

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

## Rapport d'enquête de sécurité



M-2023-09-I

Date de l'évènement  
Lieu  
Type d'appareil  
Organisme

23 juin 2023  
Ventiseri-Solenzara (Haute-Corse)  
Rafale Marine  
Marine nationale

## 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

	Marine nationale	Page de garde
Figure 1	RESEDA	8
Figure 2	Armée de l'Air et de l'Espace et BEA-É	11
Figures 3 à 8	BEA-É	12 à 16
Figure 9	RESEDA	19
Figure 10	RESEDA et BEA-É	26

## 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.....	9
1.7. Conditions météorologiques .....	10
1.8. Télécommunications .....	10
1.9. Renseignements sur l'aéroport .....	11
1.10. Enregistreurs de bord.....	11
1.11. Constatations sur l'aéronef et sur la zone de l'incident .....	11
1.12. Renseignements médicaux.....	14
1.13. Incendie .....	14
1.14. Questions relatives à l'organisation des secours.....	14
1.15. Essais et recherches .....	15
1.16. Renseignements sur les organismes.....	15
1.17. Atterrissage en patrouille serrée .....	15
1.18. Système de freinage et de dirigeabilité sur Rafale .....	15
2. ANALYSE.....	17
2.1. Expertises techniques.....	17
2.2. Séquence de l'évènement.....	19
2.3. Recherche des causes de l'évènement.....	20
3. CONCLUSION .....	23
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement .....	23
3.2. Causes de l'évènement .....	23
4. RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ .....	25
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement .....	25
4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement .....	25
ANNEXE I - ANALYSE DES DONNÉES DE VOL DE L'ÉQUIPIER ENTRE L'ATTERRISAGE ET L'ARRÊT.....	26

## GLOSSAIRE

ALAVIA	Commandement de la force de l'aéronautique navale
CTH	Collimateur tête haute
DIRAV	Dirigeabilité avion
ESPAR	Enregistreur statique de paramètres
ETR	Escadron de transformation Rafale
ft	<i>Feet</i> – pieds. 1 pied vaut 30,48 centimètres
hPa	Hectopascal
kt	<i>Knots</i> – nœuds. 1 nœud vaut 1,852 kilomètre par heure
RESEDA	Restitution des enregistreurs d'accidents

## SYNOPSIS

Date et heure de l'évènement : 23 juin 2023 à 16h02 (14h02 UTC<sup>1</sup>)

Lieu de l'évènement : base aérienne 126 de Ventiseri-Solenzara (Haute-Corse)

Organisme : Marine nationale

Commandement organique : commandement de la force de l'aéronautique navale (ALAVIA)

Unité : flottille 17F

Aéronef : Rafale Marine n°35, immatriculé F-XGBY

Nature du vol : instruction

Nombre de personnes à bord : 1

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

En retour d'un vol d'instruction initiale, une patrouille légère de Rafale se présente sur la piste 36 de la base aérienne 126 de Ventiseri-Solenzara pour un atterrissage en section (patrouille serrée).

Le leader se pose sur la demi-bande gauche et l'équipier sur celle de droite. Durant le freinage, l'équipier subit une première embardée non contrôlée qui le déporte sur la gauche. Il se retrouve derrière et en rapprochement du leader, proche du bord de piste. Suspectant un éclatement de pneumatique et alors que le leader s'apprête à dégager la piste par la gauche, l'équipier lui ordonne de partir sur la droite. Sur les injonctions de son équipier, le leader vire à droite pour rester sur la piste et remet du moteur pour s'écarter. Au même moment, l'équipier effectue une nouvelle embardée à gauche, sort brièvement de piste puis s'immobilise sur la bretelle de sortie. Le leader lui ordonne alors de couper les moteurs, de procéder à une évacuation d'urgence et demande l'intervention des secours.

### Composition du groupe d'enquête de sécurité

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

### Autres experts consultés

- Direction générale de l'armement – Essais propulseurs (DGA EP) / Restitution des enregistreurs d'accidents (RESEDA) ;
- Dassault Aviation.

---

<sup>1</sup> *Coordinated universal time* : temps universel coordonné.

PAS DE TEXTE

## 1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

### 1.1. Déroulement du vol

#### 1.1.1. Mission

Type de vol : circulation aérienne militaire à vue (CAM V)

Type de mission : vol d'instruction

Point de départ : base aérienne 126 de Ventiseri-Solenzara (LFKS)

Heure de départ : 15h05

Point d'atterrissage : base aérienne 126 de Ventiseri-Solenzara (LFKS)

Heure d'atterrissage : 16h01

#### 1.1.2. Déroulement

##### 1.1.2.1. Préparation du vol

La flottille 17F de l'aéronautique navale s'est délocalisée sur la base aérienne 126 de Ventiseri-Solenzara pour une durée de trois semaines afin d'y effectuer une campagne de tir, des vols d'entraînement air/air et des vols d'instruction au profit des futurs chefs de patrouille et des pilotes stagiaires dans le cadre de leur formation sur Rafale Marine.

Le vol de l'évènement est le sixième vol d'instruction initiale d'un pilote stagiaire<sup>2</sup> et son troisième à partir de de Solenzara. Le briefing avant-vol est approfondi et conduit suivant un canevas standard. Il détaille en particulier le contenu de chaque exercice prévu durant le vol programmé le vendredi 23 juin après-midi : manœuvres d'éclatement et de rassemblement, évolutions en patrouille serrée, en formation de manœuvre et en formation de surveillance à moyenne et haute altitude. Au retour, il est prévu de réaliser un atterrissage en patrouille serrée, exercice qui normalement fait partie du cinquième vol d'instruction mais qui n'a pas pu être réalisé précédemment.

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

Après avoir décollé en patrouille serrée depuis la piste 36 de Solenzara, la patrouille monte dans la zone de travail pour effectuer différentes évolutions en patrouille serrée, en formations de manœuvre et de surveillance. De retour vers le terrain, l'équipier réalise, en avion isolé, une procédure d'atterrissage avec redécollage en piste 36 en exercice de panne CTH<sup>3</sup>, puis rassemble le leader en patrouille serrée en échelon refusé<sup>4</sup> à droite dans l'est du terrain. La patrouille revient pour se présenter en longue finale, l'équipier positionné à droite est au vent du leader pour éviter d'être dans ses turbulences de sillage. La sortie de train est effectuée sur ordre du leader, puis l'équipier prend un étagement positif par rapport à lui.

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

Arrivant en courte finale, le leader annonce à l'équipier que ce dernier prend l'atterrissage à son compte. Il le libère ainsi du maintien de la position de patrouille serrée pour qu'il se concentre sur l'atterrissage en s'axant sur la demi-bande droite. L'équipier doit afficher une incidence<sup>5</sup> de 16° tandis que le leader garde de la vitesse avec une incidence autour de 14° afin de créer de l'espacement<sup>6</sup> entre les deux avions.

Lorsque l'équipier touche la piste avec le train principal, il effectue un freinage aérodynamique en conservant le nez haut. Il pose la roulette de nez (train auxiliaire) vers 90 kt et vérifie l'efficacité des freins. Il maintient son retrait par rapport au leader en freinant par à-coups. Il ressent une première tendance à partir sur la gauche qu'il parvient à contrer. Afin de rester à distance du leader, il freine plus franchement et une première embardée non contrôlée se produit qui le déporte sur la demi-bande gauche de la piste. Il passe alors derrière le leader, parvient à reprendre l'axe de la piste mais se retrouve entre le bord de piste à gauche et le leader à

---

<sup>2</sup> Deux types de formation initiale sont dispensés aux pilotes de la Marine nationale affectés sur Rafale : soit ils rejoignent l'Escadron de Transformation Rafale (ETR) de l'Armée de l'Air et de l'Espace sur Rafale B biplace et Rafale C monoplace avant d'intégrer le centre de navalisation au sein de l'aéronautique navale, soit ils suivent le cursus *ab initio* directement sur Rafale Marine monoplace au sein du centre de navalisation Rafale. Le pilote stagiaire concerné par l'évènement suit le cursus *ab initio*.

<sup>3</sup> CTH : collimateur tête haute.

<sup>4</sup> Formation d'une patrouille dans laquelle l'équipier se trouve en retrait sous un angle de 45° par rapport au leader.

<sup>5</sup> Angle entre le profil de l'aile et le vecteur vitesse.

