interrupteur qu'il faut soulever pour l'actionner et par un mécanisme interne obligeant à tirer la tête de l'interrupteur avant de pouvoir le basculer en position fermée (vers la gauche). Il est donc très bien protégé des actions involontaires du pilote. Néanmoins, l'inverseur reste physiquement accessible directement, permettant des interactions non voulues. Cet accès direct est cependant nécessaire pour permettre une action suffisamment rapide du pilote sur celui-ci, notamment en cas de feu moteur au sol. C'est pourquoi il serait préjudiciable de vouloir isoler physiquement davantage la platine de démarrage du reste de la cabine.

L'ergonomie de l'inverseur du RCF le protège d'actions involontaires du pilote tout en permettant un accès rapide à celui-ci en cas d'urgence. Elle a néanmoins permis son accrochage par une sangle, première étape vers la survenue de l'accident.

2.3.4. Changement de position relative du sac non perçu par le pilote

2.3.4.1. Interactions du pilote avec le sac

Au cours du vol de l'évènement, il est probable que le pilote a récupéré des aliments et/ou sa gourde dans son sac. De plus, il est certain qu'il a accédé avec son bras droit au sélecteur de séquence d'éjection à deux reprises pendant sa procédure de miction en vol. Pour ce faire, le pilote a dû bouger son sac, sans vigilance exercée sur son déplacement vis-à-vis des éléments de la cabine. Cela a conduit au basculement du sac en position horizontale. Dans cette nouvelle position, l'une de ses anses d'attache de sangle de portage s'est trouvée en position d'enserrer l'inverseur du RCF tandis que la sangle de portage de 30 cm traînait entre la banquette et le siège. Ces interactions du pilote avec son sac ont également permis le contact et l'accrochage du sac avec le siège via son corps ou sa sangle de portage. Le changement de positionnement du sac du pilote vis-à-vis des éléments critiques de la cabine a aussi été rendu possible par sa liberté de déplacement.

Les interactions du pilote avec son sac et la liberté de déplacement de celui-ci sont à l'origine de son positionnement critique non voulu vis-à-vis de l'inverseur du RCF et du siège.

2.3.4.2. Mouvements du siège

Les mouvements du siège initiés par le pilote contribuent également au changement de position critique non perçu du sac vis-à-vis des éléments de la cabine susceptibles de l'accrocher, puis à son accrochage à ces mêmes éléments. Le premier mouvement de siège vers le haut avant la miction vient rapprocher les éléments métalliques de son système de séparation manuelle du corps du sac et favoriser les interactions possibles avec sa sangle de portage. L'abaissement du siège vers son réglage usuel après la miction permet probablement l'accrochage du sac aux éléments métalliques du siège, voire sa mise en tension.

Au final, les mouvements du siège associés à la procédure de miction en vol contribuent au positionnement critique du sac vis-à-vis des éléments métalliques du siège, à son accrochage à ces mêmes éléments et à sa mise sous tension.

Les mouvements du siège concourent au positionnement critique du sac vis-à-vis des éléments métalliques du siège et à son accrochage à ces mêmes éléments.

2.3.4.3. Déficit de conscience du risque d'interactions du sac avec des éléments critiques de la cabine

Lors du vol de l'évènement, le pilote n'a pas suffisamment conscience du risque que représente l'emport de son sac personnel en cabine pour la sécurité du vol. Il ne réalise pas que les caractéristiques de ce sac génèrent un risque d'interactions non voulues de celui-ci avec des interfaces de contrôle de l'avion et d'autres éléments présents en cabine. Il n'imagine pas non plus que les différents mouvements de réglage de son siège, associés aux éléments métalliques présents sur son côté droit, peuvent favoriser la concrétisation de ce risque.

En effet, le pilote a déjà réalisé un nombre important de vols avec ce sac positionné à l'arrière de la banquette latérale droite sans jamais être confronté à un incident de nature à faire évoluer sa pratique. De plus, le retour d'expérience de sécurité aérienne dont il a connaissance ne relève aucun risque particulier associé à cette pratique. Enfin, il n'a pas connaissance de directives permanentes ou spécifiques interdisant une telle pratique ou pointant des risques particuliers générés par celle-ci. Ainsi, il n'exerce aucune vigilance particulière sur le positionnement de son sac au cours du vol, notamment lors de la réalisation de sa miction ou de ses mouvements de siège. Il n'est donc pas en mesure de prévenir les interactions potentielles que celui-ci pourrait avoir avec des éléments de la cabine.

Le déficit de conscience du risque d'interactions non voulues de son sac avec les éléments de la cabine prive le pilote de l'exercice d'une vigilance particulière sur son changement de position au cours du vol, notamment lors de ses interactions avec celui-ci.

2.3.5. Procédure de miction

2.3.5.1. Facteur d'établissement du sac en lien rigide entre l'interrupteur et le siège

La procédure de miction dans une pochette « Ulmer » nécessite d'enlever le harnais et donc de sécuriser le siège et d'accéder au sélecteur de séquence d'éjection à deux reprises. Elle nécessite également des mouvements de siège qui déplacent les éléments métalliques présents sur sa base, en les rendant plus accessibles à tout objet susceptible de les accrocher.

