

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

Rapport d'enquête de sécurité



A-2018-04-I

| | |
|---------------------|--|
| Date de l'évènement | 10 avril 2018 |
| Lieux | Nogent-sur-Vernisson (45) – Champ de tir de Suippes (51) |
| Type d'appareil | Mirage 2000D |
| Organisme | Armée de l'air |

AVERTISSEMENT

UTILISATION DU RAPPORT

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 à l'esprit des lois et des règlements et relève de la 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 française.

CRÉDITS

| | | |
|------------------|-----------------------|---------------|
| | SIRPA-air | Page de garde |
| Figure 1 | BEA-É | 8 |
| Figure 2 | RESEDA | 9 |
| Figure 3 | RESEDA | 10 |
| Figure 4 | Eric Malot | 11 |
| Figures 5 et 6 | gendarmerie nationale | 12 |
| Figure 7 | gendarmerie nationale | 18 |
| Figures 8 et 9 | BEA-É | 19 |
| Figures 10 et 11 | armée de l'air | 20 et 21 |
| Figure 12 | BEA-É | 24 |
| Figures 13 à 16 | Rafaut | 25 à 27 |
| Figures 17 à 19 | RESEDA | 29 et 30 |
| Figures 20 à 24 | DGA TA | 31 à 33 |
| Figures 25 et 26 | gendarmerie nationale | 33 et 34 |
| Figure 27 | Rafaut | 34 |
| Figure 28 | Wikipédia/BEA-É | 35 |
| Figures 29 et 30 | BEA-É | 36 |
| Figures 31 et 32 | DGA TA | 37 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|----|
| AVERTISSEMENT | 2 |
| CRÉDITS | 2 |
| TABLE DES MATIÈRES | 3 |
| GLOSSAIRE | 4 |
| SYNOPSIS | 5 |
| 1. Renseignements de base | 7 |
| 1.1. Déroulement du vol | 7 |
| 1.2. Dommages corporels | 11 |
| 1.3. Dommages à l'aéronef | 11 |
| 1.4. Autres dommages | 11 |
| 1.5. Renseignements sur l'équipage | 13 |
| 1.6. Renseignements sur l'aéronef | 15 |
| 1.7. Conditions météorologiques | 17 |
| 1.8. Aide à la navigation | 17 |
| 1.9. Télécommunications | 17 |
| 1.10. Renseignements sur l'aéroport | 17 |
| 1.11. Enregistreurs de bord | 18 |
| 1.12. Constatations sur les zones d'impact et sur l'aéronef | 18 |
| 1.13. Renseignements médicaux et pathologiques | 21 |
| 1.14. Incendie | 22 |
| 1.15. Questions relatives à la survie des occupants | 22 |
| 1.16. Essais et recherches | 23 |
| 1.17. Renseignements sur les organismes | 23 |
| 1.18. Renseignements supplémentaires | 24 |
| 2. Analyse | 29 |
| 2.1. Résultats des études et des expertises techniques | 29 |
| 2.2. Séquence de l'évènement | 39 |
| 2.3. Recherche des causes de l'évènement | 39 |
| 3. Conclusion | 45 |
| 3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement | 45 |
| 3.2. Causes des deux évènements | 45 |
| 4. Recommandations de sécurité | 47 |
| 4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement | 47 |
| 4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement | 47 |

GLOSSAIRE

| | |
|--------|---|
| ASV2 | assaut sol à vue |
| AT | acte technique |
| BA | base aérienne |
| BRM | bouton roquette missile |
| CEAE | centre d'expertise de l'armement embarqué |
| CEMPN | centre d'expertise médicale du personnel navigant |
| CFA | commandement des forces aériennes |
| DGA EP | direction générale de l'armement – essais propulseurs |
| DGA EV | direction générale de l'armement – essais en vol |
| DGA TA | direction générale de l'armement – techniques aéronautiques |
| DGA TT | direction générale de l'armement – techniques terrestres |
| DMAé | direction de la maintenance aéronautique |
| EAC | école de l'aviation de chasse |
| EC | escadron de chasse |
| ESPAR | enregistreur de données d'accident à mémoires statiques |
| ESTA | escadron de soutien technique aéronautique |
| FME | fiche matricule équipement |
| ft | <i>feet</i> - pied (1 ft ≈ 0,30 m) |
| GAT | groupe des ateliers techniques |
| kt | <i>knot</i> – noeud (1 kt ≈ 1,852 km/h) |
| Nm | <i>nautical mile</i> – mille nautique (1 Nm ≈ 1 852 m) |
| N.m | <i>Newton</i> mètre |
| NOSA | navigateur officier système d'arme |
| RBS | <i>Rafaut bulletin service</i> |
| RESEDA | restitution des enregistreurs de données d'accidents |
| VTH | visualisation tête haute |
| VTL | visualisation tête latérale |
| µm | micron |

SYNOPSIS

Date et heures des deux évènements : 10 avril 2018 à 15h05 et 15h35
Lieux des deux évènements : Nogent-sur-Vernisson (Loiret) et Suippes (Marne)
Organisme : armée de l'air
Commandement organique : commandement des forces aériennes (CFA)
Unité : escadron de chasse (EC) 01.003 « Navarre »
Aéronef : Mirage 2000D
Immatriculation : F-UGIF - n° 609
Nature du vol : vol d'entraînement
Nombre de personnes à bord : 2

Résumé de l'évènement selon les premiers éléments recueillis

Le mardi 10 avril 2018 à 14h21, une patrouille de deux Mirage 2000D décolle de la base aérienne (BA) 133 de Nancy-Ochey pour une mission d'entraînement. Ce vol comporte deux parties : un assaut sol à vue (ASV2) dans la région d'Orléans au profit de l'équipier, et un tir air/sol sur le champ de tir de Suippes pour le maintien de la qualification « tireur » du leader. Lors de l'attaque en mode « roquette » fictif d'une usine de Nogent-sur-Vernisson, l'équipier subit sans s'en rendre compte la perte d'une munition d'exercice de type F4. Plus tard, lors d'une troisième passe sur le champ de tir de Suippes, un impact au sol est constaté alors que les armes de bord sont sur sécurité. La patrouille effectue un retour de précaution sur la BA 133. Il manque deux bombes sous l'appareil. Des dégâts dans l'usine sont constatés et trois personnes sont blessées.

Composition du groupe d'enquête de sécurité

- un directeur d'enquête de sécurité du bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État¹ (BEA-É) ;
- un spécialiste des facteurs humains et organisationnels du BEA-É ;
- un expert technique du BEA-É ;
- un officier pilote ayant une expertise sur Mirage 2000D ;
- un sous-officier mécanicien ayant une expertise sur Mirage 2000D ;
- un médecin breveté de médecine aéronautique ;
- un armurier ayant une expertise sur le type d'emport.

Autres experts consultés

- direction générale de l'armement - essais propulseurs (DGA EP) ;
- direction générale de l'armement - essais en vol (DGA EV) ;
- direction générale de l'armement - techniques aéronautiques (DGA TA) ;
- direction générale de l'armement - techniques terrestres (DGA TT) ;
- Météo-France ;
- société Rafaut.

¹ Selon les termes du décret n° 2018-346 du 9 mai 2018, le nom du BEAD-air a été modifié. Le bureau s'appelle désormais Bureau Enquêtes Accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État ou BEA-É.

PAS DE TEXTE

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Type de vol : vol d'entraînement

Type de mission : ASV2 + tir air/sol

Dernier point de départ : Nancy-Ochey (LFSO)

Heure de départ : 14h21

Point d'atterrissage prévu : Nancy-Ochey (LFSO)

La formation se compose de deux aéronefs avec :

- un leader dont l'équipage est composé d'un commandant de bord, responsable de mission et responsable de patrouille, et d'un navigateur officier système d'arme (NOSA) ;
- un équipier dont l'équipage est composé d'un pilote et d'un NOSA commandant de bord.

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

La mission d'entraînement comprend deux parties :

- la première partie est un assaut sol à vue. Elle se décompose en un transit en CAM I², une percée et deux objectifs à traiter à la roquette fictive dans une situation tactique dense. Cette première partie est au profit de l'équipier, pilote de combat autonome. Elle a pour but de le faire évoluer en avion isolé. Il occupera la position de numéro 1, le leader le suivant à distance ;
- la deuxième partie est un tir air/sol sur le champ de tir de Suippes au profit du leader dans le cadre d'un maintien de qualification. Le leader, positionné cette fois en numéro 1, gère l'intégration puis le travail sur le champ de tir ainsi que le retour sur Nancy.

La préparation, standard, débute à 10h00. L'équipier propose un plan d'attaque prenant en compte la géométrie des bâtiments et évitant le survol des habitations aux alentours. Les deux cibles retenues pour les attaques fictives sont issues des dossiers d'objectifs ; il s'agit d'abord d'une usine à Nogent-sur-Vernisson puis d'un silo à Nitry (Yonne).

À 13h00, la préparation est terminée et le briefing réalisé. Les équipages insistent sur l'utilisation des boutons et sélecteurs et sur l'enchaînement des modes en précisant que durant toute la première partie ils seront en trame fictive et qu'ils ne basculeront en trame réelle qu'à l'arrivée sur le champ de tir.

L'aéronef emportera 4 bombes d'exercice destinées à être larguées sur le champ de tir de Suippes.

² CAM I : abréviation utilisée pour désigner les règles de vol de la circulation aérienne militaire aux instruments.

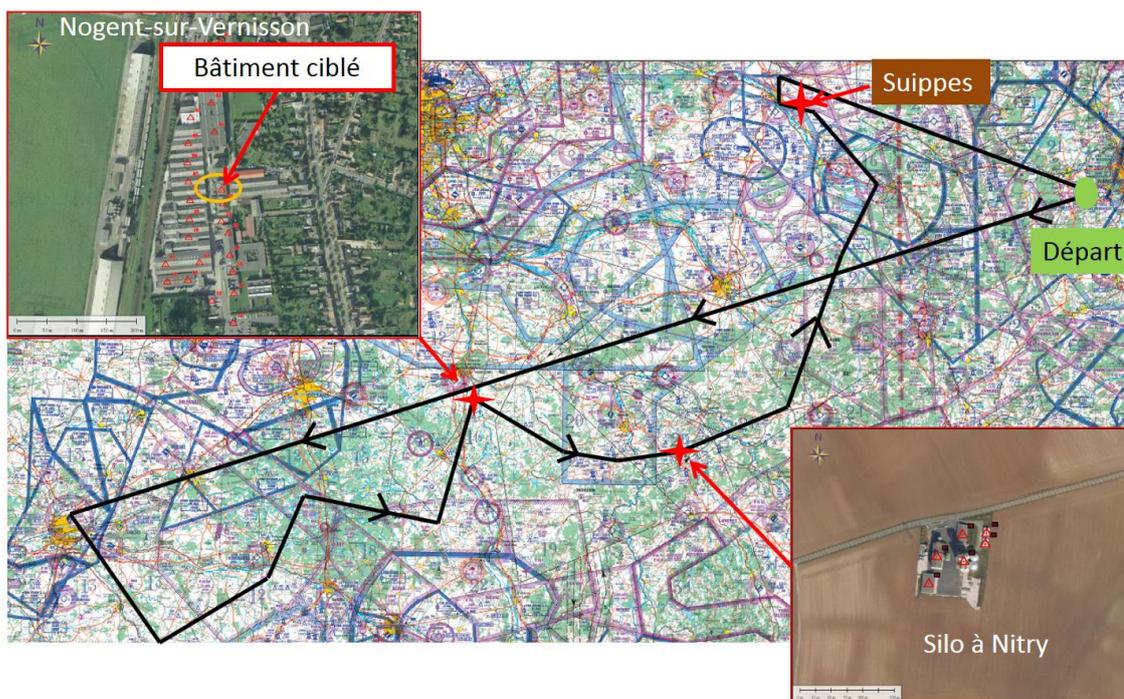


Figure 1 : trajectoire initialement prévue lors de la préparation de mission

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

Les équipages effectuent les vérifications avant vol, dont la vérification de bon verrouillage des bombes avec le mécanicien-opérateur en ligne et l'armurier. À 14h21 la patrouille décolle, le leader d'abord, puis l'équipier. Au cours du transit l'équipier passe en position numéro 1 en vue de l'exercice. Les conditions météorologiques sur Tours n'étant pas suffisantes pour un départ en basse altitude vers les deux objectifs fictifs de la mission ASV2, la patrouille réalise une percée à Orléans. Le leader informe l'équipier que la situation tactique a évolué. L'équipier décide alors d'attaquer l'objectif suivant le second axe prévu, à savoir un cap au 050 au lieu de l'axe sud-nord prévu initialement.

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

À l'approche du premier objectif, les systèmes d'armes sont réinitialisés en mode roquette fictif³. Les appareils effectuent une passe de tir de type *POP-UP* : l'équipier débute à une hauteur de 900 ft par une ouverture à droite, acquiert l'objectif puis réalise un tir simulé⁴. Il débute la ressource à 450 kt à 1,5 km du point visé en réalisant une évasive par la droite pour éviter le survol de la ville. L'appareil subit une accélération de 5,4 g⁵. Au cours de cette manœuvre une bombe se détache de l'avion et tombe sur l'usine sans que l'équipage ne s'en rende compte. Le leader réalise ensuite la même passe mais débute la ressource à 430 kt. L'appareil subit une accélération de 3,6 g.

³ Simulation permettant l'affichage de la symbologie en l'absence de roquette sous l'avion.

⁴ Appui sur le bouton roquette missile avec le *MASTER ARM* non relevé.

⁵ g : unité d'accélération (1 g = 9,81 m/s²).

Lors du passage à proximité de la ville de Nogent-sur-Vernisson, le point bas correspond au moment du facteur de charge maximal. La trajectoire de l'avion et celle estimée de la munition (en jaune) sont présentées en figure 2 avec une maquette de l'aéronef grossie pour mieux apprécier l'attitude de l'avion.

