

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

## Rapport d'enquête de sécurité



D-2020-09-I

Date de l'évènement	23 juillet 2020
Lieu	Saintes-Maries-de-la-Mer (Bouches-du-Rhône)
Type d'appareil	Mirage 2000 N
Organisme	Direction générale de l'armement Essais en vol

## 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 française.

---

## CRÉDITS

	Maurice Devecis	Page de garde
Figure 1	DGA EV	8
Figure 2	François Cahour	8
Figure 3	RESEDA	16
Figures 4 à 6	Safran Aircraft Engines	17 et 18
Figure 7	Dassault Aviation	19
Figure 8	RESEDA et BEA-É	24

## 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 .....	11
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 l'aéronef .....	12
1.13. Renseignements médicaux.....	12
1.14. Incendie.....	12
1.15. Questions relatives à la survie des occupants et à l'organisation des secours .....	12
1.16. Essais et recherches .....	12
1.17. Renseignements sur les organismes.....	13
2. Analyse.....	15
2.1. Expertises techniques.....	15
2.2. Séquence de l'évènement.....	20
2.3. Recherche des causes de l'évènement.....	20
3. Conclusion .....	27
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement .....	27
3.2. Causes de l'évènement .....	27
4. Recommandations de sécurité .....	29
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement .....	29
4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement .....	30
ANNEXE.....	32

## GLOSSAIRE

AV/AR	Avant/arrière
BA	Base aérienne
CCER	Centre de contrôle d'essais et de réception
CEMPN	Centre d'expertise médicale du personnel navigant
CER	Circulation d'essais et de réception
CIMA	Centre d'instruction en médecine aérospatiale
DGA EP/DESA	Direction générale de l'armement Essais propulseurs/division évaluation des systèmes aéropropulsifs (DESA)
DGA EP/RESEDA	Direction générale de l'armement Essais propulseurs/restitution des enregistreurs d'accidents (RESEDA)
DGA EV	Direction générale de l'armement Essais en vol
DMAé	Direction de la maintenance aéronautique
EPNER	École du personnel navigant d'essais et de réception
FDR	<i>Flight data recorder</i> - enregistreur de données de vol
ft	<i>Feet</i> - pieds (1 pied vaut 0,3048 m)
g	Facteur de charge ou accélération verticale (1 g vaut 1 fois la pesanteur terrestre)
GRA	Gestion du risque aérien
INE	Ingénieur navigant d'essais
kt	<i>Knots</i> - noeuds (1 noeud vaut 1,852 Km/h)
PC PC	Pleine charge postcombustion
SDOAR	Sous-direction opérations aériennes
VTH	Visualisation tête haute
VTB	Visualisation tête basse

## SYNOPSIS

Date et heure de l'évènement : 23 juillet 2020 à 14h11  
Lieu de l'évènement : étang de Vaccarès, commune des Saintes-Maries-de-la-Mer  
Organisme : direction générale de l'armement  
Commandement organique : direction générale de l'armement Essais en vol (DGA EV)  
Unité : sous-direction opérations aériennes (SDOAR) - base d'essais d'Istres Le Tubé  
Aéronef : Mirage 2000 N immatriculé F-ZAAB  
Nature du vol : vol d'essais d'entraînement et d'harmonisation  
Nombre de personnes à bord : 2

### Résumé de l'évènement selon les premiers éléments recueillis

Le 23 juillet 2020, un Mirage 2000 N de DGA EV décolle à 13h35 de la base aérienne (BA) 125 d'Istres Le Tubé pour un vol d'essais d'entraînement et d'harmonisation. À son bord, se trouvent en place avant (AV) un instructeur pilote d'essais expérimental commandant de bord et en place arrière (AR) un instructeur pilote d'essais expérimental, non qualifié sur l'appareil.

Entre autres manœuvres, le programme du vol comprend un retournement « pleine charge postcombustion (PC PC) ». Le pilote AR amène l'appareil à 8 300 ft et 305 kt environ, plein gaz sec (sans postcombustion). Il déclenche le passage sur le dos pour initier le retournement. Pendant le piquer qui suit, il place la manette des gaz sur plein réduit, alors que la manœuvre briefée devait se faire PC PC.

Se rendant immédiatement compte de son erreur, il pousse la manette des gaz vers l'avant. Le pilote AV intervient en la ramenant vers l'arrière sur plein réduit, et l'annonce à haute voix. Le pilote AR agit alors simultanément sur la manette des gaz vers l'arrière. L'équipage poursuit la manœuvre de retournement plein réduit sous facteur de charge.

Pendant le piquer, le pilote AV détecte l'extinction du moteur, reprend les commandes et tente un rallumage via le circuit de régulation de secours. Il observe alors une surchauffe. Après quelques secondes, le moteur recouvre un fonctionnement sain. L'altitude minimale atteinte est de 1 200 ft. À partir de 1 500 ft, les deux pilotes ont envisagé l'éjection. L'atterrissage s'effectue après une longue finale de précaution et avec l'utilisation du parachute-frein.

### 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 de première information ;
- un pilote ayant une expertise sur Mirage 2000 N ;
- un mécanicien ayant une expertise sur Mirage 2000 N ;
- un ingénieur navigant d'essais ayant une expertise des essais en vol ;
- un médecin breveté supérieur de médecine aéronautique.

### Autres experts consultés

- direction générale de l'armement Essais propulseurs (DGA EP)/division évaluation des systèmes aéropropulsifs (DESA) ;
- DGA EP/restitution des enregistreurs d'accidents (RESEDA) ;
- Dassault Aviation ;
- Safran Aircraft Engines.

PAS DE TEXTE

## 1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

### 1.1. Déroulement du vol

#### 1.1.1. Mission

Type de vol : vol d'essais en circulation d'essais et de réception (CER)

Type de mission : entraînement et harmonisation

Dernier point de départ : BA 125 Istres Le Tubé (LFMI)

Heure de départ : 13h35

Point d'atterrissage prévu : BA 125 Istres Le Tubé (LFMI)

#### 1.1.2. Déroulement

##### 1.1.2.1. Préparation du vol

Ce vol est prévu dans le cadre de l'entraînement du pilote instructeur commandant de bord (AV) en prévision de la rentrée de l'école du personnel navigant d'essais et de réception (EPNER). Le pilote AR, non qualifié sur Mirage 2000, est un personnel militaire de l'armée de l'air espagnole en échange à l'EPNER auprès de laquelle il est instructeur depuis quatre ans. Il joue le rôle d'un stagiaire pour ce vol, qui est son dernier à l'EPNER avant son retour dans son pays d'origine.

Le vol a été décidé une semaine auparavant et son horaire défini trois jours avant, avec un décollage prévu à 13h30. Il est classé comme vol d'essais et fait l'objet d'un ordre d'essais, sur lequel il est classé AE<sup>1</sup>. Il est noté sur le cahier d'ordres sous la classe AI. Une grille de gestion du risque aérien (GRA<sup>2</sup>, cf. annexe) est remplie par les deux membres d'équipage. Le score des deux membres d'équipage est de 28/57 et 34/57. Sur l'ordre d'essais, le risque numéro 1 identifié est la collision avec le sol lors des retournements débutés sous 10 000 ft, risque évalué comme significatif.

Après le déjeuner, les deux pilotes définissent l'ordre d'essais lors d'un briefing d'une demi-heure. Ils décollent à 13h35.

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

Le début du vol se déroule conformément à l'ordre d'essais. Le pilote AR est aux commandes et réalise une montée au niveau de vol 400<sup>3</sup>, puis une accélération à Mach 1.4, une montée au niveau 500, un vol aux basses vitesses<sup>4</sup> au niveau 250, un *G warm-up*<sup>5</sup> jusqu'à 5 g<sup>6</sup>, une exploration des marges de manœuvre et enfin deux barriques.

L'équipage aborde alors les retournements. Le contrôleur aérien d'essais et de réception demande à l'équipage de faire un virage serré par la droite afin d'effectuer les retournements face à l'est et ainsi éviter les zones de Nîmes et de Montpellier. Trois retournements sont prévus au programme : un plein gaz sec<sup>7</sup>, un PC PC, et un plein réduit. Compte tenu du carburant déjà consommé pour les essais au cours du vol, le pilote AR propose de ne pas faire le premier retournement plein gaz sec, ce que le pilote AV approuve. Le pilote AR briefe alors les actions qu'il va effectuer pour le retournement PC PC et effectue la liste de vérifications prévue avant le point d'essai.

Le profil de vol de l'ordre d'essais présente le séquençage et les modalités (altitude, vitesse) des essais effectués.

---

<sup>1</sup> Selon le manuel d'opérations de DGA EV, les vols d'essais de classe A sont ceux qui comportent l'ouverture des domaines de vol ou la mise au point des systèmes pouvant affecter de façon significative les caractéristiques de vol de l'aéronef. Dans cette classe, la dénomination AI désigne les vols d'essais d'instruction et AE les vols d'essais de perfectionnement.

<sup>2</sup> Grille anonyme remplie avant chaque vol par les membres d'équipage pour estimer de manière chiffrée le niveau de risque de la mission envisagée par rapport à différents facteurs (fatigue, soucis personnels, difficulté du vol, etc.). Les scores vont de 19 à 57 et plus le score est élevé, plus le vol comporte des facteurs de risque.

<sup>3</sup> 40 000 pieds au calage 1 013 hectopascals.

<sup>4</sup> Sur Mirage 2000, vitesses inférieures à 200 kt.

<sup>5</sup> Évolutions sous facteurs de charge progressifs permettant une préparation physiologique des membres d'équipage.

<sup>6</sup> Un facteur de charge de 5 g correspond à une accélération verticale d'une valeur de cinq fois la pesanteur terrestre.

<sup>7</sup> Sans postcombustion.