Elle contribue ainsi à la survenue de l'évènement, en favorisant le déplacement du sac dans une position critique et à son accrochage à l'inverseur du RCF et au siège.

La procédure de miction en vol réalisée est un facteur contributif de l'évènement.

2.3.5.2. Procédure informelle n'intégrant pas certains risques

Il n'existe pas de procédure officielle à disposition des équipages associée à la réalisation d'une miction en vol à l'aide d'une pochette de type « Ulmer ». Néanmoins, les pilotes semblent tous réaliser les mêmes actions dans le même ordre. Pour autant, des différences peuvent exister du fait des facteurs morphologiques et psychologiques. En outre, certains militaires sont obligés de retirer leur harnais, tandis que d'autres le

desserrent. De même, certains déplacent leur siège pour adopter une position plus propice à la miction tandis que d'autres n'y touchent pas.

Par ailleurs, la procédure de miction en vol avec la pochette « Ulmer » n'a pas fait l'objet d'une étude de risques complète. Si les risques associés à l'éjection intempestive du personnel réalisant la miction et de l'autre membre d'équipage, dans le cas d'un avion biplace, sont pris en compte par la sécurisation du siège et le positionnement du sélecteur de séquence d'éjection sur « solo », les risques d'interactions supplémentaires d'objets présents dans la cabine avec des interfaces de contrôle de l'avion ne le sont pas suffisamment. Les mouvements du pilote pour atteindre le sélecteur de séquence d'éjection, la sécurité basse du siège ou la pochette peuvent notamment engendrer des déplacements d'autres objets. Le déverrouillage du harnais et les mouvements de siège génèrent également des risques d'interactions entre objets et interfaces de contrôle en cabine.

La procédure informelle de miction en vol dans une pochette de type « Ulmer » ne prend pas en compte les risques générés par les interactions potentielles d'objets présents en cabine avec les interfaces de contrôle de l'avion.

2.3.5.3. Choix personnel du matériel utilisé pour la miction

Les vols nécessitant la réalisation de mictions en vol sont fréquents, notamment en opérations extérieures. Au sein des détachements associés, les équipages ont à disposition différents types de matériels dédiés à cette pratique : couches absorbantes, dispositifs avec étui pénien et pochettes de type « Ulmer ». Chacun de ces équipements génère des risques plus ou moins importants pour la sécurité du vol. Les couches ne nécessitent aucun déverrouillage du harnais, aucun mouvement de siège, aucune sécurisation du siège ni aucun accès au sélecteur de séquence d'éjection. Les dispositifs à étui pénien nécessitent uniquement de passer en séquence d'éjection « solo » dans le cas d'avions biplaces tandis que les pochettes de type « Ulmer » nécessitent l'ensemble de ces actions et génèrent le plus grand risque. Par ailleurs, chacun de ces équipements génère un niveau de contrainte matérielle plus ou moins élevé : la couche absorbante est très simple d'installation, la pochette « Ulmer » ne nécessite pas de matériel supplémentaire mais suppose un espace de stockage en cabine tandis que le dispositif à étui pénien prend un certain temps de préparation avant le vol. Enfin, chacun de ces dispositifs génère des barrières psychologiques plus ou moins difficiles à dépasser et variables d'un individu à l'autre. Pour ces raisons, la décision revient à chacun de choisir le dispositif matériel qui lui convient le mieux. Il semble que la majorité des membres d'équipage opte pour la pochette de type « Ulmer », qui ne nécessite pas de préparation matérielle au sol et comporte moins de barrières psychologiques, alors qu'elle présente les risques les plus importants.

Par la procédure de mise en œuvre qu'il nécessite, le choix de ce matériel par le pilote de l'évènement a contribué à la survenue de l'évènement.

Le choix du pilote d'utiliser la pochette de type « Ulmer » a contribué à la survenue de l'évènement. Néanmoins, il est difficilement envisageable d'imposer un matériel aux équipages au vu du caractère individuel et psychologique des éléments dont ce choix relève.

2.3.5.4. Déficit de formation des équipages

Le centre d'expertise aérienne militaire de l'AAE a testé, au cours des 10 dernières années, différentes solutions matérielles de miction en vol. Les rapports d'expertise associés recommandent tous de réaliser au moins une fois au sol la procédure avant de la réaliser en vol afin que le personnel s'habitue à cet exercice et trouve les moyens de s'affranchir des éventuelles barrières psychologiques initiales.

En pratique, la formation repose le plus souvent sur des discussions entre membres d'équipages anciens et jeunes à l'escadron et sur un vol long obligatoire avant toute première projection en opération extérieure. Celui-ci fournit l'occasion d'évoquer ce sujet avec le jeune membre d'équipage au briefing et doit lui permettre de tester la miction en vol s'il le souhaite et si c'est possible. Malheureusement, la densité des missions et les exigences de sécurité liées au survol du territoire métropolitain rendent assez rares les possibilités de concrétiser cette action de formation avant le départ.

Ce déficit de formation induit deux comportements générateurs de risques et fréquemment constatés :

- l'évitement de la miction générant un risque d'altération des capacités physiques (retenue excessive et/ou déshydratation) ;
- l'utilisation de la procédure la plus accessible (pochette « Ulmer ») qui comporte également plus de risques.