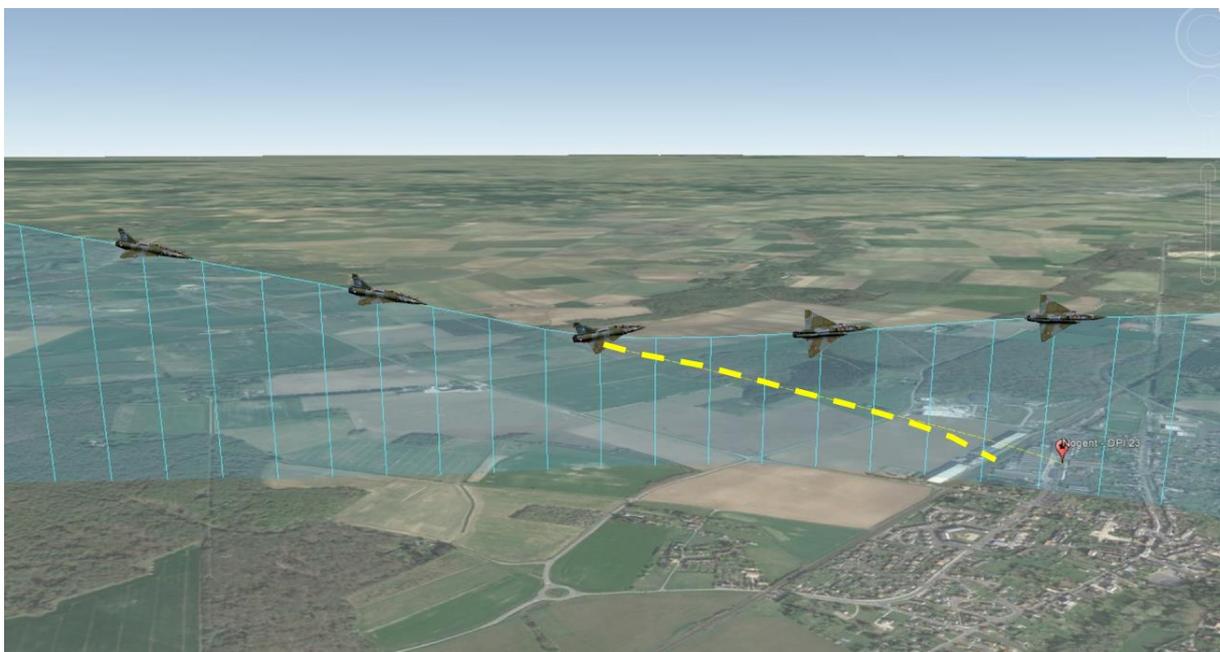


Figure 2 : trajectoire reconstituée sur l'usine de Nogent-sur-Vernisson

Six minutes plus tard, la patrouille traite fictivement le second objectif à Nirty avec le même profil. L'accélération subie lors de la ressource est d'environ 4 g. Le responsable de patrouille reprend alors la position de leader et se dirige vers le camp de Suippes. Durant ce transit, les systèmes d'armes sont désactivés.

Le leader réalise une passe de reconnaissance sur le champ de tir puis commence les passes avec intention de tir en piqué/ressource. La base des nuages est à 6 000 ft et le plancher de tir est fixé à 3 000 ft. Les systèmes d'armes sont basculés en mode « entraînement lisse 1 » avant chaque passe. Lors de la première passe le numéro deux annonce un « *off dry* »⁶ car il n'a pas le temps d'effectuer toutes les actions imposées par la procédure. Lors de la deuxième passe, il annonce un « *off hot* »⁷. L'officier de tir n'observe aucun impact. Le pilote s'aperçoit qu'il a oublié de relever le *MASTER ARM*. Lors de la troisième passe, il n'a pas le temps de lever le *MASTER ARM* mais appuie sur le bouton roquette missile (BRM) pour se mécaniser. Il annonce « *off dry* ». L'officier de tir annonce néanmoins un impact. Il est 15h36. Les accélérations subies lors de ces trois passes sont respectivement de 5,5 g, 5,7 g et 6 g. Une représentation avec un avion grossi a été réalisée pour cette seconde perte de munition (figure 3).

⁶ *Off dry* : passe de tir sans délivrance d'armement.

⁷ *Off hot* : passe de tir avec délivrance d'armement.



Figure 3 : trajectoire reconstituée sur le champ de tir de Suippes

L'équipage vérifie alors la page « état armement » sur la visualisation tête latérale (VTL) : le système indique la présence des quatre bombes. L'équipier annonce une suspicion de perte de bombe à son leader. Ils se rassemblent en prenant un cap à l'est en vue d'une inspection tout en vérifiant le carburant restant. Le leader constate l'absence de deux bombes sur l'avion de l'équipier.

Suite à un appel téléphonique de la gendarmerie, l'approche de Saint-Dizier informe la patrouille de la perte probable d'un objet en vol dans la région d'Orléans. Les deux équipages réalisent alors une inspection mutuelle complète des avions qui n'apporte aucun élément nouveau.

L'aérodrome le plus proche est celui de Nancy. La patrouille rallie ce terrain en évitant le survol des habitations. Les aéronefs effectuent une longue finale suivie d'un poser avec parachute. Ils sont accompagnés par la caravane de sécurité jusqu'au parking.

1.1.3. Localisations

- Lieu 1 :
 - pays : France
 - département : Loiret
 - commune : Nogent-sur-Vernisson
 - coordonnées géographiques : N 47°51,028'/E 002°44,288'
 - hauteur du lieu de l'évènement : environ 900 ft
- Moment : jour
- Aérodrome le plus proche au moment de l'évènement : Orléans-Bricy (LFOJ)

- Lieu 2 :
 - pays : France
 - département : Marne
 - commune : Suippes
 - coordonnées géographiques : N 49°09,018'/E 004°34,764'
 - hauteur du lieu de l'évènement : environ 2 700 ft
- Moment : jour
- Aéroport le plus proche au moment de l'évènement : Saint-Dizier

1.2. Dommages corporels

Les membres d'équipages sont indemnes. Deux employés de l'usine sont légèrement blessés physiquement et un troisième sur le plan psychologique.

1.3. Dommages à l'aéronef

L'aéronef est intègre.

1.4. Autres dommages

La façade ouest de l'usine de Nogent-sur-Vernisson présente une perforation ainsi qu'une fissure sur toute la hauteur.



Figure 4 : vue de la façade ouest

Le toit présente deux trous.
La charpente métallique présente des déformations et des arrachements.
Une canalisation est rompue.

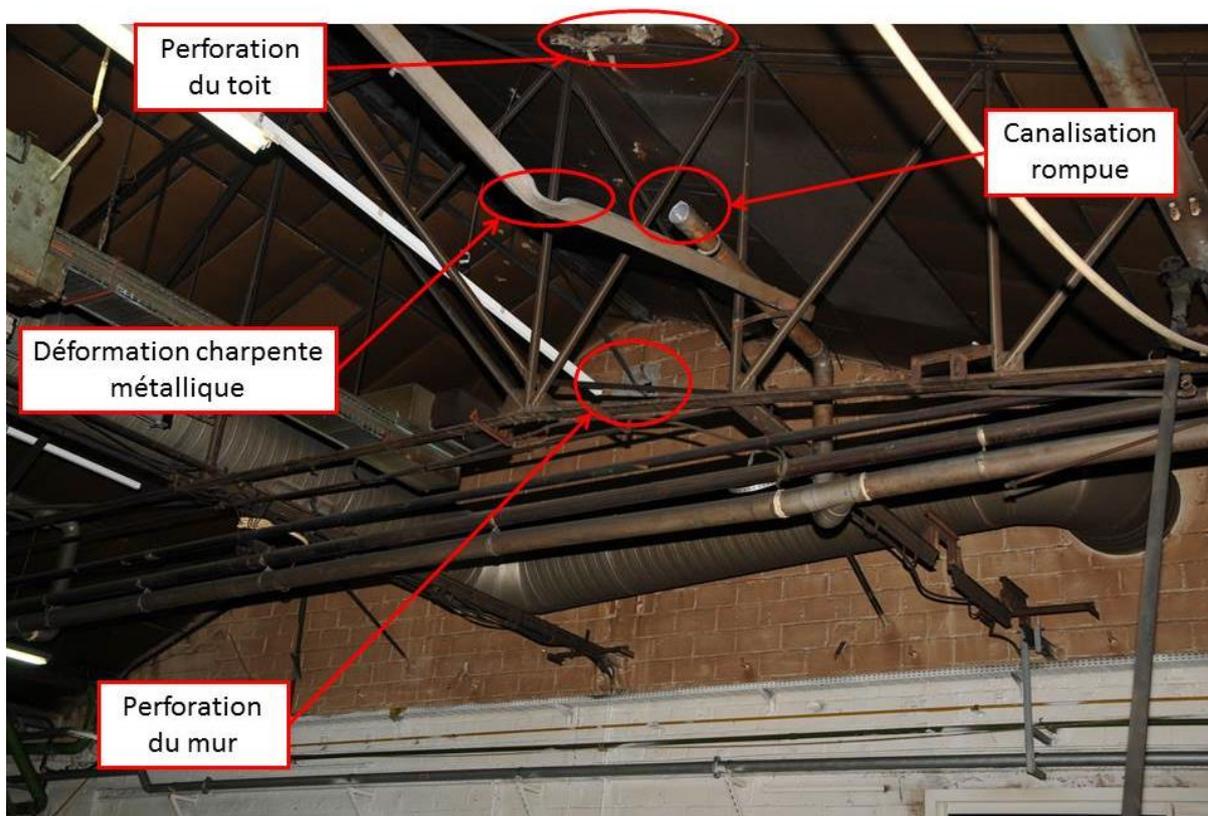


Figure 5 : vue d'une des zones d'endommagement

Une machine industrielle est éventrée sur sa partie basse. L'étagère attenante a été renversée.



Figure 6 : vue de la machine éventrée

Des chariots sont déformés et présentent des arrachements de métal.
Il y a de nombreuses traces d'impacts issues de la projection de pièces métalliques entreposées.

1.5. Renseignements sur l'équipage

1.5.1. Leader de la patrouille

1.5.1.1. Commandant de bord

- Âge : 30 ans
- Unité d'affectation : EC 1/3 « Navarre »
- Formation :
 - qualification : sous-chef de patrouille
 - école de spécialisation : école de l'aviation de chasse (EAC) de Tours
 - année de sortie d'école : 2013
- Heures de vol comme pilote :

| | Total | | Dans le semestre écoulé | | Dans les 30 derniers jours | |
|-----------|---------------|-------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| | sur tout type | dont Mirage 2000D | sur tout type | dont Mirage 2000D | sur tout type | dont Mirage 2000D |
| Total (h) | 1 240 | 610 | 69 | 69 | 13 | 13 |

- Date du dernier vol comme pilote : 9 avril 2018 sur l'aéronef
- Carte de circulation aérienne :
 - type : carte verte
 - date d'expiration : 9 janvier 2019

1.5.1.2. NOSA

- Âge : 51 ans
- Unité d'affectation : EC 1/3 « Navarre »
- Formation :
 - qualification : chef navigateur
 - école de spécialisation : EAC de Tours
 - année de sortie d'école : 1990
- Heures de vol comme NOSA :

| | Total | | Dans le semestre écoulé | | Dans les 30 derniers jours | |
|-----------|---------------|-------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| | sur tout type | dont Mirage 2000D | sur tout type | dont Mirage 2000D | sur tout type | dont Mirage 2000D |
| Total (h) | 3 801 | 1 549 | 18 | 18 | 0 | 0 |

- Date du dernier vol comme NOSA : 9 mars 2018 sur l'aéronef

1.5.2. Équipier

1.5.2.1. Commandant de bord (NOSA)

- Âge : 29 ans
- Unité d'affectation : EC 1/3 « Navarre »
- Formation :
 - qualification : sous-chef navigateur
 - école de spécialisation : EAC de Tours
 - année de sortie d'école : 2013
- Heures de vol comme NOSA :

| | Total | | Dans le semestre écoulé | | Dans les 30 derniers jours | |
|-----------|---------------|-------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| | sur tout type | dont Mirage 2000D | sur tout type | dont Mirage 2000D | sur tout type | dont Mirage 2000D |
| Total (h) | 1 065 | 810 | 85 | 85 | 20 | 20 |

- Date du dernier vol comme NOSA : 9 avril 2018 sur l'aéronef

1.5.2.2. Pilote

- Âge : 30 ans
- Unité d'affectation : EC 1/3 « Navarre »
- Formation :
 - qualification : pilote de combat autonome
 - école de spécialisation : EAC de Tours
 - année de sortie d'école : 2015
- Heures de vol comme pilote :

| | Total | | Dans le semestre écoulé | | Dans les 30 derniers jours | |
|-----------|---------------|-------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| | sur tout type | dont Mirage 2000D | sur tout type | dont Mirage 2000D | sur tout type | dont Mirage 2000D |
| Total (h) | 653 | 175 | 53 | 53 | 16 | 16 |

- Date du dernier vol comme pilote : 6 avril 2018 sur l'aéronef
- Carte de circulation aérienne :
 - type : carte blanche
 - date d'expiration : 14 août 2018

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de l'air
- Commandement d'appartenance : CFA
- Base aérienne de stationnement : BA 133 « commandant Henri Jeandet » de Nancy-Ochey
- Unité d'affectation : ESTA 15-003 « Malzeville »
- Type d'aéronef : Mirage 2000D
 - configuration : deux réservoirs pendulaires largables de 2 000 litres, un lance-bombes F2 et deux lance-missiles LM2255A
 - armement : 4 bombes d'exercice de type F4 et un missile Magic⁸ 2 d'entraînement
- Caractéristiques :

| | Type - série | Numéro | Heures de vol totales | Heures de vol depuis | Heures de vol depuis |
|--------------|--------------|--------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Cellule | Mirage 2000D | 609 | 5 019 | GV3 ⁹ : 437 | VP ¹⁰ : 27 |
| Moteur | M53-P2 | 60223 | 4 447 | RG ¹¹ : 4 232 | |
| Lance-bombes | LBF2 | 2152 | 1 378 | VP 36 mois : 79 | |

Sur le lance-bombes, chaque bombe est retenue par un système d'accrochage dénommé déclencheur-éjecteur TM50.

| | Numéro | Tir totaux | Tirs depuis | Tirs depuis rénovation mi-vie |
|-------------------------------|--------|------------|-----------------------------|-------------------------------|
| TM50 poste 1 – Arrière gauche | 775 | 171 | VP 36 mois ou 150 tirs : 22 | 57 |
| TM50 poste 2 – Arrière droit | 748 | 297 | VP 36 mois ou 150 tirs : 22 | - |
| TM50 poste 3 – Avant gauche | 398 | 464 | VP 36 mois ou 150 tirs : 22 | 43 |
| TM50 poste 4 – Avant droit | 119 | 368 | VP 36 mois ou 150 tirs : 22 | 75 |

1.6.1. Maintenance

L'examen de la documentation de maintenance témoigne que la périodicité du programme en vigueur a été suivie.