<sup>6</sup> Distance entre l'extrémité de la tuyère du leader et le nez de l'équipier.

droite, tout en se rapprochant de lui. Suspectant un éclatement de pneumatique et alors que le leader s'apprête à sortir de la piste par la gauche en empruntant la bretelle C, l'équipier lui ordonne de partir sur la droite. Sur les injonctions de son équipier, le leader vire immédiatement à droite en donnant un coup de gaz pour rester sur la piste et s'écarter de son équipier. Au même moment, l'équipier effectue une nouvelle embardée à gauche, sort brièvement de piste avec le train principal gauche puis parvient à s'immobiliser sur la bretelle C.



Figure 1 : reconstitution des trajectoires sur la piste des deux Rafale

Le leader lui ordonne alors de couper les moteurs, de procéder à une évacuation d'urgence et demande l'intervention des secours à la tour de contrôle. Une fois les actions vitales effectuées et après avoir évacué l'avion, le pilote stagiaire constate que le pneu gauche de l'avion est intact.

### 1.1.3. Localisation

- Lieu :
  - pays : France
  - département : Haute-Corse
  - commune : Ventiseri-Solenzara
  - coordonnées géographiques : N 41°55'42'' / E 009°24'18''
  - hauteur ou altitude du lieu de l'évènement : au sol
- Moment : après-midi
- Aérodrome de l'évènement : Ventiseri-Solenzara (LFKS)

### 1.2. Dommages corporels

Le pilote est indemne.

### 1.3. Dommages à l'aéronef

L'aéronef est intègre.

### 1.4. Autres dommages

Sans objet.

### 1.5. Renseignements sur l'équipage

#### 1.5.1. Chef de patrouille

- Âge : 40 ans
- Unité d'affectation : flottille 17F
- Fonction dans l'unité : commandant d'unité
- Formations :
  - qualification : chef de dispositif
  - école de spécialisation : section marine école de Meridian (US) (2010)
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Rafale	sur tout type	dont Rafale	sur tout type	dont Rafale
Total (h)	2 500	1 000	108	104	20	20

- Date du précédent vol : 23 juin 2023

#### 1.5.2. Équipier

- Âge : 26 ans
- Unité d'affectation : centre d'expertise du groupe aérien embarqué (CENTEX GAE)
- Fonction dans l'unité : stagiaire au centre de navalisation Rafale
- Formations :
  - qualification : lâché Rafale en progression vers la qualification « équipier à l'entraînement »
  - école de spécialisation : section marine école de Meridian (US) (2022)
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Rafale	sur tout type	dont Rafale	sur tout type	dont Rafale
Total (h)	413	8	21	8	8	8

- Date du précédent vol : 15 juin 2023

### 1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : Marine nationale
- Commandement d'appartenance : commandement de la force de l'aéronautique navale (ALAVIA)

- Aérodrome d'affectation : base de l'aéronautique navale de Landivisiau
- Unité d'affectation : flottille 11F
- Type d'aéronef :

	Type-série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis dernier entretien NTI2 <sup>7</sup>
Cellule	Rafale Marine standard F3R	35	3 359	/
Moteur droit	M88-2	WM000055	3 167	11
Moteur gauche	M88-2	WM000150	3 194	20

### 1.6.1. Maintenance et navigabilité

L'aéronef est navigable. L'entretien de l'aéronef est conforme au programme de maintenance en vigueur.

### 1.6.2. Performances

La longueur de piste étant supérieure à 2400 m, la masse maximale pour un freinage avec l'énergie normale est de 15000 kg selon les directives d'ALAVIA<sup>8</sup>.

### 1.6.3. Masse et centrage

La masse au décollage est de 15200 kg et de 11550 kg à l'atterrissage. Le centrage est dans le domaine de vol de l'aéronef.

### 1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F-34
- Quantité de carburant au décollage : 4 650 kg
- Quantité de carburant au moment de l'évènement : 1000 kg

## 1.7. Conditions météorologiques

### 1.7.1. Prévisions

Les prévisions météorologiques émises à 10h00 par le service météorologique de la base aérienne 126 de Ventiseri-Solenzara sur une période de 24 heures prévoient un vent du 100° pour 7 kt et des conditions CAVOK<sup>9</sup>.

### 1.7.2. Observations

Le message d'observations automatique émis par la station de la base aérienne 126 à 16h00 indique une température de 29 °C et un QNH<sup>10</sup> de 1 015 hPa. Le vent transmis à la patrouille avant leur atterrissage est du 070° pour 5 kt.

## 1.8. Télécommunications

Le Rafale dispose de deux postes V/UHF<sup>11</sup>. Au moment de l'évènement, l'équipier affiche la fréquence VHF de la tour de contrôle de Solenzara et une fréquence interne à la patrouille en UHF.

<sup>7</sup> Entretien au deuxième niveau technique d'intervention en fonction de la durée de fonctionnement des différents modules et équipements constituant les moteurs.

<sup>8</sup> Instruction permanente sécurité n°81.1.12 ALAVIA/MRA/NP édition 03 indice B du 14 juin 2022 de la force de l'aéronautique navale.

<sup>9</sup> *Ceiling and visibility OK* – plafond et visibilité OK : visibilité supérieure ou égale à 10 km, pas de nuage en dessous de l'altitude la plus élevée entre une hauteur de 5000 ft au-dessus de l'aérodrome ou l'altitude minimale de secteur, pas de phénomène significatif, pas de cumulonimbus ou de cumulus bourgeonnant.

<sup>10</sup> Valeur de la pression atmosphérique ramenée au niveau moyen de la mer suivant les caractéristiques de l'atmosphère standard.

<sup>11</sup> *Very/Ultra high frequency* : très et ultra haute fréquence.

## 1.9. Renseignements sur l'aéroport

La base aérienne 126 de Ventiseri-Solenzara est située à 8 km au nord de la ville de Solenzara. Elle dispose d'une piste revêtue de 2627 m de long et 45 m de large, axée 18/36. L'axe de la piste 36 est orienté au cap vrai 359°. Des brins d'arrêt sont présents à chaque extrémité à 400 m des barrières d'arrêt.

Cinq bretelles permettent la circulation vers les parkings situés à l'ouest de la piste. La bretelle C est située à une distance de 1750 m du seuil de piste 36.



Figure 2 : piste de Ventiseri-Solenzara

## 1.10. Enregistreurs de bord

Le Rafale est équipé de plusieurs systèmes d'enregistrement de données :

- un enregistreur de vidéo numérique (EVN), qui enregistre les images filmées devant l'avion et l'affichage du collimateur tête haute (CTH) ;
- un enregistreur statique de paramètres (ESPAR) ;
- une cassette A contenant les données de préparation et de restitution de la mission ;
- une cassette B contenant des données enregistrées pendant les vols pour la maintenance.

L'ensemble de ces données est exploitable.

## 1.11. Constatations sur l'aéronef et sur la zone de l'incident

### 1.11.1. Examen de l'aéronef

L'aéronef est intègre. L'examen des pneumatiques ne révèle pas d'usure anormale et les roues ne présentent pas de blocage. Les tuyauteries de freinage sont intègres.

### 1.11.2. Examen de la piste

L'examen de la piste et de la bretelle C révèle de nombreuses traces de pneumatique du Rafale de l'équipier : le poser des roues, une première embardée entre les deux demi-bandes, une seconde embardée associée à une sortie de piste et le freinage final perpendiculaire à la bretelle C.



Figure 3 : traces du poser de l'équipier, Rafale M35

Les traces du pneumatique gauche, avec des marques de fonctionnement de l'anti-dérapage, matérialisent la première embardée.