Le déficit de formation en matière de miction en vol ne permet pas d'atteindre le meilleur niveau d'atténuation des risques associés au besoin physiologique d'uriner au cours de vols longs.

2.4. Gestion de l'évènement

2.4.1. Focalisation d'attention du pilote

Surpris par l'allumage du voyant rouge « BP », le pilote contrôle la position des interrupteurs de la platine de démarrage, conformément à la procédure, et constate que l'interrupteur du RCF est cassé à sa base et en position « RCF fermé ». À partir de cet instant, le pilote se focalise uniquement sur cet interrupteur cassé et tente, à plusieurs reprises et en vain, de l'actionner vers la droite. Le pilote n'est alors plus en mesure d'anticiper les actions à conduire pour apporter la meilleure réponse à la situation rencontrée et se comporte en simple exécutant. Il tente un redémarrage sur demande du NOSA, puis largue les charges sur demande de son équipier. C'est le NOSA qui, constatant que le moteur ne redémarre pas, parvient à mobiliser l'attention du pilote en lui annonçant qu'il faut s'éjecter. Le pilote oriente alors l'avion dans une direction favorable et annonce un « mayday ». Néanmoins, contrairement au NOSA, sa préparation à l'éjection n'est pas exhaustive, puisqu'il s'éjecte sans abaisser ses visières de casque et en conservant son OCAD sur sa cuisse gauche.

La focalisation des ressources cognitives du pilote sur l'interrupteur du RCF cassé en position « RCF fermé » a restreint ses capacités cognitives. Dès lors, il n'était plus en mesure d'anticiper les actions à venir.

2.4.2. Facteurs pénalisant la performance

2.4.2.1. Mission routinière

L'équipage est sur le théâtre depuis plusieurs semaines et vole toujours en équipage constitué. Affecté au même escadron en métropole, c'est aussi leur deuxième détachement commun. Des habitudes de travail se sont donc développées au sein de cet équipage. Le pilote et le NOSA bénéficient d'un niveau élevé de confiance mutuelle. Cela peut avoir généré un sentiment de sécurité ayant conduit à diminuer la perception du risque d'un vol en opération extérieure. De plus, le type de mission effectué ce matin-là est jugé simple par les équipages. La répétition de ces missions conduit à un sentiment de routine et à une diminution du risque perçu.

En conséquence, lorsque la panne survient, l'équipage mobilise peu de ressources attentionnelles. Il est alors surpris, en particulier le pilote qui fait face à une situation qu'il n'aurait pas pu imaginer tant elle est improbable. Le stress ressenti est extrême. Ainsi, le pilote est dans l'incapacité totale d'orienter ses ressources cognitives sur un autre sujet que l'interrupteur cassé.

La surprise d'une panne soudaine et inimaginable dans un contexte routinier et de sécurité apparente a généré un stress très important chez le pilote. Ce stress intense a contribué à sa focalisation d'attention sur l'interrupteur du RCF.

2.4.2.2. Fatigue de l'équipage

L'équipage est en fin de mandat sur place, après plusieurs semaines de présence sur le théâtre. Il a réalisé beaucoup d'heures de vol pendant ce détachement, au-delà des normes autorisées habituellement. Ces dépassements ont été autorisés par le médecin de la BAP, dans le cadre d'une procédure prévue. Le 18 juillet, ce dernier a vu l'équipage en consultation pour leur autoriser la réalisation de 15 heures de vol de plus que la norme habituelle pour le mois. Par ailleurs, compte tenu des horaires de préparation du vol, de coucher et de lever, les deux équipages participant à la mission de l'évènement ont très probablement dormi

moins de cinq heures la nuit précédant le vol. Enfin, l'évènement survient environ quatre heures après le décollage, juste avant le troisième ravitaillement alors qu'ils sont sur la fin de leur troisième phase de travail. Le rythme très dense des deux mois de détachement, le faible nombre d'heures de sommeil du pilote avant le vol et la durée importante de la mission sont à l'origine d'une fatigue certaine. Celle-ci peut alors avoir contribué à réduire les capacités cognitives du pilote lors de l'évènement.

Un certain niveau de fatigue du pilote, engendré par le contexte du vol, a favorisé une focalisation de son attention sur l'interrupteur du RCF cassé.

2.4.3. Travail en équipage et en patrouille

Lors de l'évènement, le pilote s'est très rapidement focalisé sur l'interrupteur cassé. Les interventions du NOSA et du pilote équipier ont été déterminantes dans la bonne gestion de la panne et de l'éjection réalisée dans des conditions optimales, à l'exception de l'oubli par le pilote de l'abaissement de sa visière et du retrait de son OCAD. Par ailleurs, le niveau d'expertise du pilote sur l'aéronef a également été un atout pour la réalisation des procédures. En effet, le largage des charges, la tentative de rallumage ou le pilotage de l'avion pour l'éjection ont tous été réalisés grâce à des automatismes compatibles avec ses faibles ressources cognitives.

Le travail en équipage et en patrouille a permis une gestion saine et à temps de la situation d'urgence, en dépit de la focalisation du pilote.