⁸ Magic 2 : missile autoguidé interception et combat.

⁹ GV3 : troisième grande visite.

¹⁰ VP : visite périodique.

¹¹ RG : révision générale.

1.6.1.1. Déclencheurs-éjecteurs TM50

Les déclencheurs-éjecteurs TM50 ont fait l'objet le 24 juin 2016 d'un acte technique (AT) n° 775-16/DT/ASA/AAC valant consigne de navigabilité approuvant la modification du Rafaut bulletin service (RBS) n° 2234 ind 2 du 13 juin 2016 intitulé « trou de visualisation cliquet/roue dentée pour vérification du verrouillage » interdisant l'emploi dès réception des déclencheurs-éjecteurs TM50 non modifiés.

Les quatre TM50 équipant l'appareil ont été livrés en 1983. Ils étaient stockés lors de la publication de l'AT. Le RBS a été appliqué le 12 octobre 2017. Leur dernière visite de 36 mois a été effectuée en même temps au groupe des ateliers techniques (GAT) 14.623 du détachement air 204 de Bordeaux-Beauséjour.

Les TM50 n° 775 et 398 ont fait l'objet d'une rénovation mi-vie en octobre 2011. Cette opération requiert le remplacement systématique de certaines pièces.

Le TM50 n° 748 a fait l'objet de deux visites générales chez l'industriel Rafaut.

Le TM50 n° 119 a fait l'objet d'une rénovation mi-vie en janvier 2011. Il est constaté des incohérences dans le décompte des tirs.

1.6.1.2. Installation du lance-bombes

La procédure d'installation du lance-bombes n'a pas été effectuée conformément à la carte de travail « préparation de la mission avec bombes d'exercices » CT 02-64-900 édition juin 2011. Si les actions de pose ont été réalisées correctement, les essais électriques des circuits de tir bombes n'ont pas été effectués à nouveau car ils avaient été réalisés deux semaines plus tôt lors de la pose du pylône 9012.

1.6.2. Performances

L'appareil ne fait l'objet d'aucune restriction d'emploi et les performances sont dans les normes.

1.6.3. Masse et centrage

- Masse au décollage : 14 900 kilogrammes
- Masse lors de l'évènement : 12 100 kilogrammes

Le centrage est dans les normes.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F-34
- Quantité de carburant au décollage : 6 100 kilogrammes
- Quantité de carburant restant au moment de l'évènement : 3 300 kilogrammes

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

Le service météorologique de la base aérienne d'Orléans-Bricy prévoit des risques d'averses, un vent du sud de 5 à 10 kt avec des rafales de 15 à 20 kt sous les cumulus, une visibilité supérieure à 10 kilomètres mais comprise entre 3 et 5 kilomètres lors des averses, des nuages fragmentés de type cumulus bourgeonnant entre 1 500 et 2 500 ft et une couche nuageuse entre 3 000 et 4 000 ft. Des conditions givrantes sont prévues sur la zone de percée.

Le service météorologique de la base aérienne de Saint-Dizier prévoit un vent du sud de 10 à 15 kt avec des rafales de 15 à 20 kt, une visibilité supérieure à 10 kilomètres, des nuages épars de type cumulus bourgeonnant à 2 500 ft et des nuages fragmentés de type cumulus bourgeonnant à 5 000 ft.

1.7.2. Observations

Le METAR¹² de 15h00 d'Orléans-Bricy indique un vent du 170° pour 10 kt, une visibilité supérieure à 10 kilomètres, quelques nuages à 4 200 ft et des nuages fragmentés à 6 400 ft. La couche nuageuse observée lors de la percée n'est pas dense.

Le METAR de 15h30 de Reims-Prunay indique un vent du 140° pour 12 kt, des conditions CAVOK¹³. Les équipages rapportent la présence de nuages à partir de 6 000 ft sur la région de Suippes.

1.8. Aide à la navigation

Le pilote dispose comme aide :

- en visualisation tête basse, d'une cartographie multi-échelles avec la position de l'avion ;
- en visualisation tête latérale gauche, du relèvement et de la distance des points préparés en navigation avec affichage de l'avance ou du retard sur l'objectif ;
- en visualisation tête haute, des paramètres de vol, de la conduite de tir et d'un indicateur d'objectif.

1.9. Télécommunications

Au moment de l'évènement, la patrouille est sur la fréquence d'auto-information, ainsi que sur la fréquence particulière dite « interne patrouille ».

1.10. Renseignements sur l'aéroport

Sans objet.

¹² METAR : message d'observation météorologique.

¹³ CAVOK : *ceiling and visibility OK* est un terme météorologique utilisé en aéronautique signifiant :

- visibilité \geq 10 kilomètres ;
- pas de nuage au-dessous de la plus élevée de l'altitude ou la hauteur suivante :
 - altitude minimale du plus haut relief situé dans un cercle de 25 Nm,
 - hauteur de 5 000 ft par rapport à l'aérodrome.

1.11. Enregistreurs de bord

L'appareil est équipé d'un enregistreur de données d'accident à mémoires statiques (ESPAR). La visualisation tête haute ainsi que les conversations et signaux sonores sont enregistrés sur bande magnétique au format Hi-8¹⁴.

1.12. Constatations sur les zones d'impact et sur l'aéronef

1.12.1. Examen des zones

1.12.1.1. Usine de Nogent-sur-Vernisson

Le mur latéral ouest présente une perforation à une hauteur d'environ 7 mètres. Le toit métallique est endommagé en deux endroits. Les éléments de la charpente métallique sont retrouvés au sol à proximité des trous. Les dommages observés se situent dans le prolongement de la trajectoire de l'appareil avant la ressource.

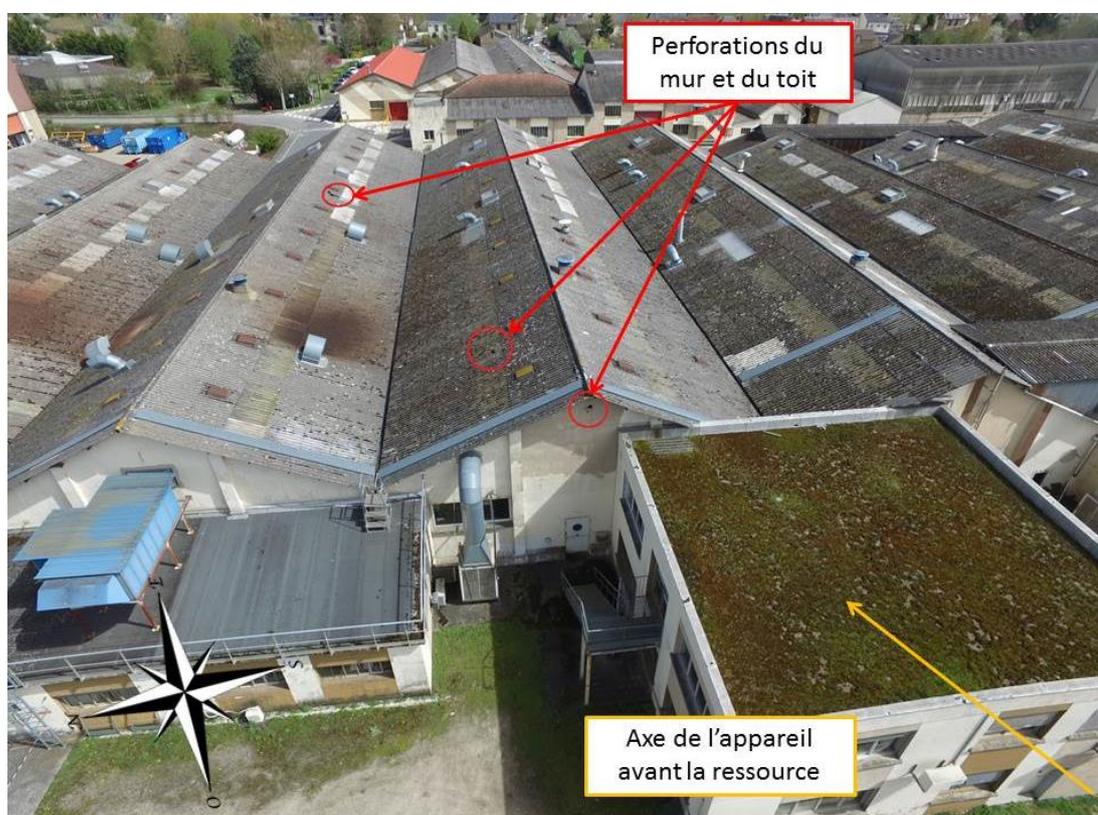


Figure 7 : vue aérienne de l'usine

¹⁴ Hi-8 : standard d'enregistrement analogique.

Le corps en plastique de la bombe est disloqué ; la majeure partie des débris est disséminée le long de la trajectoire sur quelques dizaines de mètres après le mur. La partie basse d'une machine outils est éventrée ; la cartouche de restitution d'impact est retrouvée quelques mètres avant, ainsi que le système de percussion.

Le lest central est retrouvé cinq mètres plus loin sous une étagère de stockage.

Le lest avant ainsi qu'une barre de charpente sont retrouvés quasiment à la verticale du dernier trou dans le toit.

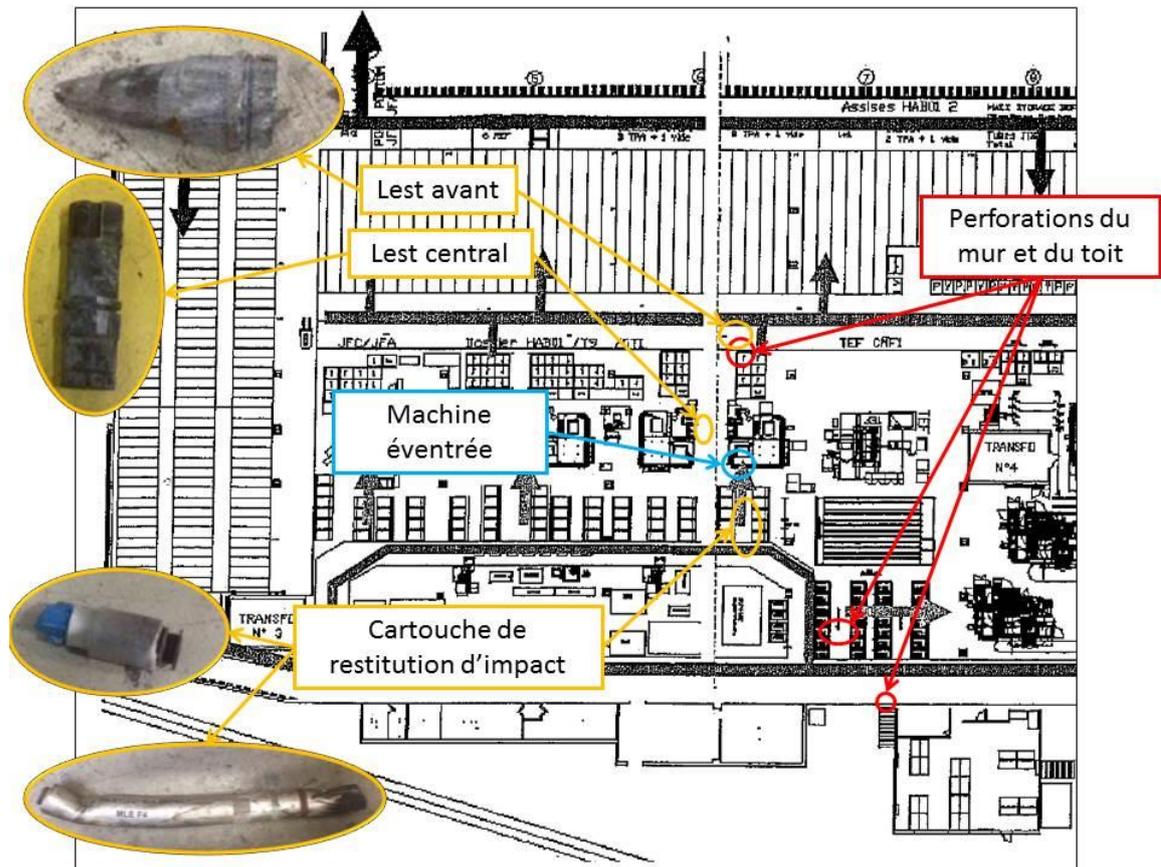


Figure 8 : positionnement des perforations du bâtiment et des principaux éléments de la bombe d'exercice

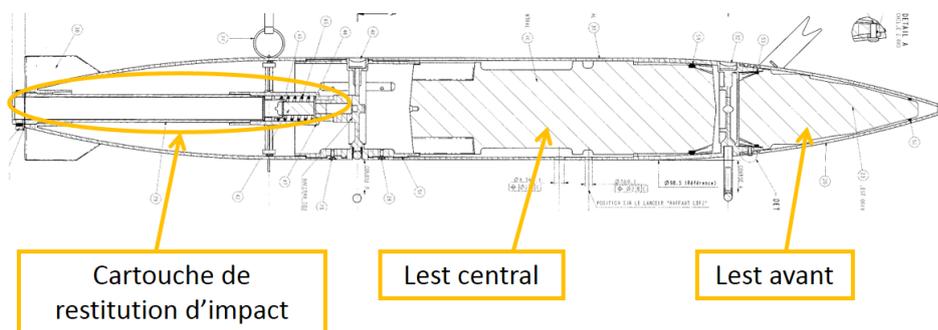


Figure 9 : schéma de la bombe d'exercice

1.12.1.2. Camp de Suippes

Le déclenchement de la cartouche de restitution d'impact a été observé par les officiers de tir au sol à environ 230 mètres de la cible (tir long). Un cratère est observé sur place. Les débris de la munition n'ont pas pu être identifiés parmi les autres débris présents sur le champ de tir.