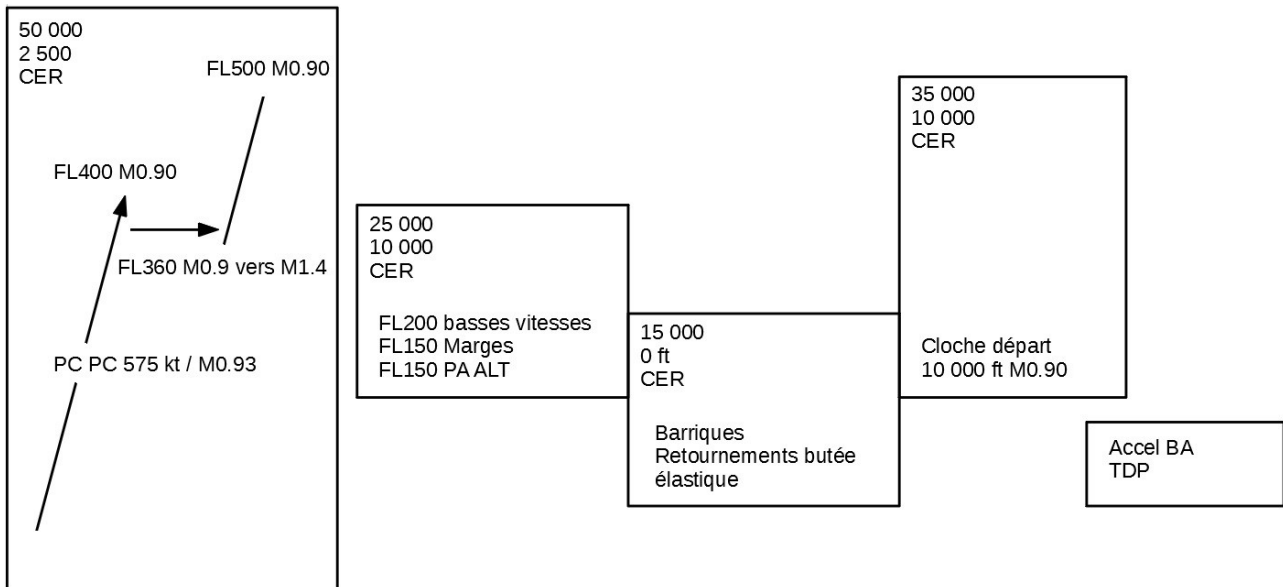


Figure 1 : profil du vol d'essais

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

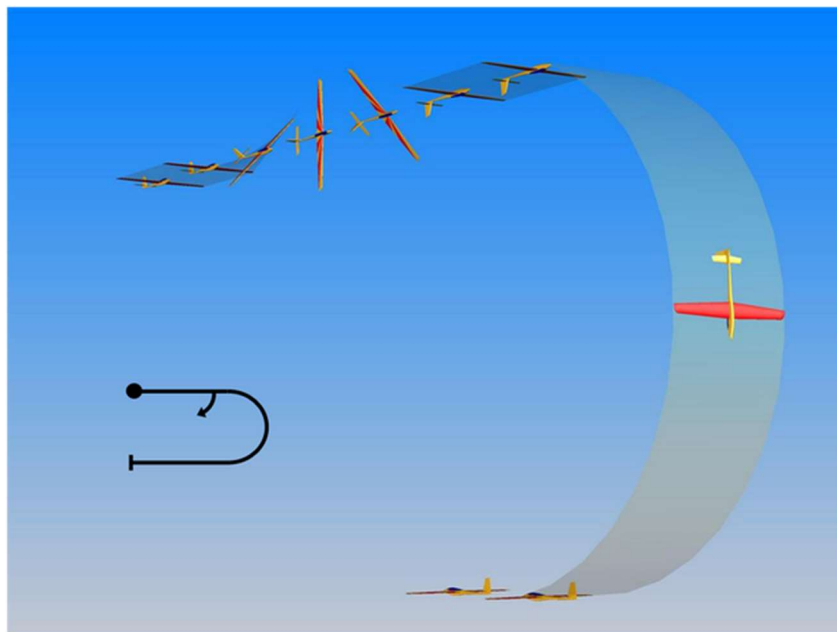


Figure 2 : schéma descriptif de la manœuvre de retournement

Le pilote AR, aux commandes, aborde le retournement à 302 kt et 8 370 ft, plein gaz sec. Il place l'avion sur le dos en annonçant « pleine charge PC » puis effectue une action à cabrer jusqu'à la butée élastique. Le facteur de charge est alors de 6 g. Il place la manette des gaz sur plein réduit et lorsqu'il se rend compte de son erreur, s'exclame à voix haute en ramenant la manette vers l'avant. Le pilote AV bloque son mouvement et lui demande de ne plus intervenir sur la manette des gaz. Toutefois les deux pilotes ramènent simultanément la manette des gaz en butée arrière et décident de poursuivre le retournement plein réduit. Au cours de la ressource, vers 6 300 ft, plusieurs voyants d'alarme s'allument et les sonneries associées retentissent. Le pilote AV annonce l'extinction du moteur, reprend les commandes et indique au contrôleur aérien d'essais et de réception une panne moteur. Il débute alors une tentative de rallumage via le circuit de régulation de secours.



Il place d'abord la manette des gaz sur STOP, l'interrupteur de coupure de la postcombustion sur arrêt, puis bascule la palette sur « secours carb<sup>8</sup> ». Il appuie finalement sur le bouton de rallumage. La vitesse est de 246 kt et l'altitude de 3 000 ft.

Après quelques secondes et avant que le moteur ne se rallume, il met la manette des gaz sur plein réduit. Il observe alors une forte augmentation de la température de la turbine T7, qui dépasse les 950 °C<sup>9</sup>. Le pilote AV remet la manette des gaz sur STOP, puis vérifie ses paramètres pour comprendre l'origine de la surchauffe T7. Le moteur poursuit son rallumage et retrouve un fonctionnement sain après quelques secondes. L'altitude minimum atteinte au cours de l'incident est de 1 200 ft.

Après le rallumage, le pilote AV règle le transpondeur sur 7700<sup>10</sup> puis annonce le rallumage au contrôleur. Les voyants « becs<sup>11</sup> » et « souris<sup>12</sup> » sont restés allumés depuis le rallumage du moteur. Le pilote AR recherche et lit les checklists correspondant à ces pannes. L'atterrissage se déroule normalement sur le circuit de régulation de secours, après une longue finale de précaution et avec l'utilisation du parachute frein.

### 1.1.3. Localisation

- Lieu :
  - pays : France
  - département : Bouches-du-Rhône (13)
  - commune : Saintes-Maries-de-la-Mer
  - coordonnées géographiques : 43°31'51''N/004°31'39''S
  - altitude lors de l'évènement : environ 8 000 ft
- Moment : jour
- Aérodrome le plus proche au moment de l'évènement : BA 125 Istres le Tubé (LFMI)

## 1.2. Dommages corporels

L'équipage est indemne.

## 1.3. Dommages à l'aéronef

L'aéronef est intègre. Le moteur doit cependant subir des opérations d'inspection suite à la surchauffe T7.

## 1.4. Autres dommages

Néant.

## 1.5. Renseignements sur l'équipage

### 1.5.1. Commandant de bord (pilote AV)

- Âge : 42 ans
- Unité d'affectation : EPNER
- Fonction dans l'unité : chef pilote
- Formation :
  - qualifications : Mirage 2000, instructeur pilote d'essais – *flight test instructor (aeroplanes)* (FTI(A)) en cours de validité
  - école de spécialisation : EPNER

---

<sup>8</sup> À partir du moment où le circuit de régulation de secours « secours carb » est utilisé, la manette des gaz n'a plus d'effet sur le moteur.

<sup>9</sup> Valeur maximum de l'indicateur.

<sup>10</sup> Code de situation de détresse.

<sup>11</sup> Dispositif hypersustentateur de bord d'attaque.

<sup>12</sup> Cônes mobiles situés dans les entrées d'air du moteur servant à modifier la position de l'onde de choc et à éviter de perturber le flux destiné au réacteur.

- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont M2000	sur tout type	dont M2000	sur tout type	dont M2000
Total (h)	3 122	1 591	77	19	12	0

- Dates des précédents vols :
  - sur tout type : 21 juillet 2020
  - sur Mirage 2000 : 29 mai 2020
  - sur simulateur Mirage 2000 : 21 juillet 2020

#### 1.5.2. Pilote (pilote AR)

- Âge : 39 ans
- Unité d'affectation : EPNER
- Fonction dans l'unité : instructeur
- Formation :
  - qualifications : instructeur pilote d'essais FTI(A) en cours de validité
  - école de spécialisation : EPNER
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont M2000	sur tout type	dont M2000	sur tout type	dont M2000
Total (h)	2 500	20	80	0	20	0

- Dates des précédents vols :
  - sur tout type : 16 juillet 2020
  - sur Mirage 2000 : 1<sup>er</sup> septembre 2016 pour un entraînement instructeur avec un instructeur titulaire qualifié. Le pilote AR a été lâché sur Mirage 2000 lors de sa formation à l'EPNER en 2014 et 2015 mais n'a plus volé sur ce type d'aéronef depuis 2016.

### 1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : DGA EV
- Commandement d'appartenance : DGA
- Aérodrome de stationnement : BA 125 Istres Le Tubé (LFMI)
- Unité d'affectation : SDOAR
- Type d'aéronef : Mirage 2000 N
- Configuration : Fox (un bidon central de 1 300 litres)

	Type-série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis
Cellule	Mirage 2000 N	369	5 736	RG <sup>13</sup> : 502
Moteur	M53 P2	60329	5 269	Pose sur l'avion : 1h12

#### 1.6.1. Maintenance

L'examen de la documentation de maintenance révèle que celle-ci a été effectuée conformément à l'attendu. L'aéronef est navigable.

Le vol de l'évènement est le deuxième vol après le montage du moteur sur l'avion suite à un échange standard. Le premier vol a eu lieu le matin du jour de l'évènement et n'a révélé aucune anomalie de fonctionnement.

#### 1.6.2. Performances

Les performances de l'avion dans les conditions du jour sont compatibles avec la mission effectuée.

<sup>13</sup> RG : révision générale.

### 1.6.3. Masse et centrage

La masse de l'avion est de 12,3 tonnes au décollage, le centrage est à 52%, ces deux paramètres sont dans les normes.

### 1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F-34
- Quantité de carburant au décollage : 4 100 kilogrammes
- Quantité de carburant au moment de l'évènement : 1 900 kilogrammes

## 1.7. Conditions météorologiques

Les données suivantes proviennent de la station météorologique de la BA 125 d'Istres Le Tubé.

### 1.7.1. Prévisions

Les prévisions indiquent une probabilité d'apparition de cumulonimbus<sup>14</sup>.

### 1.7.2. Observations

Les observations à Istres sont conformes aux prévisions. Quelques cumulonimbus sont présents dans la région mais la zone d'évolution de l'avion est claire.

La météo à l'heure de l'évènement est décrite comme CAVOK<sup>15</sup>. La pression atmosphérique au niveau de la mer est de 1 013 hectopascals, la température au sol de 34,5 °C et le vent de 9 kt du 340° avec des rafales à 18 kt.

## 1.8. Aides à la navigation

Le Mirage 2000 N est équipé de deux centrales à inertie hybridées GPS, d'une visualisation tête haute (VTH) en place avant et de deux visualisations tête basse (VTB).

## 1.9. Télécommunications

Au moment de l'évènement et pendant toute la partie essais du vol, l'équipage est en contact avec le centre de contrôle d'essais et de réception (CCER) d'Istres par radio VHF<sup>16</sup>.

## 1.10. Renseignements sur l'aéroport

La BA 125 d'Istres Le Tubé est une base de l'armée de l'Air et de l'Espace sur laquelle sont implantés différents escadrons ainsi que DGA EV, Dassault Aviation, Thales et Safran. Elle dispose d'une piste orientée 15/33 d'une longueur de 5 000 mètres.

## 1.11. Enregistreurs de bord

Le Mirage 2000 N n° 369 est équipé d'un enregistreur de données de vol (*flight data recorder* – FDR). En 2013, sa bande magnétique a été remplacée par de la mémoire statique. En plus du FDR, une copie de l'affichage VTH et des données vocales est enregistrée sur un support non protégé en cas d'accident.

Les deux supports sont exploitables. Cependant, la VTH et son système d'enregistrement se sont coupés au moment de l'extinction du moteur. En effet, l'arrêt de la génération électrique a entraîné la bascule sur le bus essentiel alimenté par la batterie, sur lequel ce système n'est pas connecté.

---

<sup>14</sup> Nuages d'orage.