2.4.4. Largage incomplet des charges

L'avion portait quatre charges : deux RPL positionnés chacun sous une aile à leurs points d'emport habituels et deux bombes accrochées sous le fuselage de l'avion via un adaptateur.

Dans cette configuration avec adaptateur, l'appui sur le bouton de largage de détresse en cabine entraîne le largage immédiat des deux RPL. 180 millisecondes après, la bombe gauche accrochée à l'adaptateur est larguée si l'appui sur le bouton est toujours effectif. 360 millisecondes après, c'est-à-dire 540 millisecondes après le début de l'appui sur le bouton, la bombe droite est larguée si l'appui sur le bouton est toujours effectif. Au final, dans la configuration d'emport avec adaptateur, il faut maintenir le bouton enfoncé pendant au moins 180 millisecondes pour larguer trois des quatre charges et 540 millisecondes pour les larguer toutes.

Le largage réussi de trois des quatre charges le jour de l'accident est donc dû à un appui sur le bouton de largage de détresse pendant une durée comprise entre 180 millisecondes et 540 millisecondes. Le bon déroulement d'un tel largage, alors que l'avion est en vol plané, permet à l'équipage de disposer de temps supplémentaire pour gérer la situation, en rallongeant légèrement le temps de vol.

La documentation du constructeur, à la disposition des équipages, ne concerne que la configuration d'emport sans adaptateur pour les bombes. Celle-ci ne nécessite qu'un appui bref sur le bouton de largage pour larguer l'ensemble des charges emportées. De plus, bien que le largage en mode détresse soit présenté pour les différentes configurations d'emport possibles lors de la formation initiale des équipages, ceux-ci ne sont plus confrontés aux subtilités de ce largage dans la configuration d'emport avec adaptateur par la suite. En outre, le simulateur ne retranscrit pas fidèlement la séquence de largage réelle dans ce cas, l'appui sur le bouton déclencheur y entraînant toujours le largage de l'intégralité des charges quelle que soit la configuration d'emport choisie.

Un appui insuffisamment long sur le bouton de largage détresse n'a pas permis le largage de la bombe droite. Cette erreur a été favorisée par la documentation à disposition des équipages, un déficit de formation continue dans ce domaine et un manque de réalisme du simulateur.

2.4.5. Gestion de l'OCAD pour l'éjection

Les consignes permanentes de maîtrise du risque aérien demandent à ce que l'OCAD soit déposé sur la casquette côté gauche avant l'éjection. À défaut et en cas d'éjection avec l'OCAD encore sur la cuisse gauche, il est recommandé de le larguer avant l'atterrissage pour éviter des risques de blessures supplémentaires à l'atterrissage. Dans le cas présent, le pilote s'éjecte avec son OCAD toujours en place sur sa cuisse gauche et ne pense pas à le larguer sous voile avant son atterrissage.

Plusieurs facteurs ont pu favoriser cet oubli. Les équipages s'entraînent à la procédure d'éjection au simulateur. Ces entraînements sont réalisés dans des situations d'éjection d'urgence, donc non préparées, qui ne permettent pas une répétition de la procédure complète et une sortie de la check list. Par ailleurs, les membres d'équipage ne prennent jamais les OCAD lors de ces séances, ce qui empêche la mécanisation de ce geste avant l'éjection. De plus, la procédure d'éjection du manuel de vol ne prévoit pas d'enlever l'OCAD ou tout autre équipement matériel solidaire du pilote avant l'éjection. Enfin, l'état cognitif dégradé du pilote dans une situation d'urgence relative peut également expliquer cet oubli, le NOSA ayant pour sa part pensé à l'ôter avant l'éjection.

Dans un état cognitif dégradé, insuffisamment entraîné à l'éjection préparée avec l'OCAD, le pilote a oublié de l'enlever de sa cuisse avant l'éjection et pendant sa dérive sous voile.

2.4.6. Perte de casque du NOSA pendant l'éjection

Le NOSA a perdu son casque pendant la séquence d'éjection. La perte du casque lors de l'éjection est anormale et génère des risques de blessure à la tête lors de l'atterrissage. Le NOSA affirme avoir eu sa visière baissée contre son masque à oxygène serré et sa jugulaire en place au moment de l'éjection. Cette dernière n'était néanmoins pas parfaitement serrée.



Figure 22 : positionnement du casque du NOSA avant l'éjection

Il explique avoir senti la base de son casque être accrochée, basculer vers l'avant et partir, au moment de l'extraction de la voile du parachute. Il avait probablement la tête penchée vers le bas au cours de ces instants. D'après les experts de DGA Essais en vol, l'extraction de la voile du parachute après éjection peut occasionner un mouvement assez brusque des élévateurs vers l'avant, si la voile ne sort pas parfaitement dans l'axe du dossier du siège, mais plutôt vers l'avant de celui-ci. Dans ce mouvement vers l'avant plus ou moins ample, les élévateurs peuvent venir au contact du casque. De plus, des essais de basculement du casque du NOSA vers l'avant ont été pratiqués après l'évènement. Ils ont montré qu'en exerçant un effort réduit à la base du casque, réglé comme lors du vol de l'évènement, il est presque possible de lui faire passer la bosse du crâne et de l'arracher, malgré la jugulaire exerçant une pression sur la gorge. D'après ces hypothèses et en fonction du réglage réel de la jugulaire incertain le jour de l'évènement, il est possible que les élévateurs aient brusquement accroché le casque à sa base dans leur mouvement au moment de l'extraction de la voile, conduisant à l'arrachage du casque du NOSA.