1.12.1.3. Examen de l'aéronef

Les armuriers ont réalisé les opérations de mise en sécurité de l'aéronef et effectué les tests des crochets à l'arrivée de l'avion sur les deux déclencheurs éjecteurs TM50 dont les bombes étaient manquantes. Le lendemain matin, les deux autres bombes ont été déposées. L'ensemble de ces opérations a été réalisé avant l'arrivée de l'équipe d'enquête.

Les opercules des quatre impulseurs¹⁵ sont toujours présents.

Les constats suivants sont basés sur les témoignages des armuriers ayant réceptionné l'appareil et sur les photos qu'ils ont prises avant leur intervention :

- la bombe située au poste 2 (arrière droit) est manquante ; les crochets sont partiellement ouverts, dans une position inusuelle, à deux crans de serrage (3 crans correspondent à la position fermée, 0 cran à la position ouverte) ; les mors sont en position serrée ;



Figure 10 : vues du TM50 au poste n° 2

- la bombe située au poste 3 (avant gauche) est manquante ; les crochets sont partiellement ouverts, dans une position inusuelle, à un cran de serrage ; les mors sont en position serrée ;

¹⁵ Dispositif pyrotechnique permettant lorsqu'il est déclenché d'actionner un mécanisme conduisant au déverrouillage des crochets et à l'éjection de la bombe.



Figure 11 : vues du TM50 au poste n° 3

- les bombes aux postes 1 et 4 sont intègres et leur maintien en position est conforme à l'attendu.

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1. Leader

1.13.1.1. Commandant de bord

- Dernier examen médical¹⁶ :
 - type : expertise en centre d'expertise médicale du personnel navigant (CEMPN)
 - date : 13 octobre 2017
 - résultat : apte sans restriction
 - validité : 12 mois
- Examens biologiques : non effectués
- Blessure : aucune

1.13.1.2. NOSA

- Dernier examen médical :
 - type : expertise en CEMPN
 - date : 15 décembre 2017
 - résultat : apte sans restriction
 - validité : 12 mois
- Examens biologiques : non effectués
- Blessure : aucune

¹⁶ Selon instruction n° 4000/DEF/DRH-AA/SDERH-HP/BPECA du 20 avril 2017.

1.13.2. Équipier

1.13.2.1. Commandant de bord

- Dernier examen médical :
 - type : expertise en CEMPN
 - date : 18 décembre 2017
 - résultat : apte sans restriction
 - validité : 12 mois
- Examens biologiques : non effectués
- Blessure : aucune

1.13.2.2. Pilote

- Dernier examen médical :
 - type : expertise en CEMPN
 - date : 19 mars 2018
 - résultat : apte sans restriction
 - validité : 12 mois
- Examens biologiques : non effectués
- Blessure : aucune

1.14. Incendie

Sans objet.

1.15. Questions relatives à la survie des occupants

1.15.1. Abandon de bord

Sans objet.

1.15.2. Organisation des secours

À l'approche de l'aérodrome de Nancy, le leader informe le contrôleur aérien de la perte de munitions et d'un possible non départ de munition concernant son équipier. La tour actionne le klaxon crash ; la caravane de sécurité est déclenchée et cette dernière suit l'appareil sur le taxiway. Les armuriers interviennent sur l'appareil sans accord préalable du chef des secours, puis les pompiers évacuent l'équipage.

L'équipage et les pompiers rapportent la présence de nombreux personnels autour de l'appareil.

Deux employés de l'usine blessés ont été pris en charge par les pompiers du service départemental d'incendie et de secours (SDIS 45) puis transportés aux centres hospitaliers de Gien et de Montargis.

Le groupe central intervention NEDEX¹⁷ est alerté à 17h29 par la section de recherche de la gendarmerie de l'air. Il se rend sur les lieux à 20h04.

¹⁷ NEDEX : Neutralisation, Enlèvement, Destruction des Explosifs ou EOD *Explosive Ordnance Disposal*.

1.16. Essais et recherches

Le département RESEDA de DGA EP a extrait et exploité les données de l'ESPAR du Mirage 2000D n° 609 ainsi que les cassettes Hi-8 des deux appareils. Les données sont exploitables.

Les impulseurs ont été expertisés par DGA TT.

La société Rafaut a expertisé dans un premier temps le lance-bombes ainsi que les TM50 sous contrôle d'experts de la DGA. Le lance-bombes complet a ensuite été expertisé par DGA TA.

La graisse récupérée dans les TM 50 incriminés a été expertisée par DGA EP.

Les bombes F4 ainsi que les débris de la bombe récupérés dans l'usine ont été expertisés par DGA TA.

1.17. Renseignements sur les organismes

1.17.1. Escadron de chasse 1/3

L'EC 1/3 « Navarre » est une unité du CFA positionnée sur la BA 133 « commandant Henry Jeandet ». Elle est placée sous l'autorité du commandant de la 3^e escadre de chasse qui est chargée de conduire l'activité nécessaire à sa préparation et à son engagement.

1.17.2. Escadron de soutien technique aéronautique « Malzeville »

L'ESTA « Malzeville » regroupe le personnel spécialisé dans la mise en œuvre et la maintenance de la flotte Mirage 2000D stationnée sur la BA 133 au profit des quatre unités navigantes. Son personnel et ses moyens sont déployés en exercice et en opérations avec le personnel des escadrons de chasse. L'entretien courant des lance-bombes est assuré par l'atelier « emports » conformément à la notice NHF 161. Le montage des bombes est réalisé selon une carte de travail de 2011 à laquelle s'ajoute une directive d'application SIMMAD¹⁸ d'août 2016.

1.17.3. Atelier de réparation de l'armée de l'air (ARAA 623)

L'entretien plus approfondi des lance-bombes, notamment tous les 150 tirs, est assuré par l'ARAA 623 de Bordeaux-Mérignac qui dispose d'un agrément FRA 145 depuis décembre 2017. Cet entretien est réalisé selon une gamme de travail interne.

¹⁸ SIMMAD : structure intégrée pour le maintien en condition opérationnelle des matériels aéronautiques du ministère de la défense devenue DMAé courant 2018.

1.18. Renseignements supplémentaires

1.18.1. Historique des pertes de munitions du TM50

1.18.1.1. Pertes de munitions en vol

Les faits techniques concernant des pertes de munitions en vol recensés par le centre d'expertise de l'armement embarqué (CEAE) sont les suivants :

- le 15/12/1995 : perte d'une munition d'exercice F8 avionnée sur Mirage F1 ;
- le 07/03/1996 : perte d'une munition d'exercice F3 avionnée sur Mirage F1 ;
- le 18/04/1996 : perte d'une munition d'exercice F3 avionnée sur Mirage 2000C ;
- le 06/03/1996 : perte d'une munition d'exercice F3 avionnée sur Jaguar ;
- le 29/09/1997 : perte d'une munition d'exercice avionnée sur Mirage 2000N ;
- le 03/10/2000 : perte d'une munition d'exercice F7 avionnée sur Jaguar ;
- le 24/11/2008 : perte d'une munition d'exercice F4 avionnée sur Mirage 2000D ;
- le 19/05/2009 : perte d'une munition d'exercice F3 avionnée sur Alphajet ;
- le 08/03/2016 : perte d'une munition d'exercice F4 avionnée sur Mirage 2000D.

1.18.1.2. Pertes de munitions au sol

Les faits techniques concernant des pertes de munitions au sol recensés par le CEAE sont les suivants :

- le 23/02/2005 : perte d'une munition d'exercice F4 avionnée sur Mirage 2000C ;
- le 19/09/2006 : perte d'une munition d'exercice F4 avionnée sur Mirage 2000N ;
- le 24/11/2008 : perte d'une munition d'exercice F4 avionnée sur Mirage 2000D ;
- le 25/11/2008 : perte d'une munition d'exercice F4 avionnée sur Mirage 2000D ;
- le 13/05/2009 : perte d'une munition d'exercice F4 avionnée sur Mirage 2000N ;
- le 28/07/2009 : perte d'une munition d'exercice F4 avionnée sur Mirage 2000D ;
- le 25/08/2014 : perte d'une munition d'exercice F4 avionnée sur Alphajet au roulage ;
- le 16/10/2017 : perte d'une munition d'exercice F4 avionnée sur Mirage 2000D.

1.18.2. Lance-bombes LBF2

Le lance-bombes LBF2 installé sous l'aéronef est un dispositif permettant l'emport simultané de 4 bombes sous 4 postes distincts. À chaque poste, la retenue de la bombe est assurée par un déclencheur-éjecteur dénommé TM50. L'ordre de largage des bombes est le suivant :

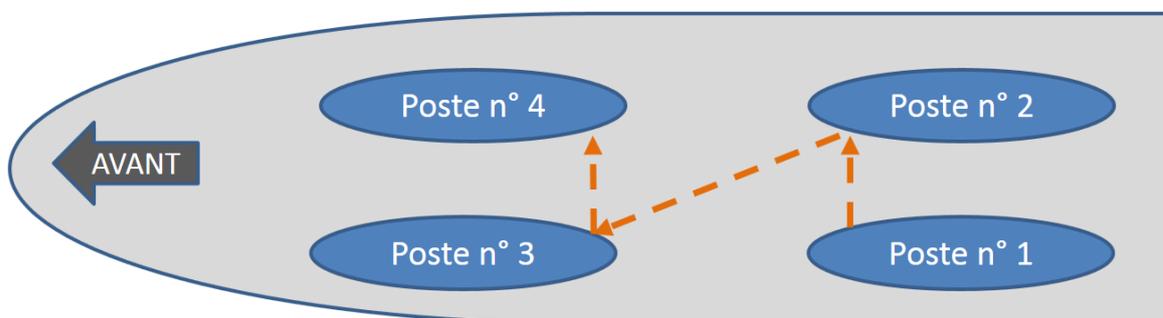


Figure 12 : vue schématique de dessus du lance-bombes LBF2 avec numérotation des postes

Par conception et en raison de la logique de l'ordre de largage ci-dessus, l'équipage est informé en cabine de l'absence de bombe sous l'aéronef lorsque la bombe au poste n° 4 n'est plus présente.

1.18.3. Déclencheur-éjecteur TM50

Le déclencheur-éjecteur TM50 est un dispositif permettant le maintien d'une bombe sous l'emport et assurant son éjection. Il existe deux versions du TM50 : une avec un déclenchement pneumatique, l'autre avec un déclenchement pyrotechnique. Seul diffère entre les deux versions la partie déclenchement. Le Mirage 2000D n° 609 est équipé le jour de l'évènement d'impulseurs pyrotechniques.

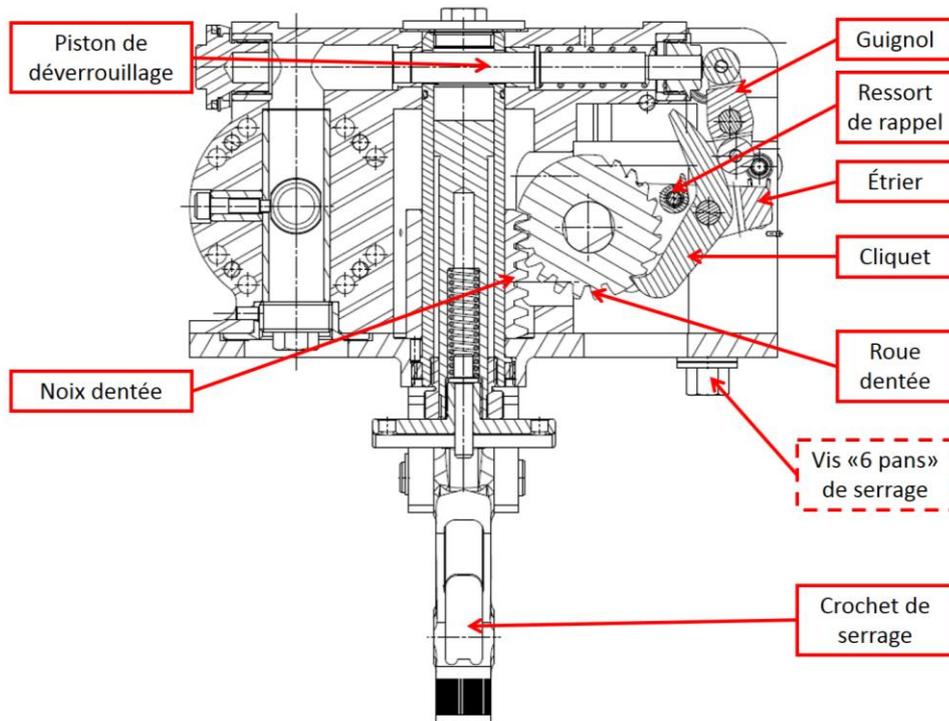


Figure 13 : coupe du TM50 avec les principales pièces de la partie maintien-éjection

1.18.3.1. Serrage d'une bombe F4

Pour serrer une bombe sous le lance-bombes, les opérateurs commencent par exercer à la main une force sur les crochets (flèches vertes figure 14) qui entraînent un mouvement de la noix dentée (flèches rouges) et de la roue dentée jusqu'à ce que le cliquet se déplace de trois crans.

Ils présentent ensuite la bombe à l'intérieur des crochets.