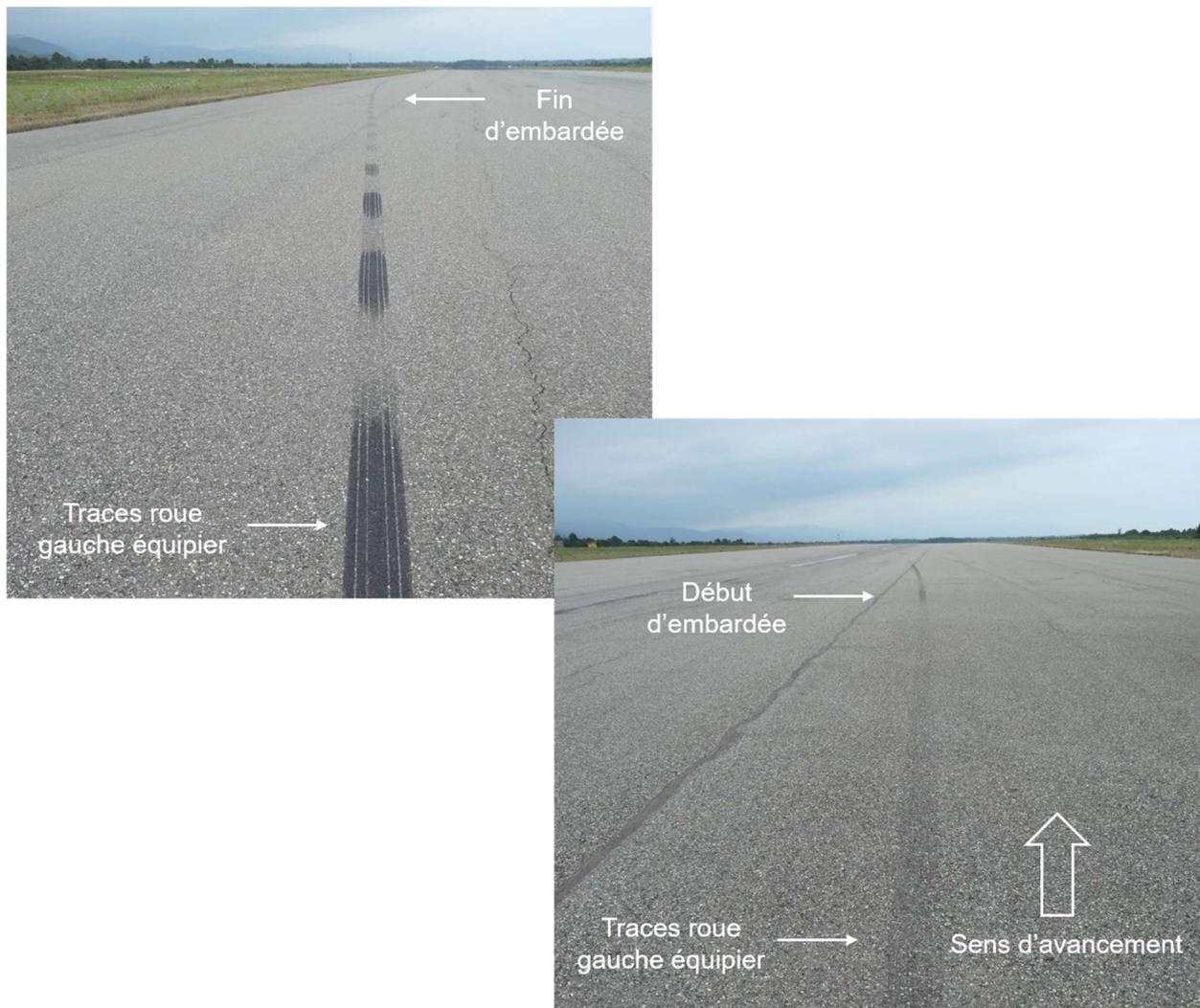


Figure 4 : première embardée de l'équipier, Rafale M35

Lors de la sortie de piste du Rafale, sa trajectoire passe à proximité d'un feu de balisage de bord de piste. La roue principale gauche passe juste à gauche du feu à une distance de 27 cm.

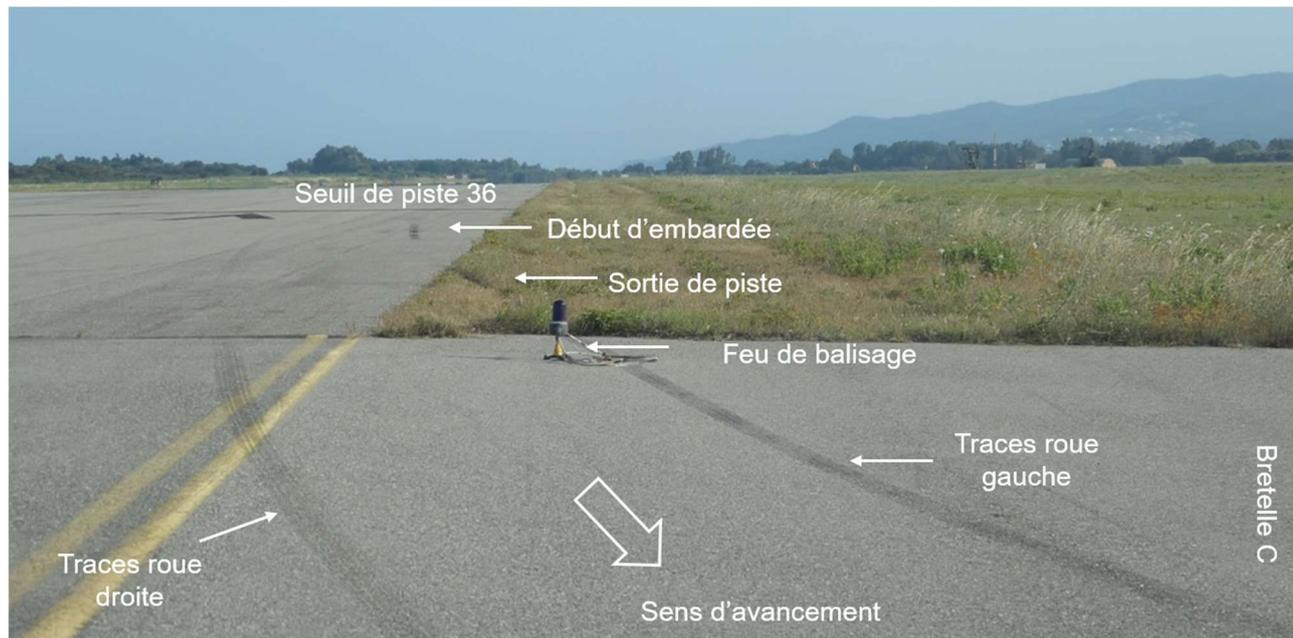


Figure 5 : sortie de piste de l'équipier, Rafale M35

Le Rafale s'immobilise au cap 345° à proximité de la bordure nord de l'intersection de la piste avec la bretelle C.



Figure 6 : trajectoire finale de l'équipier, Rafale M35

Les traces du leader qui amorce un virage pour dégager la piste par la bretelle C puis renverse son virage sur la droite pour s'écarter de l'équipier sont également visibles. Les marques de pneumatique avec le fonctionnement de l'anti-dérive sont présentes sur la trajectoire du pneu intérieur au virage.



Figure 7 : traces du leader, Rafale M40

## 1.12. Renseignements médicaux

### 1.12.1. Chef de patrouille

- Dernier examen médical :
  - type : visite d'aptitude semestrielle le 29 mars 2023 en référence à la visite au centre d'expertise médicale du personnel navigant (CEMPN) du 26 septembre 2022
  - résultat : apte
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : aucune

### 1.12.2. Équipier

- Dernier examen médical :
  - type : visite au centre d'expertise médicale du personnel navigant (CEMPN) du 9 janvier 2023
  - résultat : apte
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : aucune

## 1.13. Incendie

Il n'y a pas d'incendie déclaré. La température des freins du Rafale M35 immobilisé sur la bretelle C est contrôlée avec une caméra thermique par les pompiers du SSLIA<sup>12</sup>. La température relevée est de 250 °C à gauche et de 50 °C à droite. Les valeurs étant en train de décroître, le risque d'incendie est écarté par l'équipe de secours.

## 1.14. Questions relatives à l'organisation des secours

### 1.14.1. Engagement d'un système d'arrêt

Le brin de fin de bande de la piste 36 n'a pas été engagé.

<sup>12</sup> Service de sauvetage et de lutte contre les incendies des aéronefs sur les aérodromes.

#### 1.14.2. Organisation des secours

Le leader demande l'intervention des secours à la tour de contrôle pour une suspicion de crevaison sur l'avion de l'équipier alors que ce dernier s'immobilise à l'intersection de la bretelle C et de la piste (16h02'18"). Le leader libère la piste en fin de bande. Les véhicules d'intervention arrivent sur place moins de trois minutes après le déclenchement des secours (16h04'58").

