



**Accident** survenu au CM-170 Fouga Magister  
immatriculé **F-AZPZ**  
le vendredi 16 août 2024  
au large de Bormes-les-Mimosas (83)

Heure	À 16 h 56 <sup>1</sup>
Exploitant	Privé
Nature du vol	Manifestation aérienne
Personne à bord	Pilote
Conséquences et dommages	Pilote décédé, avion détruit

**Incapacité du pilote sous facteur de charge positif, collision  
avec la surface de la mer, lors d'une  
manifestation aérienne**

**1 DÉROULEMENT DU VOL**

*Note : Les informations suivantes sont principalement issues des témoignages, des données radar ainsi que des vidéos prises par des témoins au sol.*

Le pilote décolle de l'aérodrome de Cuers-Pierrefeu (83) vers 16 h 35 pour rallier Le Lavandou (83) où se déroule la manifestation aérienne au-dessus de la mer (voir § 2.2.1). À l'arrivée, il effectue sept virages de 360° d'attente.

À 16 h 52, le directeur des vols autorise le pilote à commencer sa présentation. Le pilote enchaîne plusieurs passages, entrecoupés de manœuvres destinées à le repositionner sur l'axe de présentation (« oreilles » avec ou sans « John Derry », voir § 2.6.1).

Après un virage de 360° à forte inclinaison, le pilote effectue une « oreille » avec un « John Derry ». En descente, en virage sur la tranche pour rejoindre l'axe de présentation, l'avion se stabilise quelques secondes vers 400 ft de hauteur, avant de poursuivre sa descente jusqu'à la collision avec la surface de la mer.

**2 RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES**

**2.1 Renseignements sur l'avion et sur l'épave**

Le CM-170 Fouga Magister est un avion équipé de deux turboréacteurs Marboré<sup>2</sup>. Conçu en France et produit à partir des années 1950, il a été utilisé par l'Armée de l'Air française entre 1956 et 1996 pour la formation militaire, et aussi par la Patrouille de France entre 1964 et 1980.

<sup>1</sup> Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heure locale.

<sup>2</sup> Les moteurs étaient construits par Turboméca, société appelée aujourd'hui Safran Helicopter Engines.

Le pilote était l'unique utilisateur du F-AZPZ acheté en 1996 par une association familiale (famille du pilote). L'avion était basé sur l'aérodrome de Cuers-Pierrefeu. Il disposait d'un Certificat de Navigabilité Restreint d'Aéronef de Collection (CNRAC). Le pilote assurait lui-même la gestion du maintien de la navigabilité et l'entretien de l'avion, avec l'aide d'un ami mécanicien avion pour la réalisation de la maintenance.

Le Fouga Magister n'est pas doté de siège éjectable. En cas de problème en vol, la procédure prévoit de larguer la verrière puis d'évacuer l'avion. Le pilote portait ainsi un parachute en cas d'éventuelle évacuation en vol.

Le Fouga Magister n'est pas équipé d'un système d'alimentation en air permettant l'utilisation d'une combinaison anti-g, conçue pour atténuer les effets des facteurs de charge sur le corps du pilote, contrairement aux avions plus récents utilisés par l'Armée française.

Le F-AZPZ est entré en collision avec la surface de la mer à une vitesse d'environ 200 kt (voir § 2.6.3). Le champ de débris, de 50 m de long et de 10 à 15 m de large, se situait à 14 m de profondeur, à 250 m au large du port de Bormes-les-Mimosas. À cet endroit, les fonds marins sont recouverts de posidonie, algue pouvant atteindre jusqu'à 1 m de hauteur. Seules les pièces les plus volumineuses de l'épave ont pu être remontées, la collecte exhaustive des débris étant rendue impossible. Au regard des témoignages (voir § 2.3) et de l'analyse des vidéos prises par les témoins au sol qui ne mettaient pas en évidence d'action sur les commandes de vol ou les moteurs pendant les quelques secondes précédant la collision avec la surface de la mer, le BEA n'a pas procédé à l'examen des débris.

## 2.2 Renseignements sur la manifestation aérienne

### 2.2.1 Généralités

Le pilote participait à la manifestation aérienne organisée par la municipalité du Lavandou dans le cadre de la commémoration du 80<sup>e</sup> anniversaire du débarquement de Provence. Il s'agissait d'un Spectacle aérien public (SAP) au sens de [l'arrêté du 10 novembre 2021 modifié relatif aux manifestations aériennes](#). Plusieurs dizaines de milliers de spectateurs étaient présents. La maîtrise d'œuvre de cette manifestation aérienne avait été confiée à deux consultants : le Directeur des Vols (DV) et son Suppléant (DVS). Ils sont tous les deux anciens pilotes de chasse de l'Armée de l'air et de l'espace (AAE) et avaient notamment travaillé au Bureau des manifestations aériennes de l'AAE.

Trois présentations étaient prévues au cours de la manifestation aérienne :

- un Extra 330 de l'Équipe de Voltige de l'AAE (EVA AE), pendant une dizaine de minutes ;
- le Fouga Magister F-AZPZ, pendant une dizaine de minutes ;
- la Patrouille de France de l'AAE, pendant une trentaine de minutes.

À la suite de l'accident, la manifestation a été interrompue.

Un Délégué militaire à la manifestation aérienne (DMMA) et un commentateur avaient été désignés par l'AAE pour participer à la manifestation aérienne. Le DMMA avait également été pilote de chasse de l'AAE, il coordonnait l'intervention de l'AAE avec les organisateurs et in fine, avec le DV et le DVS pour cette manifestation. Le commentateur, quant à lui, décrivait les présentations pour le public. Ces personnes étaient positionnées au niveau du Point central (PC) (voir **Figure 1**). Il était prévu que l'AAE ne filme que les présentations des avions de l'AAE (Extra 330 et Patrouille de France).

### 2.2.2 Axe de présentation

Pour sa présentation, le F-AZPZ volait selon l'axe de présentation « FOUGA » orienté au 035/215°, à 750 m de la zone avec du public et 230 m<sup>3</sup> au large des ports du Lavandou (au nord) et de Bormes-les-Mimosas (au sud). La position de l'axe visait à protéger le public. Cet axe était également utilisé par la Patrouille de France. La hauteur minimale de présentation règlementaire était de 300 ft.

L'axe « FOUGA », situé entre les deux ports (voir **Figure 2**), était matérialisé par sept bouées rouges de 1,5 m de diamètre et espacées de 200 m (1 200 m au total). Deux bateaux étaient utilisés pour marquer l'axe. Un bateau (Sud) était positionné au sud de l'axe et un autre bateau (Perp) était positionné sur la perpendiculaire à l'axe de présentation qui passe par le PC, à 200 m de l'axe (voir **Figure 1** et § 2.3.4).

L'axe « EVAAE » était matérialisé par des bouées blanches. Il était situé à 150 m de la zone de baignade (large de 50 m), le long de la plage.

Une zone d'exclusion maritime avait été définie.