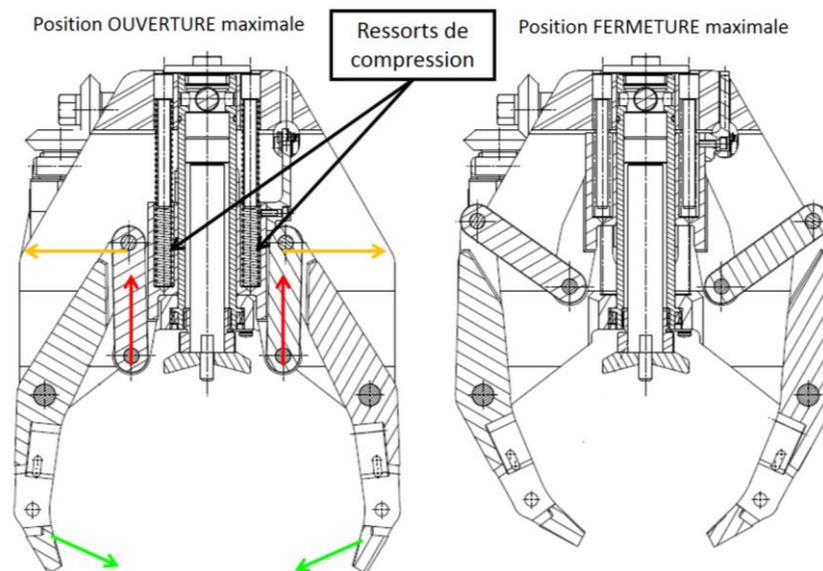


Figure 14 : illustration du déplacement des crochets suite à une action de serrage

Ils actionnent la vis « 6 pans » de serrage avec une manivelle pour amener les crochets au contact de la bombe. Cette action entraîne un déplacement de l'ensemble « cliquet étrier-levier de blocage » (flèche verte figure 15) qui pousse sur la roue dentée (flèche jaune) ce qui entraîne un déplacement de la noix (flèche rouge) et donc des crochets.

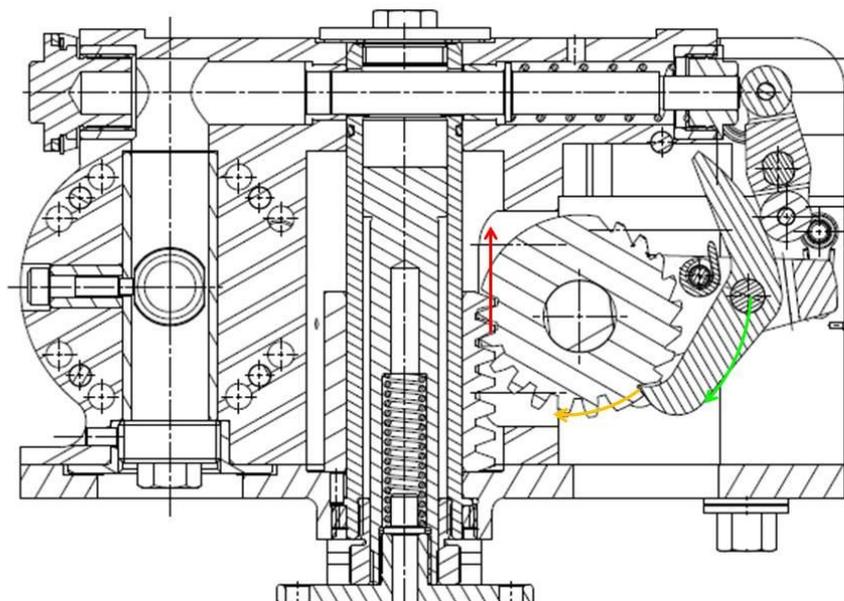


Figure 15 : illustration du déplacement des pièces suite à une action de serrage

Une fois les crochets au contact de la bombe, l'opérateur effectue trois tours de serrage supplémentaires de la vis « 6 pans » afin d'appliquer un effort de précontrainte.

1.18.3.2. Éjection d'une bombe

Lors de l'éjection, une partie des gaz issus de la détonation pyrotechnique ou du réservoir pneumatique viennent pousser le piston de déverrouillage (flèche verte figure 16) ce qui entraîne la culbute du guignol (flèches jaunes) et donc la sortie du cliquet de la roue dentée (flèches rouges).

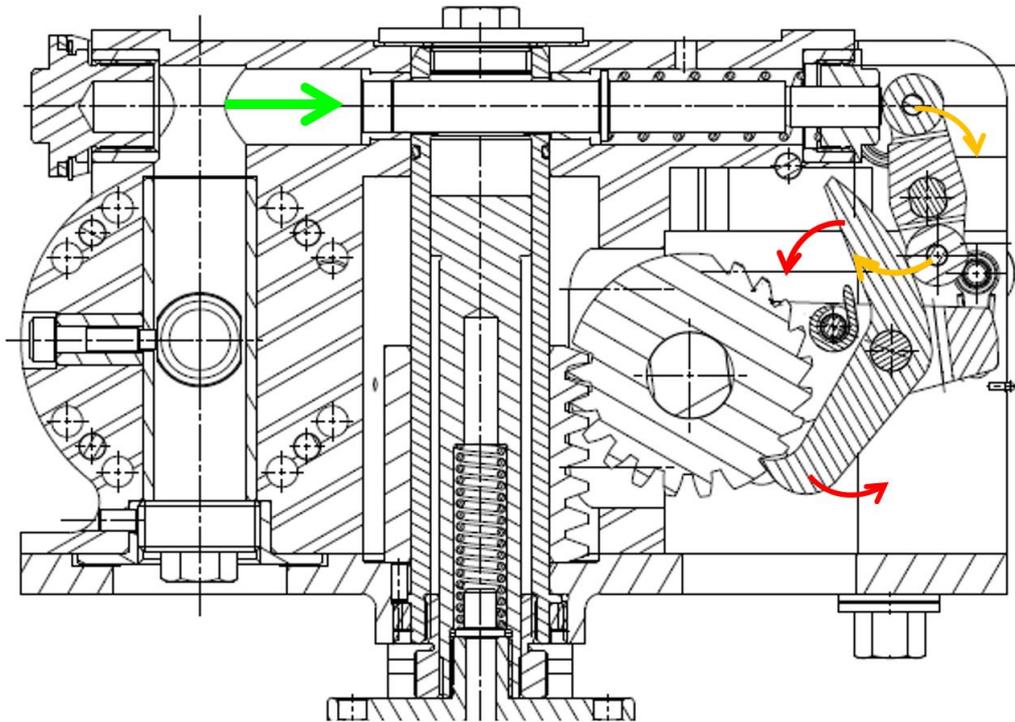


Figure 16 : illustration du déplacement des pièces lors de l'éjection

Les ressorts de compression visibles sur la figure 14 ramènent alors les crochets en position ouverte. L'autre partie des gaz vient pousser une tige en partie centrale qui éjecte la bombe.

1.18.3.3. Suivi en service

Le matériel est utilisé par les forces depuis son développement dans les années 1970. En cas de fait technique, les utilisateurs établissent un compte-rendu de fait technique (CRFT). Le TM50 fait l'objet d'un suivi par études de vieillissement auxquelles l'autorité technique (DGA) participe. Ce suivi consiste à s'assurer que le matériel est toujours apte à sa fonction quel que soit son vieillissement. Sur proposition du détenteur du certificat de type, l'autorité technique peut valider l'évolution du plan de maintenance (périodicités ou profondeur de la maintenance, remplacement de pièces à échéance, ...).

La dernière étude de vieillissement sur le matériel a été réalisée sur des matériels cumulant 600 tirs. Aucun test de la capacité du TM50 à supporter les efforts subis en vol (facteur de charge notamment) n'a été identifié dans les études de vieillissement ou lors de la maintenance.

1.18.4. Changement de définition des bombes d'exercice F4

À la fin des années 1990, la bombe F4C a été remplacée en production par la bombe F4D pour éviter l'emploi du plomb dans la composition du lest interne. Suite au développement, les directives de pose de la bombe F4D sont restées identiques à celle de la bombe F4C.

PAS DE TEXTE

2. ANALYSE

L'analyse s'appuie sur les résultats des expertises, les constatations et les témoignages. Elle présente dans un premier temps les résultats des expertises, décrit la séquence de l'évènement puis identifie dans un troisième temps les causes des pertes de munitions.

2.1. Résultats des études et des expertises techniques

Ce chapitre présente les résultats des expertises suivantes :

- enregistrements vidéos et données issues des enregistreurs de données de vol ;
- examen des impulseurs pyrotechniques ;
- examen des débris de la bombe d'exercice retrouvés et des deux bombes restées sous l'avion ;
- expertise du lance-bombes.

2.1.1. Exploitation des enregistrements

Deux sources d'informations ont pu être exploitées. Elles concernent :

- les vidéos des systèmes de visualisation tête haute ;
- les paramètres issus des enregistreurs de données de vol.

L'exploitation des enregistrements a permis d'obtenir la trajectoire de l'avion ainsi que ses évolutions. La trajectoire du vol complet est la suivante :

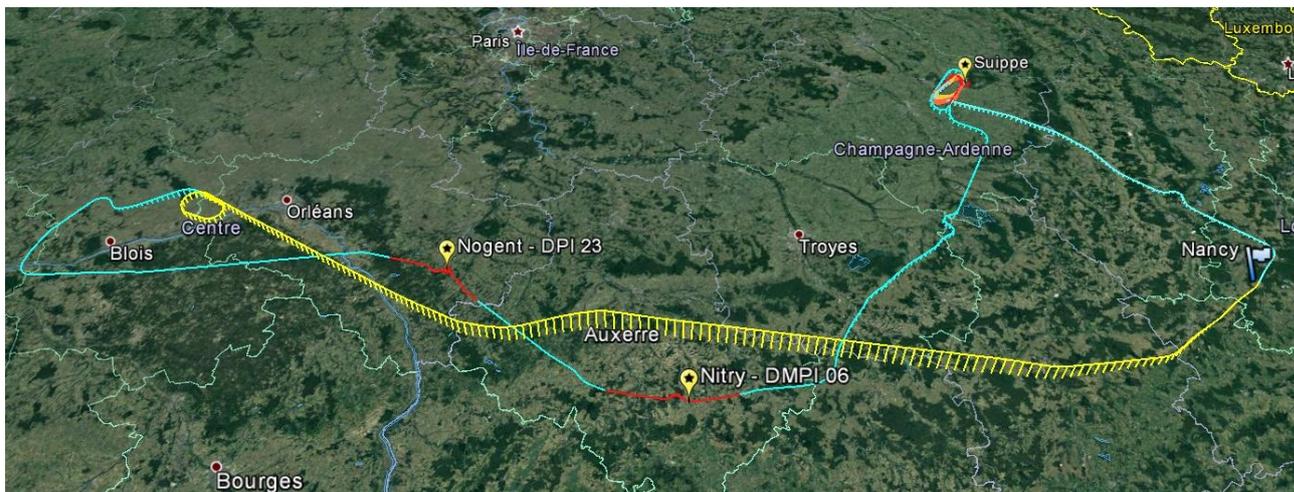


Figure 17 : trajectoire du vol complet

L'exploitation a permis de confirmer que :

- pendant tout le vol, et notamment lors des pertes en vol des deux bombes d'exercice, l'aéronef et les systèmes associés (bombe, lance-bombes, pylône) sont restés dans leur domaine de vol autorisé ;
- l'aéronef et les systèmes associés n'ont pas rencontré de conditions environnementales particulières (givre sévère, collision aviaire, ...) ;
- les deux pertes en vol des bombes d'exercice sont intervenues lors d'une manoeuvre avec un facteur de charge supérieur à 5 g ;
- le système d'autorisation du largage des bombes d'exercice n'était pas actif au moment des pertes des deux bombes d'exercice.

De plus, dans les 30 secondes précédant la perte de bombe sur Nogent-sur-Vernisson, l'aéronef a enregistré à trois reprises des facteurs de charge de l'ordre de 4 g.

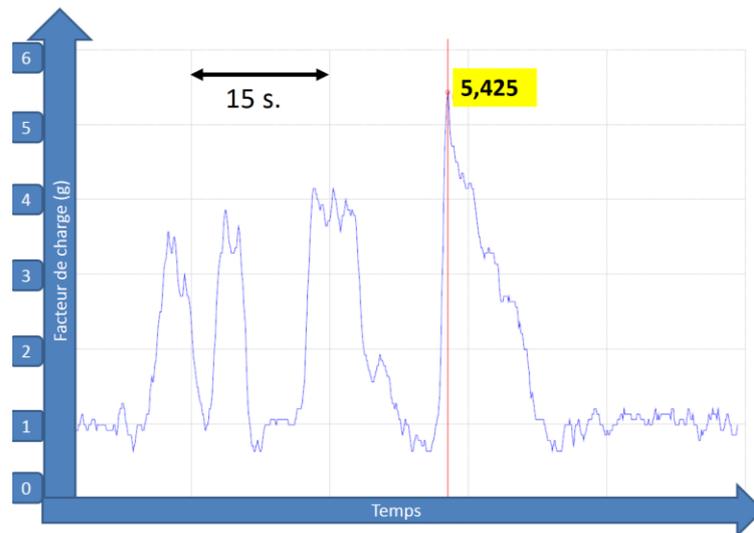


Figure 18 : relevé du facteur de charge dans les 30 secondes précédant la ressource à Nogent-sur-Vernisson

À Suippes, l'aéronef a d'abord enregistré un facteur de charge de l'ordre de 4 g, suivi d'un autre à 6 g lors de la ressource qui a occasionné la perte de la bombe.

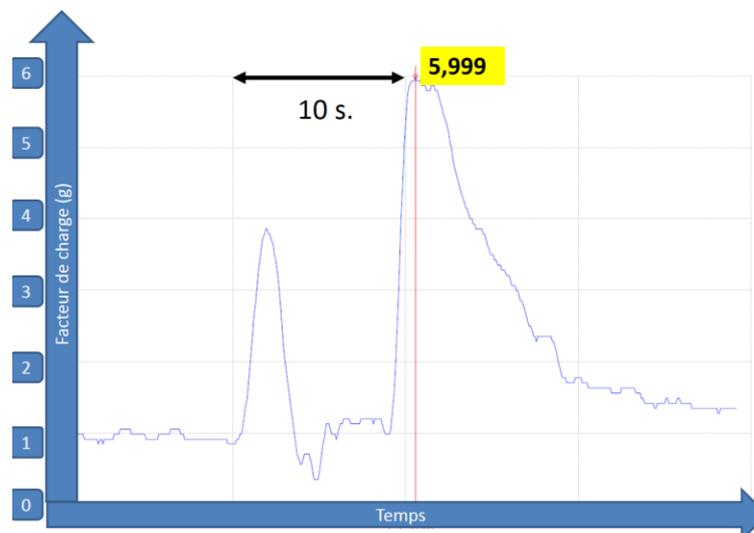


Figure 19 : relevé du facteur de charge de l'avion dans les 20 secondes précédant la ressource à Suippes

Tout au long du vol, l'aéronef est resté dans les limites du domaine de vol autorisé et n'a pas rencontré de conditions environnementales particulières.