<sup>15</sup> CAVOK : *ceiling and visibility OK*. Plafond et visibilité OK. Situation météorologique favorable décrite par l'absence de nuage en dessous de 5 000 ft au-dessus de l'aérodrome, une visibilité supérieure à 10 kilomètres et l'absence de cumulonimbus et de phénomène significatif.

<sup>16</sup> VHF : *very high frequency* - très haute fréquence.

## 1.12. Constatations sur l'aéronef

L'aéronef doit subir une dépose du moteur pour inspection suite à la surchauffe T7.

## 1.13. Renseignements médicaux

### 1.13.1. Commandant de bord (pilote AV)

- Dernier examen médical : classe 1<sup>17</sup>, délivrée par le centre d'expertise médicale du personnel navigant (CEMPN) de Toulon le 28 février 2020 avec apposition des normes spécifiques complémentaires pilote d'essais A, H et M<sup>18</sup>
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : aucune

### 1.13.2. Pilote (pilote AR)

- Dernier examen médical : classe 1, délivrée par le centre d'instruction en médecine aérospatiale (CIMA) de Madrid le 29 octobre 2019 sans apposition des normes spécifiques complémentaires pilote d'essais A, H et M<sup>19</sup>
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : aucune

## 1.14. Incendie

Néant.

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

### 1.15.1. Abandon de bord

Les deux membres d'équipage ont envisagé l'éjection à partir de l'altitude de décision de 1 500 ft. Le pilote AR a placé ses mains sur la poignée du siège éjectable pendant que le pilote AV traitait l'incident. Le rallumage effectué, l'équipage renonce à l'abandon de bord.

### 1.15.2. Organisation des secours

Dès son atterrissage et à la demande du pilote AV, l'avion est suivi par un camion de pompiers de la BA 125 qui l'attend sur le taxiway. Une assistance médicale était également sollicitée par le contrôle aérien mais a été annulée à la demande du pilote AV. À l'arrivée au parking de DGA EV, deux camions de pompiers de la DGA étaient déjà en place pour le « *water salute*<sup>20</sup> » prévu pour le dernier vol du pilote AR à DGA EV. Ils n'ont pas eu connaissance de l'incident et ont annulé la manœuvre après avoir été prévenus par le chef de piste.

## 1.16. Essais et recherches

L'exploitation des données du FDR est réalisée par le département de restitution des enregistreurs d'accidents (RESEDA) de DGA EP/DESA.

Safran Aircraft Engines est consulté pour l'exploitation des données de vol concernant le moteur.

Une analyse des facteurs organisationnels et humains est réalisée par le BEA-É.

L'analyse des fluides prélevés sur l'avion est réalisée par DGA EP/DESA.

---

<sup>17</sup> Conforme à la Part-MED du règlement européen (UE) n° 1178/2011 du 3 novembre 2011 déterminant les exigences techniques et les procédures administratives applicables au personnel navigant de l'aviation civile.

<sup>18</sup> Pour les pilotes d'essais, ces normes d'aptitude correspondent à : A : siège éjectable, H : hélicoptère et M : accélérations supérieures à +4 g d'après l'arrêté du 29 août 2014 relatif à l'aptitude physique et mentale du personnel navigant professionnel de l'aéronautique civile (personnels d'essais et de réception).

<sup>19</sup> Ce pilote avait obtenu une aptitude de classe 1 avec normes A, H et M auprès du CEMPN de Toulon le 23 mai 2019, expirée le 23 novembre 2019.

<sup>20</sup> Manœuvre prévue pour saluer les pilotes, lors d'événements très particuliers. Ce salut traditionnel est effectué par les pompiers qui forment une arche d'eau avec leurs lances à incendie sous laquelle l'avion passe à son arrivée au parking.

Une expertise des blocs manettes de gaz avant et arrière est réalisée en collaboration avec Dassault Aviation sur le site d'Argonay (Haute-Savoie).

## 1.17. Renseignements sur les organismes

### 1.17.1. DGA EV

DGA EV met son expertise à la disposition des forces armées et des programmes d'armement. Son périmètre d'intervention englobe les aéronefs de l'État français (avions, hélicoptères, drones) et les équipements et armements associés. Elle participe également aux travaux conduisant à la certification des aéronefs civils par l'agence européenne de sécurité aérienne (AESA). DGA EV est aussi chargée d'assurer le contrôle aérien des aéronefs en essais ou en réception.

DGA EV est implantée sur les deux sites de Cazaux et Istres. Les services du contrôle de la CER sont rendus à partir de dix CCER implantés sur divers sites.

Les essais en vol s'appuient sur des pôles d'excellence et des équipes qualifiées et entraînées : expertise, maîtrise des essais, simulation, systèmes de drones, médecine aérospatiale, aérotransport et aérolargage, contrôle et circulation aérienne.

Pour assurer les essais en vol de mise au point et de qualification des équipements et systèmes d'armes, ainsi que la formation des équipages d'essais, DGA EV met en œuvre une flotte permanente diversifiée d'aéronefs spécialement instrumentés comme bancs d'essais et plastrons.

### 1.17.2. L'EPNER

L'EPNER a été créée en 1946 au sein de DGA EV pour former les équipages impliqués dans les vols d'essais (pilotes d'essais, ingénieurs, expérimentateurs et mécaniciens navigants d'essais, contrôleurs aériens d'essais et de réception). Elle est implantée sur le site d'Istres depuis 1962 et utilise la flotte de DGA EV pour former les stagiaires. Elle fait partie des sept écoles reconnues par l'association internationale des pilotes d'essais<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> L'association internationale des pilotes d'essais – *Society of experimental test pilots* – est une organisation internationale basée à Lancaster en Californie. Elle cherche à promouvoir la sécurité aérienne et à contribuer au progrès de l'aéronautique à travers diverses actions.

PAS DE TEXTE

## 2. ANALYSE

L'analyse qui suit est structurée en trois parties : le résultat des expertises, la séquence de l'évènement et l'identification des causes.

### 2.1. Expertises techniques

#### 2.1.1. Fluides prélevés sur l'aéronef

Différents fluides ont été prélevés sur l'avion afin de vérifier leur conformité avec les fluides préconisés. Il s'agit de :

- carburant prélevé dans les nourrices droite et gauche, dans les réservoirs d'ailes et de fuselage ;
- fluide hydraulique prélevé dans les deux circuits ;
- huile moteur.

Les analyses ont montré que tous les fluides sont du type préconisé :

- le carburant est du type F-34 ;
- le fluide hydraulique est du type H-515 ;
- l'huile moteur est du type O-150.

Ces fluides ne sont pas pollués et ne présentent aucune altération.

**Les fluides employés sur l'avion sont du type préconisé et ont des caractéristiques conformes à l'attendu.**

#### 2.1.2. Exploitation du FDR et de la VTH

Le FDR est exploitable, l'enregistrement de la VTH (audio et vidéo) l'est également à l'exception de la partie du vol effectuée moteur éteint.

Le tracé des principaux paramètres met en évidence plusieurs éléments :

- le retournement est débuté (00:38:15) à une vitesse d'un peu plus de 300 kt et une altitude d'un peu plus de 8 000 ft ;
- le facteur de charge atteint pendant la manœuvre avoisine les 6 g ;
- au moment du retournement, la manette des gaz est placée en position de ralenti, puis avancée à mi-course environ, avant d'être positionnée sur STOP ;
- au début du rallumage, la vitesse est de 246 kt et le régime N1 de 11% ;
- une surchauffe de la turbine T7 est alors observée (> 1 000 °C, la valeur réelle n'est pas connue en raison du dépassement de la valeur maximale pouvant être enregistrée).

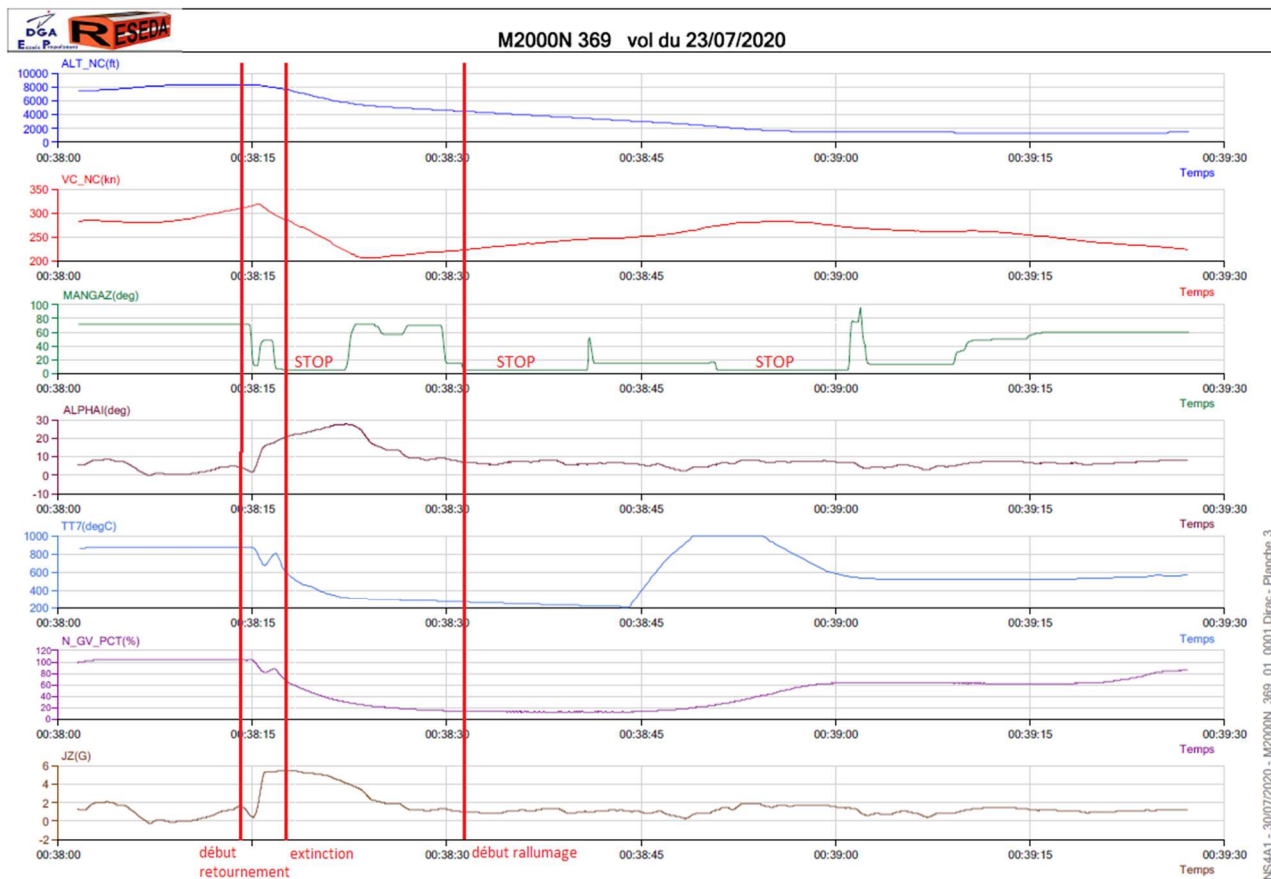


Figure 3 : principaux paramètres de vol au moment de l'évènement

En vol, la manette des gaz apparaît en position STOP à trois reprises.

