



Incident grave survenu entre l'avion Cessna Citation 525 CJ
immatriculé **F-HGPG**
exploité par Valljet
et l'avion Embraer 170
immatriculé **F-HBXG**
exploité par HOP!
le 12 janvier 2022
en croisière au sud d'Auxerre (89)

Les enquêtes de sécurité

Le BEA est l'autorité française d'enquêtes de sécurité de l'aviation civile. Ses enquêtes ont pour unique objectif l'amélioration de la sécurité aérienne et ne visent nullement la détermination des fautes ou responsabilités.

Les enquêtes du BEA sont indépendantes, distinctes et sans préjudice de toute action judiciaire ou administrative visant à déterminer des fautes ou des responsabilités.

Table des matières

Les enquêtes de sécurité	- 2 -
Table des matières.....	- 3 -
Glossaire	- 5 -
Synopsis	- 8 -
Organisation de l'enquête	- 10 -
1. Renseignements de base.....	- 11 -
1.1 Déroulement du vol.....	- 11 -
1.2 Tués et blessés.....	- 12 -
1.3 Dommages aux aéronefs	- 12 -
1.4 Autres dommages.....	- 13 -
1.5 Renseignements sur le personnel à bord du F-HGPG	- 13 -
1.5.1 Commandant de bord	- 13 -
1.5.2 Copilote.....	- 13 -
1.5.3 Témoignage	- 13 -
1.6 Renseignements sur le F-HGPG	- 14 -
1.6.1 Généralités.....	- 14 -
1.6.2 Système anémo-barométrique de l'avion.....	- 15 -
1.6.3 Transpondeurs	- 16 -
1.6.4 Maintenance	- 18 -
1.6.5 Examen du système anémo-barométrique sur avion à la suite de l'incident grave	- 19 -
1.6.6 Test du système de réchauffage de la sonde Pitot gauche au BEA.....	- 20 -
1.6.7 Examen de la sonde Pitot gauche chez le constructeur	- 21 -
1.6.8 Bilan des examens réalisés	- 21 -
1.7 Renseignements météorologiques	- 21 -
1.8 Aides à la navigation.....	- 21 -
1.9 Télécommunications	- 22 -
1.10 Renseignements sur l'aérodrome.....	- 22 -
1.11 Enregistreurs de bord	- 22 -
1.11.1 Données ADS-B et radar du F-HGPG	- 22 -
1.11.2 Événements similaires survenus sur le F-HGPG	- 23 -
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	- 25 -
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	- 25 -
1.14 Incendie	- 25 -
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	- 25 -
1.16 Essais et recherches.....	- 25 -
1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion	- 25 -
1.17.1 Règlementation en matière de notification et de traitement d'un événement	- 25 -
1.17.2 Renseignements sur l'exploitant Valljet	- 27 -
1.17.3 Renseignements sur la navigation aérienne (CRNA Nord)	- 39 -
1.17.4 Renseignements sur le CNOA.....	- 41 -
1.18 Renseignements supplémentaires.....	- 42 -
1.18.1 Incident grave similaire enquêté par le BEA, relatif à une défaillance du circuit barométrique, survenu en 2010.....	- 42 -

1.18.2	Incident grave similaire enquêté par le BEA, relatif à une défaillance du circuit barométrique, survenu en 2020.....	- 43 -
1.19	Techniques d'enquête utiles ou efficaces	- 46 -
2.	Analyse	- 47 -
2.1	Introduction.....	- 47 -
2.2	Origine de la défaillance du circuit anémo-barométrique du F-HGPG	- 47 -
2.3	Historique en service et traitement des défaillances du circuit anémo-barométrique du F--HGPG	- 49 -
2.3.1	Inscription d'une mention dans le CRM	- 49 -
2.3.2	Analyse sous l'angle SGS	- 50 -
2.4	Report des événements de sécurité chez l'exploitant Valljet.....	- 51 -
2.5	Doute de l'équipage sur l'altitude de son vol	- 53 -
2.6	Analyse du risque que constitue la défaillance d'une chaîne barométrique	- 54 -
3.	Conclusions	- 56 -
3.1	Faits établis par l'enquête	- 56 -
3.2	Facteurs contributifs.....	- 58 -
4.	Mesures de sécurité prises depuis l'Incident grave	- 59 -
4.1	Mesure de sécurité prise par l'exploitant Valljet, relative au report des défaillances	- 59 -
4.2	Mesure de sécurité prise par l'exploitant Valljet, relative à la défaillance du circuit anémo-barométrique	- 60 -
4.3	Intervention de surveillance de l'OSAC d'octobre 2022	- 61 -
4.4	Mesures de sécurité prises par le CRNA Nord	- 64 -
5.	Recommandations de sécurité	- 65 -
5.1	Documentation de maintenance publiée par Textron Aviation	- 65 -
5.2	Notification des défaillances techniques chez l'exploitant Valljet	- 66 -
5.3	Fiche réflexe d'urgence pour le contrôleur	- 68 -
5.4	Informations transmises par le CNOA	- 68 -
5.5	Analyse du risque que constitue la défaillance d'une chaîne barométrique	- 69 -