La première perte survient lors d'une ressource à plus de 5 g précédée par 3 évolutions à environ 4 g.

La seconde perte survient lors d'une ressource à 6 g précédée d'une évolution à 4 g.

Le système de largage des bombes n'était pas actif lors des deux pertes de munitions.

2.1.2. Examen des impulseurs pyrotechniques

La libération commandée des bombes utilise un système d'ouverture nécessitant la mise à feu d'une poudre propulsive. Afin de vérifier si une mise à feu est survenue en vol, les huit impulseurs pyrotechniques (deux par système d'accrochage des bombes) ont été examinés au sein de DGA TT.

L'expertise conclut qu'aucun des huit impulseurs n'a été mis à feu.

Aucun des huit impulseurs pyrotechniques n'a reçu d'ordre de mise à feu pendant le vol.

2.1.3. Examen des débris de la bombe retrouvée et des deux bombes restées sous l'avion

Les deux bombes d'exercice restées sous l'avion ont été examinées au sein de DGA TA. Pour retenir correctement la bombe, les deux mors du système doivent appuyer sur le corps de bombe dans la zone en forme de T inversé de couleur noire. Pour chacune des bombes, les mors ont laissé une marque dans chaque zone noire.



Figure 20 : marques sur les zones d'appui des mors pour la bombe d'exercice n° B8411 installée au poste n° 1



Figure 21 : marques sur les zones d'appui des mors pour la bombe d'exercice n° B8412 installée au poste n° 4

Les débris collectés dans l'usine ont été rassemblés au sein de DGA TA afin d'être reconstitués. Cette reconstitution n'a pu être que partielle car la masse globale des débris (15,402 kg) est inférieure à la masse attendue de la bombe (15,840 kg). Cela s'explique majoritairement par l'absence d'éléments en matière plastique constitutifs du corps arrière qui s'est normalement fragmenté lors de l'impact. Le numéro de la bombe étant inscrit sur cette partie arrière manquante, et la deuxième bombe perdue n'ayant pas été retrouvée sur le champ de tir, il n'a pas été possible de déterminer leur position sur l'avion (avant gauche ou arrière droite).

La reconstitution permet :

- de confirmer le numéro de lot, identique aux deux autres bombes (1er lot de l'année 2015) ;
- de réaliser un examen partiel des zones d'appui des mors ;
- de réaliser un examen des lests récupérés.



Figure 22 : reconstitution de la bombe d'exercice à partir des débris récupérés



Figure 23 : vue de détail des zones d'appui des mors sur la bombe d'exercice reconstituée

L'examen des zones d'appui montre quatre séries de marquages (une de chaque côté) laissés par les mors. Le sens de déplacement des marquages sur la bombe est de l'intérieur de la zone du T inversé, vers le haut et l'avant. Ces 4 séries semblent correspondre :

- à la phase de serrage à la pose ;
- et aux trois premières phases de facteur de charge élevé.

Le 4^e facteur de charge (correspondant à la libération de la bombe) n'a pas laissé de marque.

L'examen des lests récupérés a permis d'identifier des traces laissées par les ressorts de l'anneau de suspension sur la face avant du lest central.

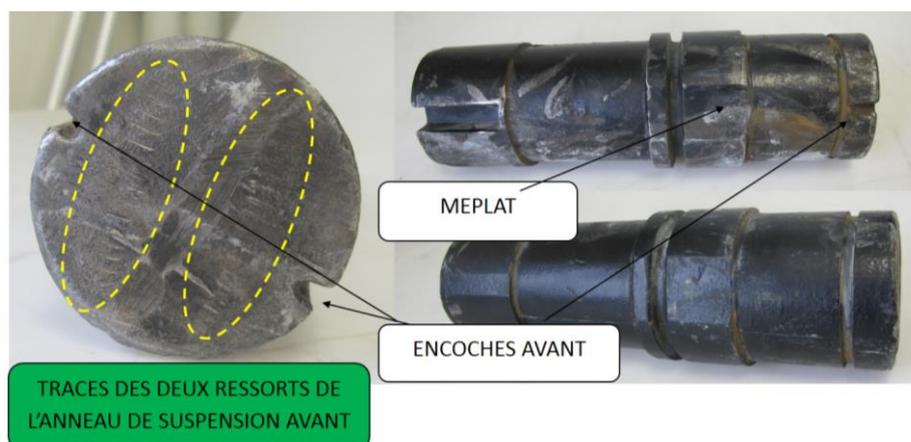


Figure 24 : vue des traces identifiées sur le lest central récupéré

Des analyses chimiques ont été réalisées sur la matière du corps des trois bombes d'exercice. Les résultats montrent que la nuance du polycarbonate est bien celle attendue et que ce matériau n'est pas altéré par le vieillissement. Les essais mécaniques sur les éprouvettes taillées dans le corps de bombe montrent un comportement conforme à l'attendu, y compris pour une gamme de température entre -70 °C et + 50 °C.

La bombe d'exercice tombée sur l'usine est du même lot que les autres et ne présente pas de signe de vieillissement particulier.
Les marquages sur son corps en plastique indiquent un glissement en 3 phases de la bombe vers le bas et l'arrière au cours du vol. Ils indiquent également un serrage similaire aux deux bombes restantes lors de la pose.

2.1.4. Examen du lance-bombes

2.1.4.1. Examen chez l'industriel

Le lance-bombes a été initialement examiné par l'industriel concepteur. Lors de cet examen, le phénomène de perte de bombe a été reproduit sur les deux points d'emport (postes n° 2 et 3) qui ont perdu une bombe en vol. Aucune perte de bombe n'est intervenue sur les deux autres points d'emports (postes n° 1 et 4).

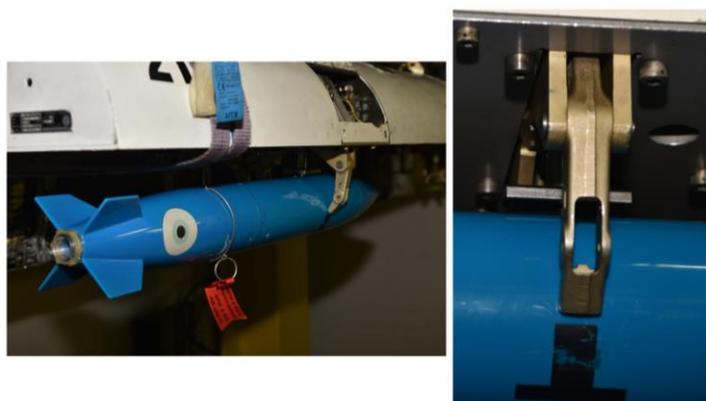


Figure 25 : déplacement de la bombe d'exercice vers le bas au banc (poste n° 2 – arrière droit)

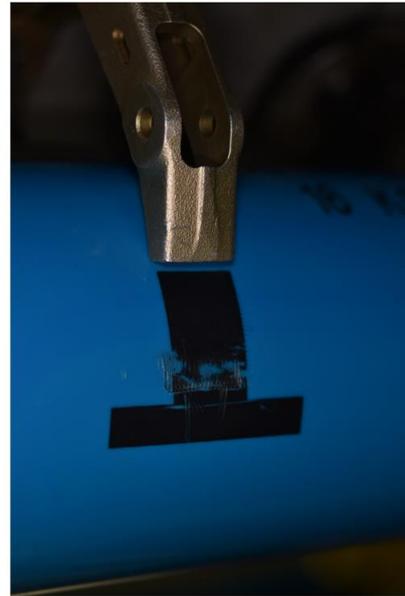
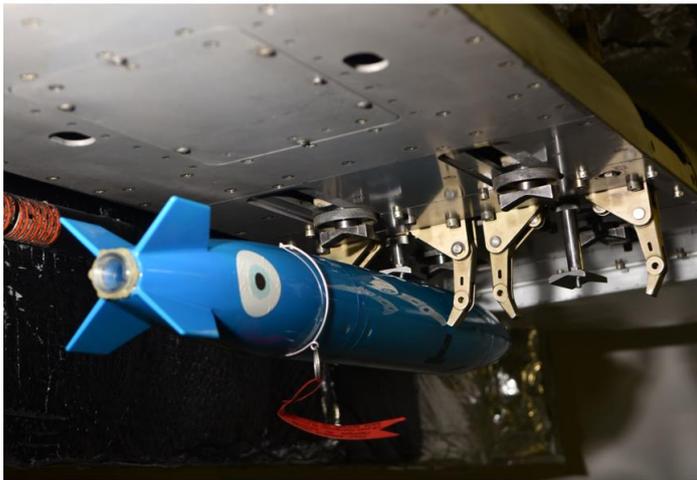


Figure 26 : déplacement de la bombe d'exercice vers le bas au banc (poste n° 3 – avant gauche)

Lors de l'examen des 2 TM50 ayant libéré une bombe, un glissement du cliquet (poste n° 2 – figure 27) sur la roue dentée a été identifié à l'application de la précontrainte. Il a aussi été constaté que le système à cliquet du poste n° 2 est nettement graissé, alors que celui du poste n° 3 l'est beaucoup moins (figure 27).

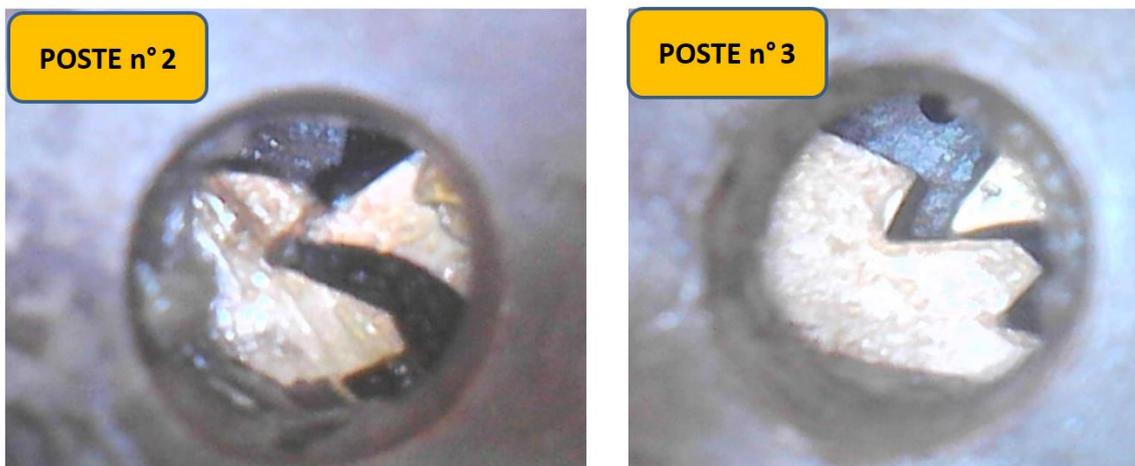


Figure 27 : glissement du cliquet sur la roue constaté pour le poste 2 avec un graissage différent du poste n° 3

À l'issue, les TM50 ont été déposés et démontés.

Lors du démontage, un prélèvement de graisse a été réalisé pour analyse. Les résultats montrent que la graisse est celle attendue. Des éléments exogènes à la graisse sont présents comme du cadmium, du bismuth, du zinc, du calcium et du plomb.

L'examen comparatif entre les pièces des TM50 ayant libéré une munition d'exercice et celles n'en ayant pas libéré ne montre pas de phénomène distinct particulier (pièce fortement usée, pièce endommagée, ...).

Afin de parfaire cet examen, l'ensemble du lance-bombes a été transporté à DGA TA pour une analyse plus approfondie.

2.1.4.2. Expertise au sein de DGA TA

L'expertise au sein de DGA TA a consisté en trois grandes phases :

- examen approfondi du LBF2 équipé des quatre TM50 ;
- réalisation de calculs ;
- réalisation d'une campagne d'essai de pose/dépose de bombes sous le LBF2.

Le verrouillage des bombes au moyen du TM50 est basé sur un système de roue à rochet¹⁹ schématisé ci-dessous.

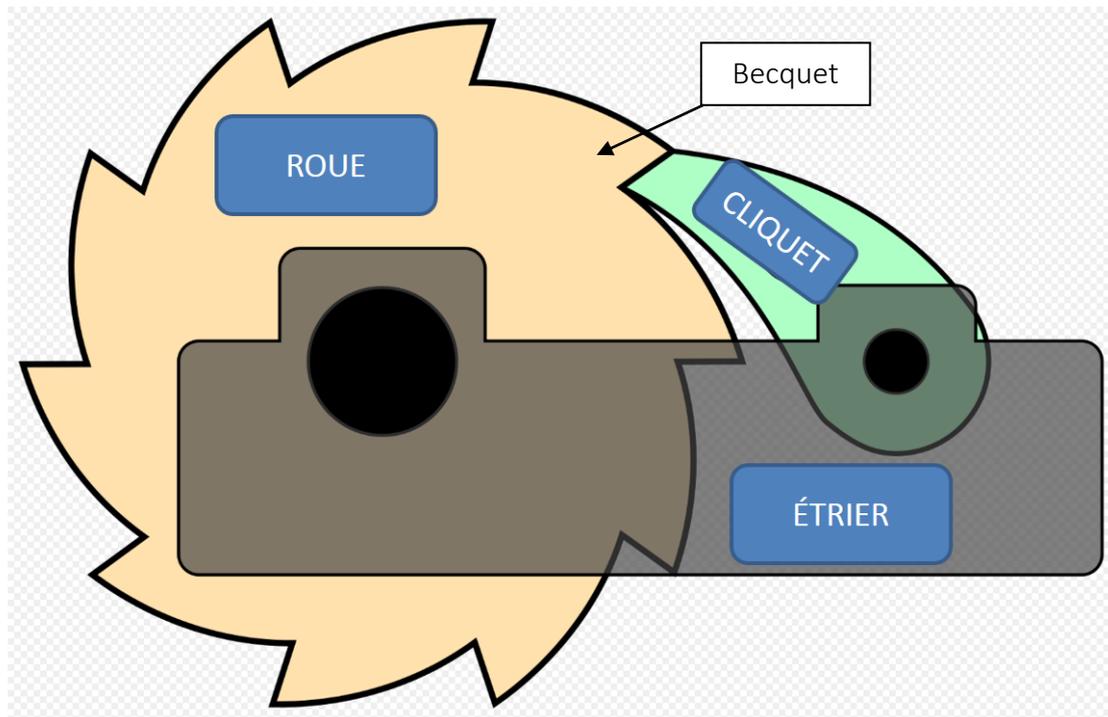


Figure 28 : schéma illustratif d'une roue à rochet et de son cliquet

Examen approfondi du LBF2

L'examen approfondi pour chaque TM50 montre que :

- sur les roues :
 - toutes les quatre sont cadmiées dans des zones non prévues sur le plan de définition, et notamment au niveau des dents du système à cliquet,
 - le diamètre intérieur (en noir sur le schéma) est :
 - dans les tolérances du plan pour le poste n° 1 ;
 - en limite des tolérances du plan pour le poste n° 4 ;
 - hors des tolérances du plan pour les postes n° 2 et 3 ,
 - les surfaces extérieures des dents sont usées,
 - l'examen des quatrièmes dents (celle normalement en contact avec le cliquet pour la bombe F4) révèle qu'elles sont diversement émoussées en partie supérieure,
- sur le cliquet :
 - les diamètres intérieurs (en noir sur le schéma) sont diversement usés,
 - la distance entre son diamètre intérieur et le becquet (partie en contact avec la roue) est dans les tolérances du plan,

¹⁹ Roue à rochet : roue pourvue d'encoches particulières permettant d'assurer une rotation dans un seul sens.