Le leader d'une deuxième patrouille de Rafale Marine, alors dans le circuit de piste, demande si la patrouille précédente a dégagé la piste. Le leader de la patrouille au sol lui répond que son numéro 2 est « dégagé de la piste » mais qu'il n'a pas passé la ligne du point d'attente de la bretelle C. Le leader de la patrouille qui est en vol confirme qu'il a le visuel sur le Rafale immobilisé. Il demande à la tour de contrôle qu'une inspection de piste soit réalisée rapidement compte tenu de sa quantité de pétrole restant limitée et se place en attente.

Le véhicule de piste débute l'inspection à 16h05'26" depuis la bretelle E en remontant la piste 36. Il reporte à la tour une absence de débris mais que des traces de pneumatiques sont visibles. Il rend compte également que l'aéronef n'est plus sur la chaussée de la piste mais à l'intérieur de la bande de piste<sup>13</sup> sans avoir franchi le point d'arrêt puis il libère la piste à 16h07'40". La deuxième patrouille atterrit sans encombre.

#### 1.15. Essais et recherches

Les données des ESPAR et les vidéos des CTH sont expertisées par RESEDA et Dassault Aviation. L'analyse des facteurs organisationnels et humains (FOH) est réalisée par le BEA-É.

#### 1.16. Renseignements sur les organismes

La flottille 17F est l'une des trois flottilles de Rafale Marine de l'aéronautique navale et est basée à Landivisiau. Elle a vocation à embarquer sur le porte-avions Charles-de-Gaulle pour assurer des missions d'intervention, de protection ou de dissuasion. L'année de l'évènement, elle est en charge de la navalisation sur Rafale des pilotes stagiaires de l'aéronautique navale.

#### 1.17. Atterrissage en patrouille serrée

L'atterrissage en patrouille serrée (ou en section) permet d'accompagner jusqu'à l'atterrissage un équipier qui n'est pas autonome pour conduire une approche en IMC<sup>14</sup> ou qui doit faire face à une panne nécessitant un accompagnement (panne radio, collision aviaire sur la verrière...) ou pour fluidifier le trafic. La sortie des éléments (aérofreins le cas échéant et trains) se fait sur ordre de l'avion en position de leader. La vitesse d'approche est effectuée à 14° d'incidence. Au plus tard aux minima, le leader libère son équipier en annonçant « 2, à toi pour l'atterrissage, vitesse et incidence » ou sur signal visuel après avoir montré la piste du doigt.

#### 1.18. Système de freinage et de dirigeabilité sur Rafale

Les roues des trains principaux sont équipées de freins en carbone. Le système de freinage est constitué de deux circuits hydrauliques indépendants fonctionnant en parallèle. Le freinage normal est commandé électriquement par l'enfoncement de la partie supérieure des pédales du palonnier. Chaque pédale commande le freinage de la roue correspondante ce qui permet un freinage différentiel. Le freinage est effectif à partir de 14 % de la course de la pédale et maximale à 50 %. La pression sur les freins est de 175 bars au maximum, cette pression est réduite à 60 bars si le train avant n'est pas au sol. Le freinage normal intègre les fonctions d'anti-dérapage et d'anti-blocage (*antiskid*) en régulant la pression des freins respectivement pour obtenir une meilleure adhérence et pour éviter de bloquer les roues.

---

<sup>13</sup> La bande de piste appelée également bande dégagée est une aire, comprenant la piste, destinée à réduire les risques de dommages matériels en cas de sortie de piste d'un aéronef et à assurer la protection des aéronefs qui survolent cette aire au cours des opérations de décollage ou d'atterrissage.

<sup>14</sup> *Instrument meteorological conditions* – conditions météorologiques de vol aux instruments.

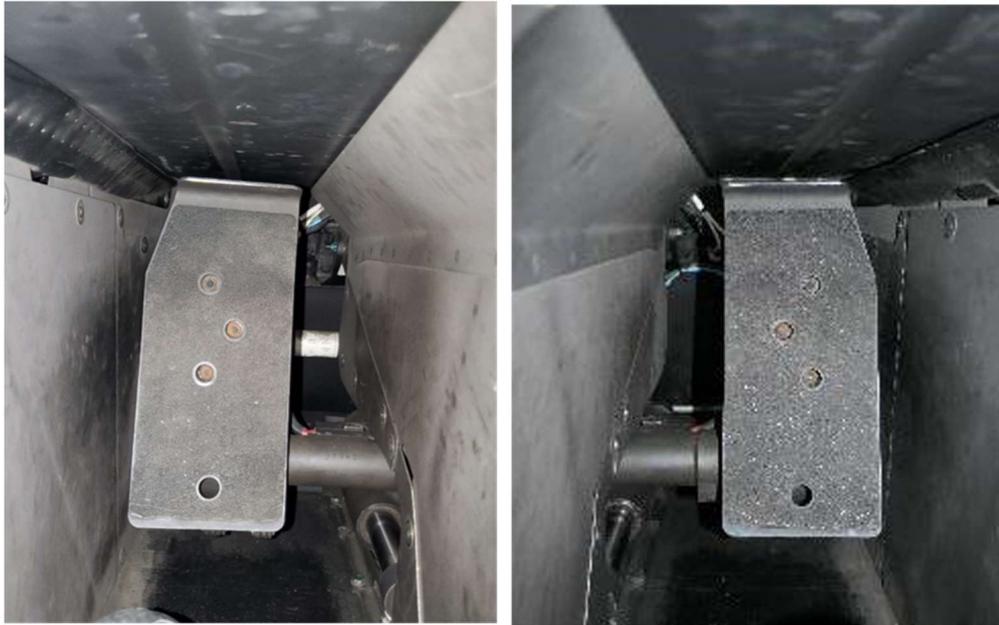


Figure 8 : palonnier Rafale

Au sol, la dirigeabilité de l'avion est assurée à haute vitesse par l'orientation de la gouverne de direction située sur la dérive et commandée par la position du palonnier. A basse vitesse, la dirigeabilité est assurée par l'orientation des roues du train avant grâce à une fonctionnalité appelée DIRAV<sup>15</sup> ou NWS<sup>16</sup>. Cette orientation, réalisée par un système hydraulique, est asservie à la position du palonnier. Son désenclenchement est automatique en phase d'accélération lorsque la vitesse dépasse 70 kt (mais un ré-enclenchement est possible) ou au décollage lorsque le train avant déjauge. En phase de décélération, son enclenchement par le pilote est autorisé lorsque la vitesse est inférieure à 70 kt pour se prémunir du risque de shimmy<sup>17</sup> pour les vitesses supérieures. Lorsque la DIRAV est active, l'angle de braquage des roues dépend de la vitesse de l'aéronef. La diminution de son autorité à mesure que la vitesse s'accroît est compensée par l'augmentation de l'efficacité de la gouverne de direction.

---

<sup>15</sup> Dirigeabilité avion.

<sup>16</sup> *Nose wheel steering.*

<sup>17</sup> Phénomène entretenu d'oscillation rapide et de grande amplitude de la roulette de nez autour de son axe vertical.

## 2. ANALYSE

### 2.1. Expertises techniques

#### 2.1.1. Inspection du système de freinage, des pneumatiques et de la dirigeabilité

La pression mesurée sur les deux circuits de freinage à 175 bars est nominale. Lorsque le frein de parc est desserré, il n'y a pas de pression résiduelle dans le circuit de freinage. L'inspection des paliers inférieurs des trains principaux et des tuyauteries des circuits de freinage ne révèle aucune anomalie.

La mesure des témoins d'usure des blocs-frein gauche et droit est dans les normes d'utilisation et n'indique pas de dissymétrie. Les roues tournent librement lorsque l'avion est sur vérin. L'inspection des pneumatiques des roues du train principal et des roues du train auxiliaire ne révèle pas d'usure prématurée. Le système *antiskid* est fonctionnel et ne présente pas d'anomalie.

Les résultats des essais réalisés sur le système de la dirigeabilité (DIRAV) sont conformes.

**Les investigations techniques menées n'ont révélé de défaut ni sur le système de freinage ni sur la dirigeabilité de l'avion.**

#### 2.1.2. Analyse des données de vol et des traces sur la piste

##### 2.1.2.1. Analyse des trajectoires en courte finale et à l'atterrissage

Le leader libère l'équipier à une hauteur de 300 ft. Les incidences affichées par le leader et l'équipier sont ensuite similaires, de l'ordre de 15° puis elles augmentent en très courte finale jusqu'à 17°. Le pilotage est réalisé sans utilisation du pilote automatique<sup>18</sup>, conformément aux directives du centre de navalisation Rafale (CNR) afin de renforcer les qualités de pilotage des stagiaires dans la phase initiale de progression.