### 2.1.3. Étude des éléments relatifs au moteur

#### 2.1.3.1. Domaine de vol du moteur

Les paramètres moteur extraits du FDR ont été analysés en collaboration avec le motoriste afin de confirmer les observations précédentes et comprendre l'origine de l'extinction. Un tracé du domaine parcouru pendant le vol en vitesse et en altitude a d'abord été effectué, afin de vérifier si le moteur a été utilisé dans le domaine prévu.



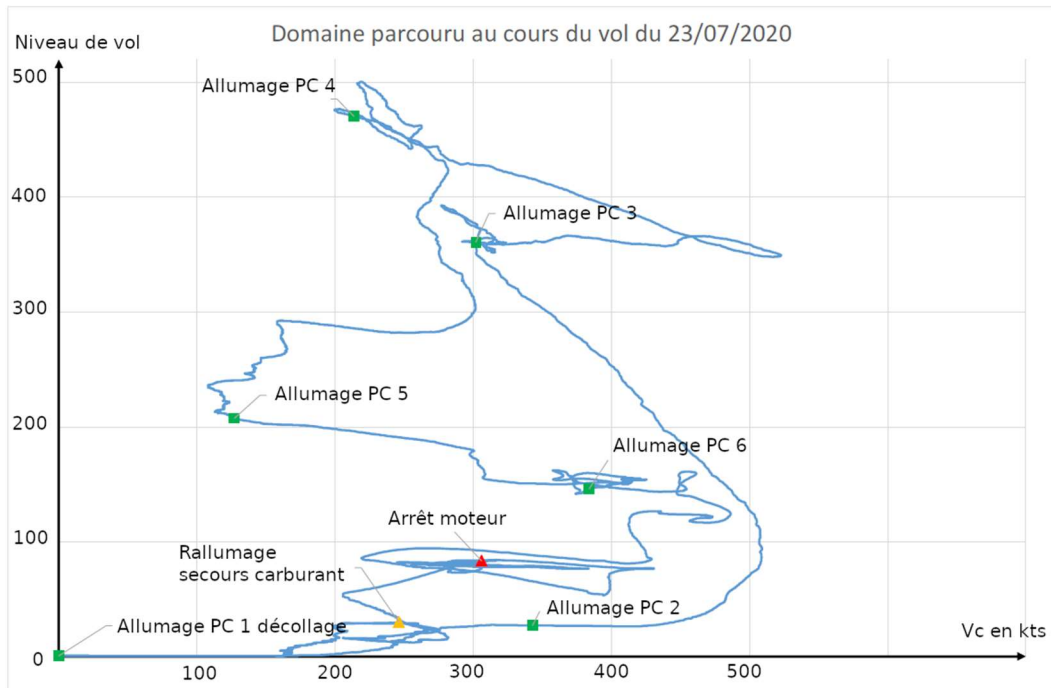


Figure 4 : domaine parcouru en altitude et en vitesse lors du vol de l'évènement

Le moteur a été utilisé dans son domaine de vol jusqu'à l'extinction.

### 2.1.3.2. Paramètres moteur

Un tracé de l'ensemble des autres paramètres a ensuite été effectué par l'industriel avec ses outils.

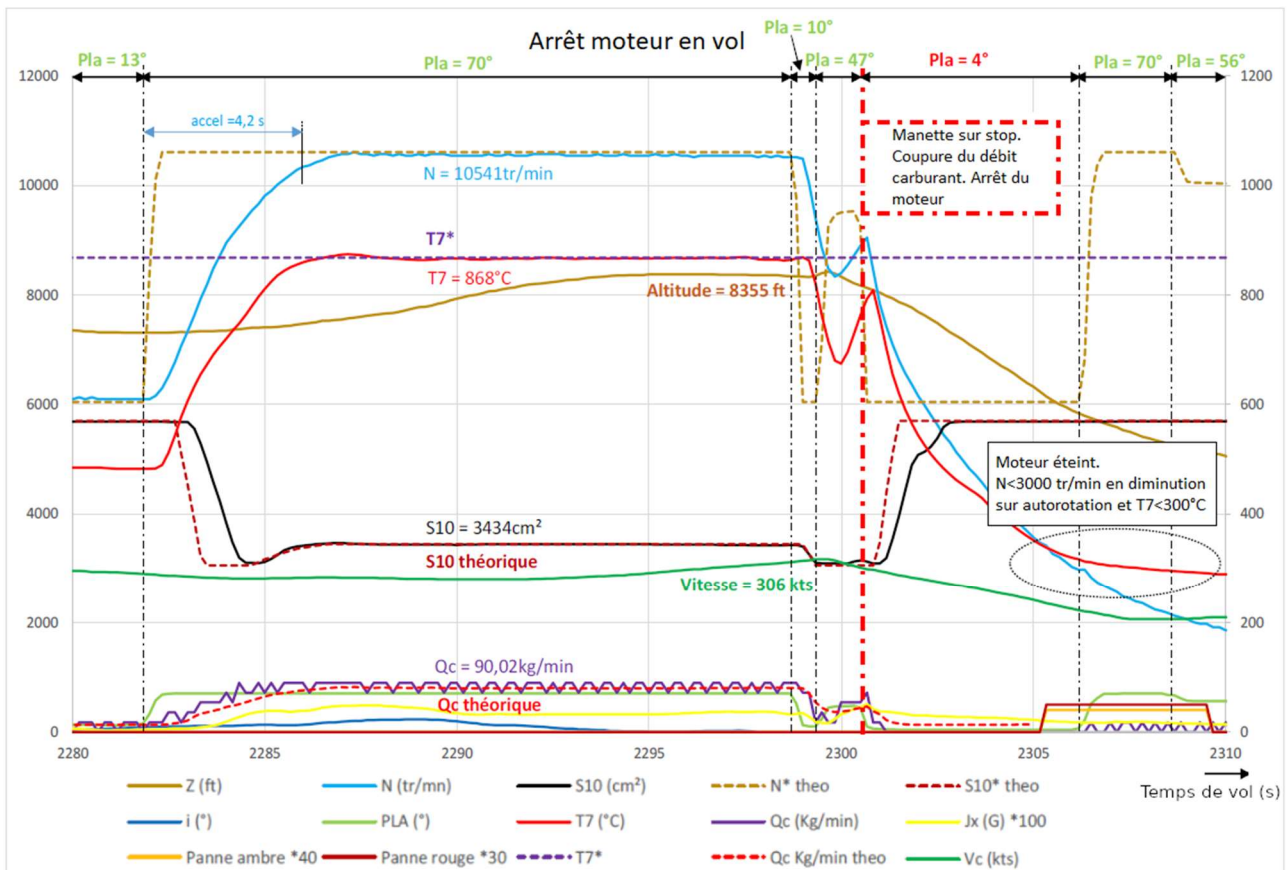


Figure 5 : paramètres moteur au moment de l'extinction

La barre verticale rouge indique le moment de l'extinction. La courbe verte « PLA (°) » correspond à la valeur de consigne reçue par le calculateur moteur depuis la manette des gaz. Le pic observé sur certains paramètres juste avant l'extinction provient du mouvement de la manette des gaz vers l'avant quand le pilote AR s'aperçoit de son erreur de configuration de puissance pendant le retournement.

**L'extinction du moteur en vol résulte d'une consigne manette dans la plage de position commandant l'arrêt.**

### 2.1.3.3. Phase de rallumage

Pour comprendre l'origine de la surchauffe et la lenteur du rallumage du moteur, un tracé de l'ensemble des paramètres a été réalisé par l'industriel.

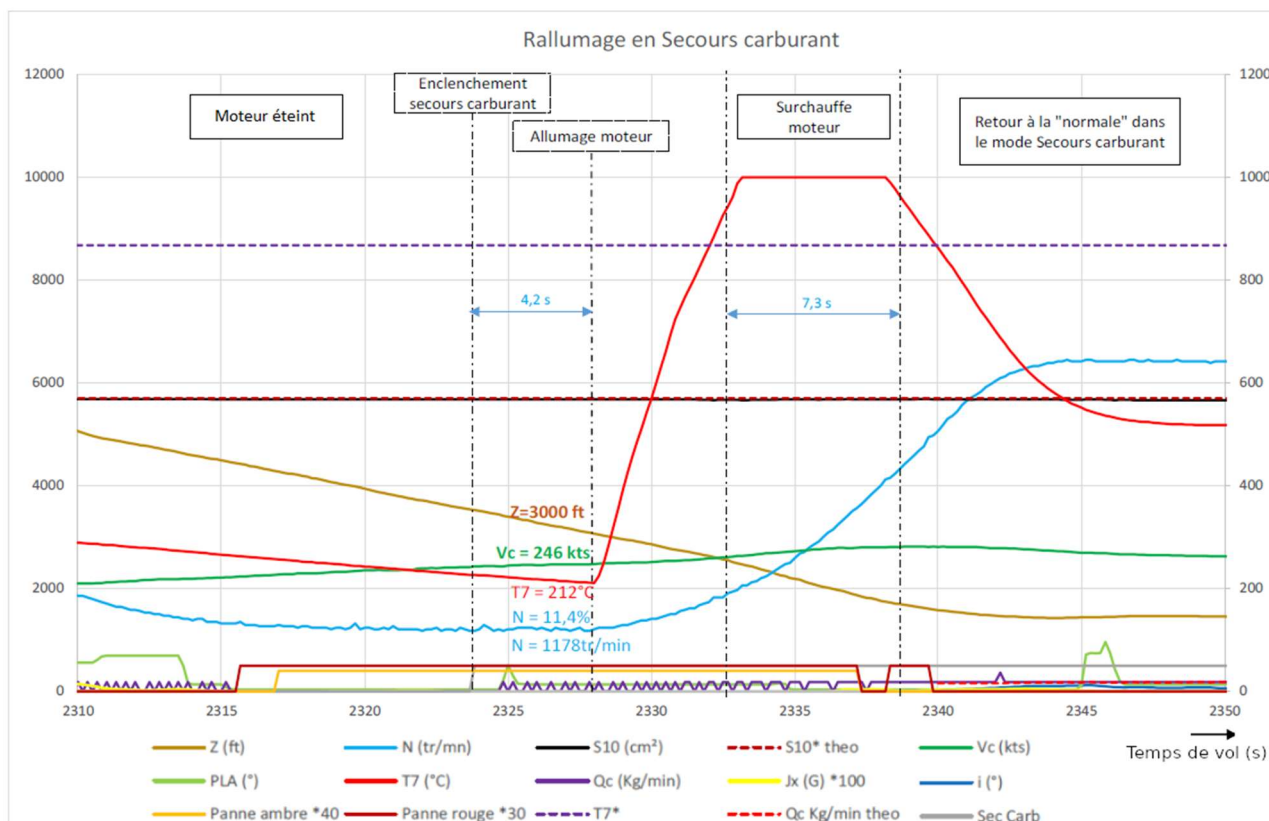


Figure 6 : paramètres moteur au moment du rallumage

**La surchauffe au rallumage résulte des conditions hors domaine (N=11,4% pour 13% recommandés et Vi = 246 kts pour 270 kts recommandés) provoquant une sur-richesse. L'augmentation de la vitesse de l'avion a ensuite permis de résorber la surchauffe en 7,3 secondes.**

### 2.1.4. Expertise des manettes de gaz

Afin de déterminer si la consigne d'arrêt reçue par le moteur depuis les manettes de gaz est d'origine humaine ou résulte d'une défaillance technique, les deux blocs manettes de gaz AV et AR ont été déposés et expertisés chez l'avionneur.