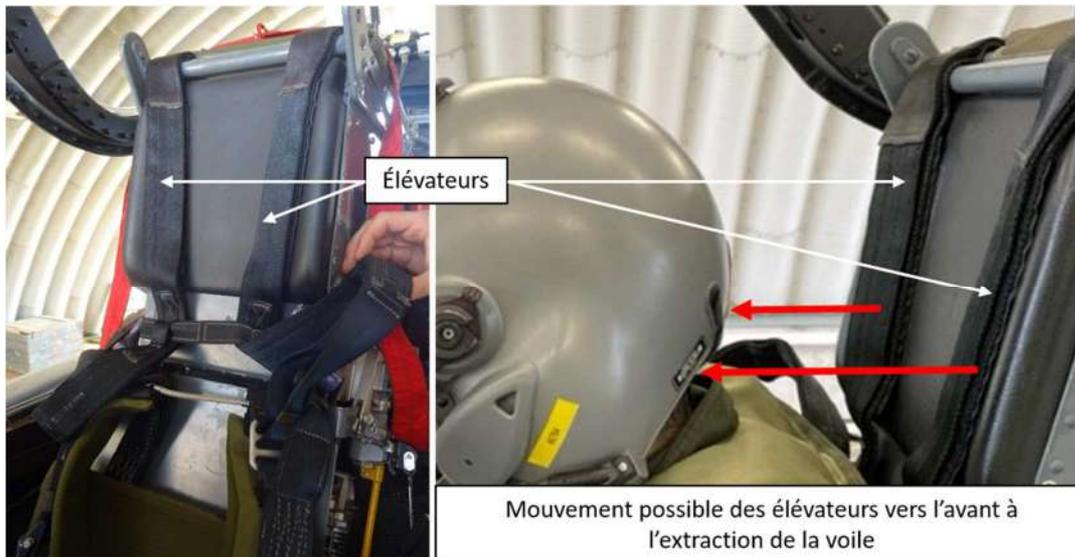


Figure 23 : interaction possible entre les éleveurs et le casque au moment de l'extraction de la voile

Le NOSA a perdu son casque pendant la séquence d'éjection. Il se peut que les éleveurs du parachute aient accroché la base du casque et l'aient arraché au moment de l'extraction de la voile.

2.4.7. Procédure sous voile et atterrissage

D'une manière générale, l'équipage rapporte avoir appliqué sans difficulté les procédures sous voile. Il affirme également avoir pris une position d'atterrissage correcte et avoir subi un choc violent en percutant le sol. Les deux membres d'équipage disent avoir été tractés quelques instants sur le dos par la voile, dans un vent d'environ 15 kt, le temps qu'ils actionnent leur boucle de harnais pour s'en libérer.

Seul le pilote s'est blessé en atterrissant, au genou gauche et à la cheville droite. La blessure à la cheville droite pourrait être due à la présence d'un objet tel qu'une pierre au point d'impact du pied droit.

Deux facteurs pourraient avoir favorisé la survenue d'une blessure au genou gauche, en influant défavorablement sur la prise de position d'atterrissage du pilote. L'évitement de l'acacia a nécessité une forte traction du bras droit sur l'élevateur correspondant et a sollicité une partie des ressources cognitives du pilote. Cela l'a peut-être perturbé dans sa prise de position. Par ailleurs, la présence de l'OCAD sur sa jambe gauche a pu le gêner pour serrer parfaitement ses deux jambes, voire pour plier correctement la jambe gauche. Un léger défaut de position à l'atterrissage pourrait avoir facilité la survenue de cette seconde blessure.

Les blessures du pilote pourraient être dues à la surface non plane du point d'impact ainsi qu'à une position d'atterrissage imparfaite favorisée par l'évitement d'un obstacle et la gêne occasionnée par l'OCAD.

2.4.8. Survie

2.4.8.1. Déficit d'entraînement

L'entraînement à la survie se fait au travers d'un stage initial réalisé en début de carrière, puis de stages de rafraîchissement théoriquement réalisés une fois par an. Du fait des contraintes opérationnelles et des limites en matière de ressources humaines, le dernier stage suivi remonte à plus de quatre ans pour le NOSA et trois ans pour le pilote. Pour faciliter le maintien en compétence des équipages dans ce domaine, il est possible de suivre des rafraîchissements d'une journée sur la base de Cazaux. Le pilote, également chef du détachement, a programmé cette journée avant le départ. Malheureusement, le pilote comme le NOSA n'ont pu y assister du fait d'autres priorités opérationnelles.

Suite à leur éjection, ils ont dû mettre en pratique les procédures de survie qu'ils n'avaient plus pratiquées depuis plusieurs années avec du matériel insuffisamment familier. Bien que ressenti par l'équipage, ce manque d'entraînement ne lui a pas été préjudiciable du fait de la faible durée de sa phase de survie.