L'équipier pose le train principal à la vitesse de 116 kt à 16h01'27". Lors du freinage aérodynamique, avec une incidence moyenne de 14°, le pilote stagiaire a une forte activité au palonnier. Il pose la roulette de nez à la vitesse de 92 kt.

Le leader atterrit à une vitesse de 125 kt à 16h01'28", soit une seconde après l'équipier. Il effectue un freinage aérodynamique jusqu'à la vitesse de 97 kt puis laisse rouler l'avion quatre secondes avant de débiter un freinage progressif jusqu'à un Jx<sup>19</sup> de -0.35 g<sup>20</sup>.

**Jusqu'à la très courte finale, l'incidence des deux avions est similaire, les avions restent alors dans une position de proximité. L'équipier atterrit une seconde avant le leader.**

##### 2.1.2.2. Analyse des traces du poser

Les traces du train principal après le poser de l'équipier ne sont pas continues. Ce type de traces pourrait être représentatif du fonctionnement du système d'anti-dérapiage lors du freinage. Les données de vol ne montrent pas de variation du Jx durant cette phase. Par ailleurs, plusieurs traces du même type sont présentes sur la piste dans cette zone dont celles du leader sur la demi-bande gauche. Le train principal lors de la prise de contact avec la piste est soumis à un phénomène d'oscillation qui génère une variation d'adhérence des roues et produit des traces discontinues le temps que les roues se mettent en rotation complète. Ce phénomène semble être favorisé par l'abrasivité de la piste.

**Lors de l'atterrissage sur la piste de Solenzara, le train principal est soumis à un phénomène oscillatoire entraînant des variations d'adhérence des roues de manière transitoire.**

<sup>18</sup> Le pilote automatique intègre une fonction de maintien automatique de l'incidence (auto-manette).

<sup>19</sup> Accélération longitudinale.

<sup>20</sup> Unité d'accélération, un g vaut 9,81 m/s<sup>2</sup>.

### 2.1.2.3. Analyse du freinage initial

Une seconde après avoir posé la roulette de nez, le pilote stagiaire initie son freinage en appliquant trois coups de freins brefs en deux secondes, l'amplitude du Jx est de -0,26 g, -0,28 g et -0,31 g, puis relâche la pression (annexe I). Un déplacement du palonnier à droite est associé à chaque coup de frein. Trois secondes après, il refreine brièvement, avec un Jx de -0,19 g, mais relâche la pression car l'avion a tendance à partir sur la gauche. Le pilote maintient ponctuellement du pied à droite pour contrer cette tendance.

**Le freinage initial de l'équipier est bref et saccadé. Il freine plus à gauche tout en déplaçant le palonnier à droite, ainsi son freinage est dissymétrique. La tendance de l'avion à partir sur la gauche du fait du freinage est compensée aérodynamiquement à ce stade par le braquage de la gouverne de direction.**

### 2.1.2.4. Analyse de la première embardée

La première embardée sur la gauche survient à 16h01'52'' à la vitesse de 70 kt lorsque le pilote stagiaire freine avec un Jx de -0,26 g tout en déplaçant le palonnier à droite (Annexe I). À cette vitesse, l'effet de dérive n'est plus suffisant pour maintenir l'axe. Le cap de l'avion diminue de 10° (cap 346°) et l'avion passe sur la demi-bande gauche de la piste. Le pilote stagiaire essaie de contrer l'embarquée en donnant plusieurs coups de palonnier à droite avant de positionner son pied en butée à droite. L'avion reprend finalement le cap de la piste 5 secondes après l'application du débattement maximal au palonnier et l'arrêt de l'action aux freins. Cette position au palonnier est maintenue jusqu'à l'immobilisation de l'appareil. Par ailleurs, un bref coup de gaz, d'une valeur de 73 % de N2<sup>21</sup>, est enregistré lorsque l'avion est derrière le leader avec un cap encore divergeant avec l'axe de piste.

Sur la piste, les traces de la première embardée (cf. figure 3), traduisent une sollicitation principalement du frein gauche. Ces traces ainsi que la température supérieure relevée sur le bloc frein gauche par l'équipe des secours sont révélatrices d'un freinage dissymétrique.

**La première embardée sur la gauche, d'une amplitude de 10°, est due à un freinage dissymétrique, avec une sollicitation essentiellement du frein gauche. Le pilote donne un bref coup de gaz alors qu'il est passé sur la demi-bande du leader puis enfonce le palonnier en butée à droite et maintient cette position jusqu'à l'immobilisation de l'avion.**

### 2.1.2.5. Analyse de la seconde embardée

La seconde embardée sur la gauche intervient à 16h02'04'' à la vitesse de 47 kt, lorsque le pilote stagiaire freine avec un Jx de -0,2 g (Annexe I). Elle a une amplitude de 22° (cap 335°). Lorsque la roue principale gauche sort brièvement de la piste en passant dans l'herbe, elle est freinée ce qui accentue la rotation de l'aéronef sur la gauche. Après avoir initié l'altération de cap sur la gauche, le freinage est effectif sur les deux roues principales comme le témoignent les traces de pneumatique sur la piste et sur la bretelle C (cf. figures 4 et 5). Ceci est cohérent avec les déclarations du pilote qui indique être « debout sur les freins » pour arrêter l'avion avant le bord de la bretelle. Les traces laissées par la roue gauche sont cependant plus marquées.

**La seconde embardée sur la gauche d'une amplitude de 20° environ provoque une brève sortie de piste. Le freinage est ensuite effectif sur les deux roues jusqu'à l'immobilisation de l'avion.**

### 2.1.2.6. Analyse de l'espacement entre les 2 aéronefs

La reconstitution des deux trajectoires permet d'estimer la distance entre les avions. L'espacement horizontal est quasi nul lors de l'atterrissage (le nez de l'équipier se trouve à la hauteur de la tuyère du leader). Dans un premier temps, le différentiel de vitesse entre les deux avions permet d'augmenter cet espacement, il s'accroît jusqu'à 90 m avant de réduire ensuite de manière constante.

<sup>21</sup> Ratio de la vitesse de rotation du moteur par rapport à la vitesse maximale.

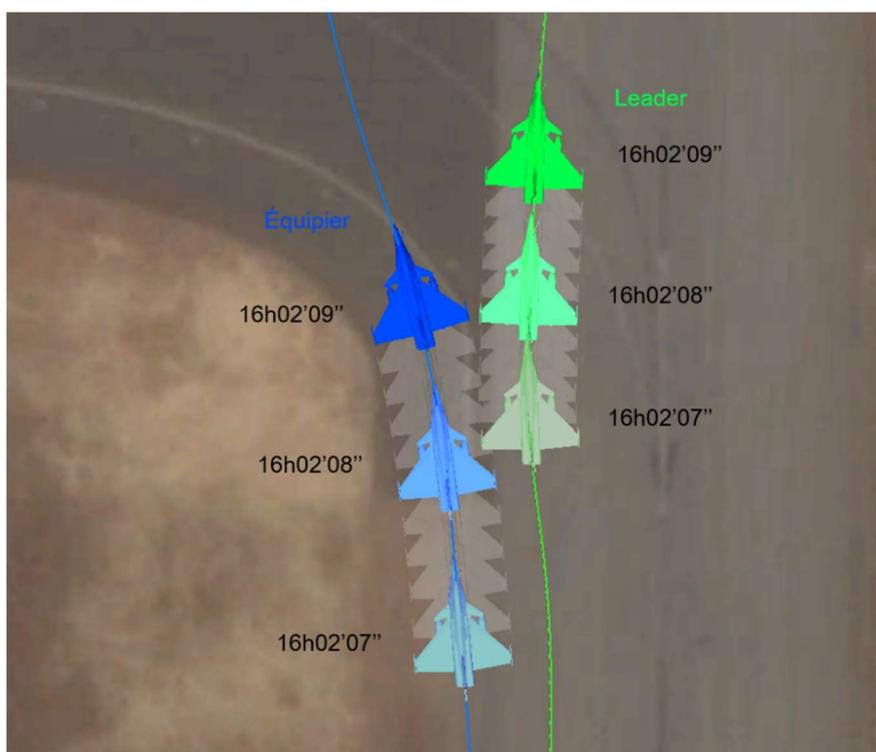


Figure 9 : reconstitution des trajectoires des deux avions

Lors de l'évitement, la distance minimale latérale entre les deux trajectoires est de 10 m (pour une envergure du Rafale dans cette configuration de 10,86 m) avec un espacement horizontal de 2 m et une vitesse de rapprochement instantanée de l'ordre de 5 m/s. Le nez du Rafale de l'équipier passe à environ 8 m du bout de l'aile gauche du leader.