Glossaire

Abréviations	Version Anglaise	Version Française
ACAS	Airborne Collision Avoidance System	Système embarqué d'anti-abordage
ADC	Air Data Computer	Calculateur "données air"
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast	Surveillance dépendante automatique en mode diffusion
AESA	European Aviation Safety Agency (EASA)	Agence européenne de la sécurité aérienne
ANAC	-	Autorité de l'Aviation civile du Brésil
AOG	Aircraft On Ground	Immobilisation de l'avion
ASR	Air Safety Report	Compte rendu de sécurité des vols
ATC	Air Traffic Control	Contrôle de la circulation aérienne
BIS	Best Intervention Strategy	
CAA-UK	UK Civil Aviation Authority	Autorité de l'Aviation civile du Royaume-Uni
CAME	Continuing Airworthiness Management Exposition	Manuel des spécifications de l'organisme de gestion du maintien de la navigabilité
CAMO	Continuing Airworthiness Management Organisation	Organisme de gestion du maintien de la navigabilité
CARI	Continuing Airworthiness Review Item	Élément de révision du maintien de la navigabilité
CAT	Commercial Air Transport	Transport aérien commercial
CCER	-	Centre de contrôle de la circulation d'essais et de réception
CCO	Operation Control Center	Centre de contrôle des opérations
CDB	Captain	Commandant de Bord
CENIPA	-	Autorité d'enquête de sécurité du Brésil
CNOA	-	Centre National des Opérations Aériennes
CPL	Commercial Pilot Licence	Licence de pilote commercial
CRM	Technical Log Book (TLB)	Compte rendu matériel
CRNA	En-route Control Center	Centre en route de la Navigation aérienne
CTA	Air Operator's Certificate	Certificat de Transporteur Aérien
CVR	Cockpit Voice Recorder	Enregistreur phonique
DMC	-	Détachement militaire de coordination
DO	-	Direction des opérations de la DSNA
DOA	Design Organisation Approval	Agrément d'organisme de conception
DR	Accountable manager	Dirigeant responsable
DSAC	-	Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile
DSNA	-	Direction des Services de la Navigation Aérienne
EADI	Electronic Attitude and Direction Indicator	Horizon artificiel

Abréviations	Version Anglaise	Version Française
EHSI	Electronic Horizontal Situation Indicator	Plateau de route
FAA	Federal Aviation Administration	Autorité de l'Aviation civile des États-Unis
FDR	Flight Data Recorder	Enregistreur de paramètres
FL	Flight Level	Niveau de vol
FSB	Flight Safety Bulletin	Bulletin sécurité des vols
ft	Feet	Pied
GNSS	Global Navigation Satellite System	Système mondial de navigation par satellite
IAS	Indicated Air Speed	Vitesse indiquée
IR/ME	Instrument Rating / Multi Engine	Qualification de vol aux instruments / multimoteur
kt	Knot	Nœud
LIFUS	Line Flying Under Supervision	Vol sous supervision Adaptation en ligne (AEL)
MCC	Maintenance Control Center	Centre de contrôle de maintenance
MEL	Minimum Equipment List	Liste minimale d'équipement
MSAW	Minimum Safe Altitude Warning	Alarme d'altitude minimale de sécurité
MSG	Management system manual	Manuel du système de gestion
NCC	Non-Commercial air operations with Complex motor-powered aircraft	Opérations non-commerciales avec un aéronef motorisé complexe
NCO	Non-Commercial Operations with other than complex motor-powered aircraft	Opérations non-commerciales avec des avions non complexes
NM	Nautical Mile	Mille marin
NTO	No Technical Objection	Pas d'objection technique
NTSB	National Transportation Safety Board	Organisme d'enquête de sécurité des États-Unis
OACI	International Civil Aviation Organization	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OSAC	-	Organisme pour la Sécurité de l'Aviation Civile
PF	Pilot Flying	Pilote en Fonction
PM	Pilot Monitoring	Pilote assurant la surveillance
PNT	Flight crew	Personnel navigant technique
PPL	Private Pilot Licence	Licence de pilote privé
QNH	-	Calage altimétrique requis pour lire une altitude
QRH	Quick Reference Handbook	
RDFE	Training manager	Responsable désigné de la formation des équipages
RDMN	Continuing airworthiness manager	Responsable désigné du maintien de la navigabilité
RDOV	Flight operation manager	Responsable désigné des opérations en vol

Abréviations	Version Anglaise	Version Française
RPO	-	Responsable de la permanence opérationnelle
RVSM	Reduced Vertical Separation Minimum	Minimum de séparation verticale réduit
S/B	StandBy	
SB	Service Bulletin	Bulletin de service
SERA	Standardised European Rules of the Air	Règles de l'air européennes normalisées
SGS	Safety Management System	Système de gestion de la sécurité
SNA	-	Service de la Navigation Aérienne
SPL	Sailplane Pilot Licence	Licence de pilote de planeur
STCA	Short Term Conflict Alert	Filet de sauvegarde
STCH	Supplemental Type Certificate Holders	Titulaires de certificats de type supplémentaires
TCAS	Traffic Collision Avoidance System	Système d'anti-abordage embarqué
TCCA	-	Autorité du Canada en charge de l'Aviation civile
TCH	Type Certificate Holders	Titulaires de certificats de type
TSM	TroubleShooting Manual	Manuel de recherche de panne
UE	European Union	Union européenne
ULM	Microlight aircraft	Ultraléger motorisé
V/S	Vertical Speed	Vitesse verticale

Synopsis

Heure	À 9 h 19 ¹
Exploitant	Cessna Citation 525 CJ : Valljet Embraer 170 : HOP!
Nature des vols	Transport commercial de passagers
Personnes à bord	Vol Valljet : Commandant de bord (PF), copilote (PM), 2 passagers Vol HOP! : Commandant de bord (PM), copilote (PF), 2 membres d'équipage de cabine et 42 passagers
Conséquences et dommages	Aucun

Défaillance d'une chaîne anémo-barométrique en croisière, rapprochement avec un avion sans déclenchement des systèmes d'anticollision

L'équipage du Cessna 525 CJ F-HGPG effectue un vol entre l'aérodrome Paris-Le Bourget (93) et l'aérodrome de Genève (Suisse).