Les contraintes opérationnelles qui pèsent sur les équipages et le manque de ressources humaines sont à l'origine d'un entraînement insuffisant à la survie en zone hostile ressenti par l'équipage le jour de l'évènement.

2.4.8.2. Absence de notice de la trousse de secours

Le pilote se blesse à l'atterrissage. En raison de la douleur ressentie, l'équipage décide d'utiliser la trousse de secours du gilet de combat et y recherche un antalgique. En l'absence de notice simple d'utilisation, l'équipage ne sait pas quel antalgique administrer et en quelle quantité en fonction du niveau de douleur ressentie. Il ne sait pas non plus quel serait l'impact de ces médicaments sur la mobilité du blessé dans le cas où il devrait fuir. Dans le doute, l'équipage préfère s'abstenir.

Suite à un important traumatisme tel qu'une éjection et un atterrissage violent, les capacités cognitives sont diminuées. Dans une telle situation s'ajoutant au stress de la survie, l'absence de notice d'utilisation simple de la trousse de secours et de ses médicaments les plus utiles conduit au risque qu'ils ne remplissent pas la fonction qui leur est dévolue. En l'occurrence, le pilote n'a pas pu soulager sa douleur croissante pendant l'attente des moyens de récupération.

L'absence de notice simple dans la trousse de secours est de nature à obérer la capacité de survie des équipages par une abstention ou un usage inapproprié.

3. CONCLUSION

L'évènement est une extinction irréversible du moteur par fermeture involontaire de l'arrivée de carburant ayant entraîné l'abandon de bord de l'équipage par éjection puis la collision de l'avion avec le sol.

#FUEL¹¹

#EVAC¹²

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

Lors d'une mission d'appui des troupes au sol dans le sud du Mali, une patrouille, composée d'un M2000D et d'un M2000C, quitte sa zone de travail pour ravitailler en vol. Une trentaine de minutes plus tôt, le pilote commandant de bord (CDB) du M2000D a procédé à une miction en vol dans une pochette de type « Ulmer ». À cette occasion, il a déverrouillé son harnais, sécurisé son siège, accédé deux fois au sélecteur de séquence d'éjection et positionné son siège en butée haute avant de le rebaisser. Au cours de ces actions, il a changé, sans y prêter attention, la position de son sac, installé initialement verticalement à l'arrière de la banquette latérale droite. En phase de rejointe de l'avion ravitailleur, à une altitude d'environ 12 000 ft, alors que le pilote vient de baisser son siège, l'équipage du M2000D constate l'extinction de son moteur et l'annonce au pilote du M2000C. Alors que l'avion commence à descendre, l'équipage entame une procédure de rallumage vol. À cette occasion, le pilote constate que l'interrupteur du robinet coupe-feu (RCF) est cassé à sa base, en position « à gauche », correspondant à un état de fermeture du robinet carburant. L'équipage largue ensuite les charges sur proposition du pilote du M2000C. Puis, le navigateur officier systèmes d'armes (NOSA) rappelle au pilote focalisé sur l'interrupteur cassé qu'ils doivent se préparer à s'éjecter, alors que l'avion arrive en basse altitude. Pendant l'éjection, le NOSA perd son casque. L'avion poursuit son vol quelques instants et s'écrase en explosant dans une zone dégagée. Le pilote se blesse aux jambes en atterrissant tandis que le NOSA atterrit normalement et rejoint son pilote. L'avion est détruit. L'équipage est évacué par les hélicoptères français environ une heure et quarante minutes après l'éjection.

3.2. Causes de l'évènement

L'évènement est dû au basculement involontaire en position « RCF fermé » puis à la rupture involontaire de l'interrupteur du RCF, ainsi qu'à l'impossibilité de le replacer en position « RCF ouvert » par la suite.

Le basculement en position « RCF fermé » de l'interrupteur du RCF et sa rupture, involontaires, sont dus à la combinaison des facteurs ci-après.

- La mise en place d'un lien physique rigide entre le siège et l'interrupteur du RCF, à l'insu du pilote, due à :
 - un manque d'espace de rangement en cabine ;
 - un déficit de réglementation sur les matériels autorisés en cabine et leur rangement ;
 - la présence d'un sac personnel aux caractéristiques défavorables sur la banquette latérale droite ;
 - le déficit de conscience du risque d'interactions du sac avec des interfaces de la cabine ;
 - la mise en position critique de ce sac et son accrochage à l'interrupteur du RCF et au siège du fait d'interactions du pilote avec ce dernier et de mouvements du siège ;
 - la réalisation d'une miction en vol à l'origine des interactions du pilote avec son sac et des mouvements du siège ;
 - l'ergonomie de la platine de démarrage permettant l'accès physique direct à l'interrupteur du RCF.
- Le déplacement du siège vers le bas, jusqu'à sa butée, initié par le pilote en vue du ravitaillement en vol.

¹¹ Évènement impliquant un problème de carburant non lié à une défaillance technique. Taxonomie du système de déclaration des données sur les accidents/incidents de l'organisation de l'aviation civile internationale : <https://www.icao.int/safety/airnavigation/aig/pages/adrep-taxonomies.aspx>.