Figure 1 : positions des axes de présentation, de la zone avec du public, de la zone d'exclusion maritime, des bateaux, du point central et position de la collision avec la surface de la mer

<sup>3</sup> Distance minimale règlementaire.



Figure 2 : bouées matérialisant l'axe « FOUGA » (Source : DV)

L'arrêté relatif aux manifestations aériennes et le [Guide des manifestations aériennes](#) publié par la DSAC le 29 mars 2024 indiquent respectivement que l'axe de présentation doit être facilement identifiable et « *clairement matérialisé, même pour un SAP [Spectacle Aérien Public] en mer* », sans être prescriptif sur les moyens selon l'environnement du lieu du spectacle. Ils ne contiennent pas d'autres précisions pour les cas de présentations au-dessus de la mer.

## 2.3 Témoignages

### 2.3.1 DV, DVS et DMMA

Le DV indique qu'une répétition générale avait eu lieu le 13 août, au cours de laquelle le pilote avait fait un vol. Plusieurs aspects avaient été discutés entre le DV et le pilote :

- hauteur de vol : le DV a estimé que l'avion évoluait bas et l'a dit au pilote à la radio qui a alors augmenté sa hauteur pour la suite du vol. Lors du débriefing le soir, le pilote a précisé qu'il faisait ses passages à 300 ft et qu'il avait poursuivi à 500 ft à la suite de la remarque du DV. Le DV lui a demandé de garder 500 ft lors de la manifestation pour améliorer la visibilité de l'avion depuis la zone avec du public, relativement éloignée de l'axe de présentation ;
- interruption de la présentation : le pilote a interrompu sa présentation et n'a pas réalisé sa dernière figure. Il a indiqué au DV qu'il faisait trop chaud et qu'il préférerait arrêter là. Le DV a approuvé cette décision qu'il a jugée professionnelle.

Les DV, DVS et DMMA indiquent que, de leur position (à plus de 750 m de l'axe), la présentation du pilote au cours de la manifestation était maîtrisée et conforme aux attendus. Le DV précise qu'il n'est pas anormal de voir des différences entre le vol de répétition et le vol de présentation (voir § 2.6) pour un programme avec un enchaînement simple de figures acrobatiques. Un pilote gère l'énergie de l'aéronef en temps réel, il peut adapter l'enchaînement de figures prévues. Par ailleurs, le vol de répétition peut amener à des modifications pour la présentation à la demande du DV.

Par ailleurs, ils indiquent que seules les quelques secondes du vol de présentation, avant la collision avec la surface de la mer, leur ont semblé anormales, comme s'il n'y avait « plus personne à bord ». Selon eux, il n'y a eu aucune action sur les axes de pilotage ni sur les commandes des moteurs qui délivraient la puissance nécessaire à cette phase de vol.

## 2.3.2 Commentateur de la manifestation

Le commentateur (appelé *speaker*) connaissait le pilote, il l'avait déjà rencontré lors de manifestations aériennes. Il commente des manifestations aériennes depuis près de dix ans. Même s'il n'est pas pilote, il a eu la même impression que les DV, DVS et DMMA sur les dernières secondes du vol.

Il précise que dans le cadre de sa fonction, il s'entraîne à gérer ce type de situation de crise, car il est un repère pour le public. Après l'accident, il a notamment demandé au public de limiter l'utilisation des téléphones portables, afin de préserver l'efficacité des réseaux de communication pour les services de secours.

## 2.3.3 Proche du pilote

L'épouse du pilote indique que le jour de l'accident, le pilote a sorti l'avion du hangar environ 1 h 30 avant le décollage. Elle précise que le pilote a avitaillé avec le carburant nécessaire pour la présentation sans marge excessive, afin de ne pas avoir un avion trop lourd.

## 2.3.4 Témoignages relatifs à l'axe de présentation

Au retour du vol de répétition, le pilote a échangé avec son fils au sujet des facteurs de charge qu'il a subis en vol. Il a notamment indiqué qu'il avait tiré jusqu'à +4,8 g en virage pour rattraper l'axe de présentation et qu'il avait dû serrer pour ne pas dépasser les bouées. Le mécanicien qui assistait le pilote pour la maintenance a ajouté que les facteurs de charge positifs habituels pour ces manœuvres avoisinaient +3 / +3,5 g.

Le DV précise qu'au débriefing le soir du vol de répétition, le pilote a indiqué qu'il avait du mal à voir l'axe matérialisé par les bouées rouges, qu'il ne les voyait qu'au dernier moment et devait alors serrer ses virages. Il a mentionné que les bouées blanches étaient plus facilement repérables.

Le DMMA indique que pour les présentations au-dessus de la mer, des bouées sont généralement utilisées pour matérialiser les axes de présentation. Elles sont fixées au fond marin et ne dérivent pas. Il ajoute qu'en fonction de la luminosité, l'heure, l'état de la mer, la détection est plus ou moins simple. Il ajoute enfin que les pilotes utilisent a priori de plus gros repères comme les entrées des ports ou le trait de côte pour se préaligner. Le DMMA précise que les pilotes de l'AAE n'ont pas fait état de difficultés de détection des axes de présentation lors des vols de répétition et de présentation.

Un pilote de présentation également DV ainsi que France Spectacle Aérien (FSA)<sup>4</sup> précisent que si les conditions le permettent, positionner un bateau imposant ou une barge de couleur au milieu de l'axe de présentation en guise de repère peut aider un pilote à se recaler plus rapidement.

Le DV indique qu'à la demande de la Patrouille de France et lorsque cela est possible, il essaie de marquer les deux extrémités (nord et sud) de l'axe de présentation par des bateaux, pour faciliter l'acquisition visuelle de l'axe de présentation. Cela avait été le cas du dispositif du Lavandou depuis sa création. Dans le cadre de la manifestation de 2024, le DV avait fait le choix, en concertation avec le premier solo de la Patrouille de France de déplacer le bateau nord, peu utile vu sa proximité avec le port du Lavandou. Il a été déplacé sur la perpendiculaire, à 200 m de l'axe de présentation, pour bien marquer cette position, face au public et au point central, qui n'est pas simple à visualiser.

---

<sup>4</sup> France Spectacle Aérien est une structure française associative d'échanges et de concertation autour des manifestations aériennes.

Le DV précise qu'en aucun cas, ces bateaux n'ont une fonction de surveillance des vols notamment pour le respect de l'axe de présentation. Il ajoute que les équipages de ces bateaux, vu leurs positions, sont plus exposés à un risque de collision en cas de perte de contrôle de l'aéronef. Ainsi, il n'est pas favorable à placer des bateaux avec des équipages au milieu de l'axe.

Le DV et le DVS indiquent qu'ils n'étaient pas en mesure de détecter les dépassements de l'axe de présentation depuis leur position. La trajectoire restait au-delà des distances de sécurité par rapport au public en raison de l'éloignement important de l'axe de présentation.