#### 2.1.4.1. Mécanisme interne des manettes

Les deux manettes ont d'abord été inspectées extérieurement. Leurs capots ont été déposés. Les manettes ont alors été placées sur banc d'essai pour dérouler la gamme de tests habituellement effectuée lors d'une révision.

Quelques mesures ont été relevées hors tolérance : sur la manette AV, effort de tassement au voisinage de la position ralenti et garde d'un micro switch, sur la manette AR débattement angulaire maximum en position plein gaz sec. Ces écarts s'expliquent par l'usure des mécanismes et des contacts électriques après respectivement 4 015 et 5 737 heures de vol.

**Le fonctionnement des blocs manettes AV et AR ne présente pas d'anomalie de nature à expliquer l'évènement. Les écarts observés proviennent de l'usure des mécanismes et des contacts électriques.**

#### 2.1.4.2. Pontet de protection du bouton STOP de la manette des gaz AR

Ce pontet a pour rôle d'empêcher un appui involontaire sur le bouton STOP en vol depuis la place AR, car ce bouton commande par l'intermédiaire d'un électro-aimant l'effacement de la butée mécanique du bloc AV. Lorsque la butée mécanique du bloc AV est effacée, il est possible de placer les manettes de gaz sur STOP et commander ainsi l'arrêt du moteur. Avec le pontet, un appui volontaire dit « de précision » au centre du bouton est nécessaire pour activer le contact électrique et donc l'électro-aimant.

L'inspection visuelle du pontet de la manette des gaz AR du Mirage 2000 N n° 369 a révélé que celui-ci est déformé. La déformation observée permet l'appui involontaire sur le bouton. Elle rend ainsi possible le contact électrique sans un appui de précision.

Par conception, une seule des deux extrémités du pontet est fixe, et il est donc possible de provoquer sa déformation par pression ou impact sur l'extrémité libre (chute d'objet, pied du pilote ou du mécanicien à l'installation ou à la descente de l'avion, etc.).

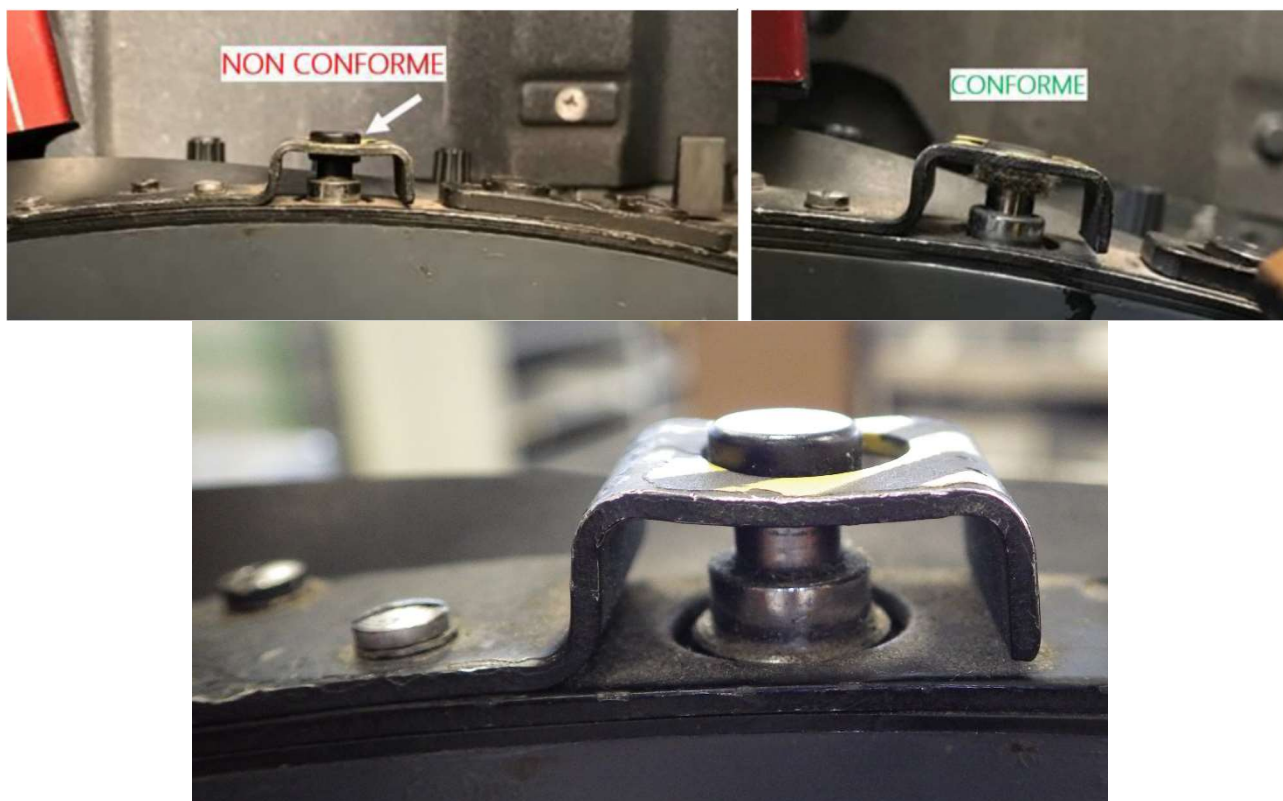


Figure 7 : déformation du pontet de protection du bouton STOP sur le bloc manette AR

**Une déformation anormale du pontet de protection du bouton STOP du bloc manette AR permet l'effacement involontaire de la butée et rend possible le passage sur STOP de la manette des gaz.**

### 2.1.5. Contrôle des pontets de protection de la flotte de Mirage 2000 N et D

Suite à la découverte de ce pontet déformé sur le Mirage 2000 N n° 369, l'ensemble de la flotte des Mirage 2000 biplaces équipés de ce pontet a été inspectée à la recherche d'autres cas. Il s'agit des Mirage 2000 N et D. Les Mirage 2000 B disposent d'un autre type de pontet.

La direction de la maintenance aéronautique (DMAé) a donc ordonné un contrôle de parc sur la proposition d'une consigne de navigabilité de Dassault Aviation.

74 avions ont été inspectés dont 72 Mirage 2000 D. Suite au retrait des forces du Mirage 2000 N, seuls deux exemplaires sont encore en service à DGA EV.

Les résultats de l'inspection ont été classés en trois catégories :

- pontet conforme, non déformé ;
- pontet non-conforme, déformé mais ne permettant pas le contact électrique du bouton ;
- pontet non-conforme, déformé et permettant le contact électrique du bouton.

54% des avions contrôlés ont des pontets déformés, dont un cas (autre que le M2000N n° 369) permettant le contact électrique.

**Plus de la moitié de la flotte en service présente des pontets déformés, dont un autre cas permettant l'activation involontaire de l'électro-aimant. Au jour de l'évènement, aucune tâche de maintenance ne demande de vérifier l'état du pontet.**

## 2.2. Séquence de l'évènement

La séquence de l'évènement amenant à l'extinction du moteur puis à son rallumage en surchauffe est établie comme suit :

- le 23 juillet 2020, le Mirage 2000 N n° 369 de DGA EV décolle à 13h35 d'Istres pour un vol d'essais d'entraînement. Le pontet de protection du bouton STOP de la manette des gaz AR est déformé depuis une date inconnue et autorise l'effacement involontaire de la butée STOP. Cette anomalie n'a pas été détectée car la maintenance ne prévoit pas la vérification du pontet ;
- après diverses manœuvres avec le pilote AR aux commandes, l'équipage aborde les retournements et décide de commencer en configuration PC PC. Un briefing succinct est réalisé ;
- le pilote AR place l'avion à un peu plus de 300 kts et un peu plus de 8 000 ft et initie le passage dos ;
- au lieu d'enclencher la postcombustion, il place la manette sur plein réduit ;
- il se rend compte de son erreur et avance la manette à mi-course environ ;
- le pilote AV stoppe ce mouvement et demande « *idle* » (plein réduit) ;
- les deux pilotes ramènent simultanément la manette vers l'arrière ;
- la manette des gaz est en position STOP, le moteur s'éteint ;
- le pilote AV reprend les commandes et initie le rallumage à 246 kts et 11% de régime N1 ;
- le moteur en sur-richesse se rallume puis surchauffe avant de recouvrer un fonctionnement sain.

## 2.3. Recherche des causes de l'évènement

La déformation du pontet de la manette des gaz AR étant la seule cause technique identifiée de l'évènement, les autres causes sont recherchées dans le domaine des facteurs organisationnels et humains.

### 2.3.1. Fatigue

#### 2.3.1.1. Nature du vol

La mission est un vol d'essais d'entraînement et d'harmonisation au profit du pilote AV en vue de la prochaine rentrée de l'EPNER. C'est également le dernier vol à l'EPNER du pilote AR.

L'équipage a été désigné deux jours avant le vol. L'équipage se retrouve le jour du vol pour décider de l'ordre d'essais. Il décide d'exécuter un programme standard tiré de la base de données de l'EPNER. Ces programmes sont connus des instructeurs de l'EPNER. L'ordre d'essais choisi pour ce vol est appelé « accoutumance ingénieur navigant ».

Le profil du vol se décompose en quatre blocs définis par une altitude plancher et une altitude plafond, dans lesquels les manœuvres à réaliser sont définies. Le vol sélectionné a pour objectif d'explorer la totalité du domaine de vol de l'avion. Plusieurs des exercices prévus conduisent à l'adoption d'un facteur de charge supérieur ou égal à 6 g, particulièrement exigeant pour le corps humain.

**Le programme de vol choisi est particulièrement exigeant physiquement.**

#### 2.3.1.2. Charge de travail au sol

Le vol a lieu à une période correspondant à la fin de l'année scolaire de l'EPNER. Cette période est habituellement marquée par un accroissement ponctuel de l'activité lié à la fin d'un stage et à la préparation du suivant. En outre, en raison du contexte sanitaire en 2020, le stage de cette année s'est terminé avec trois semaines de retard. Compte tenu de la contrainte de fermeture obligatoire du site durant l'été, le temps disponible pour la préparation du stage suivant a donc été réduit de trois semaines, augmentant de ce fait la charge de travail des instructeurs de l'EPNER.

Par ailleurs, après une affectation de quatre ans à l'EPNER, le pilote AR retourne à la fin de l'été dans son armée d'origine, l'armée de l'air espagnole. Il est fortement préoccupé par cette mobilité professionnelle.

Avant chaque vol, les équipages de DGA EV remplissent un questionnaire de gestion du risque aérien (GRA, cf. annexe). Cette grille d'évaluation individuelle est personnelle et anonyme. Le questionnaire GRA du pilote AR révèle une fatigue significative avant le vol avec une forte charge de travail, un repos identifié comme pauvre et des préoccupations personnelles fortes liées notamment à son déménagement. Il fait part de ces problématiques au pilote AV commandant de bord lors du briefing. De plus, compte tenu de sa charge de travail, le pilote AR n'a pas trouvé le temps de faire une séance au simulateur afin de préparer son vol contrairement au pilote AV.