Au cours de la montée, après une variation soudaine d'assiette à cabrer sous pilote automatique en mode IAS, l'équipage constate des vitesses erratiques sur l'anémomètre de l'ensemble 1. Après une courte phase de pilotage manuel, la montée a été poursuivie sous pilote automatique en mode VS. Plus tard, approchant le niveau de croisière, l'équipage s'est rendu compte d'un écart d'altitude entre les deux altimètres (ensemble 1 et ensemble 2). Le lever de doute, effectué avec l'aide du contrôleur disposant du niveau de vol diffusé par le transpondeur de l'avion sur son écran radar, n'a pas permis à l'équipage d'identifier que les indications altimétriques de l'ensemble 1 étaient erronées. La montée a été poursuivie vers le niveau de croisière sur la base d'une altitude erronée.

En croisière, après avoir constaté les écarts d'indications des altimètres gauche et droit, l'équipage a prévenu le contrôleur de la défaillance altimétrique à bord. Ce dernier a alors informé l'équipage d'un trafic (l'Embraer 170 F-HBXG) convergent à 2 NM a priori, 1 000 ft plus haut. Le trafic était en réalité plus bas (la séparation minimale a été évaluée à 665 ft et 1,5 NM). Aucun système d'anticollision, au sol ni à bord de l'Embraer 170, n'a émis d'alerte, les systèmes ayant analysé des données erronées provenant du Cessna 525. Par la suite, le contrôleur a demandé à l'équipage de désactiver le Mode C du transpondeur, il s'est coordonné avec les services de contrôle suisse et le vol s'est poursuivi jusqu'à Genève, sa destination.

Par ailleurs, le chef de salle du centre de contrôle a essayé de déterminer l'altitude réelle de l'avion avec l'aide du Centre National des Opérations Aériennes (CNOA), néanmoins ce dernier n'avait pas d'information d'altitude supplémentaire. Cependant, un autre paramètre, le calage altimétrique de l'avion, partagé par le CNOA au contrôleur, s'est avéré être erroné. L'enquête n'a pas permis de déterminer l'origine de cet écart.

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

L'enquête a montré que la défaillance du circuit anémo-barométrique de l'ensemble 1 (altimètre et anémomètre du CDB) était déjà survenue à trois reprises sur cet avion en 2017, 2019 et 2021.

Le BEA a émis six recommandations de sécurité sur cinq thèmes :

- la documentation de maintenance publiée par Textron Aviation ;
- la notification des défaillances techniques chez l'exploitant Valljet ;
- la fiche réflexe d'urgence de la DSNA relative au doute d'un pilote sur l'altitude de son vol ;
- les informations transmises par le CNOA ;
- l'analyse par l'AESA du risque que constitue la défaillance d'une chaîne anémo-barométrique.

Organisation de l'enquête

La permanence du BEA a été notifiée de l'incident grave le lendemain de sa survenue par courrier électronique par la Responsable de la permanence opérationnelle (RPO) du Centre en Route de la Navigation Aérienne (CRNA) Nord, basé à Athis-Mons. Conformément à l'Annexe 13 à la Convention relative à l'Aviation Civile Internationale et au règlement (UE) n°996/2010 du Parlement européen et du Conseil du 20 octobre 2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile, une enquête de sécurité a été ouverte par le BEA afin de déterminer les causes de cet incident grave.

L'ASR² de l'exploitant Valljet a été fourni au BEA le 17 janvier 2022. L'ASR de l'exploitant HOP! a été fourni au BEA le 21 janvier 2022. Ces deux exploitants ont assisté le BEA au cours de l'enquête.

Le BEA a notifié le NTSB, son homologue américain, qui a désigné un représentant accrédité en tant qu'État de construction et de conception de l'avion Cessna Citation 525 CJ. Des conseillers techniques de Textron Aviation (USA), le constructeur de l'avion, d'Aerosonic, le constructeur des sondes Pitot et d'Ametek, le constructeur des altimètres, ont assisté le NTSB et le BEA au cours de l'enquête.

Le BEA a notifié le CENIPA, son homologue brésilien, qui a désigné un représentant accrédité en tant qu'État de construction et de conception de l'avion Embraer 170. Un conseiller technique d'Embraer, le constructeur de l'avion, a été désigné par le CENIPA.

Le BEA a également notifié l'Agence Européenne de la Sécurité Aérienne (AESA) et l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI). L'AESA a assisté le BEA au cours de l'enquête.

Le BEA a enfin informé la Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile (DSAC), la Direction des Services de la Navigation Aérienne (DSNA), l'Organisme pour la Sécurité de l'Aviation Civile (OSAC) et le Centre National des Opérations Aériennes (CNOA) de l'ouverture d'une enquête. Ces organismes ont assisté le BEA au cours de l'enquête.

Le projet de rapport final a été soumis pour observations aux représentants accrédités américain et brésilien, ainsi qu'à leurs conseillers techniques. Il a également été partagé avec les conseillers techniques du BEA (AESA, DSAC, DSNA, OSAC, CNOA, exploitant HOP! et exploitant Valljet). La phase de consultation s'est terminée mi-avril 2023.

² *Air Safety Report.*

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroutement du vol

Note : Les informations suivantes sont principalement issues des témoignages de l'équipage du F-HGPG et des contrôleurs aériens, des enregistrements des radiocommunications, des données radar ainsi que des données de [flightradar24](#).

L'équipage du Cessna 525 CJ décolle de l'aérodrome Paris-Le Bourget (93) à destination de l'aérodrome de Genève (Suisse) avec deux passagers vers 8 h 55.

La montée vers le FL 270, est conduite sous pilote automatique en mode de guidage vertical de maintien de vitesse (mode IAS), avec une vitesse sélectionnée de 200 kt.

À 9 h 04 (voir *Figure 3*, point ①), au passage du FL 185, l'équipage constate que l'assiette de l'avion est d'environ 20° à cabrer, après avoir ressenti un facteur de charge. Le PF (commandant de bord) lit à ce moment-là une vitesse indiquée de l'ordre de 250 kt sur son anémomètre (ensemble 1), alors que le PM lit une vitesse indiquée de l'ordre de 150 kt sur le sien (ensemble 2). Le PF déconnecte le pilote automatique et poursuit la montée en affichant une assiette habituelle de l'ordre de 10°. Il engage ensuite le pilote automatique en mode de guidage vertical de maintien de vitesse verticale (mode VS) pour continuer la montée.