FSA précise que la surveillance du respect des axes de présentation est l'une des fonctions premières du DV et qu'il est souvent difficile pour un DV de surveiller le respect de l'axe de présentation (en mer, mais aussi sur terre), en particulier lorsque l'axe est situé au-delà des distances minimales prévues, comme c'était le cas de la manifestation du Lavandou. Le DV doit savoir faire la différence entre une erreur de jugement du pilote et des erreurs systématiques qui se doivent d'être relevées immédiatement. FSA ajoute que cette surveillance est une préoccupation pour tous les acteurs. Selon FSA, le respect de l'axe de présentation représente un point de vigilance particulière pour la Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile (DSAC) et la Gendarmerie des Transports Aériens (GTA) ou la Police Aux Frontières (PAF), lorsqu'elles sont présentes.

Le DV, le DMMA et FSA indiquent qu'il est préférable de dépasser l'axe (dépassement maîtrisé) plutôt que de risquer de perdre le contrôle. La DSAC abonde dans ce sens. Dans ces conditions, en général, le pilote corrige sa trajectoire et éventuellement, interrompt sa présentation.

Lorsqu'il est en mesure de détecter un dépassement de l'axe, Le DV estime qu'il peut en informer un pilote au cours de sa présentation, pour l'inciter à corriger sa trajectoire.

FSA estime qu'un DV peut indiquer au pilote un dépassement d'axe et qu'un briefing préalable doit cadrer la phraséologie en cas de dépassement constaté. Le briefing doit préciser que si le dépassement de l'axe est inéluctable, l'objectif est de piloter l'aéronef avant tout.

## **2.4 Renseignements météorologiques**

### **2.4.1 Conditions lors du vol de répétition le 13 août 2024**

Les stations météorologiques de l'aérodrome de Hyères<sup>5</sup> (83) et de l'île du Levant<sup>6</sup> (83) donnaient des indications sensiblement identiques à 15 h (au moment du vol de répétition), au niveau du sol :

- vent du sud-ouest (230°-240°) de force 7 à 10 kt - vent dans l'axe de présentation ;
- température de 32 °C ;
- humidité relative de 56 %.

Météo-France précise que le temps était calme et sec, le ciel clair et la visibilité bonne. Le vent était faible à modéré en surface comme en basses couches, sans rafales significatives (16 kt maximum enregistré). Il n'y avait pas de turbulence.

---

<sup>5</sup> Station située à 18 km du site de l'accident.

<sup>6</sup> Station située à 9 km du site de l'accident.

## 2.4.2 Conditions lors du vol de l'accident le 16 août 2024

Les stations météorologiques de l'aérodrome de Hyères et de l'île du Levant donnaient des indications sensiblement identiques à 17 h (à l'heure de l'accident), au niveau du sol :

- vent d'est (80°-120°) de force 6 à 9 kt – vent de travers par rapport à l'axe de présentation ;
- température de 29 °C ;
- humidité relative de 60 %.

Météo-France précise que le temps était calme et sec, le ciel clair et la visibilité bonne<sup>7</sup>. Le vent était faible en surface comme en basses couches, sans rafales significatives (16 kt maximum enregistré). Il n'y avait pas de turbulence. À 500 ft, selon le modèle AROME, le vent avait une force de 6 kt et une direction sud-est à toute altitude.

## 2.5 Renseignements sur le pilote

### 2.5.1 Renseignements aéronautiques

Le pilote, âgé de 65 ans, était titulaire d'une licence de pilote professionnel CPL(A) depuis 1984, assortie notamment de la qualification de type CM-170/CM-175. Il disposait également des qualifications voltige élémentaire depuis 1992, voltige avancée depuis 2010 et vol acrobatique depuis 2018. Il était par ailleurs titulaire d'une licence de pilote de planeur SPL et de pilote d'ULM multiaxes.

Le pilote avait été pilote de chasse de l'Armée de l'Air entre 1982 et 1997. Il avait volé sur Fouga Magister dans ce cadre et il était également instructeur. Le pilote avait été officier chargé de la sécurité des vols dans ses différents escadrons et au sein du club de vol à voile de Salon-de-Provence (13).

Selon son carnet de vol, le pilote totalisait environ 6 500 heures de vol. Selon des proches, il totalisait plus de 2 000 h sur Fouga Magister. Il totalisait également 6 000 heures de vol en planeur.

Au cours de l'année 2024, il totalisait neuf heures de vol sur le F-AZPZ. Il avait participé à deux manifestations aériennes :

- à Valence (26), le 29 juin ;
- à Alès (30), le 6 juillet.

Le pilote volait régulièrement au cours de manifestations aériennes, au moins une fois par an. Selon les témoins, le pilote présentait systématiquement les mêmes figures, mais dans des ordres variables : tonneau, tonneau lent, passage dos, tonneau barriqué, passage public, virage de 360° horizontal, boucle sous 45°, tonneau huit facettes, *break, peel off*. Ces figures étaient mentionnées sur les fiches de participation du pilote pour les manifestations aériennes de Valence et d'Alès, qui étaient à la disposition du DV<sup>8</sup>. Le pilote avait mentionné des « oreilles » entre chaque passage. Sur l'une des fiches, il avait mentionné : « *remplacement de l'oreille par un John Derry en fonction du soleil et du vent travers* ».

---

<sup>7</sup> Informations confirmées sur les vidéos prises par les témoins au sol.

<sup>8</sup> La fiche de participation du pilote à la manifestation aérienne du Lavandou n'avait pas été fournie au directeur des vols.

Selon le commentateur de la manifestation aérienne, le pilote avait peu d'expérience récente pour des présentations au-dessus de la mer.

Enfin, le pilote exploitait seul son avion, sans assistant ni *coach* (à la différence des pilotes de l'AAE avec leur DMMA) capable de surveiller ses manœuvres depuis le sol, ou de détecter une éventuelle altération de trajectoire.

## 2.5.2 Renseignements sur la santé du pilote

Le pilote disposait d'un certificat d'aptitude médicale de classe 2. Les demandes de certificat médical des deux dernières années ne comportent aucune mention de maladie, de traitement ou d'hospitalisation.

Le pilote a passé la journée du 16 août avec son épouse. Selon elle, il a pris un petit-déjeuner vers 9 h et a déjeuné léger vers midi avant de prendre la route pour Cuers. Il n'a pas réalisé d'activité inhabituelle au cours de la journée. Elle indique aussi qu'il s'est hydraté normalement au cours de la journée, notamment avant le vol.

Peu avant le décollage, le pilote a discuté avec un ami présent sur l'aérodrome. Le pilote lui a fait part des fortes chaleurs, « fatigantes », des derniers jours. Il faisait chaud le jour de l'accident, l'avion était resté au soleil environ 1 h 30 avant le vol, selon les proches.