**La charge de travail au sol est importante à cette période pour l'équipage. Le pilote AR a, par ailleurs, des préoccupations personnelles.**

#### 2.3.1.3. Conditions climatiques et facteur de charge

À cette période de l'année, les températures sont très élevées dans le sud-est de la France. Les journées sont donc particulièrement fatigantes pour les organismes et la qualité du repos nocturne peut être altérée.

Au moment de l'évènement, l'équipage est en vol depuis 30 minutes et réalise le second exercice du troisième bloc. À plusieurs reprises, le facteur de charge a déjà dépassé les 6 g, dont une manœuvre ayant atteint les 9 g.

Dans ces conditions, la fatigue des pilotes est un risque significatif par les conséquences qu'elle peut avoir sur leurs capacités cognitives, notamment lors de vols exigeants physiquement comme celui de l'évènement. Cette fatigue peut ainsi favoriser la survenue d'erreurs.

**Les fortes températures et la répétition de manœuvres sous fort facteur de charge ont généré une fatigue pouvant favoriser la survenue d'erreurs.**

### 2.3.2. Composition de l'équipage

#### 2.3.2.1. Expérience

L'équipage est composé d'un pilote commandant de bord en place avant et d'un pilote en fonction en place arrière.

Le pilote AV a une grande expérience avec plus de 3 000 heures de vol dont la moitié sur Mirage 2000. Il est chef pilote à l'EPNER depuis un an.

Le pilote AR appartient à l'armée de l'air espagnole et a lui aussi une forte expérience aéronautique avec 2 500 heures de vol sur tout type d'aéronef. En revanche, il n'est pas qualifié sur Mirage 2000 et son expérience sur ce type d'aéronef est très limitée.

Il est pilote d'essais instructeur et vole principalement sur Alphajet, PC-7, Mystère 20 et CASA 212. Sa faible expérience sur Mirage 2000 a principalement été acquise sur Mirage 2000 B et N. Son dernier vol sur cet aéronef remonte à 2016 et son expérience sur ce type d'essais avec ce type d'aéronef remonte également à 2016. De plus, il n'a pas été en mesure de réaliser une séance au simulateur afin de reprendre en main cet aéronef. En effet, il n'y a plus de simulateur de Mirage 2000 N avec place AR à Istres depuis 2018. Les pilotes s'entraînent sur le simulateur Mirage 2000 C d'Orange, très proche de la place AV d'un Mirage 2000 N. C'est donc le pilote AV qui, lors de l'installation dans l'appareil, lui fait un rappel des spécificités de la place arrière du Mirage 2000 N.

**L'équipage est constitué de deux instructeurs pilotes d'essais avec une forte expérience aéronautique, impliquant un risque d'excès de confiance. En revanche, l'expérience du pilote AR sur cet aéronef est très faible, favorisant la survenue d'erreurs.**

#### 2.3.2.2. Équipage atypique pour un Mirage 2000 N

Le Mirage 2000 N est un avion biplace retiré du service dans l'armée de l'Air et de l'Espace, qui était conçu à l'origine pour être exploité avec un pilote en place avant et un navigateur en place arrière. C'est maintenant un des avions utilisés à l'EPNER pour la formation des stagiaires pilotes d'essais et ingénieurs navigants d'essais (INE).

Dans ce contexte, différentes configurations d'équipage sont employées :

- pour les premiers vols des pilotes d'essais stagiaires non qualifiés sur l'aéronef, après un passage au simulateur et des vols de formation sur Mirage 2000 B, l'équipage est composé d'un pilote stagiaire en place AV et d'un pilote instructeur en place AR. Cette configuration est également utilisée pour certains vols d'essais à risque ;
- pour le lâcher et pour certains essais, en fonction de la difficulté, un pilote stagiaire en place AV et un INE stagiaire en place AR ;
- pour les vols dits « d'accoutumance », un équipage pilote instructeur en place AV et un INE stagiaire en place AR.

Le jour de l'évènement, la configuration de type « accoutumance » est utilisée, car le pilote AR n'est pas qualifié sur le type d'aéronef et n'a pas effectué de séance de simulateur.

Cependant, si l'avion est pilotable de la place arrière, un certain nombre d'instruments sont manquants et d'autres présentent l'information dans un format différent de celui habituellement présenté aux pilotes. C'est le cas notamment de la VTH, absente en place arrière. Cet équipement est pourtant un outil central dans le pilotage des avions de chasse. En son absence, le pilote habitué à construire sa conscience de la situation au travers des informations en VTH doit s'adapter car les mécanismes routiniers utilisés habituellement ne sont plus adaptés. Le pilote doit rechercher des informations dispersées et présentées dans un format différent, l'obligeant à mettre en jeu plus de ressources cognitives.

**Le jour de l'évènement, le pilote AR est installé à cette place car il n'est pas qualifié sur le type d'aéronef et n'a pas effectué de séance de simulateur récemment. La conception de la place arrière l'oblige à modifier ses habitudes de pilotage et conduit à une charge cognitive plus importante favorisant la survenue d'erreurs.**

#### 2.3.3. Erreurs lors de la manœuvre de retournement

##### 2.3.3.1. Ordre des actions

L'équipage se retrouve après le repas du midi pour préparer sa mission. L'ordre d'essais est alors briefé. Cependant, contrairement aux pratiques habituelles avec les stagiaires pilotes d'essais, le pilote AV ne détaille pas les procédures pour chaque exercice et notamment pour le retournement. Il rappelle uniquement les trois configurations de retournement à exécuter (plein gaz sec, PC PC et plein réduit) ainsi que les paramètres de vitesse et d'altitude pour la réalisation de la manœuvre.

Le pilote AV ne précise pas que pour l'essai de retournement, la manette des gaz doit être positionnée dans l'une des trois configurations souhaitées avant d'initier le passage dos. Ceci a pourtant pour objectif d'éviter une action sur la manette des gaz sous facteur de charge, mais aussi de pouvoir comparer de façon fiable les performances de l'avion dans ces trois configurations.

Or, le pilote AR n'avait pas connaissance de cette spécificité des retournements effectués dans le cadre de l'ordre d'essais. Il a alors d'abord initié le passage dos puis seulement après, a eu une action sur la manette des gaz.

Le pilote AR n'est pas un stagiaire mais un instructeur pilote d'essais qui a passé quatre ans à l'EPNER et dont les compétences sont reconnues. Bien que ce vol soit réalisé au profit du pilote AV en vue de préparer la rentrée prochaine de l'EPNER, ce dernier n'a pas abordé le vol comme un vol d'instruction alors que le pilote AR n'est pas qualifié sur l'aéronef. Convaincu que le pilote AR connaît la procédure, le pilote AV allège le briefing et n'aborde pas en détail l'ordre des actions. L'excès de confiance vis-à-vis du pilote AR a conduit à ce briefing incomplet.

**L'excès de confiance du pilote AV envers le pilote AR est à l'origine d'un briefing incomplet avant le retournement, qui a contribué à une erreur du pilote AR dans l'ordre des actions pendant cette manœuvre.**

#### 2.3.3.2. Positionnement de la manette des gaz

Le pilote AR est un pilote de chasse qui a déjà acquis une expérience significative dans les manœuvres de combat. Dans la majorité de celles-ci, lorsqu'elles conduisent à l'adoption d'une attitude à piquer, les pilotes de chasse sont mécanisés à positionner la manette des gaz sur plein réduit.

Au moment de l'évènement, le pilote AR qui a peu d'expérience sur ce type d'essais commet une première erreur en initiant le retournement avant l'application de la puissance définie pour l'exercice (PC PC). Il se retrouve alors dans une position pour laquelle il possède un automatisme associé, le positionnement de la manette des gaz sur plein réduit.

**Un biais d'habitude du pilote AR est à l'origine d'une erreur de positionnement de la manette des gaz lors du retournement.**

#### 2.3.4. Extinction du moteur pendant le retournement

##### 2.3.4.1. Ergonomie du bouton STOP

Afin d'autoriser la position de la manette des gaz sur STOP, un des pilotes doit appuyer simultanément sur le bouton STOP tout en ramenant la manette des gaz vers l'arrière au-delà de la position plein réduit. Afin d'éviter toute action involontaire sur ce bouton, des sécurités ont été installées. Le bouton est positionné à distance de la manette des gaz afin de rendre particulièrement difficile voire impossible l'action simultanée sur le bouton STOP et la manette des gaz en vol. De plus, en place arrière, un pontet est présent, ce qui oblige à un appui de précision sur le bouton pour l'enfoncer. À l'avant, le mécanisme est protégé par la force importante qu'il faut appliquer sur le bouton pour l'enfoncer.

Sur le Mirage 2000 N n° 369, le pontet de la place AR est significativement endommagé. L'endommagement constaté ne permet plus d'assurer la protection du bouton STOP, autorisant ainsi les appuis involontaires sur ce bouton qui, pour être activé, ne nécessite qu'une faible pression.

En place avant, la force pour actionner le bouton est inchangée, il semble improbable qu'une action involontaire ait permis d'appuyer avec suffisamment de force sur le bouton. De plus, les deux pilotes ne portaient aucun objet en cabine susceptible d'appuyer sur l'un ou l'autre des boutons STOP.

**Le pontet de protection du bouton STOP de la place AR est suffisamment déformé pour permettre l'enfoncement involontaire du bouton. En place avant, le mécanisme de protection d'action involontaire du bouton STOP est efficace et protège d'un enfoncement involontaire.**

#### 2.3.4.2. Effet du facteur de charge

Au moment de l'extinction du moteur, l'équipage subit un facteur de charge positif proche de 6 g. Cette accélération verticale tend à plaquer la main de chaque pilote sur la console latérale gauche. En conséquence, dans le cas où l'un des pilotes échappe la manette des gaz alors que l'autre pilote la ramène vers l'arrière, le facteur de charge peut entraîner un appui involontaire sur le bouton STOP qui se trouve sur la console latérale gauche près de la manette des gaz. Il faut cependant noter qu'aucun des deux pilotes ne se souvient avoir lâché la manette des gaz à cet instant.

**Le fort facteur de charge positif peut favoriser un appui involontaire sur le pontet du bouton STOP, voire sur le bouton lui-même si le pontet est suffisamment déformé.**

#### 2.3.4.3. Actions simultanées sur les commandes

Juste avant l'évènement, le pilote AR commet une erreur dans la position de la manette des gaz : au lieu d'afficher PC PC, il affiche plein réduit. Il détecte immédiatement son erreur et commence une action corrective en repoussant la manette vers l'avant. À ce moment, le pilote AV lui demande d'afficher plein réduit en annonçant « *idle* », bloque l'avancée de la manette puis accompagne son retour vers l'arrière. Ainsi, l'action soudaine et non annoncée sur la manette des gaz par le pilote AV peut surprendre le pilote AR qui peut alors laisser la manette des gaz lui échapper. Bien que le pilote AR ne se souvienne ni d'une action du pilote AV sur la manette à ce moment-là ni d'avoir lâché celle-ci même brièvement, l'écoute des données vocales montre que cet enchaînement d'actions est très rapide et sous stress.