Vers 9 h 09, l'équipage effectue un « *radio check* » avec le contrôle aérien³ qui lui répond qu'il le reçoit « 5 ».

Une minute plus tard vers 9 h 10, le PM indique au PF qu'il a dépassé le niveau, son altimètre (ensemble 2) lui indiquant un FL supérieur au FL 270. Le PF lui répond que le sien (ensemble 1) affiche un FL inférieur au FL 270.

Vers 9 h 11 min 30 (point ②), l'équipage débute un palier et demande au contrôleur l'altitude à laquelle il le voit « *pour avoir une petite idée* ». Ce dernier lui répond le FL 263. Le CDB indique dans son témoignage qu'à cet instant l'altitude affichée sur son ensemble 1 est cohérente avec l'information donnée par le contrôleur, contrairement à celle de l'ensemble 2 qui indique une altitude supérieure au FL 280. Il précise que l'altimètre de secours indique une altitude différente, mais proche de l'information de l'ensemble 2. L'équipage reprend la montée jusqu'au FL 270 (ensemble 1) qu'il atteint à 9 h 13 min 17. Il débute alors le traitement de la panne.

À 9 h 17 min 15 (point ③), le CDB indique au contrôleur : « *on a un petit problème avec nos altimètres, on a des infos qui sont incohérentes. Je pense que en fait on est plus haut que ce que le transpondeur vous envoie [...]* »⁴. Le contrôleur lui donne alors une information de trafic : « *dans vos midi, 2 NM, a priori 1 000 ft au-dessus de vous, euh...je ne sais quoi vous dire* ». L'équipage annonce alors qu'il croise un avion, l'Embraer 170⁵ exploité par HOP!⁶, à peu près à la même altitude, en dessous, et confirme qu'ils ont un problème à bord.

³ Paris contrôle, localisé au Centre en Route de la Navigation Aérienne d'Athis-Mons (CRNA Nord).

⁴ Le message dure 20 secondes, 3 NM sont parcourus pendant ce temps.

⁵ Avion répondant aux critères de certification CS 25.

⁶ L'équipage de cet avion indique qu'il n'a pas vu le trafic croisé et qu'il n'a pas eu d'alerte ni d'alarme au TCAS. Il ne s'est rendu compte de rien.

Le contrôleur constate alors le croisement quelques secondes plus tard sur son écran radar. La séparation minimale calculée est de 1,5 NM en latéral et 665 ft⁷ en vertical à 9 h 17 min 45.

L'équipage indique ensuite qu'il propose de descendre en se référant à l'altitude indiquée sur l'ensemble 2 « *qui a l'air de fonctionner* » et que par contre leur transpondeur est sur l'ensemble 1. À la demande du contrôleur, l'équipage répond que l'altimètre 2 indique le FL 285 et l'altimètre 1 indique FL 270, valeur affichée sur le transpondeur et donc transmise au sol.

Vers 9 h 19, le contrôleur demande à l'équipage de descendre au FL 230, altitude habituelle pour les avions à destination de Genève, et de désactiver l'alticodeur (voir § 1.6.3). L'équipage collationne puis indique au contrôleur que les vitesses de l'ensemble 1 sont également erronées. Le contrôleur lui répond : « *Vous commencez à m'inquiéter* » et lui indique qu'il va coordonner avec le secteur de contrôle suivant à Genève pour l'accepter dans ces conditions. Il lui indique également qu'une mission d'interception pourrait être lancée pour vérifier le niveau de vol de l'avion. L'équipage répond que l'ensemble 2 semble cohérent avec l'altitude de son récepteur GNSS.

Vers 9 h 22, le chef de salle du CRNA Nord contacte le CNOA⁸ pour demander une évaluation de l'altitude de l'avion. Le CNOA indique que l'avion est au FL 234 (voir § 1.17.4). À 9 h 26 min 47, l'avion est transféré au secteur de Genève, les contrôleurs suisses ayant accepté le transit de l'avion dans leur espace aérien. Vers 9 h 27, le CNOA rappelle le chef de salle du CRNA Nord et lui indique que le calage altimétrique de l'avion serait 1 040 au lieu de 1 013. Cette information est relayée aux contrôleurs suisses qui interrogent l'équipage, néanmoins ce dernier répond qu'il est bien calé au 1 013.

Vers 9 h 40 (point 4), lors de la descente, proche du FL 105, l'équipage indique que les informations des deux ensembles redeviennent similaires et donc cohérentes entre elles et que le dysfonctionnement de l'ensemble 1 (altimètre et anémomètre) disparaît.

Vers 9 h 42, après le dernier virage, en descente passant 6 000 ft, une panne *AP out of trim* (sans lien avec l'événement précédent) survient. La procédure d'urgence liée à cette panne est appliquée. Cette dernière n'a aucune influence sur la fin du vol. L'équipage atterrit sans autre incident.

Un vol de convoyage sous laissez-passer est réalisé le 19 janvier 2022 afin d'acheminer l'avion vers l'atelier de maintenance basé sur l'aérodrome Paris-Le Bourget. Le constructeur de l'avion, Textron Aviation⁹ (USA), avait spécifié des restrictions pour la conduite de ce vol. Aucune défaillance n'est survenue au cours de ce vol.

1.2 Tués et blessés

Sans objet.

1.3 Dommages aux aéronefs

Sans objet.

⁷ À partir des données GNSS des deux avions.

⁸ Organisme militaire.

⁹ Société mère de Cessna.

1.4 Autres dommages

Sans objet.