L'épouse du pilote indique que le pilote toussait les jours qui précédaient le jour de l'accident. Il n'avait pas d'autres symptômes. À sa connaissance, il n'avait pas pris de médicaments pour cela. Le commentateur de la manifestation avait échangé par téléphone avec le pilote quelques heures avant la présentation et avait en effet noté que le pilote toussait. Ils précisent que le pilote leur a dit qu'il était en forme pour faire le vol.

Le pilote était suivi mensuellement et devait prendre un traitement médical en raison d'une maladie chronique développée à partir de 2003. L'épouse précise qu'il demeurait très discret sur son suivi médical.

Les analyses toxicologiques pratiquées après l'accident mettent en évidence des traces de plusieurs médicaments, sans trace de traitement médical pour la maladie chronique. Le BEA a retracé le parcours de santé du pilote sur plusieurs années et a également interviewé ses proches, ce qui n'a pas permis d'expliquer les résultats des analyses toxicologiques. Les effets des médicaments détectés par les analyses toxicologiques sont susceptibles de diminuer la tolérance au facteur de charge (voir § 2.7), c'est pourquoi la prise de médicaments doit systématiquement être déclarée à l'examineur aéromédical.

## 2.6 Analyse de vidéos

### 2.6.1 Figures pratiquées par le pilote

Entre ses passages, le pilote effectuait des « oreilles », permettant de changer de direction rapidement dans un espace réduit, agrémentées ou non de « John Derry » :

- l'« oreille » consiste à faire une ouverture de 45° par rapport à l'axe de présentation, à l'opposé du public, en montée avec une forte assiette de l'ordre de 60°, puis de virer sur la tranche avec une inclinaison de l'ordre de 80° en descente pour rejoindre l'axe à l'altitude de présentation et enfin de remettre les ailes à plat ;

- le « John Derry » est un tonneau arrêté à 270° (trois quarts de tour) effectué lors de la montée, pour se retrouver sur la tranche. Cette manœuvre plus esthétique assouplit l'« oreille » et permet de s'éloigner un peu plus de l'axe de présentation.

## 2.6.2 Vol de répétition le 13 août 2024

Le pilote avait installé une *action cam* sur son casque lors du vol de répétition. Cette caméra filmait à la fois l'environnement extérieur et la planche de bord, en fonction des mouvements de la tête du pilote. L'analyse de cette vidéo montre que le pilote a enchaîné les figures suivantes :

- tonneau / oreille ;
- passage public / oreille avec John Derry ;
- passage sur axe puis boucle / oreille avec John Derry ;
- passage à plat / oreille ;
- virage 360° à forte inclinaison / oreille ;
- tonneau barriqué / oreille ;
- passage public en virage puis boucle sous 45° / oreille ;
- passage haute vitesse / oreille ;
- tonneau envoyé huit facettes / oreille ;
- tonneau / oreille très large.

Des paramètres de vol ont pu être partiellement observés sur la planche de bord. Au cours de ce vol, l'avion a évolué entre 300 et 2 500 ft, à des vitesses indiquées comprises entre 150 et 280 kt. Les vitesses verticales maximales affichées étaient de l'ordre de +/-10 000 ft/min. Les passages et les figures n'étaient pas systématiquement réalisés sur l'axe « FOUGA », parfois entre l'axe « EVAAE » et l'axe « FOUGA ».

Un facteur de charge maximal à environ +5 g a été observé en sortie du deuxième « John Derry », après la boucle. La vitesse de l'avion était alors de 235 kt et la vitesse verticale de -5 000 ft/min.

## 2.6.3 Vol de l'accident le 16 août 2024

L'*action cam* n'avait pas été installée par le pilote pour le vol de présentation. Le vol du F-AZPZ n'a pas été filmé dans son intégralité par les membres de l'organisation de la manifestation. À la suite de l'accident, le BEA a lancé un appel à témoin qui a permis de récupérer près de 200 vidéos et plusieurs centaines de photos prises par des témoins au sol. Aucune vidéo ne contenait l'intégralité du vol, cependant la quasi-totalité du vol a pu être récupérée à partir de plusieurs vidéos.

L'analyse des vidéos montre que le pilote a enchaîné les figures suivantes :

- passage avec tonneau / oreille ;
- tonneau barriqué / oreille ;
- passage public / oreille ;
- boucle / oreille avec John Derry ;
- virage 360° à forte inclinaison / oreille avec John Derry.

Le pilote n'a pas réalisé de passage à plat entre la boucle et le virage à 360°, contrairement au vol de répétition.

Le BEA a travaillé avec la société [iwiation](#) pour reconstituer la trajectoire de l'avion. Les données de position (latitude et longitude) ainsi que les paramètres de vol (altitude, vitesse verticale, vitesse sol, assiette, roulis, cap et facteur de charge) ont été estimés à partir d'une maquette de l'avion recalée en temps réel sur une sélection de vidéos de témoins au sol. Ces calculs ont été effectués sur les 28 dernières secondes du vol (entre les points ① et ③, voir **Figure 3** ci-dessous et **Figure 4**). En complément, le BEA a validé, avec une méthode différente, les données de trajectoire que iwiation avait calculées. Le BEA a en plus déterminé les données de trajectoire des figures précédentes.