¹² Évènement dans lequel l'évacuation a contribué à la sévérité de ses conséquences. Taxonomie du système de déclaration des données sur les accidents/incidents de l'organisation de l'aviation civile internationale : <https://www.icao.int/safety/airnavigation/aig/pages/adrep-taxonomies.aspx>.

PAS DE TEXTE

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

4.1.1. Manque d'espaces de rangement en cabine

Le retour d'expérience des équipages de M2000D de l'AAE témoigne d'un manque d'espaces de rangement en cabine à l'occasion des vols opérationnels supposant l'emport d'une documentation importante, de matériels nécessaires à l'appui des forces au sol (jumelles, appareil de prise de vues) et d'autres indispensables aux besoins physiologiques humains sur des temps de vol longs (alimentation, hydratation, miction en vol). Ce besoin d'espace de rangement existe aussi sur Rafale et fait l'objet d'un programme spécifique en cours. Du fait de cette problématique, les équipages de M2000 emportent en cabine des sacs personnels aux caractéristiques défavorables du point de vue des risques d'interactions de ceux-ci avec des interfaces de la cabine. En effet, la réglementation est insuffisamment précise dans ce domaine et ces matériels ne font l'objet d'aucune étude et d'aucune standardisation.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'Armée de l'Air et de l'Espace (AAE) et à la Marine nationale d'étudier et de mettre en œuvre les solutions alternatives au manque d'espaces de rangement à bord de leurs avions à cabines étroites, en accélérant les projets déjà existants et en encadrant de manière exhaustive l'emport et le rangement des matériels en cabine.

R1 – [A-2021-17-A] Destinataires : CEMAAE, CEMM

4.1.2. Prise en compte dans les procédures des risques inhérents à la présence de matériels en cabine

Certaines procédures réalisées en vol supposent des interactions volontaires ou non des membres d'équipage, du siège ou du harnais avec des objets ou matériels entreposés dans la cabine. C'est le cas des procédures de miction en vol qui peuvent nécessiter un déverrouillage du harnais, des changements de réglage de hauteur du siège et des accès au dispositif de sécurisation basse du siège et au sélecteur de séquence d'éjection. Ces actions, si elles ne font pas l'objet d'une vigilance, peuvent engendrer des interactions avec les objets présents en cabine et leur déplacement vers des positions potentiellement critiques vis-à-vis des interfaces de contrôle des systèmes de l'avion. De plus, la saisie volontaire régulière de certains de ces objets par les membres d'équipage, pour répondre aux besoins de la mission ou physiologiques, peut également aboutir à des situations à risque.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'AAE et à la Marine nationale d'intégrer dans leurs procédures sur avions à cabines étroites les risques inhérents à la présence de matériels emportés en cabine.

R2 – [A-2021-17-A] Destinataires : CEMAAE, CEMM

4.1.3. Ergonomie des cabines étroites

L'ergonomie de la cabine du M2000D ne permet pas le rangement aisé et adapté de l'ensemble des matériels nécessaires à l'accomplissement des missions. De plus, l'ergonomie de l'inverseur du RCF, qui doit rester accessible en cas d'urgence au sol, permet à une sangle de passer entre son cache rouge et la platine de démarrage. Cela rend possible l'accrochage de l'interrupteur et son basculement involontaire en position « RCF fermé » dès lors qu'une traction est exercée sur cette sangle selon une direction formant un certain angle avec le plan de la platine.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'AAE, à la Marine nationale et à la DGA d'intégrer aux spécifications des avions à cabines étroites en développement et à venir les risques d'interaction entre des matériels et des interrupteurs en cabine, en prévoyant les espaces de rangement nécessaires ainsi qu'un positionnement et une ergonomie adaptés des interrupteurs.

R3 – [A-2021-17-A] Destinataires : CEMAEE, CEMM, DGA

à Dassault Aviation d'intégrer dans la conception des interrupteurs sensibles de ses futurs avions les risques potentiels d'interactions de matériels emportés en cabine, notamment des sangles, avec ceux-ci.

R4 – [A-2021-17-A] Destinataire : Dassault Aviation

4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement

4.2.1. Aptitude à la miction en vol

Les missions aériennes de l'aviation de chasse imposent une maîtrise de la miction en vol par tous les membres d'équipages participant à ces missions, alors même qu'uriner en vol présente un certain nombre de risques. En effet, l'évitement de cette pratique produit un risque aérien supérieur, en impliquant des stratégies conduisant à des déshydratations et/ou des retenues excessives, à l'origine de baisses de performances significatives. Pourtant, il semble que ces stratégies préjudiciables concernent encore une partie non négligeable des équipages. La formation actuelle n'est vraisemblablement pas assez orientée vers ces enjeux premiers de sécurité aérienne et en cohérence avec le postulat selon lequel la miction en vol doit être maîtrisée par tous avant un déploiement en opérations. De plus, la formation délivrée est inégale d'un individu à l'autre, la phase pratique n'étant pas toujours réalisée. Dès lors, certains peuvent arriver en détachement sans maîtriser ce savoir-faire indispensable. La présentation des différents matériels de miction à disposition des équipages reste trop souvent technique et n'aborde pas les risques aériens spécifiques à l'utilisation de chacun de ces matériels. Les barrières psychologiques individuelles très variables semblent insuffisamment prises en compte, favorisant les stratégies d'évitement ou les choix d'un matériel par défaut chez certains (la pochette de type « Ulmer » est souvent préférée aux couches absorbantes qui affranchissent du déverrouillage du harnais et des manœuvres de réglage et de sécurisation des sièges).