S'il a laissé la manette lui échapper et sous l'effet du facteur de charge, le pilote AR peut alors appuyer involontairement sur le bouton STOP dont le pontet est déformé, au moment où le pilote AV est en train de reculer la manette à la recherche de la position plein réduit. Pour cela, les pilotes ont l'habitude de tirer la manette sans la regarder jusqu'à sentir la butée arrière qui les empêche normalement de passer en position STOP. Ainsi, si le bouton STOP est appuyé, la manette peut se retrouver en position STOP sans qu'aucun des deux pilotes ne détecte l'anomalie, la butée ressentie étant prise pour la butée plein réduit.

L'analyse des données du FDR renforce cette hypothèse, car il semble que le passage sur la butée plein réduit ait duré moins d'une seconde avant d'arriver en position STOP. De plus l'équipage indique ne pas avoir senti une première butée avant la fin de la course de la manette.



Figure 8 : actions sur la manette des gaz au moment de l'évènement

L'hypothèse selon laquelle le pilote AR lâche brièvement la manette des gaz par effet de surprise alors que le pilote AV a une action non annoncée vers l'arrière sur cette dernière est possible. Cette hypothèse associée au facteur de charge et à la déformation du pontet de protection rendent probable un passage en position STOP par appui involontaire sur le bouton par le pilote AR au moment où le pilote AV recule la manette.



### 2.3.5. Pression temporelle et rallumage hors domaine

Pour effectuer le rallumage, le pilote AV n'applique pas la procédure dans l'ordre prévu. Il appuie sur le bouton de rallumage à la fin de sa séquence d'actions alors que c'est normalement la première à effectuer. Cet écart n'a cependant pas contribué à la surchauffe. En revanche, la checklist impose une valeur minimale de vitesse et de régime N1 à atteindre avant de tenter tout rallumage. Le pilote AV ne s'assure pas de ces paramètres avant de tenter le premier rallumage du moteur ce qui conduit à la surchauffe T7 et à un rallumage retardé. Celui-ci ne se produit qu'une fois passés les 1 500 ft, altitude à laquelle les pilotes doivent envisager l'éjection. Après l'extinction, l'analyse du FDR montre que l'avion atteint 1 500 ft en moins d'une minute. L'équipage n'a donc qu'un délai très réduit pour réussir à rallumer le moteur ou décider de l'éjection. Ceci crée une forte pression temporelle, par ailleurs renforcée par la vue du sol très proche et accentuée par l'attitude de l'avion à piquer en sortie de retournement et en recherche de vitesse.

La pression temporelle est probablement à l'origine de l'exécution rapide de la procédure de rallumage, peu efficace car hors domaine. Le pilote AV ne prend pas le temps de contrôler la vitesse et le N1. En effet, sur les instruments dont il dispose en cabine suite à l'extinction de la VTH, l'information n'est pas fournie de manière digitale mais par des instruments à aiguille qui nécessitent une analyse du cadran. Le pilote AV, sous pression temporelle, a favorisé une tentative rapide de rallumage après avoir mis l'avion sur une assiette à piquer plutôt que de contrôler précisément le domaine de rallumage.

**La pression temporelle ressentie par le pilote AV due à la proximité du sol a favorisé la rapidité d'exécution de la procédure de rallumage au détriment d'un contrôle des paramètres de vitesse et de N1.**

### 2.3.6. Détection tardive de l'extinction du moteur

#### 2.3.6.1. Position de la manette des gaz

L'équipage n'agit plus sur la manette des gaz jusqu'à la reprise des commandes par le pilote AV une fois l'extinction détectée. Les données du FDR montrent que ce dernier a alors une action franche sur la manette des gaz vers l'avant, mais il indique ne pas s'en souvenir. Par conception, aucune résistance ou à-coup n'est ressenti lorsque la manette des gaz sort de la position STOP. Il est donc impossible pour le pilote AV de détecter que la manette était sur STOP avant son action.

**Le positionnement de la manette des gaz sur STOP semble impossible à détecter et rend difficile le diagnostic de l'extinction.**

#### 2.3.6.2. Caractéristiques de la manœuvre

Le pilote AV ne détecte l'extinction du moteur et ne reprend les commandes qu'au moment où sa VTH se coupe et les alarmes visuelles et auditives se déclenchent. Ces deux événements interviennent simultanément quelques instants après l'extinction effective du moteur. Durant ce laps de temps, l'avion a perdu près de 2 000 ft et 70 kt de vitesse soit près du quart de l'altitude et de la vitesse dont il disposait au moment de l'arrêt du moteur. La perte de vitesse et d'altitude est perçue par l'équipage comme une conséquence normale de la manœuvre.

Par ailleurs, l'extinction du moteur entraîne également une diminution du bruit ambiant et une sensation de perte de poussée qui n'ont pas été perçues car associées à la mise au ralenti du moteur. Ainsi, les caractéristiques de la manœuvre de retournement plein réduit ont supprimé tous les indices visuels, auditifs ou proprioceptifs pouvant être associés à une extinction moteur avant la perte de la VTH et le déclenchement des alarmes. Le pilote AV confirme ensuite l'extinction du moteur par une lecture du régime N1 de 16% au tableau de bord.

En conséquence, les actions en vue d'une tentative de rallumage du moteur ont lieu plus tardivement.

**Les caractéristiques de la manœuvre de retournement ont retardé la détection de l'extinction du moteur, réduisant ainsi les marges de manœuvre disponibles pour intervenir.**

### 2.3.7. Sous-évaluation du risque de la manœuvre

La manœuvre de retournement est un exercice conduisant, dans les conditions de l'essai, à une forte perte d'altitude qui varie entre 3 000 et 3 500 ft selon la configuration de puissance (plein réduit, plein gaz sec ou PC PC). Plus la puissance affichée est élevée, plus la perte d'altitude est importante. Ainsi plus la manœuvre est initiée à basse altitude, plus les marges de manœuvre disponibles pour traiter un incident sont faibles. Lors de la préparation de la mission, l'équipage identifie un risque de collision avec le sol lorsque le retournement est initié sous 10 000 ft, et l'évalue comme significatif sur l'ordre d'essais. Malgré l'identification de ce risque et alors que le bloc réservé monte à 15 000 ft, il est prévu d'initier le retournement à 8 000 ft. En sortie de manœuvre dans des conditions nominales, l'aéronef doit alors se trouver à une altitude comprise entre 4 000 et 5 000 ft. En comparaison au sein de l'armée de l'Air et de l'Espace où les manœuvres de retournement sont régulièrement effectuées, celles-ci sont initiées à une altitude d'au moins 15 000 ft. Les pilotes d'essais sont formés pour effectuer des vols particulièrement à risque. La récurrence de l'exposition au risque banalise ce dernier. Cela conduit l'équipage à une sous-évaluation involontaire du risque et limite la mise en place des mesures de réduction.

**La sous-évaluation du risque a conduit l'équipage à débiter l'exercice à une altitude réduisant fortement les marges de manœuvre disponibles en cas d'incident.**

### 3. CONCLUSION

L'évènement est une coupure involontaire du moteur sur un Mirage 2000 N de DGA EV lors d'un vol d'essais d'entraînement et d'harmonisation.

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

Le 23 juillet 2020, un Mirage 2000 N de DGA EV décolle à 13h35 de la BA 125 d'Istres Le Tubé avec un instructeur pilote d'essais commandant de bord en place AV et un instructeur pilote d'essais non qualifié sur l'aéronef en place AR.

Après avoir déroulé la première partie de l'ordre d'essais de façon nominale, l'équipage aborde les retournements, et décide d'effectuer le premier en configuration PC PC. Après avoir placé l'avion sur le dos, le pilote AR place la manette des gaz sur ralenti. Se rendant compte de son erreur, il l'avance à mi-course. Le pilote AV intervient, et les deux pilotes ramènent simultanément la manette vers l'arrière jusqu'à la première butée ressentie.

À l'insu de l'équipage, la manette des gaz se retrouve en réalité sur la position STOP. Cela provoque l'extinction du moteur. Le pilote AV détecte l'extinction au moment de l'arrêt de la VTH et reprend les commandes. Il débute une procédure de rallumage en « secours carb », mais la réalise légèrement en-dessous du domaine de vitesse et de régime. De plus, il n'effectue pas les actions dans le bon ordre. Le moteur surchauffe puis redémarre avec un temps de retard. L'altitude minimale atteinte est de 1 200 ft. L'éjection a été envisagée par les deux pilotes à partir de 1 500 ft. L'atterrissage se déroule normalement.

#### 3.2. Causes de l'évènement

La cause probable de l'incident est l'appui involontaire par le pilote AR sur le bouton commandant l'effacement électromécanique de la butée STOP, au moment où le pilote AV a une action sur la manette des gaz vers l'arrière. La manette a ainsi été placée en vol sur sa position STOP sans qu'aucun des deux pilotes ne détecte d'anomalie avant l'extinction du moteur.

Le facteur de charge et la surprise du pilote AR face à l'action du pilote AV sur la manette des gaz ont pu provoquer le lâcher de la manette et l'appui involontaire sur le bouton STOP.

Le pontet de protection du bouton STOP de la place arrière est déformé, et permet le contact électrique du bouton sans l'appui de précision pour lequel il est conçu. L'absence de maintenance définie pour ce pontet de protection, ainsi que l'absence de vérification à la visite avant vol n'ont pas permis de détecter sa déformation. De nombreux autres pontets déformés ont été trouvés sur la flotte de Mirage 2000 D en service dans l'armée de l'Air et de l'Espace, dont un cas permettant le contact électrique sans appui de précision.

L'altitude choisie pour débiter l'exercice de retournement, 8 000 ft, ne permet pas de marge de manœuvre suffisante en cas d'extinction du moteur pour effectuer un rallumage dans de bonnes conditions de sécurité. Ainsi, la pression temporelle induite a conduit le pilote AV à effectuer un rallumage légèrement hors domaine (vitesse et régime), provoquant une surchauffe de la turbine T7 et un rallumage retardé.

L'erreur du pilote AR sur la position de la manette des gaz en début de manœuvre (plein réduit au lieu de PC PC) et qui a déclenché l'intervention du pilote AV a pu être causée par un biais d'habitude acquis sur un autre avion de chasse et par la fatigue. Cette fatigue provient du programme de vol exigeant, des conditions climatiques et de la situation personnelle du pilote AR.

PAS DE TEXTE

## 4. RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

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

#### 4.1.1. Déformation des pontets de protection du bouton STOP

Le pontet de protection du bouton commandant l'effacement de la butée STOP du Mirage 2000 N n° 369 est déformé, permettant le contact électrique par appui involontaire sur le bouton de la place arrière. Sur demande de la DMAÉ, un contrôle mené sur l'ensemble du parc français de Mirage 2000 N et D (74 avions vérifiés) a conduit à la découverte de 54% d'avions avec des pontets déformés, dont un cas permettant le contact électrique sans appui de précision.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à DGA EV et à l'armée de l'Air et de l'Espace de sensibiliser leurs équipages de Mirage 2000 N et D au risque que constitue un pontet de protection déformé en place arrière, et à vérifier l'état du pontet lors de la visite avant vol.**

**R1** – [D-2020-09-I] *Destinataires : DGA EV, CEMAEE*

**à Dassault Aviation d'étudier une évolution du design des pontets de protection ou de faire évoluer les programmes de maintenance des Mirage 2000 N et D afin d'y intégrer la vérification de l'état des pontets.**

**R2** – [D-2020-09-I] *Destinataire : Dassault Aviation*

#### 4.1.2. Altitude de début de manœuvre

Le retournement lors de ce vol d'essais est débuté à une altitude d'environ 8 000 ft, laissant très peu de marge au pilote AV pour gérer le rallumage du moteur alors que l'avion descend fortement. Cette pression temporelle l'a conduit à effectuer une procédure non conforme et un rallumage hors domaine, provoquant la surchauffe de la turbine T7 et le retard du rallumage.