1.5 Renseignements sur le personnel à bord du F-HGPG

1.5.1 Commandant de bord

Le CDB, âgé de 36 ans, était titulaire d'une licence CPL(A) depuis 2019 avec les qualifications IR/ME et Cessna 525 (PPL(A) obtenu en 2008). Il totalisait environ 2 000 heures de vol, dont environ 1 000 sur type. Il était également titulaire d'une licence SPL avec la qualification instructeur, il totalisait environ 1 300 heures de vol en planeur. Enfin, il était titulaire d'un brevet de pilote d'ULM avec la qualification d'instructeur, il totalisait 1 300 heures de vol en ULM.

1.5.2 Copilote

Le copilote, âgé de 22 ans, était titulaire d'une licence CPL(A) depuis 2019 avec les qualifications IR/ME et Cessna 525 (PPL(A) obtenu en 2018). Il totalisait environ 370 heures de vol, dont environ 110 sur type.

1.5.3 Témoignage

Les deux membres d'équipage précisent que la première partie du vol s'est déroulée sans problème. Ils ont vérifié la cohérence de leurs altimètres lors du passage du calage QNH au calage 1 013 ainsi qu'au passage du FL 100 en appliquant la checklist *climb*. La montée a été effectuée avec une vitesse de 160 kt jusqu'à 3 000 ft puis de 180 kt jusqu'au FL 100, puis de 200 kt. La croisière était prévue avec une vitesse indiquée de 230-240 kt.

Les deux membres d'équipage indiquent qu'ils ont ressenti un facteur de charge au cours de la montée. Le CDB explique qu'il a vu la vitesse augmenter significativement jusqu'à 250 kt. Le pilote automatique a cabré l'avion pour maintenir la vitesse sélectionnée de 200 kt. Côté copilote, la vitesse indiquée a diminué fortement. L'équipage indique que le *stick shaker*¹⁰ ne s'est pas activé. Le CDB a déconnecté le pilote automatique pour reprendre le contrôle de la trajectoire. Le pilote automatique a ensuite été engagé en mode de guidage VS, le mode IAS n'étant plus utilisable étant donné les valeurs erratiques de vitesse sur l'ensemble 1.

Lorsque le copilote a mentionné le dépassement du niveau, les trois altimètres indiquaient des valeurs différentes.

Les deux membres d'équipage indiquent qu'ils ne pouvaient pas lever le doute sur les altimètres dans ces conditions. Le CDB a alors demandé l'altitude à laquelle le contrôleur le voyait sur son écran radar. Ce dernier a indiqué une altitude cohérente avec celle de l'altimètre du CDB (ensemble 1). Le CDB a alors considéré que son altimètre était correct, il a poursuivi la montée sur cette base. En croisière au FL 270, l'écart entre les deux altimètres (ensembles 1 et 2) était stabilisé à environ 1 400 ft. À la suite du traitement de la panne réalisée par les deux membres d'équipage, ces derniers ont remis en question le bon fonctionnement de l'altimètre de l'ensemble 1. Ils n'ont pas envisagé de basculer sur le transpondeur 2 (voir § 1.6.3).

¹⁰ C'est l'Angle of Attack System qui déclenche le *stick shaker* à une incidence prédéterminée, fonction de la configuration de l'avion.

Lorsque la trajectoire du F-HGPG a croisé celle du F-HBXG, à une altitude visuellement supérieure à ce dernier qui était au niveau de croisière FL 280, les deux membres d'équipage ont analysé que l'altimètre de l'ensemble 1 donnait des informations fausses et que l'altimètre de l'ensemble 2 était quant à lui plus cohérent avec la réalité. Cette analyse a été confirmée par la lecture de l'altitude disponible sur le récepteur GNSS.

Selon leurs souvenirs, pendant la croisière, les altimètres indiquaient :

- ensemble 1 = FL 270 (identique au transpondeur) ;
- ensemble 2 = FL 285 ;
- secours = FL 280.

Les deux membres d'équipage indiquent que tout s'est déroulé très vite. Ils estiment que la séquence n'a duré que quelques minutes, alors que les données radar et les enregistrements des radiocommunications montrent qu'elle a duré une quinzaine de minutes.

Le CDB précise que lors du vol, pendant près de trente minutes, l'aiguille de son anémomètre a fait plusieurs fois le tour du cadran. Au cours de la descente, le dysfonctionnement a disparu, les altitudes et vitesses des deux ensembles étaient cohérentes à nouveau.

Enfin, les membres d'équipage expliquent qu'au cours de l'événement, ils ont échangé les rôles de PM et de PF afin que le CDB puisse évaluer la situation et débiter le traitement de la panne, une fois l'avion stabilisé en altitude. Ce dernier précise qu'aucune procédure relative à ce dysfonctionnement n'existe dans le QRH¹¹ de l'avion. Pour la suite du vol, le copilote est resté PF, étant donné que les paramètres de l'ensemble 2 leur semblaient corrects.

Le CDB a indiqué qu'après le vol de l'incident grave, il a été informé qu'une défaillance similaire du circuit anémo-barométrique était survenue au cours d'un vol un mois plus tôt (voir § 1.11.2.1), le 11 décembre 2021. Il précise que s'il avait eu connaissance de cet événement avant le vol, il aurait pu analyser la panne plus rapidement.

1.6 Renseignements sur le F-HGPG

1.6.1 Généralités

Le F-HGPG est un Cessna 525 Citation Jet CJ, construit en 1995. C'est un avion certifié (selon les critères CS 23) monopilote, néanmoins Valljet l'exploite en multipilote en opérations de transport aérien commercial (CAT), conformément à l'exigence ORO.FC.200 (c) (1) du règlement européen consolidé N°965/2012, dit « Air Ops », applicable aux opérations aériennes¹².