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'AAE et à la Marine nationale de prendre les mesures nécessaires à garantir l'aptitude à la miction en vol des équipages concernés par des vols longs, en favorisant l'utilisation des dispositifs matériels les moins préjudiciables à la sécurité aérienne.

R5 – [A-2021-17-A] Destinataires : CEMAEE, CEMM

4.2.2. Largage de détresse des charges

Le largage de détresse des charges permet d'alléger l'avion et d'augmenter légèrement sa finesse lors de situations d'urgence, offrant ainsi plus de temps à l'équipage pour gérer au mieux la situation rencontrée. Lors du vol de l'évènement, il n'a permis de larguer que trois des quatre charges emportées par l'avion, du fait d'un appui insuffisamment long sur le bouton déclencheur. En effet, la maîtrise par les équipages du fonctionnement du système associé est insuffisante, du fait d'une documentation et d'un simulateur ne couvrant que la configuration d'emport de l'avion la plus simple, c'est-à-dire sans adaptateur, pour laquelle un appui bref sur le bouton suffit à larguer la totalité des charges.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'AAE d'entreprendre les actions nécessaires à garantir la connaissance du fonctionnement du système de largage de détresse des charges, dans toutes les configurations, par ses équipages de Mirage 2000.

R6 – [A-2021-17-A] Destinataire : CEMAAE

4.2.3. Entraînement à la procédure d'éjection

Avant l'éjection, il est difficile pour le pilote d'envisager une éjection préparée suffisamment tôt tant il est focalisé sur l'interrupteur du RCF cassé pour tenter de le rebasculer en position « RCF ouvert ». Il se serait probablement éjecté au dernier moment si son NOSA n'avait pas initié la préparation à l'éjection en arrivant en basse altitude. Malgré cela, le pilote n'a pas retiré son OCAD de sa cuisse gauche, comme demandé dans la procédure. Il se pourrait que la présence de celui-ci sur sa jambe gauche à l'atterrissage ait favorisé la survenue d'une blessure à son genou gauche. L'entraînement à l'éjection est réalisé lors des séances dédiées au traitement de pannes et de situations d'urgence au simulateur. Les situations nécessitant une éjection, vécues au cours de ces séances, sont presque toujours des éjections d'urgence. Les équipages ne sont donc pas entraînés au processus décisionnel précédant une éjection préparée et à la mécanisation des actions associées pendant un bref temps de préparation. En particulier, ils ne prennent jamais d'OCAD pour ces séances, ce qui leur empêche toute mécanisation de l'action de retirer l'OCAD avant l'éjection.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'AAE et à la Marine nationale d'intégrer au maintien en compétence de leurs équipages dans le domaine de l'éjection, l'entraînement aux éjections nécessitant une préparation et un processus décisionnel.

R7 – [A-2021-17-A] Destinataires : CEMAAE, CEMM

4.2.4. Formation continue à la survie

Le pilote et le NOSA n'avaient pas suivi de formation à la survie depuis plusieurs années, alors que les normes de maintien en compétences recommandent que les équipages suivent une journée de rafraîchissement annuellement. Cette journée, nécessitant la contribution de spécialistes de Cazaux, avait été planifiée dans les semaines précédant leur détachement en opérations extérieures mais n'avait pas pu être honorée par l'équipage de l'évènement pour des raisons de priorisation d'emploi du temps dans un contexte de préparation opérationnelle dense. De plus, l'absence de possibilité d'organiser cette formation en local, en s'appuyant par exemple sur des formateurs relais et des lots de survie d'instruction, a privé l'équipage d'autres opportunités de rafraîchir ses connaissances. Même s'il ne leur a pas été préjudiciable au cours de leur survie, ils ont ressenti défavorablement ce déficit de formation.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'AAE, à la Marine nationale et à l'armée de Terre d'améliorer l'organisation du maintien en compétence de leurs équipages dans le domaine de la survie, en veillant à l'adéquation du contenu et de la fréquence des formations aux conditions d'emploi des équipages, notamment en opérations.

R8 – [A-2021-17-A] Destinataires : CEMAAE, CEMM, CEMAT

4.2.5. Utilisation de la trousse de secours

Une fois au sol, le pilote a souffert de plus en plus de ses blessures au genou gauche et à la cheville droite. Au moment d'utiliser les médicaments de la trousse de secours de son gilet de survie pour se soulager, il n'a pas trouvé d'indication claire et simple l'aidant à savoir quel médicament prendre et en quelle quantité. Dans le doute, il a préféré s'abstenir pour ne pas risquer de subir des effets plus préjudiciables à sa survie que la douleur qu'il souhaitait soulager.

En conséquence, le BEA-É recommande :

au service de santé des armées, d'étudier la faisabilité d'intégrer aux trousse de secours qu'il fournit aux armées un mode d'emploi simplifié facilitant leur usage par des personnes ne disposant d'aucune connaissance médicale.

R9 – [A-2021-17-A] Destinataire : DCSSA