Dans l'armée de l'Air et de l'Espace, les retournements se font dans un bloc compris entre 10 000 et 20 000 ft, ce qui signifie qu'avec la perte d'altitude attendue ils sont débutés à 15 000 ft minimum.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à DGA EV de prendre en compte le risque d'extinction dans les programmes d'essais sur Mirage 2000 N afin de définir des altitudes de début de manœuvres compatibles avec un rallumage en toute sécurité.**

**R3** – [D-2020-09-I] *Destinataire : DGA EV*

#### 4.1.3. Actions simultanées sur les commandes

L'action sur la manette des gaz du pilote AV a probablement surpris le pilote AR qui était alors aux commandes, et permis l'extinction du moteur par appui involontaire sur le bouton STOP alors que le pilote AV manipulait la manette vers l'arrière. Ce n'est qu'une fois l'extinction détectée que le pilote AV a clairement annoncé qu'il reprenait les commandes.

D'une façon générale, en instruction, les actions simultanées sur les commandes par le stagiaire et l'instructeur sont à proscrire, car outre la surprise provoquée, elles peuvent avoir des effets indésirables en se cumulant ou en s'annulant. Le pilote en fonction doit être identifié, et l'instructeur doit annoncer clairement qu'il reprend les commandes.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à toutes les autorités d'emploi de sensibiliser les pilotes en situation d'instruction sur les risques associés à des actions simultanées sur les commandes en situation d'urgence sans annonce immédiate.**

**R4** – [D-2020-09-I] *Destinataires : CEMAEE, CEMAT, CEMM, DGA EV, DGGN, DGSCGC, DGDDI*

#### 4.1.4. Procédure de rallumage moteur

La procédure de rallumage effectuée par le pilote AV après l'extinction est non conforme par :

- l'ordre des actions ;
- les paramètres de vitesse et de régime légèrement inférieurs au domaine de rallumage.

Si l'ordre des actions effectuées n'a pas contribué à l'évènement, la vitesse et le régime trop faibles ont causé une sur-richesse en carburant et entraîné la surchauffe après rallumage et la restauration de puissance tardive du moteur.

Deux jours avant, le pilote AV avait effectué un entraînement au simulateur Mirage 2000 comprenant deux rallumages :

- un rallumage haute vitesse basse altitude en régulation de secours ;
- un rallumage basse vitesse haute altitude en régulation normale.

Cet entraînement ne comportait pas de rallumage basse vitesse basse altitude. De plus, malgré sa grande expérience passée sur Mirage 2000, le pilote AV vole sur beaucoup de types d'aéronefs différents à DGA EV en raison de la nature de l'activité de cet organisme. La procédure de rallumage à effectuer dans les conditions de l'évènement n'a donc pas pu être mécanisée, ce qui explique la confusion dans l'ordre des actions. La proximité du sol explique quant à elle le rallumage initié hors domaine.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à DGA EV de s'assurer que ses pilotes effectuent au simulateur Mirage 2000 un entraînement au rallumage basse vitesse basse altitude avant d'effectuer tout ordre d'essai comportant un risque d'extinction dans ces conditions.**

**R5** – [D-2020-09-I] *Destinataire : DGA EV*

#### 4.1.5. Fatigue de l'équipage

L'équipage qui a subi l'évènement est un équipage particulier à plusieurs titres. En effet, il s'agit du dernier vol à l'EPNER du pilote AR, qui va réintégrer son armée d'origine, l'armée de l'air espagnole. Un *water salute* est prêt pour son retour au parking. C'est un instructeur pilote d'essais expérimenté au bout de quatre ans passés à l'EPNER. Il est préoccupé par sa mobilité professionnelle et par toutes les démarches associées.

Le pilote AV est quant à lui le chef-pilote de l'EPNER, poste qui lui vaut une importante charge de travail au sol.

Les deux membres d'équipage se déclarent fatigués sur les fiches de GRA qu'ils remplissent avant le vol, et les conditions climatiques sont éprouvantes avec une chaleur importante. Pourtant, le vol prévu est particulièrement exigeant.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à DGA EV de s'assurer que les ordres d'essais réalisés soient adaptés à la fatigue et aux compositions particulières des équipages.**

**R6** – [D-2020-09-I] *Destinataire : DGA EV*

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

### 4.2.1. Aptitude médicale

Le jour de l'évènement, le pilote AV dispose d'un certificat médical de classe 1 valide avec apposition des normes spécifiques complémentaires pilote d'essais A, H et M, délivré par le CEMPN de Toulon le 28 février 2020. La norme A indique qu'il est apte siège éjectable, et la norme M qu'il est apte à supporter des accélérations supérieures à 4 g.

Le pilote AR dispose quant à lui d'un certificat médical de classe 1 valide délivré par le CIMA de Madrid le 29 octobre 2019, mais sans apposition des normes A, H et M. Or, le Mirage 2000 N possède des sièges éjectables, et les deux pilotes ont envisagé de les utiliser suite à l'évènement. De plus, le facteur de charge maximal atteint pendant le vol a avoisiné les 9 g. Sans le bénéfice des normes A et M, le pilote AR ne devait donc pas réaliser ce vol.

Il faut cependant noter que cet écart n'a pas contribué à l'évènement, et que le pilote AR a par le passé possédé un certificat médical de classe 1 avec ces normes, délivré par le CEMPN de Toulon le 23 mai 2019 mais expiré le 23 novembre 2019. De plus, il est pilote de chasse dans l'armée de l'air espagnole et a volé sur d'autres avions d'armes dotés de sièges éjectables.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à DGA EV de s'assurer que tout son personnel navigant, y compris le PN étranger en échange, dispose de certificats médicaux valides avec les normes spécifiques complémentaires nécessaires au vol exécuté.**

**R7 – [D-2020-09-I] Destinataire : DGA EV**

#### 4.2.2. Coordination des secours

Après son atterrissage, le pilote AV demande au contrôleur sol que l'aéronef soit escorté au parking par les pompiers en raison du doute subsistant sur le moteur. Les pompiers de la BA 125 suivent donc l'avion jusqu'au parking de DGA EV, où sont pré positionnés les pompiers de cet organisme pour le *water salute* du pilote AR. Cependant, ceux-ci ne sont pas informés de la situation d'urgence que vient de rencontrer l'équipage. De plus, la présence des deux camions de DGA EV surprend les pompiers de la BA 125 qui arrivent derrière l'avion. Le pilote AV stoppe le roulage et ne passe entre les deux camions pré positionnés qu'une fois le *water salute* arrêté par l'intervention du chef de piste.

Ceci aurait pu avoir des conséquences si l'avion avait rencontré un problème lié au moteur sur le parking de DGA EV, ou aurait pu altérer des indices utiles à l'enquête si l'avion était passé sous l'arche d'eau.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à DGA EV et à la BA 125 de s'assurer de la bonne coordination de leurs moyens de secours respectifs lors du retour d'urgence d'un aéronef, et de stopper dans ce cas immédiatement toute autre manœuvre non urgente.**

**R8 – [D-2020-09-I] Destinataires : DGA EV, BA 125**

ANNEXE

DGA Essais en vol - Gestion des Risques Aériens avant vol – v6 du 16/03/2018

	Facteur	(1 pt)	(2 pts)	(3 pts)
Condition physique et psychique	Amplitude de service (à la fin de la mission)	< 10 h	10 à 12 h	> 12 h <i>Sur dérogation SDOAR</i>
	Charge de travail* (hors vol)	Légère <i>Rien de pressant / en avance sur travail demandé</i>	Modérée <i>Butées significatives et imminentes / à l'heure sur travail demandé</i>	Importante <i>Nombreuses butées significatives et imminentes / en retard sur travail demandé</i>
	Repos Equipage* (sommeil la nuit dernière)	Excellent <i>&gt; 8 h de sommeil</i>	Bon <i>6 à 8 h de sommeil</i>	Pauvre <i>&lt; 6 h de sommeil</i>
	Alimentation / hydratation	Repas pris < 5h	Repas pris > 5h mais collation légère	Pas d'hydratation depuis plus de 5h
	Soucis personnels*	Aucun	Mineur <i>Proche malade, récente incapacité médicale, soucis financiers ...</i>	Majeur <i>Deuil d'un proche, divorce, gros soucis financiers ...</i>
	Heure de briefing	08h00 -15h00	15h00 - 20h00 ou 06h00 - 08h00	Avant 06h00 ou après 20h00
	Numéro de vol de la journée	Premier	Second	Troisième ou plus
	Nombre de vols effectués dans la semaine	Un vol par jour	Au moins un jour avec au moins 2 vols	Plus de deux jours avec au moins 2 vols
Expérience	Expérience de la mission*	Bonne <i>L'équipage a déjà réalisé une mission identique ou similaire</i>	Partielle <i>Un des membres de l'équipage a déjà réalisé une mission identique ou similaire</i>	Nulle <i>Aucun des membres de l'équipage n'a déjà réalisé une mission identique ou similaire</i>
	Nbre de jours depuis le dernier vol **	< 7 jours	Entre 7 et 10 jours	> 10 jours
	Nbre de jours depuis le dernier vol sur l'appareil	< 15 jours	Entre 15 et 30 jours	> 30 jours
	Expérience sur l'appareil	Pratiqué depuis > 5 ans et au moins 100h	Pratiqué depuis > 1 an et au moins 50h	Pratiqué moins d'un an ou moins de 50h
Environnement	Complexité de la mission*	Faible <i>Entraînement, essai peu complexe</i>	Importante / Dynamique <i>Essai complexe, vol éprouvant</i>	Elevée / Inhabituelle <i>Essai très complexe, dispositif important, vol très éprouvant</i>
	Composition Equipage	Usuelle	Particulière <i>Multinationale, niveaux d'expérience disparates ...</i>	Inusuelle <i>Premier vol de l'un des PN sur l'aéronef</i>
	Equipements particuliers créant un inconfort	Aucun	Léger <i>Masque oxygène, gilet, harnais SH7</i>	Fort <i>Combi étanche, parachutes, JVN</i>
	Températures	5 ≤ Tair < 30°C	Entre 30 et 35°C Ou entre -7 et 5°C	Plus de 35°C Ou moins de -7°C
	Impact Nébulosité / visibilité sur la mission	VMC	VMC / IMC	IMC <i>Approche aux instruments</i>
	Espace aérien / Circulation aérienne	Simple avec CER	Simple avec circulation aérienne mixte	Complexe ou sans circulation d'essai
	Plate-forme aéronautique de départ ou d'arrivée	Usuelle sans restriction d'utilisation	Usuelle avec restrictions d'utilisation ou Inusuelle sans restriction	Inusuelle ou inconnue avec restrictions d'utilisation

\*Appréciation personnelle \*\* sur aéronef de même famille (Chasseurs, avions de transport, avions légers, hélicos monomoteurs, hélicos bimoteurs)

Total de points

19 pts

57 pts