L'avion est doté de systèmes EADI¹³ (horizon) et EHSI¹⁴ (plateau de route) avec affichage digital, d'une instrumentation classique à aiguilles, notamment pour ses anémomètres et ses altimètres électroniques, de deux transpondeurs EHS¹⁵ (mode enrichi) et de deux systèmes GNSS.

¹¹ *Quick Reference Handbook.*

¹² Règlement de la Commission du 5 octobre 2012 déterminant les exigences techniques et les procédures administratives applicables aux opérations aériennes ([Version en vigueur le jour de l'incident grave](#)).

¹³ *Electronic Attitude and Direction Indicator.*

¹⁴ *Electronic Horizontal Situation Indicator.*

¹⁵ *Enhanced Surveillance.*

Il est également équipé d'un pilote automatique qui utilise les valeurs de l'ensemble anémo-barométrique 1 pour calculer les ordres de pilotage.



Figure 1 : photo planche de bord du F-HGPG / altimètre et anémomètre (Source : BEA)

L'avion n'est pas équipé de système d'anticollision ACAS¹⁶. La réglementation n'en impose pas l'emport pour cet avion. L'avion est par ailleurs certifié pour les opérations en espace RVSM¹⁷.

L'avion est basé sur l'aérodrome Paris-Le Bourget. Lorsqu'il n'est pas en exploitation, il est stationné sur les parkings de l'exploitant, en extérieur. Aucune protection n'est utilisée pour les ports statiques. Le constructeur ne le demande pas et n'émet pas de recommandation sur ce sujet. En revanche, des caches Pitot sont utilisés. Le constructeur n'émet aucune contre-indication au stockage de l'avion en extérieur lorsqu'il n'est pas prévu de neige ou de fortes gelées.

1.6.2 Système anémo-barométrique de l'avion

Le système anémo-barométrique de l'avion se compose principalement (voir Figure 2) :

- d'un ensemble 1 (côté CDB) comprenant un altimètre (ADC¹⁸ alti) et un anémomètre (IAS¹⁹), connectés à une sonde Pitot localisée sur le côté gauche du fuselage et à un port statique de chaque côté du fuselage ;
- d'un altimètre secours (S/B²⁰ Alti), connecté au système statique de l'ensemble 1 ;
- d'un ensemble 2 (côté copilote) comprenant un altimètre (ADC alti) et un anémomètre (IAS), connectés à une sonde Pitot localisée sur le côté droit du fuselage et à un port statique de chaque côté du fuselage (différents de ceux utilisés par l'ensemble 1) ;
- de deux variomètres (V/S²¹), connectés respectivement au système statique de l'ensemble 1 et de l'ensemble 2.

¹⁶ Airborne Collision Avoidance System.

¹⁷ Minimum de séparation verticale réduit (*Reduced Vertical Separation Minimum*).

¹⁸ Air Data Computer.

¹⁹ Vitesse indiquée (*Indicated Air Speed*).

²⁰ Standby.

²¹ Vertical Speed.

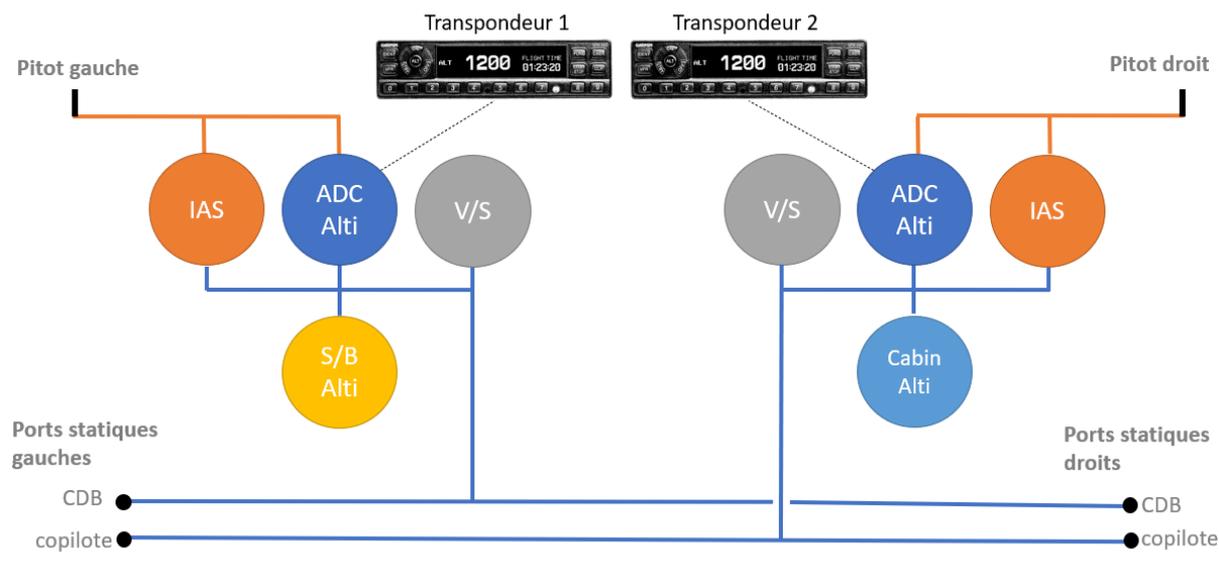


Figure 2 : schéma de principe des chaînes anémo-barométriques du F-HGPG (Source : BEA)

Selon le principe de fonctionnement des anémomètres, une obstruction partielle ou totale d'un tube Pitot ou des conduites afférentes lors d'une montée de l'avion aura pour effet principal une augmentation de la vitesse indiquée sur l'ensemble correspondant.