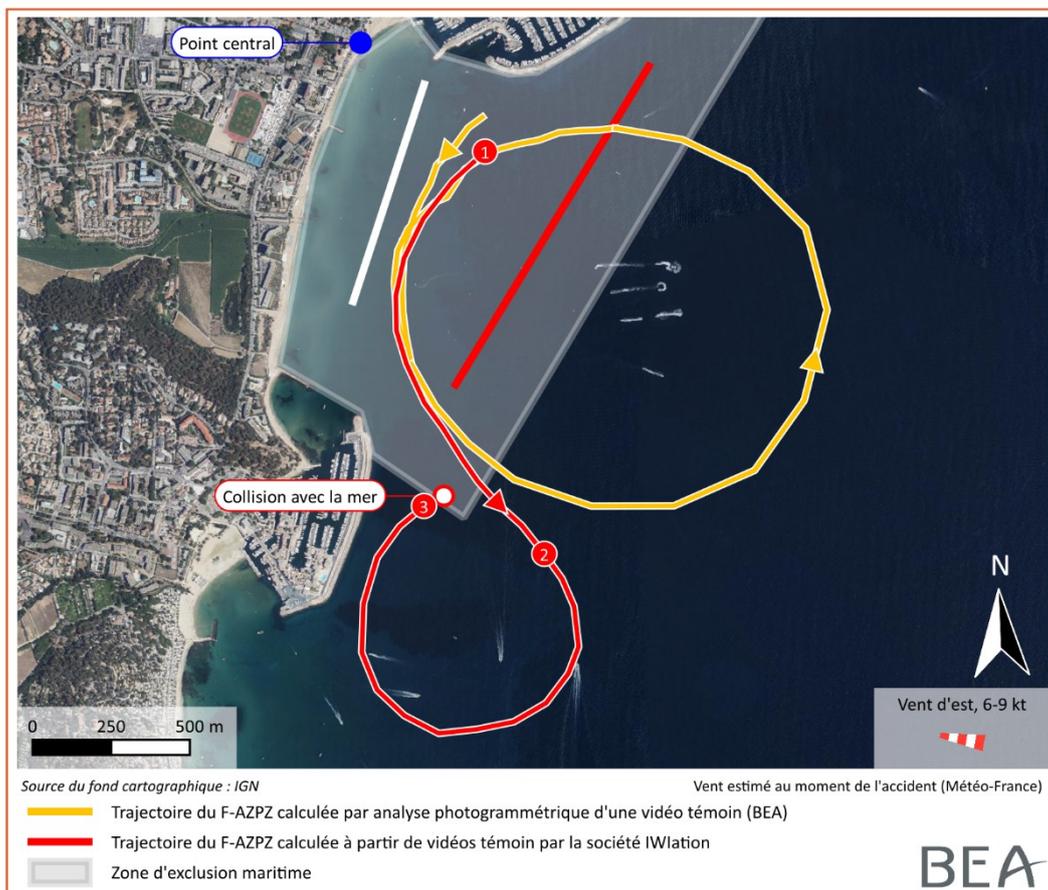


Figure 3 : trajectoire estimée du F-AZPZ à partir des vidéos de témoins au sol

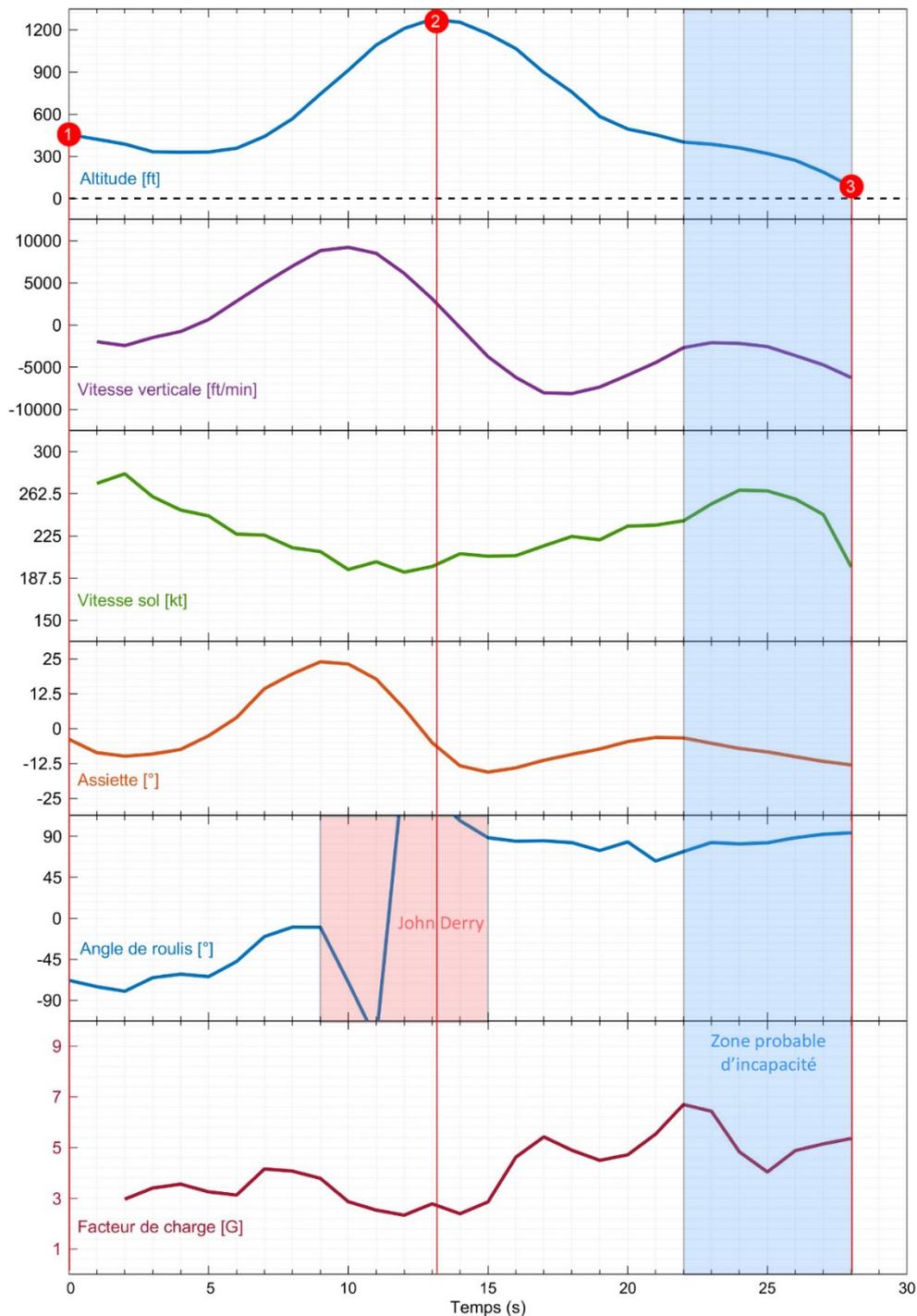


Figure 4 : paramètres estimés à partir des vidéos par la société iwiation, mise en forme BEA. Les calculs de paramètres dérivés à partir des positions et attitudes avion, tel que le facteur de charge, présentent des incertitudes et doivent être pris comme ordres de grandeur

Les paramètres ont été validés de manière qualitative, indépendamment des calculs de trajectoire, par des spécialistes (pilotes de présentation, deux pilotes de chasse : le DV et un enquêteur du BEA-É<sup>9</sup>, le médecin aéronautique référent voltige de la Fédération Française Aéronautique (FFA), et le commentateur de la manifestation aérienne), à partir des vidéos.

<sup>9</sup> Bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État, anciennement appelé BEAD-air.

L'analyse de la trajectoire des figures précédentes montre que :

- la boucle a été réalisée selon l'axe de présentation ;
- l'« oreille » avec un « John Derry » qui s'en est suivie a amené à un dépassement de l'axe de présentation au début du virage de 360° suivant ;
- le virage de 360° a été réalisé à forte inclinaison (de l'ordre de 60°), sous un facteur de charge de l'ordre de +2 g ;
- le virage de 360° s'est terminé au-delà de l'axe de présentation.

## 2.7 Renseignements sur les facteurs de charge

### 2.7.1 Généralités

Selon l'ouvrage intitulé « Physiologie aéronautique »<sup>10</sup>, le risque majeur de l'exposition aux accélérations positives de longue durée (supérieures à cinq secondes) est celui de l'altération de conscience sous facteur de charge, qui est lié à la fois à l'intensité de l'accélération, au taux de mise en accélération (jolt<sup>11</sup>) et aux circonstances qui, pendant le vol, ont précédé la phase d'accélération. En fonction de ces différents facteurs, l'altération de conscience revêt des caractères d'apparition ou d'évolution multiples.