**La distance entre les deux aéronefs se réduit rapidement jusqu'à 2 m d'espacement horizontal. À ce moment, l'écartement est inférieur à une envergure d'avion avant que les trajectoires divergent.**

## 2.2. Séquence de l'évènement

La patrouille de Rafale se présente en longue finale sur la piste 36 de Solenzara pour un atterrissage en patrouille serrée (ou en section), l'équipier est en échelon refusé à droite au vent du leader. Ce dernier libère l'équipier à une hauteur de 300 ft. Jusqu'à la très courte finale, l'incidence des deux avions est similaire, de l'ordre de 15°, les avions restent alors dans une position de proximité et atterrissent avec un espacement horizontale quasi nul.

L'équipier atterrit à 16h01'27'' à la vitesse de 116 kt et effectue un freinage aérodynamique jusqu'à 92 kt. Le leader atterrit une seconde plus tard à la vitesse de 125 kt et maintient son freinage aérodynamique jusqu'à 97 kt puis laisse rouler l'avion quatre secondes avant de débiter un freinage progressif. Une seconde après avoir posé la roulette de nez, l'équipier applique un premier freinage bref et saccadé. Son freinage est dissymétrique, il freine principalement à gauche tout en déplaçant le palonnier à droite. La tendance à partir sur la gauche est compensée aérodynamiquement par le déplacement de la gouverne de direction.

À 16h01'52'', alors qu'il refreine à 70 kt, son freinage dissymétrique provoque une première embardée, d'une amplitude de 10°, qui le déporte sur la demi-piste gauche. À cette vitesse, l'effet de dérive n'est plus suffisant pour maintenir l'axe. Il parvient à reprendre le cap de la piste mais se retrouve entre le bord de piste à gauche et le leader sur la droite. La distance entre les deux aéronefs se réduit rapidement. Alors que le leader s'apprête à sortir de la piste par la gauche en empruntant la bretelle C, l'équipier lui ordonne de partir sur la droite. Sur les injonctions de son équipier, le leader vire immédiatement à droite en donnant un coup de gaz pour rester sur la piste et s'écarter de son équipier. Au même moment, l'équipier subit une nouvelle embardée à gauche, d'une amplitude de 20°, le train principal gauche passe brièvement sur l'herbe. Le pilote parvient à immobiliser l'avion sur la bretelle C en sollicitant les deux freins. Lors de l'évitement, l'espacement horizontal minimal est de 2 m avec un écartement de 10 m, inférieur à l'envergure du Rafale.

## 2.3. Recherche des causes de l'évènement

### 2.3.1. Freinage de l'équipier

#### 2.3.1.1. Technicité du freinage

Les freins du Rafale sont décrits par les pilotes comme particulièrement efficaces et sensibles. L'effort à appliquer sur le haut de la pédale est linéaire. Le dosage du freinage nécessite une phase d'apprentissage que le simulateur seul ne peut apporter par manque de réalisme en l'absence de sensation de décélération et compte tenu de la difficulté à percevoir rapidement les altérations du cap en cas de freinage dissymétrique. Il est préconisé d'appliquer un freinage progressif, souple et continu en recherchant à maintenir un Jx constant entre -0.2 et -0.3 g sur Rafale Marine. En cas de phénomène de shimmy, la pression appliquée doit être relâchée puis réappliquée de la même manière. Lors des premiers vols de formation, la non-maîtrise du dosage du freinage se traduit par un freinage trop fort ou insuffisant et une succession d'à-coups, appelée aussi pompage.

Après avoir posé la roulette de nez, le pilote stagiaire applique un freinage discontinu en pompant sur les pédales. Il relâche ensuite son freinage avant d'appliquer un freinage timide. Par ailleurs, une fois la roulette de nez posée, il ne positionne pas son manche en arrière, conformément à la procédure, afin de braquer les élévons vers le haut pour augmenter l'appui aérodynamique sur le train principal ainsi que la traînée. Son freinage n'est donc pas optimisé.

**Les freins du Rafale sont sensibles, ils nécessitent une phase d'apprentissage pour en maîtriser le dosage. Le manque d'expérience du pilote stagiaire explique son freinage discontinu et peu soutenu.**

#### 2.3.1.2. Freinage dissymétrique

Par conception, l'utilisation des freins nécessite que le pilote place ses pieds en hauteur et de manière précise sur les pédales du palonnier, sans référence par rapport au plancher cabine. Si les talons restent au sol, le dosage est imprécis compte tenu du faible bras de levier et le freinage peut alors être brusque. La cheville doit être centrée sur l'axe de rotation de la pédale pour avoir une meilleure précision dans le dosage. Si les pieds ne sont pas à la même hauteur ou légèrement en biais, il y a un risque de freinage dissymétrique. Le positionnement des pieds et l'intensité du freinage nécessitent une phase d'apprentissage pour acquérir des sensations de freinage similaires d'un vol à l'autre.

La pointure du pilote stagiaire (41) a également potentiellement une influence sur le dosage du freinage compte tenu d'un bras de levier moindre par rapport à un pilote avec une pointure supérieure. Le positionnement des pieds du pilote stagiaire est très probablement non symétrique.

Par ailleurs, le maintien du palonnier droit en butée requiert un effort musculaire soutenu. La position de la jambe en extension et l'intensité de l'effort gênent fortement l'action de freinage à droite avec la pointe du pied. Après la première embardée, la position de la jambe droite du pilote stagiaire sur le palonnier a très probablement contribué à la dissymétrie du freinage à l'origine de la seconde embardée.

**En phase d'apprentissage, un mauvais positionnement des pieds sur les palonniers, particulièrement pour les pilotes avec des pieds de petite taille, peut provoquer une dissymétrie de freinage. De plus, l'effort musculaire induit par le braquage en butée du palonnier droit, après le début de la première embardée, a contribué à la dissymétrie de freinage.**

### 2.3.2. Niveau de stress de l'équipier

L'écoute de la fréquence respiratoire de l'équipier permet de calculer une moyenne de 30 respirations par minute lors de la finale. Ce rythme respiratoire baisse à 18 respirations par minute après l'atterrissage puis remonte à 30 lorsque survient la première embardée. Lors de ces phases, l'équipier est en hyperventilation, ce qui traduit un niveau de stress important. En comparaison, le leader à une fréquence respiratoire stable de 10 respirations par minute tout au long de la phase d'atterrissage et de la décélération. Le niveau de stress de l'équipier s'explique en partie par l'exigence attentionnelle que requiert un premier atterrissage en patrouille

serrée sur Rafale. Le pilote est probablement un peu crispé sur les commandes compte tenu de la grande précision que demande cette manœuvre et de son niveau d'aisance à ce stade de la formation.

Lorsque le pilote stagiaire subit une première embardée qu'il ne s'explique pas et qu'il passe sur la demi-bande gauche de la piste derrière le leader, son niveau de stress augmente à nouveau. Sous l'effet du stress et compte tenu de sa faible expérience, il n'enclenche pas la DIRAV pour contrer le départ franc sur la gauche lors de la première embardée. Il arrive à revenir au cap de la piste mais se retrouve dans une position inédite, coincé entre le bord de piste sur sa gauche et le leader sur sa droite, sans porte de sortie possible.

L'état émotionnel de l'équipier ne lui a pas permis d'analyser l'origine de la non-maîtrise de sa trajectoire. Il ne parvient pas à détecter qu'il est à l'origine de la dissymétrie de freinage. De plus, son niveau de stress a certainement conduit à une action parasite à la manette de gaz lors de la première embardée.