Les altimètres des deux ensembles sont dotés d'une unité ADC qui permet notamment de corriger l'altitude de l'erreur « de position ». Cette erreur provient de la géométrie du fuselage aux abords des ports statiques et varie en fonction de la vitesse et de l'altitude de l'avion. L'ADC intègre une table de correction, ce qui permet de fournir en vol une information d'altitude corrigée au pilote. À titre d'exemple, pour un vol au FL 270, avec une vitesse indiquée de 250 kt, la correction peut atteindre 200 à 300 ft. Pour effectuer cette correction, chaque altimètre utilise en permanence l'information de pression totale fournie par la sonde Pitot correspondante. Une obstruction totale ou partielle du système Pitot peut donc avoir une influence sur l'affichage de l'altitude. L'altimètre de secours (différent des deux autres altimètres) quant à lui n'est pas corrigé.

À la date de l'incident grave, ni le manuel de vol du constructeur ni le QRH de l'avion ne contiennent de procédure en cas d'écart d'altitude détecté sur les altimètres. Néanmoins, le QRH contient une procédure relative à la défaillance d'un altimètre/ADC ; dans ce cas, il convient d'utiliser l'autre altimètre/ADC et d'utiliser le transpondeur qui lui est associé. Ces documents ne contiennent pas non plus de procédure relative à la défaillance d'un anémomètre.

De plus, la liste minimale d'équipement (MEL) ne contient pas d'item relatif à la défaillance du système anémo-barométrique. Dans ce cas, l'avion doit être considéré comme inapte au vol.

1.6.3 Transpondeurs

L'avion est équipé de deux transpondeurs Mode S avec la capacité ADS-B. Le transpondeur 1 est associé à l'ensemble 1, le transpondeur 2 à l'ensemble 2. C'est par défaut le transpondeur 1 qui est sélectionné pour transmettre les informations au sol, l'équipage peut basculer la transmission sur le transpondeur 2.

Chaque transpondeur est capable d'envoyer :

- des trames de données Mode S, aux capteurs qui l'interrogent, tels que les radars secondaires de l'aviation civile ;
- des trames de données ADS-B, spontanément, aux capteurs dans sa zone.

Les trames de données Mode S et les trames de données ADS-B sont sensiblement identiques. La différence principale concerne l'information de position horizontale, qui :

- pour le Mode S, est calculée par les capteurs radars au sol (principe de calcul à partir d'une distance *rho* et d'un relèvement *theta*) ;
- pour l'ADS-B, est élaborée à bord de l'aéronef à partir des données GNSS.

Les autres informations transmises par le transpondeur aux capteurs sont :

- l'adresse Mode S ou adresse OACI, unique pour chaque aéronef ;
- le Mode A ou code transpondeur ;
- le Mode C, l'altitude-pression (au calage 1 013) transmise en niveau de vol ou en quart de niveau de vol. En général, cette donnée est élaborée par l'altimètre du transpondeur, relié électriquement à l'altimètre. L'altitude-pression transmise par le transpondeur est donc égale à l'altitude-pression lue sur l'altimètre auquel il est relié (sans correction de QNH) ;
- l'identification de l'aéronef, en général son immatriculation ou son indicatif de vol ;
- des paramètres bord, tels que la vitesse indiquée, l'altitude GNSS, et d'autres paramètres de vol, comme le calage altimétrique, ou des paramètres liés au pilote automatique.

Pour ce qui concerne le F-HGPG, l'ensemble de ces paramètres a été récupéré dans les données ADS-B (voir § 1.11.1). Néanmoins, les paramètres liés au pilote automatique et le calage altimétrique ne semblent pas cohérents avec les autres informations factuelles disponibles (voir § 1.17.4).

Les paramètres de vol provenant de l'avion disponibles pour le contrôleur aérien sont :

- l'altitude-pression (Mode C) ;
- l'altitude sélectionnée, affichée si différente de l'altitude-pression courante ;
- le cap et la vitesse indiquée, à la demande du contrôleur sur le système.

Les paramètres tels que le calage altimétrique ou l'altitude GNSS ne sont pas accessibles par le contrôleur.

L'information d'altitude est essentielle dans les espaces aériens. C'est une donnée utilisée par les contrôleurs aériens afin d'assurer les normes de séparation verticale. Elle est également utilisée par les systèmes ACAS à bord des aéronefs, mais aussi par les systèmes sol utilisés par les services du contrôle aérien : filet de sauvegarde de l'anti-abordage (STCA²²) et alerte relief (MSAW²³).

²² *Short Term Conflict Alert.*

²³ *Minimum Safe Altitude Warning.*

1.6.4 Maintenance

Depuis 2020, la maintenance de l'avion est assurée par la société de maintenance Part 145 R&O (Repair & Overhaul) basée sur l'aérodrome Paris-Le Bourget. Les sociétés R&O et Valljets sont dirigées par la même personne. Avant cela, la maintenance était assurée par la société de maintenance Part 145 Textron Aviation Paris Service Center basée sur le même aérodrome.

Le F-HGPG avait fait l'objet d'une modification visant à intégrer l'option RVSM par l'application du bulletin de service SB525-34-41. Les travaux avaient été effectués en 2015 par la société de maintenance part 145 Textron Aviation Düsseldorf Service Center (Allemagne), impliquant d'importantes modifications sur la chaîne anémo-barométrique de l'avion. Il était alors exploité par un exploitant Suisse avec l'immatriculation HB-VWP.

La dernière visite de maintenance programmée de l'avion avant l'incident grave s'est déroulée entre le 27 décembre 2021 et le 6 janvier 2022. Le rapport de maintenance ne précise pas de travaux réalisés sur la chaîne anémo-barométrique. Le vol de l'incident grave était le premier vol depuis cette visite.

Il n'existe pas de manuel de recherche de panne (TSM²⁴) pour le Cessna 525. Cependant, une tâche relative au *troubleshooting* du système anémo-barométrique existe dans le manuel de maintenance. Cette tâche n'est applicable qu'aux Cessna 525 qui n'ont pas été modifiés selon le SB525-34-41. Cette tâche spécifie explicitement que pour identifier une défaillance du système anémo-barométrique, il faut inspecter visuellement tous les composants et les conduites associées du circuit. Cette tâche de maintenance n'existe pas dans la documentation applicable aux Cessna 525 intégrant le SB525-34-41, comme le F-HGPG.