Les deux types d'altérations de conscience<sup>12</sup> les plus critiques y sont décrits :

- A-LOC (*Almost Loss of Consciousness*), altération plus ou moins profonde de la conscience, au cours de laquelle le pilote est dans l'incapacité d'agir de façon cohérente et adaptée sur les commandes. Cela se traduit par l'apparition d'un état de confusion, associant un certain degré de désorientation spatiale et des troubles du jugement. Sous une forme et un niveau de gravité variables, le pilote est partiellement conscient, hébété, capable d'entendre et de voir, mais incapable d'agir, ou du moins d'agir avec pertinence ;
- G-LOC (*G-induced Loss of Consciousness*), perte de connaissance, responsable d'une incapacité brutale et totale du pilote.

Il est à noter que dès que la conscience est altérée, la mémorisation l'est également. À l'instar de l'hypoxie d'altitude, les pilotes sujets à ces « hypoxies vasculaires » ne gardent généralement aucun souvenir de troubles qui donc, pour eux, n'existent pas.

Avec l'augmentation du facteur de charge positif, le sang dans le corps aura tendance à se déplacer de la tête vers les pieds. Avec l'augmentation de l'intensité et de la durée d'exposition, cela peut se manifester progressivement par :

- « voile gris » : rétrécissement du champ visuel et/ou flou visuel et/ou diminution de la vision des couleurs et/ou assombrissement ;
- « voile noir » : perte complète de la vision, conscience et ouïe conservées ;
- l'altération plus ou moins profonde de la conscience (« A-LOC ») ;
- la perte de connaissance (« G-LOC »).

<sup>10</sup> Dr H. Marotte, 2004, Éditions SEES.

<sup>11</sup> Jolt : unité mesurant la rapidité de l'augmentation du facteur de charge, exprimée en g/s.

<sup>12</sup> Les troubles de la conscience sont en grande partie expliqués par un mécanisme d'hypoxie du cerveau d'origine circulatoire.

Les états intermédiaires de voile gris et de voile noir n'apparaissent toutefois que si le taux de mise en accélération est progressif (valeurs du jolt faibles). Si l'accélération est réalisée trop rapidement, elle ne permet pas d'adaptation cardiovasculaire réflexe. À basse hauteur, ces effets momentanés peuvent s'avérer fatals.

Un des modèles de tolérance aux facteurs de charge les plus répandus est le diagramme de Stoll, créé sur la base de travaux menés en centrifugeuse.

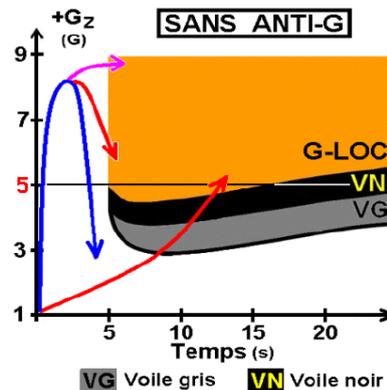


Figure 5 : représentation schématique de la tolérance aux facteurs de charge, sans dispositif anti-g (Stoll, 1956)

L'analyse du diagramme de Stoll indique qu'une mise en accélération rapide et soutenue plus de cinq secondes peut conduire un pilote directement de l'état d'éveil à celui de perte de connaissance (G-LOC), même chez des pilotes très expérimentés, sans percevoir les signaux visuels avant-coureurs (voile gris, voile noir) qui pourraient être utilisés comme signaux d'alerte pour s'abstenir de maintenir ou d'augmenter le facteur de charge.

Il est important de souligner que des variables sont susceptibles de modifier les limites des zones orange, noire et grise du diagramme de Stoll. En effet, d'une personne à l'autre et, pour une même personne, d'un moment à l'autre, en fonction des facteurs listés ci-dessous, la tolérance intrinsèque au facteur de charge est très variable. Une perte de connaissance (G-LOC) est possible dès +3 g chez certaines personnes alors que d'autres résisteront à +8 g. Un même pilote peut perdre connaissance dès +5 g à une certaine heure de la journée, alors qu'il supportera +7 g à un autre moment.

Selon l'IRBA<sup>13</sup>, les principaux facteurs qui affectent la tolérance aux facteurs de charge sont :

- la prise de certains médicaments (en particulier les médicaments antihypertenseurs ou à visée cardiovasculaire) ;
- la consommation de certains toxiques (alcool par exemple) ;
- le niveau de fatigue et la dette de sommeil éventuelle ;
- la déshydratation ;
- être à jeun ou avoir pris un repas trop lourd ;
- la condition physique : absence de pratique sportive, ou au contraire pratique excessive et régulière d'activités physiques d'endurance, a fortiori dans les heures qui précèdent le vol ;

<sup>13</sup> Institut de Recherche Biomédicale des Armées.

- l'absence d'habituations cardiovasculaires, en particulier le sous-entraînement (c'est le cas des pilotes qui ne pratiquent la voltige qu'occasionnellement) ;
- l'exposition préalable à des accélérations négatives et l'effet *push-pull*. Les conséquences de cette exposition sont susceptibles de perdurer pendant au moins deux heures ;
- l'absence de réalisations adéquates de manœuvres musculo-respiratoires dites « manœuvres respiratoires anti-g ».

D'autres facteurs, comme la morphologie, l'âge ou le stress, peuvent également affecter la tolérance au facteur de charge.

L'une des manœuvres respiratoires anti-g, considérée comme l'une des plus efficaces, consiste en un blocage respiratoire (Valsalva) maintenu idéalement entre 2,5 et 3 s associé aux contractions musculaires (abdominaux, fessiers, quadriceps, ischiojambiers et mollets), suivi d'une phase de vidange expiratoire puis d'une inspiration profonde de moins d'une seconde et associée à une décontraction musculaire lors des figures sous facteur de charge positif. Les manœuvres respiratoires anti-g sont destinées à augmenter la pression intrathoracique pour maintenir au niveau du cerveau une pression sanguine suffisante pour permettre les échanges gazeux tout en évitant une réponse vagale exagérée. Les manœuvres, lorsqu'elles sont correctement réalisées, peuvent apporter un gain de tolérance de l'ordre de 4 g.

## 2.7.2 Accidents similaires

### 2.7.2.1 Rapports publiés par le BEA

#### Accident du F-GZXV en 2016

Le [rapport d'enquête](#) sur l'accident survenu au Flugzeugbau Extra 200 immatriculé F-GZXV le 15 août 2016 à Salon Eyguières (13) précise que l'accident résulte de la perte de connaissance du pilote pendant le vol à l'issue d'une figure qu'il a entreprise sans avoir détecté une altération de ses capacités. La poursuite d'une posture pour limiter les effets d'un facteur de charge positif (manœuvres respiratoires anti-g), qui est devenue contre-productive, a favorisé la perte de connaissance.