**Le niveau de stress élevé du pilote stagiaire ne lui permet pas d'analyser l'origine de la non-maîtrise de sa trajectoire lors de la phase de décélération sur la piste. Sous l'effet du stress et compte tenu de sa faible expérience, il ne pense pas à enclencher la DIRAV pour contrer l'embardée.**

### 2.3.3. Conscience de la situation non partagée

#### 2.3.3.1. Communication au sein de la patrouille

Après l'atterrissage en patrouille, aucun échange radio n'est effectué entre l'équipier et le leader, jusqu'à ce que ce dernier ralentisse pour dégager la piste par la gauche alors que l'équipier se rapproche de lui par l'arrière sans contrôle de sa vitesse. À cet instant, le leader n'a conscience ni de la position de l'équipier ni de son problème de contrôle de trajectoire.

Le pilote stagiaire subit une embardée qu'il ne s'explique pas. Focalisé sur cette situation, sa charge mentale ne lui permet pas d'annoncer au leader ses problèmes de trajectoire et de contrôle de vitesse. Par ailleurs, les échanges radio sont culturellement limités au strict nécessaire dès lors que la sécurité n'est pas engagée. Cet état d'esprit a potentiellement contribué à retarder l'annonce de l'équipier.

De plus, lors d'un atterrissage en section, la pratique d'une partie des pilotes de la Marine est d'annoncer « vitesse contrôlée » ou « speed down » de la part de l'équipier uniquement lorsque celui-ci se trouve sur la bande lente (demi-bande du côté des bretelles de dégagement) afin d'autoriser le leader, se trouvant à l'extérieur, à croiser sa trajectoire. Cette configuration n'étant pas celle de l'évènement, l'annonce « vitesse contrôlée » par l'équipier n'est pas prévue lors du briefing. Or, cela prive le leader d'une information lui permettant de se représenter correctement la situation.

Cette procédure diffère de celle employée par les pilotes de l'armée de l'Air et de l'Espace et par les pilotes de Rafale de la Marine ayant reçu une formation initiale sur biplace à l'ETR. L'équipier annonce « vitesse contrôlée » ou « speed down », quelle que soit la demi-bande de piste où il se trouve, afin de signifier au leader que son freinage est efficace, qu'un espacement se crée entre les deux avions, que la prise de brin en bout de bande en cas de problème de frein revient au leader et que ce dernier peut croiser sa trajectoire le cas échéant.

Par conséquent, le leader n'a pas conscience de la position de l'équipier au moment de prendre la décision de dégager la piste.

**L'équipier annonce tardivement au leader ses problèmes compte tenu de son niveau de stress et potentiellement en raison d'une habitude culturelle de minimiser les communications dès lors que la sécurité n'est pas engagée. Ceci contribue à ce que le leader n'ait pas conscience de la position de l'équipier au moment de dégager la piste.**

**En revanche, face à une vitesse de rapprochement élevée et à une trajectoire conflictuelle avec son leader, le pilote stagiaire trouve les ressources nécessaires pour ordonner à ce dernier de changer sa trajectoire et éviter ainsi un abordage.**

### 2.3.3.2. Baisse d'attention du leader

L'équipier est un pilote stagiaire qui ne rencontre pas de difficulté particulière dans sa progression, ses vols précédents se sont passés nominale. Le vol de l'évènement est le premier vol du leader avec le pilote stagiaire. Lors de ce vol, l'équipier démontre une bonne maîtrise des exercices demandés compte tenu de son niveau de progression. Le contenu du vol est évalué comme excellent par le leader. Ainsi, il est possible que le leader éprouve un certain niveau de confiance vis-à-vis de l'équipier.

De plus, le vol en patrouille serrée demande au leader une précision de pilotage plus grande qu'en avion isolé. Au moment où le leader libère son équipier pour que chacun prenne l'atterrissage à sa charge, un certain relâchement attentionnel dans la précision de pilotage, peut se produire.

En courte finale, le leader libère l'équipier sans lui annoncer sa vitesse et son incidence puis ne reste pas à 14° d'incidence pour créer de l'espacement. Par ailleurs, lors de la phase de décélération, le leader ne vérifie pas dans son rétroviseur droit la position relative de l'équipier pour s'assurer qu'un espacement suffisant se crée entre les deux avions. Ce contrôle n'est effectué qu'une seule fois juste avant de dégager la piste, l'équipier est alors sur la demi-bande derrière lui. Ne le voyant pas dans le rétroviseur droit, le leader pense qu'il est loin derrière lui, dans un angle mort du rétroviseur et n' imagine pas qu'il puisse être sur sa gauche. Le leader ne prend donc jamais conscience d'un problème d'espacement avec l'équipier.

**La baisse d'attention du leader en fin de vol a certainement favorisé un manque de précision dans la phraséologie employée et dans la tenue des paramètres de vol d'atterrissage en patrouille serrée ainsi qu'un relâchement de la supervision de son équipier lors du freinage.**

### 2.3.3.3. Perception du contrôleur

Lors de la phase de décélération sur la piste, la gestion de l'espacement est à la charge de la patrouille et les contrôleurs n'interviennent qu'après l'annonce « vitesse contrôlée » ou en cas de danger imminent pour ne pas perturber les pilotes.

Lors de l'évènement, le contrôleur au poste air/sol à une vision sur l'ensemble de la piste, il constate que l'avion en position de leader laisse rouler après avoir atterri et qu'un espacement se crée entre les deux avions. Puis il s'aperçoit que l'espacement se réduit, il pense alors que l'équipier tarde à freiner ou ne freine pas suffisamment. La cinématique de l'équipier ne lui semble pas nominale mais ne lui paraît pas choquante au point d'intervenir sur la fréquence. Lorsque l'équipier passe sur la bande lente (demi-bande gauche), victime d'une première embardée, il pense qu'il va dégager par la bretelle C et que le leader va poursuivre pour sortir en fin de bande par la bretelle B. De même, il ne perçoit pas que l'aéronef sort brièvement de piste avec le train principal gauche. Ce n'est que lorsque l'avion s'immobilise, en biais, à l'intersection de la bretelle C, qu'il demande immédiatement à la patrouille s'ils ont besoin des secours d'aérodrome.

L'annonce « vitesse contrôlée » sur la fréquence tour par les aéronefs de la patrouille n'est pas systématique. L'absence de cette annonce par l'équipier n'alerte pas le contrôleur sur le défaut de contrôle de sa vitesse avant de dégager la piste.

**Le contrôleur n'a pas conscience d'un défaut de contrôle de trajectoire de l'équipier pendant sa phase de décélération. Une fois l'aéronef immobilisé dans une position anormale, le contrôleur intervient immédiatement sur la fréquence.**

### 3. CONCLUSION

L'évènement est une perte partielle de contrôle au sol de l'équipier au cours d'un atterrissage en patrouille serrée engendrant une situation de proximité avec le leader et une brève sortie de piste.

#LOC-G<sup>22</sup>

#RE<sup>23</sup>

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

Le 23 juin 2023, en retour d'un vol d'instruction initiale au profit d'un pilote stagiaire, une patrouille légère de Rafale Marine se présente sur la piste 36 de la base aérienne de Ventiseri-Solenzara pour un atterrissage en patrouille serrée (ou en section). L'équipier est en échelon refusé à droite au vent du leader. Ce dernier libère l'équipier à une hauteur de 300 ft. Jusqu'à la très courte finale, l'incidence des deux avions est similaire, de l'ordre de 15°, les avions restent alors dans une position de proximité et atterrissent avec un espacement horizontal quasi nul. Le différentiel de vitesse au moment de l'atterrissage entre les deux avions et un début de freinage du leader plus tardif permet de créer un espacement entre les deux avions qui va s'accroître jusqu'à 90 m avant de diminuer. Une seconde après avoir posé la roulette de nez à 92 kt, l'équipier applique un premier freinage bref, saccadé et dissymétrique. Il freine principalement à gauche tout en déplaçant le palonnier à droite. La tendance de l'avion à partir sur la gauche est compensée aérodynamiquement par le braquage de la gouverne de direction. Alors qu'il refreine à 70 kt toujours de manière dissymétrique, une première embardée se produit, compte tenu de l'effet moindre de la gouverne de direction à cette vitesse, ce qui le déporte sur la demi-piste gauche. Il parvient à reprendre le cap de la piste mais se retrouve entre le bord de piste à gauche et le leader sur la droite tout en se rapprochant de ce dernier. Alors que le leader s'apprête à sortir de la piste par la gauche en empruntant la bretelle C, l'équipier lui ordonne de partir sur la droite. Sur les injonctions de son équipier, le leader vire immédiatement à droite en donnant un coup de gaz pour rester sur la piste et s'écarter de son équipier. Au même moment, l'équipier provoque une nouvelle embardée à gauche et son train principal gauche passe brièvement sur l'herbe. Le pilote parvient à immobiliser l'avion sur la bretelle C. Lors de l'évitement, l'espacement horizontal minimal est de 2 m et l'écartement de 10 m, inférieur à l'envergure du Rafale.