- le becquet (zone en contact avec la dent de la roue) présente une plage d'usure de quelques microns (figures 29 et 30). Les usures identifiées ont été traduites ci-après en écart angulaire par rapport à la surface non usée dite de référence²⁰ :
 - poste n° 1 : jusqu'à 1,39° ;
 - poste n° 2 : jusqu'à 2,39° ;
 - poste n° 3 : jusqu'à 2,64° ;
 - poste n° 4 : jusqu'à 1,46° ;

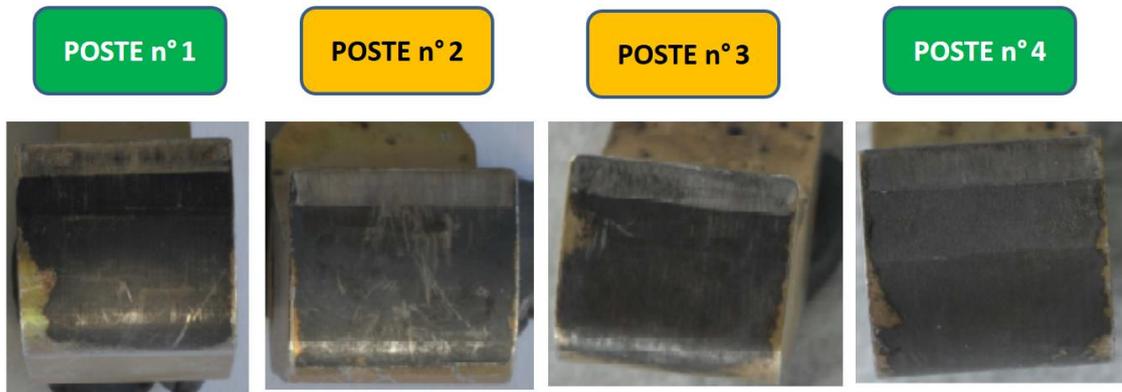


Figure 29 : usures identifiées sur les becquets des cliquets

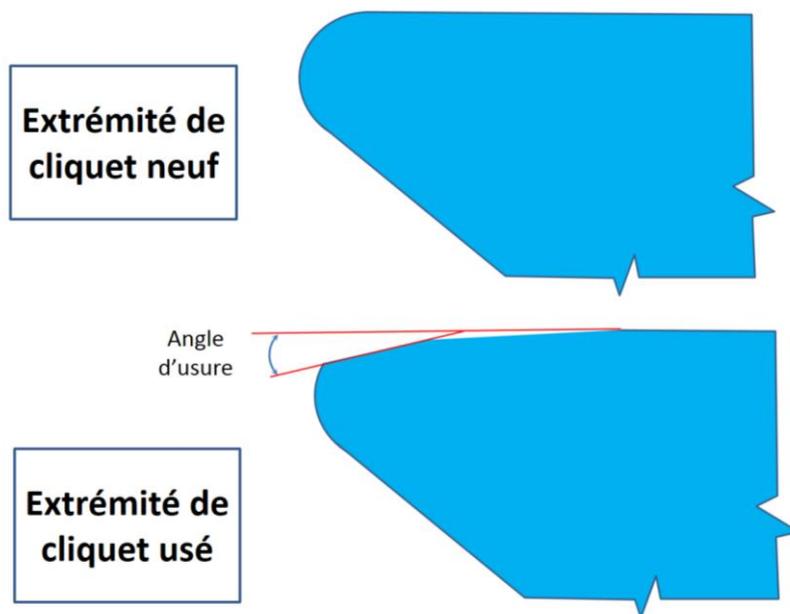


Figure 30 : schématisation exagérée de l'usure du becquet (vue de profil)

- sur l'étrier :
 - les étriers des postes n° 1 et 4 (n'ayant pas libéré de munition) ne sont pas conformes au plan de définition,
 - les alésages recevant les deux axes supportant la roue et le cliquet sont hors tolérances du plan pour les quatre postes,
 - les distances entre les deux alésages sont dans les tolérances du plan.

²⁰ En l'absence d'usure, l'angle serait nul.

Calculs réalisés

Des calculs ont été réalisés sur le système de roue à rochet lubrifié. La modélisation (figure 31) consiste à identifier le couple nécessaire au glissement du cliquet sur la roue en créant une usure localisée uniquement sur le becquet (figure 32).

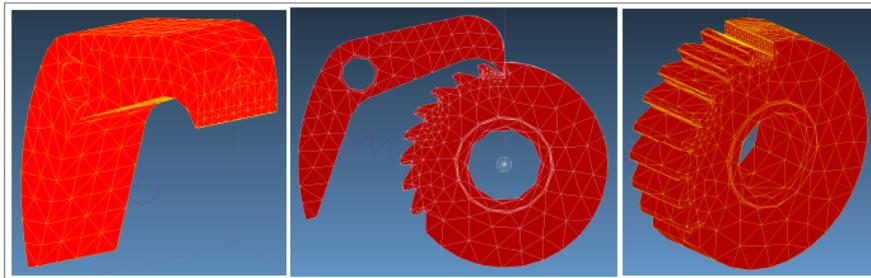


Figure 31 : maillage du système roue-cliquet

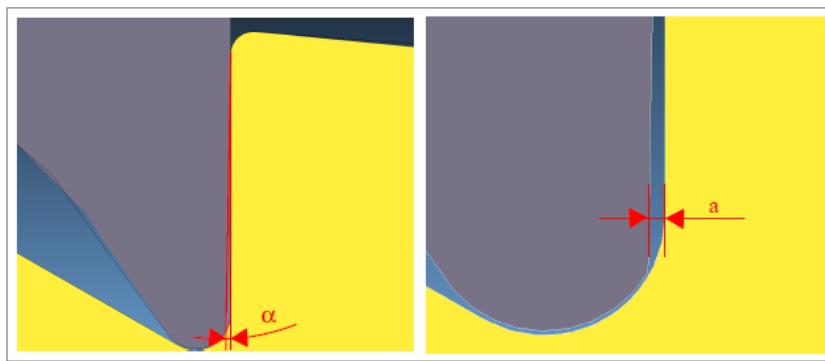


Figure 32 : définition de l'usure sur le cliquet

Ces derniers montrent qu'avec une roue nominale et un étrier nominal :

- en l'absence d'usure du becquet du cliquet, le système est stable ;
- avec une usure du becquet de l'ordre de $40\ \mu\text{m}^{21}$ (ou 1° d'angle d'usure) le système devient instable dès que le couple de la roue à contrer par le cliquet devient supérieur à $406\ \text{N.m}^{22}$;
- avec une usure du becquet de l'ordre de $80\ \mu\text{m}$ (ou 2° d'angle d'usure) le système devient instable dès que le couple de la roue à contrer par le cliquet devient supérieur à $156\ \text{N.m}$;
- avec une usure du becquet de l'ordre de $120\ \mu\text{m}$ (ou 3° d'angle d'usure) le système devient instable dès que le couple de la roue à contrer par le cliquet devient supérieur à $18\ \text{N.m}$.

Le système devient instable à partir d'une certaine valeur du couple à contrer dès qu'une usure au niveau de la face de contact entre le cliquet et la roue est présente.

²¹ μm : micron ou un millième de millimètre.

²² N.m : *Newton* mètre.

Campagne de pose/dépose de bombes

Une campagne de pose/dépose de bombes a été réalisée avec plusieurs armuriers et a permis de reproduire le phénomène au sol.

Lors de cette campagne, le couple mesuré est celui au niveau de la vis « 6 pans » permettant la mise en contrainte de la bombe. Si ce couple n'est pas identique à celui présent au niveau de la roue à rochet, les comparaisons d'un poste à l'autre sont pertinentes à condition que les munitions soient de même diamètre et le graissage identique. L'ancienne version des bombes F4D, dénommée F4C de même diamètre, a aussi été testée.

Le poste n° 2 graissé normalement est celui qui nécessite le couple le plus faible pour se déclencher intempestivement.

Le poste n° 3 graissé normalement a besoin d'un couple supérieur à celui du poste n° 2 pour se déclencher de façon intempestive.

Aucun déclenchement des postes n° 1 et 4 (graissés normalement) n'a été constaté.

Après installation du système de roue à rochet du poste n° 2 sur le TM50 du poste n° 1, le phénomène d'ouverture intempestive a été reproduit.

En appliquant les mêmes conditions, le couple mesuré pour la pose d'une bombe F4D est supérieur à celui d'une bombe F4C d'ancienne génération. Cet écart provient des caractéristiques différentes du lest interne entre ces deux bombes d'exercice.

Le phénomène d'ouverture intempestive a été reproduit au sol lors des examens.
L'origine provient du système de roue à rochet constitué de trois composants (roue, cliquet et étrier).
Les usures identifiées sur les postes n° 2 et 3 sont les plus élevées et entraînent une nette dégradation de leurs capacités à contrer le couple.
Les deux autres postes, avec des valeurs d'angle d'usure inférieures à 1,46°, subissent, dans une moindre mesure, une dégradation de leurs capacités à contrer le couple mais n'ont pas libéré de munition.
La campagne de pose/dépose montre que le poste n° 2 se déclenche intempestivement plus facilement que le poste n° 3.
Le couple nécessaire à l'installation d'une bombe F4D est supérieur à celui d'une F4C.
Les usures observées expliquent les libérations intempestives des deux bombes d'exercice.

2.2. Séquence de l'évènement

Au vu des résultats obtenus, la séquence de l'évènement a été établie comme suit :

- les 4 bombes F4D sont installées par les armuriers le jour même dans l'ordre 3, 1, 2 et 4 sous l'avion équipé de son lance-bombes selon les directives en vigueur. Lors de cette opération, les mors du système de serrage impriment des marques sur les corps des bombes ;
- l'équipage vérifie l'accrochage des munitions et débute la mise en route ;
- lors du décollage, du vol de transit et jusqu'à l'arrivée près de Nogent-sur-Vernisson, le vol est réalisé à un facteur de charge inférieur à 2,5 g ;
- lors des évolutions à l'arrivée sur Nogent-sur-Vernisson :
 - le facteur de charge atteint 3 fois des valeurs proches de 4 g ; ces évolutions occasionnent la création des marques successives visibles sur les débris du corps de la bombe retrouvée ,
 - la dernière évolution, correspondant à une manoeuvre à plus de 5 g, occasionne la perte de la munition au niveau du poste n° 2.

Pour la perte de munition sur le champ de tir de Suippes, le même scénario s'applique avec une ressource à 6 g occasionnant la perte de la munition présente au poste n° 3.

2.3. Recherche des causes de l'évènement

2.3.1. Domaine technique

2.3.1.1. Usure du lance-bombes

Le lance-bombes a été entretenu conformément aux échéances du plan de maintenance. Toutefois, l'expertise a montré que le système de roue à rochet présentait des usures, notamment au niveau des faces d'appui du cliquet sur la roue.

Cela a entraîné une réduction des capacités du système à supporter les efforts transmis par la roue lors des évolutions à fort facteur de charge.

Les usures observées expliquent les libérations intempestives des bombes d'exercice.

L'usure du système de roue à rochet de deux déclencheur-éjecteurs TM50 est à l'origine de l'évènement.

2.3.1.2. Réduction des capacités d'entrave

La réduction des capacités d'entrave a logiquement réduit la valeur limite du facteur de charge au-dessus de laquelle la retenue des bombes n'est plus assurée. La capacité d'entrave des bombes de l'avion est réduite, sans que l'équipage n'en ait connaissance.

Les facteurs de charges atteints lors du vol indiquent que l'équipage a évolué en permanence à l'intérieur du domaine d'emport autorisé, lequel est protégé de tout dépassement dès lors que la configuration réelle de l'avion est programmée au sol.

Le jour de l'évènement, la sensibilité au facteur de charge des deux systèmes TM50 est néanmoins accrue du fait de leur dégradation.

Dès lors que le facteur de charge atteint des valeurs supérieures aux capacités d'entrave dégradées par l'usure des cliquets des deux TM50 – bien qu'inférieures aux limites autorisées, les bombes se détachent.

Dans ces conditions, le panel des évolutions susceptibles de causer une perte de bombe est très large. Tout virage serré entraînant un facteur de charge élevé en fait partie.

Bien que l'avion soit resté dans son domaine de vol autorisé, la capacité d'entrave des bombes est réduite du fait de l'usure de l'ensemble lance-bombes. Dès lors, tout facteur de charge dépassant les capacités réduites du lance-bombes est susceptible de causer la perte en vol non commandée des bombes d'exercice.