Le rapport se conclut avec les enseignements suivants :

*« [...] Des programmes pourraient être mis en œuvre par les fédérations sportives à destination des pilotes pour leur permettre d'apprendre à se connaître dans le but d'évaluer à tout instant leur capacité à pratiquer des évolutions. Une telle connaissance aurait pu inciter le pilote à interrompre le vol.*

*Un approfondissement des connaissances physiologiques de l'adaptation aux accélérations, en particulier celles combinant successivement des accélérations négatives et positives, permettrait de préciser les contre-mesures améliorant la gestion par le pilote de ces contraintes pendant le vol. »*

#### Accident du F-GGYC en 2021

Le [rapport d'enquête](#) sur l'accident survenu au MUDRY – CAP10BK immatriculé F-GGYC le 23 mai 2021 à Peyrolles-en-Provence (13) précise que la trajectoire finale du F-GGYC s'apparentait à une manœuvre de passage par l'avant poursuivi vers le sol jusqu'à la collision avec la surface du plan d'eau. L'enquête n'a pas pu déterminer avec certitude si l'action aux commandes avait été volontaire ou non. Une des hypothèses qui pourrait expliquer l'accident est la « *survenue d'une incapacité partielle ou totale résultant de l'enchaînement de figures sous facteurs de charge négatif et positif et se terminant par une prise de fort facteur de charge négatif. Cette incapacité a pu se manifester par une altération de conscience sous facteur de charge (A-LOC), une perte de conscience (G-LOC), un malaise consécutif à un problème cardiaque ou d'une autre nature, ou une désorientation spatiale [...] ».*

Le BEA avait recommandé en avril 2023 dans son rapport final que « la FFA sensibilise les pilotes pratiquant la voltige sur la dangerosité de certaines évolutions qui peuvent amener aux limites physiologiques du corps humain. [Recommandation FRAN-2023-012] ».

La FFA avait répondu au BEA qu'elle avait mis en place un groupe spécifique d'échanges et de réflexion sur le sujet. Elle avait précisé que la mise en place de contenus de formation spécifiques relatifs à la médecine aéronautique, associée à des actions régulières de sensibilisation des pratiquants, était déjà mise en place de longue date. Elle a ajouté qu'elle avait mis en place des actions concrètes de formation et de recyclage : des stages de formation continue des instructeurs voltige et tous les deux ans un séminaire au profit des entraîneurs et des instructeurs voltige. De nombreux documents étaient à la disposition des pratiquants, cependant la FFA n'était pas en mesure de connaître précisément le niveau de sensibilisation des pratiquants, notamment par leurs instructeurs. La FFA a précisé que la diffusion des documents de sécurité relatifs à l'activité devait être clarifiée et renforcée. Pour ce faire, une rubrique spécifique a été rendue accessible à chaque licencié ayant déclaré la pratique de la voltige :

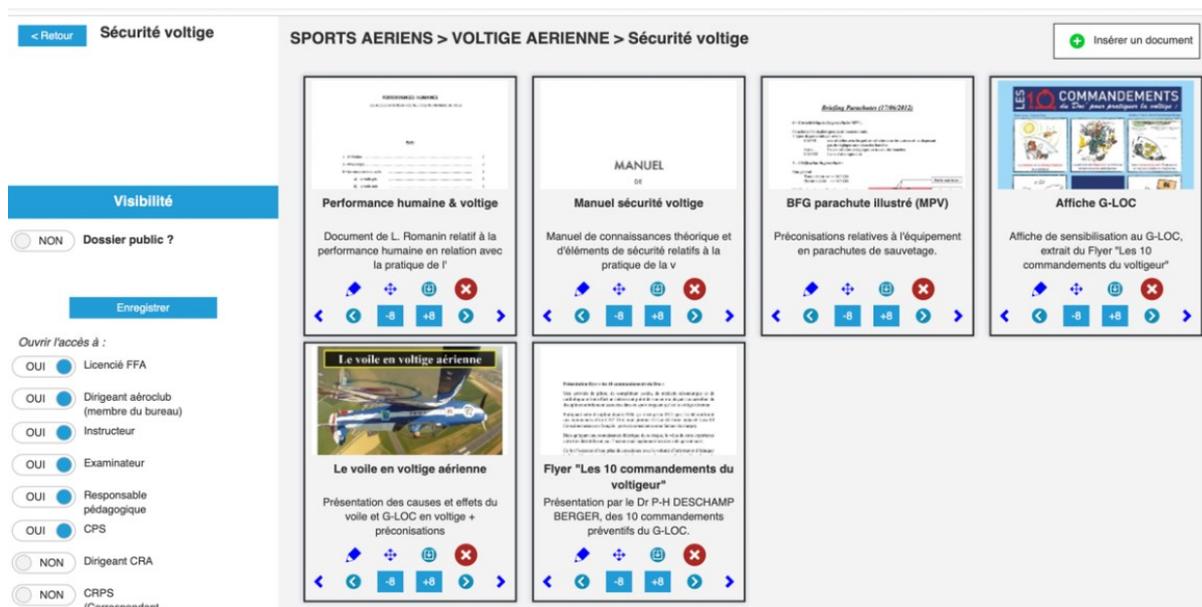


Figure 6 : portail « Smile Documents » d'un adhérent FFA pratiquant la voltige (Source : FFA)

La FFA a prévu en 2025 de :

- développer chacun des points de l'affiche « [les 10 commandements du voltigeur](#) » (voir § 3) au travers d'une publication diffusée auprès des licenciés « voltigeurs » ;
- développer un outil de gestion des menaces et des erreurs (TEM) spécifique aux « voltigeurs », sur le modèle du IMSAFE<sup>14</sup>.

Le pilote du F-AZPZ n'était pas licencié à la FFA.

<sup>14</sup> Dispositif mnémotechnique utilisé par les pilotes pour autoévaluer leur aptitude à voler (*Illness, Medication, Stress, Alcohol, Fatigue, Emotion*).

## 2.7.2.2 Rapports publiés par le BEA-É

Le BEA-É a enquêté sur plusieurs accidents en lien avec des altérations de conscience sous facteur de charge :

- [rapport d'enquête](#) sur l'accident survenu à l'Embraer EMB312F Tucano immatriculé 502 le 19 septembre 2003 à Sarraud (84) ;
- [rapport d'enquête](#) sur l'accident survenu au Socata TB30 Epsilon immatriculé F-SERV le 14 mars 2007 à Gente (16) ;
- [rapport d'enquête](#) sur l'accident survenu au Dassault Mirage 2000 C RDI immatriculé 116KH le 19 février 2007 en mer, à 3 NM dans le sud-ouest de Bonifacio (2A).

Ces trois accidents résultent de pertes de connaissance (G-LOC). L'analyse des conclusions des rapports et des recommandations de sécurité émises met en évidence qu'au sein des Armées, à cette période et auparavant, les risques liés au facteur de charge étaient insuffisamment connus des personnels navigants. Cette connaissance parcellaire s'accompagnait d'une pratique partielle et essentiellement théorique des manœuvres respiratoires anti-g.