Le pilote est indemne. L'aéronef est intègre.

Les investigations techniques menées n'ont révélé de défaut ni sur le système de freinage ni sur la dirigeabilité de l'avion.

#### 3.2. Causes de l'évènement

La perte partielle de contrôle au sol du Rafale est due à un freinage dissymétrique du pilote stagiaire provoquant une première embardée sur la gauche le faisant passer sur la demi-bande du leader puis une seconde associée à une brève sortie de piste du train principal gauche. Cette dissymétrie de freinage peut s'expliquer par :

- un positionnement non symétrique ou en biais des pieds sur les pédales du palonnier, possiblement accentué par la relative petite pointure du pilote ;
- la faible expérience du pilote qui applique un freinage discontinu et peu soutenu ;
- l'effort musculaire induit par le braquage en butée du palonnier droit, après le début de la première embardée, gênant fortement le freinage à droite.

Le niveau de stress élevé du pilote stagiaire ne lui permet pas d'analyser qu'il est à l'origine de cette dissymétrie de freinage, tandis qu'une baisse d'attention du leader en fin de vol a certainement favorisé un manque de précision dans la phraséologie employée et dans la tenue des paramètres de vol en atterrissage en patrouille serrée ainsi qu'un relâchement de la supervision du freinage de son équipier.

---

<sup>22</sup> LOC-G : *Loss control on ground*, perte de contrôle au sol, selon la taxonomie du système de déclaration des données sur les accidents et incidents aériens de l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI).

<sup>23</sup> *Runway excursion*, sortie de piste, selon la taxonomie du système de déclaration des données sur les accidents et incidents aériens de l'OACI.

L'équipier annonce tardivement au leader ses problèmes compte tenu de son niveau de stress et potentiellement en raison d'une habitude culturelle de minimiser les communications dès lors que la sécurité n'est pas engagée. Ceci contribue à ce que le leader n'ait pas conscience de la position de l'équipier au moment de dégager la piste. En revanche, face à une vitesse de rapprochement élevée et à une trajectoire conflictuelle avec son leader, le pilote stagiaire trouve les ressources nécessaires pour ordonner à ce dernier de changer sa trajectoire et éviter ainsi un abordage.

De plus, l'annonce « vitesse contrôlée » n'étant pas systématique, son absence contribue à ce que le contrôleur perçoive tardivement le défaut de contrôle de trajectoire de l'équipier.

## 4. RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

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

Le freinage sur Rafale est efficace mais requiert une phase d'apprentissage pour en maîtriser le dosage. En fonction des cursus, certains pilotes de l'aéronautique navale débutent leur formation directement sur Rafale monoplace Marine sans passer sur Rafale biplace à l'ETR. L'atterrissage en patrouille serrée (ou en section) est un exercice exigeant qui demande des ressources cognitives importantes. Lors de l'évènement, cet exercice est réalisé au sixième vol de progression du pilote stagiaire, conformément au syllabus de formation sur Rafale Marine monoplace. Cependant celui-ci ne maîtrise pas encore totalement le dosage du freinage ce qui conduit à une perte de contrôle partielle de la trajectoire de l'avion au sol lors de la phase de décélération.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à la Marine nationale d'étudier la progressivité de la formation relative à l'atterrissage en patrouille serrée sur Rafale Marine en fonction du cursus des pilotes.**

R1 – [M-2023-09-I] Destinataire : CEMM

Par ailleurs, l'annonce « vitesse contrôlée » n'est pas systématique, elle dépend de la demi-bande utilisée par l'équipier. La réduction du partage d'information au strict minimum entre les deux pilotes de la patrouille a privé le leader d'une information lui permettant de se représenter correctement la situation lors de la phase de décélération des avions sur leur demi-bande respective.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à la Marine nationale d'améliorer la prise en compte des cas non conformes de la procédure d'atterrissage en section (atterrissage en patrouille serrée) et de standardiser la phraséologie employée par l'équipier.**

R2 – [M-2023-09-I] Destinataire : CEMM

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

Sans objet.

# ANNEXE I

## ANALYSE DES DONNÉES DE VOL DE L'ÉQUIPIER ENTRE L'ATERRISAGE ET L'ARRÊT

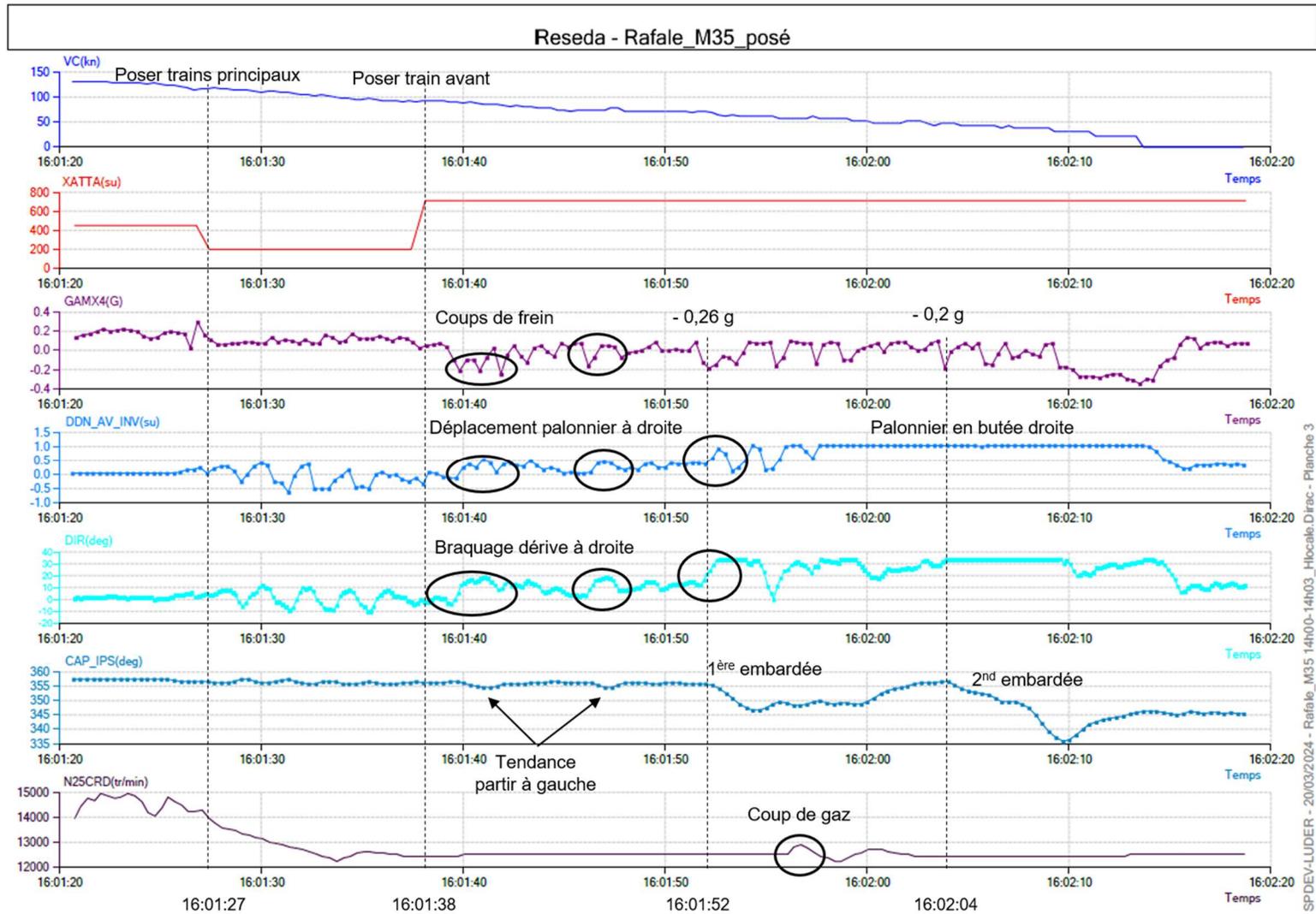


Figure 10 : données de vol du Rafale M35