2.3.1.3. Changement de la définition de la bombe d'exercice F4

Le système de lance-bombes LBF2 a été développé à la fin des années 1970, pour emporter notamment la bombe d'exercice F4C. La bombe F4C a évolué au standard F4D au cours de l'année 2000. Pour poser une bombe F4D, le couple à appliquer est supérieur à celui d'une bombe F4C d'ancienne génération, ce qui réduit la marge de couple à contrer avant glissement du cliquet sur la roue.

Le passage du standard F4C au standard F4D, en réduisant la marge de couple à contrer avant glissement du cliquet, est un facteur contributif de l'évènement.

2.3.2. Domaine relevant des facteurs organisationnels et humains

2.3.2.1. Partage de l'information des faits techniques

L'analyse de l'historique des pertes de munitions d'exercice au sol ou en vol met en évidence 17 évènements entre 1995 et 2017, dont 9 évènements en vol.

Tous ces évènements ont fait l'objet d'un CRFT remonté au CEAE, unité spécialisée dans les expérimentations de l'armée de l'air.

Il est à noter que pour les 8 premiers évènements ni l'industriel, ni l'autorité technique n'en ont été informés.

En 2008, suite à trois pertes de munitions en deux jours, l'industriel est prévenu pour la première fois, mais aucune modification n'est apportée.

En 2014, après 4 nouveaux évènements, l'industriel propose une modification qui n'est initialement pas retenue faute de financement. L'autorité technique est alors informée des derniers évènements. Elle interdit l'emploi des TM50, avant d'approuver la modification proposée par l'industriel et d'établir une consigne de navigabilité pour remettre en service les TM50 une fois modifiés.

Suite à cette consigne de navigabilité, deux évènements relatifs à des TM50 modifiés ont encore eu lieu en 2016 et en 2017. Ces derniers ont tous été remontés à l'industriel et à l'autorité technique, mais les causes de ces évènements n'ont pu être comprises et aucune nouvelle modification n'a été décidée.

L'absence de partage d'information systématique a empêché l'autorité technique d'acquiescer une compréhension exacte de la situation pourtant essentielle dans le cadre de sa mission. En l'absence d'éclairage précis et circonstancié, la consigne de navigabilité émise par cette dernière n'a pas permis de répondre totalement aux problèmes rencontrés.

2.3.2.2. Procédure de pose des bombes F4 sur un TM50

En 2016, faisant suite à la consigne de navigabilité n° 755-16/DT/ASA/AAC imposant de créer un trou de visualisation afin qu'un mécanicien puisse s'assurer visuellement du bon verrouillage de l'éjecteur avant vol, la SIMMAD a émis une directive d'application concernant la procédure de pose des bombes d'exercices F4 sous un lance-bombes TM50.

L'ancienne procédure demandait de placer la charge entre les tenailles du lance-bombes et ensuite de serrer de trois crans par une action manuelle sur les tenailles. Cette procédure nécessitait donc la présence d'au moins deux opérateurs sous l'avion pour l'opération alors que la carte de travail mentionne un « opérateur principal ».

La nouvelle procédure consiste à une inversion dans l'ordre des tâches et à l'ajout d'une action supplémentaire. L'opérateur doit d'abord serrer de trois crans les tenailles par une action manuelle sur celles-ci. Puis, il doit contrôler visuellement la bonne position du cliquet dans la roue dentée par le trou de visualisation. L'objectif de ces modifications est double :

- permettre la pose de la bombe d'exercice par un seul opérateur comme prévu initialement dans le manuel de maintenance rédigé par Dassault aviation;
- intégrer la consigne de navigabilité dans la procédure.

L'analyse des pratiques a mis en évidence une application partielle de la nouvelle procédure. S'il semble que les opérateurs aient bien été informés oralement du changement de procédure, la carte de travail n'a pas été mise à jour.

Les opérateurs de l'armée de l'air continuent à travailler à deux et selon l'ancienne procédure, tout en réalisant le contrôle supplémentaire du bon positionnement du cliquet dans la roue dentée. Les entretiens ont révélé que les opérateurs préfèrent travailler à deux dans le but de simuler le plus possible les conditions de pose des bombes réelles qui doivent se faire en équipe d'au moins deux opérateurs.

Les écarts constatés entre les pratiques des opérateurs et la nouvelle procédure ne constituent pas un facteur de l'évènement. À l'inverse, ces écarts sont motivés par une mécanisation du travail en binôme qui est nécessaire avec une bombe réelle.

2.3.2.3. Procédure de pose du lance-bombes LBF2

Quinze jours avant l'évènement, le lance-bombes a été posé sous le pylône conformément à la carte de travail en vigueur qui inclut les tests électriques. Il a ensuite été déposé du pylône, ce dernier restant sous l'aéronef. Afin de pouvoir accueillir les bombes d'exercice le lance-bombes a été installé de nouveau sous le pylône, conformément à la carte en vigueur, à l'exception des tests électriques qui n'ont pas été de nouveau réalisés afin d'éviter une immobilisation trop longue de l'aéronef.

Aucun dysfonctionnement électrique du système n'a été identifié lors de l'évènement.

Les écarts constatés entre les pratiques et la procédure ne sont pas un facteur de l'évènement. Ils servent uniquement à réduire l'indisponibilité des aéronefs.

2.3.2.4. Supervision du processus de maintenance des TM50

L'analyse de la notice technique NHF 161 a révélé des lacunes concernant le processus de démontage des TM50 lors des VP 36 mois mais également concernant le contrôle des pièces avant le remontage.

Jusqu'en 2009, aucune précision n'est apportée au document, les mécaniciens élaborant leur pratique à leur niveau et utilisant leur savoir-faire et leur expérience pour démonter et évaluer l'état des pièces de façon empirique.

En 2009, à la demande du CSFA (commandement du soutien des forces aériennes), le CEAE a rédigé une procédure de vérification et de réparation des TM50 à destination de l'atelier du GAT 14.623 (groupe des ateliers techniques). Cette procédure détaille les étapes du démontage et précise quelques critères de vérification. Ces critères ne concernent pas le système de roue à rochet et cliquet.

Cette procédure utilisée dès lors au sein de l'atelier du GAT 14.623 n'a été ni approuvée, ni validée, notamment par l'autorité technique ou le constructeur. L'absence de supervision d'une nouvelle procédure a conduit à un manque de fiabilité de la maintenance des TM50.

L'absence de procédure validée du démontage du TM50 et l'absence de critères permettant l'évaluation objective des pièces démontées ne permettent pas d'assurer un niveau de fiabilité suffisant de la maintenance du TM50. Ce manque de fiabilité est un facteur contributif de l'évènement.

2.3.2.5. Gestion des vols d'entraînement

Aucun fait relevant du pilotage de l'aéronef n'a été identifié comme cause de l'évènement.

Du fait de l'usure du lance-bombes, un grand nombre d'évolutions, pouvant être adoptées à l'entraînement dans de multiples contextes de vol différents, est susceptible de causer une perte de bombe d'exercice. Pour cette raison, l'évènement ne peut pas être rattaché au profil d'une passe précise, mais doit l'être au seul facteur de charge, ou à la répétition du facteur de charge (ici pour des valeurs de 4 à 6 g).

Par ailleurs, l'analyse de l'évènement permet d'identifier un flou réglementaire concernant les vols d'entraînement hors champ de tir.

Le jour de l'évènement, à cause de la dégradation des capacités d'entrave du lance-bombes, la perte d'une bombe d'exercice sur une usine a été suivie d'une seconde perte sur le champ de tir de Suippes.

La gravité du second évènement est moindre car la perte est intervenue dans le gabarit du champ de tir.

Au sein de l'armée de l'air, les textes régissant l'emport des armements réels dits « bons de guerre » imposent, sur le territoire national, des restrictions particulières, notamment l'interdiction de vol à proximité des villes.

Pour les autres armements, comme les bombes d'exercice, les restrictions imposées aux équipages sont différentes. Hors des champs de tir, les hauteurs et les distances à respecter sont déterminées en fonction du type de passes à réaliser et selon que l'objectif est habité ou non.

Or la passe réalisée par l'équipage correspond à une ancienne procédure (tir roquette) qui n'est plus référencée mais qui peut continuer à présenter un intérêt didactique selon certains équipages.

Ce mode de tir est d'ailleurs toujours techniquement réalisable par l'avion. Il n'est pas stipulé dans les textes que ce type de passe est interdit.

Pour autant, son absence de référencement n'est pas logique. Par principe, il apparaît en effet cohérent que l'autorité d'emploi autorise explicitement et encadre par des consignes appropriées toute activité pratiquée dans les faits.

Compte tenu des textes actuels, l'usine est un objectif possible pour l'entraînement aux différents modes de tir référencés du Mirage 2000D, y compris s'il emporte des bombes d'exercice.

Bien que le tir ne soit plus référencé, la réalisation de la passe n'est pas interdite.

Un cadrage réglementaire de ce type de tir fictif en entraînement hors champ de tir serait par principe souhaitable.

PAS DE TEXTE

3. CONCLUSION

L'évènement est une double perte non commandée de munitions d'exercice en vol.

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

L'équipage d'un Mirage 2000D équipé d'un lance-bombes et de quatre bombes d'exercice réalise une mission d'entraînement. Cette dernière consiste à réaliser des passes de tir fictif sur des objectifs désignés et des passes de tir réel avec les bombes d'exercice sur le champ de tir de Suippes. Pendant tout le vol, l'avion est resté dans son domaine de vol autorisé et a rencontré des conditions météorologiques normales.

3.1.1. Perte de la bombe d'exercice à Nogent-sur-Vernisson

Lors d'une passe fictive, alors que tous les systèmes sont inactifs, au cours de la ressource réalisée à 5,4 g, une des quatre bombes d'exercice se détache de l'avion et heurte une usine. L'analyse des débris de la bombe d'exercice révèle un serrage initial similaire à celui des bombes restées sous l'avion. Un glissement en trois phases du corps de bombe dans les mors de retenue a été identifié avant son détachement.

3.1.2. Perte de la bombe d'exercice à Suippes

L'équipage réalise une passe de reconnaissance sur le champ de tir. Lors de la troisième tentative de tir, au cours d'une ressource atteignant 6 g, une des trois bombes d'exercice restantes se décroche.

Les débris de la bombe n'ont pas été retrouvés.

3.2. Causes des deux évènements

Les investigations montrent que le phénomène d'ouverture intempestive des mors du lance-bombes est reproductible sur les deux postes ayant libéré une bombe d'exercice en vol.

Alors que l'avion est resté dans son domaine de vol autorisé, cette défaillance prend son origine dans :

- l'usure du système de roue à rochet assurant la retenue des munitions, qui dégrade ses capacités à contrer les efforts et rend possible le départ des bombes alors même que l'avion reste dans son domaine de vol,
- les directives de maintenance qui :
 - ne prévoient pas le contrôle de cette usure,
 - ne demandent pas le changement de ces pièces à une certaine échéance ,
- le suivi en service²³ qui n'a pas permis d'anticiper cette défaillance.

La modification du lest interne de la bombe lors de son passage de la version F4C à F4D a aussi contribué à cette défaillance en introduisant une augmentation des contraintes lors de la pose de la munition.

²³ Le suivi en service regroupe notamment le traitement des faits techniques et les études de vieillissement.

PAS DE TEXTE

4. RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

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

4.1.1. Fiabilité du système

Au vu des premiers éléments recueillis, le BEAD-air avait recommandé par message n° 140 /ARM/BEAD-air/DIR du 13 avril 2018 de suspendre l'emploi du TM50.

La défaillance identifiée est due à un vieillissement non maîtrisé du matériel et à une maintenance peu précise.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'autorité technique, en lien avec l'autorité d'emploi et le constructeur, de fiabiliser l'emport des bombes avec le lance-bombes LBF2 quel que soit l'avion porteur.

R1 – [A-2018-04-I]

4.1.2. Partage de l'information

L'autorité technique a émis des consignes de navigabilité sans avoir connaissance de tous les faits techniques rencontrés par les utilisateurs.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de l'air de mieux partager avec l'autorité technique et les constructeurs les faits techniques en fonction de leur gravité.

R2 – [A-2018-04-I]

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

4.2.1. Encadrement des entraînements au tir roquettes fictif hors champ de tir

Certains équipages considèrent qu'une manœuvre incluant une passe de tir roquette fictif continue à présenter un certain intérêt didactique. Or les textes actuels encadrant l'activité d'entraînement au tir roquettes fictif hors champ de tir ne semblent pas suffisamment précis.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de l'air, sur la base du présent rapport, de vérifier l'intérêt que représente le maintien de l'entraînement au tir roquettes fictif hors champ de tir.

- Si l'autorité d'emploi valide le principe de l'entraînement au tir fictif à la roquette, les textes réglementant cette activité gagneraient à être révisés.
- Si elle considère que cette activité ne présente pas d'intérêt particulier, sa pratique gagnerait à être explicitement prohibée.

R3 – [A-2018-04-I]

4.2.2. Mise à jour de la documentation

Lors de l'enquête, il a été constaté que les armuriers utilisent une carte de travail de 2011 amendée par une directive d'application de la SIMMAD éditée plus d'un an et demi avant l'évènement.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à la DMAé d'accélérer la mise à jour de la documentation.

R4 – [A-2018-04-I]

4.2.3. Installation du lance-bombes

Lors de l'enquête, il a été constaté une migration des procédures pour l'installation du lance-bombes afin de rendre les avions disponibles plus rapidement.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de l'air, en liaison avec la DMAé, de mener une étude sur la pertinence de cette migration de procédure de maintenance motivée par la disponibilité des aéronefs.

R5 – [A-2018-04-I]

4.2.4. Préservation des indices

À l'arrivée de l'avion, un nombre important d'intervenants s'est retrouvé autour de l'aéronef. Des manipulations non nécessaires à la sécurisation de l'aéronef ont été réalisées avant l'arrivée de l'équipe d'enquête.

En conséquence, le BEA-É recommande :

aux autorités d'emploi de rappeler la nécessité de préserver les indices en cas d'évènement aérien et de limiter les interventions aux seules opérations de secours.

R6 – [A-2018-04-I]