Des programmes de formation consolidés ont ainsi été mis en place après 2007 au sein des Armées.

## 2.7.3 Informations supplémentaires

Le pilote publiait sur internet des vidéos de vols qu'il réalisait. L'analyse de ces vidéos par le médecin aéronautique référent voltige de la FFA montre que le pilote ne pratiquait pas les manœuvres respiratoires anti-g. Le pilote avait quitté l'Armée de l'Air à une époque où ces manœuvres n'étaient pas approfondies et où les effets du facteur de charge, du jolt, et notamment le risque de G-LOC, n'étaient pas suffisamment pris en compte (voir § 2.7.2.2).

Selon des pilotes qualifiés voltige, des pilotes de présentation et le médecin aéronautique référent voltige de la FFA, les risques de G-LOC sont, de manière générale, insuffisamment connus des pratiquants dans le milieu civil.

### 3 CONCLUSIONS

*Les conclusions sont uniquement établies à partir des informations dont le BEA a eu connaissance au cours de l'enquête.*

#### Scénario

Au cours d'une manifestation aérienne au-dessus de la mer, le pilote a réalisé une présentation comprenant plusieurs passages. Après environ trois minutes de présentation, à la suite d'une boucle réalisée selon l'axe de présentation, le pilote a effectué un virage de 360° à 60° d'inclinaison générant un facteur de charge de l'ordre de +2 g. Ce virage a débuté et s'est terminé au-delà de l'axe de présentation. De leur position, le directeur des vols et son suppléant n'ont pas eu conscience de ces dépassements.

Après le virage de 360° pour faire demi-tour et revenir sur l'axe de présentation en préparation du passage suivant, le pilote a réalisé une manœuvre dite « oreille » incluant un trois quarts de tonneau en montée à droite (manœuvre « John Derry »). Lorsqu'il s'est retrouvé face et à proximité du port de Bormes-les-Mimosas et probablement en vue du port du Lavandou, deux repères majeurs de l'axe de présentation, le pilote a serré le virage pour rejoindre l'axe. Cette manœuvre en descente a accru le facteur de charge, jusqu'à environ +5 g pendant une dizaine de secondes avec un pic probable à une valeur plus élevée.

Le pilote a très probablement subi un phénomène d'altération de conscience (A-LOC), voire perdu connaissance sous l'influence de l'accélération positive subie (G-LOC) au cours de la manœuvre. La hauteur de vol, d'environ 400 ft, n'a pas permis au pilote de retrouver ses capacités. L'avion est finalement entré en collision avec la surface de la mer.

#### Facteurs contributifs

Ont pu contribuer à l'incapacité du pilote sous facteur de charge positif lors du vol de présentation :

- la réalisation d'un virage serré pour rejoindre et ne pas dépasser l'axe de présentation. Le pilote avait mentionné des difficultés de visualisation de l'axe lors du vol de répétition. Il est également possible que le pilote ait insuffisamment pris en compte les conditions de vent « rentrant » lors de l'éloignement précédant la dernière « oreille » ;
- des facteurs physiologiques combinés ce jour-là, notamment les effets de la chaleur, la fatigue, l'état de santé (toux), une habitude cardiovasculaire faible (peu d'heures de vol en 2024 sur l'avion) et l'état de jeûne relatif ;
- un probable manque de connaissances des risques liés aux facteurs de charge positifs, au G-LOC, ainsi qu'à la possible absence de pratique des manœuvres respiratoires anti-g.

Le pilote avait par ailleurs une faible expérience récente pour des présentations au-dessus de la mer.

#### Enseignements de sécurité

##### Connaissance des risques liés au facteur de charge et mesures d'adaptation

À la suite d'accidents antérieurs, plusieurs actions de sensibilisation ont été mises en place à destination des pilotes et instructeurs de voltige. Le portail sécurité de l'aviation légère du Conseil National des Fédérations Aéronautiques et Sportives (CNFAS) a ainsi publié un [article](#) rédigé par le médecin aéronautique référent voltige de la FFA, traitant de l'altération de conscience sous facteur de charge, accompagné d'une affiche intitulée « [les 10 commandements du voltigeur](#) », présentant les principes essentiels pour limiter les effets liés à l'exposition aux facteurs de charge.

Parallèlement, des séminaires sont organisés par France Spectacle Aérien (FSA) rassemblant les acteurs des manifestations aériennes – notamment les pilotes de présentation et les directeurs des vols – afin de partager et promouvoir les bonnes pratiques. Ce type d'organisation, au plus près des acteurs de première ligne, est un vecteur privilégié pour le partage par retour d'expérience.

### **Axe de présentation pour un spectacle au-dessus de la mer**

Au cours du virage de 360°, le pilote a dépassé l'axe de présentation. Les acteurs impliqués - les directeurs des vols et le pilote notamment - n'en ont pas eu conscience. Lors de la manœuvre suivante pour rejoindre l'axe, le pilote a serré le virage, ce qui a très probablement conduit à son incapacité.

Pour des présentations au-dessus de la mer, l'axe est généralement matérialisé par des bouées, pouvant être difficiles à repérer. Les directeurs des vols et les pilotes, en fonction de leur position, peuvent ainsi avoir des difficultés à vérifier la position de l'aéronef par rapport à l'axe. Les difficultés identifiées en amont de la présentation au public concernant l'axe de présentation pourraient encore être davantage partagées entre parties prenantes pour déterminer si des mesures particulières sont à envisager, notamment pour détecter d'éventuels écarts.

### **Franchissement de l'axe de présentation**

Les pilotes présentateurs doivent, dans la mesure du possible, respecter l'axe de présentation. Toutefois, il reste possible de le franchir en cas de nécessité absolue, notamment pour des raisons de sécurité pour le vol ou du public. Plusieurs suites sont alors possibles :

- l'arrêt de la présentation, à l'initiative du pilote ou sur ordre du directeur des vols ;
- une interruption ou un éloignement permettant au pilote de se repositionner afin de poursuivre la présentation sans franchir cet axe.

Une phraséologie spécifique, telle que l'expression « stop démo », est une voie encouragée par France Spectacle Aérien (FSA) pour gérer ce type de situation. Sa mise en œuvre peut être abordée lors du briefing entre le directeur des vols et les pilotes. Elle contribue à une meilleure coordination et à la réduction des risques associés.

### **Rôle du commentateur d'une manifestation aérienne en cas d'accident**

À la suite de l'accident, le commentateur a gardé son sang-froid, aucun mouvement de panique n'a été constaté. Ses messages ont notamment permis aux services de secours d'intervenir sereinement. Le commentateur est le seul et unique lien avec le public en cas d'événement grave survenant au cours d'une manifestation aérienne. À ce titre, il assume un rôle important pour assurer la sécurité du public en transmettant immédiatement des consignes de sécurité.

***Les enquêtes du BEA ont pour unique objectif l'amélioration de la sécurité aérienne et ne visent nullement à la détermination de fautes ou responsabilités.***