Les procédures de maintenance relatives au système anémo-barométrique sont détaillées dans les chapitres suivants du manuel de maintenance Textron Aviation s'appliquant aux Cessna 525 intégrant le SB525-34-41 :

- **34-11-01 - PITOT-STATIC SYSTEM - MAINTENANCE PRACTICES**

Ce chapitre traite notamment de la purge du système Pitot-Statique (anémo-barométrique) pour vérifier l'absence de pollution dans les conduites.

- **34-11-02 - PITOT-STATIC SYSTEM - INSPECTION/CHECK**

Ce chapitre comprend notamment les tâches suivantes :

- inspection de la peau du fuselage autour des prises statiques ;
- test de fuite du système Pitot-Statique ;
- test fonctionnel du système de réchauffage Pitot-Statique ;
- test et calibration des instruments (altimètre, anémomètre et machmètre).

À la suite de l'événement du 8 novembre 2017 (voir § 1.11.2.3), la recherche de panne a été réalisée par Textron Aviation Paris Service Center selon les chapitres 34-11-01 et 34-11-02 et le *Work Order*²⁵ a conclu que les tests étaient satisfaisants. En revanche, l'analyse de l'événement par l'exploitant fait état de « *saletés retrouvées à l'intérieur du tube Pitot* ».

²⁴ *TroubleShooting Manual*.

²⁵ Bon de travail.

À la suite de l'événement du 28 février 2019 (voir § 1.11.2.2), la recherche de panne a également été réalisée par Textron Aviation Paris Service Center selon les chapitres 34-11-01 et 34-11-02. Elle était focalisée sur le circuit barométrique. Les ports statiques et les sondes Pitot de l'avion ont été inspectés visuellement, un test de fuite a été effectué et aucune différence d'altitude entre les deux ensembles n'a été décelée. Les deux altimètres ont été intervertis, et les vérifications effectuées sur le système Pitot-Statique étaient satisfaisantes. L'atelier de maintenance n'a pas identifié l'origine de la défaillance.

Le constructeur de l'avion, Textron Aviation, précise que son département Sécurité des Vols ne connaît pas d'événement similaire sur la flotte.

1.6.5 Examen du système anémo-barométrique sur avion à la suite de l'incident grave

À l'issue du vol au cours duquel est survenu l'incident grave, le CDB a précisé les défaillances suivantes dans le compte rendu matériel (CRM)²⁶ :

- *“RH speed and LH speed inconsistent;*
- *At FL 270, difference of 1 400 ft between Alt1 and Stby and Alt2”.*

Le BEA a mené une recherche de panne en coopération avec l'atelier de maintenance et avec le support du constructeur. L'examen s'est déroulé dans l'atelier de la société R&O en février 2022.

Le protocole d'examen du BEA s'est appuyé sur les procédures de maintenance et a été appliqué sur les ensembles 1 et 2, après validation des étapes par Textron Aviation. Le protocole allait au-delà des préconisations du manuel de maintenance Textron applicable à cet avion et incluait notamment des actions de démontage permettant un examen visuel détaillé de chaque élément de la chaîne anémo-barométrique. Ces actions sont mentionnées dans la tâche relative au *troubleshooting* du système anémo-barométrique du manuel de maintenance applicable aux Cessna 525 n'ayant pas été modifiés selon le SB525-34-41 (contrairement au F-HGPG).

Les constats suivants ont été effectués :

- lors du démontage de l'EADI gauche (ensemble 1), de la condensation était présente sur l'extérieur du boîtier ;
- la conduite souple du circuit statique était pincée très légèrement à l'endroit de sa connexion avec l'altimètre gauche (ensemble 1) ;
- la purge du système anémo-barométrique a permis de constater la présence d'un insecte dans le circuit statique de l'ensemble 1, du côté du port statique droit ;
- les tests de fuite n'ont révélé aucune anomalie du système, y compris lors de la mise en pression de la cabine ;
- le test de calibration des instruments anémo-barométriques n'a révélé aucune anomalie ;
- le test sur avion du système de réchauffage des sondes Pitot et des ports statiques n'a révélé aucune anomalie ;
- juste au-dessus des palonniers du CDB, la conduite souple du Pitot gauche forme un coude, créant ainsi un point bas dans le circuit.

La référence et la longueur de la conduite souple sont conformes aux spécifications du constructeur Textron Aviation. Ce dernier a indiqué au BEA que le système anémométrique ne doit pas comporter de point bas, et que la conduite doit former une pente continue depuis l'anémomètre

²⁶ Ou *Technical LogBook (TLB)*.

et l'altimètre jusqu'à la sonde Pitot. Il précise que de l'eau liquide peut s'accumuler dans un point bas. La conduite souple a été réinstallée sur l'avion sans faire apparaître de point bas, après l'incident grave.

Note : selon les rapports de travaux de maintenance, le cheminement des conduites souples du circuit anémo-barométrique n'a pas été inspecté lors des recherches de pannes menées en 2017 et 2019.

Le constructeur Textron Aviation indique qu'à la date de certification de l'avion, il n'y avait pas de spécification relative au drainage du circuit Pitot, contrairement au circuit statique. La spécification a évolué en 1996. La documentation des avions Textron Aviation certifiés ultérieurement comportaient ainsi une mention relative au drainage des conduites vers les sondes Pitot et les ports statiques. Le constructeur ajoute que cependant, il existe une circulaire de l'Autorité de l'Aviation civile des États-Unis (FAA)²⁷ qui précise que les conduites (circuits statiques et Pitot) doivent présenter une pente pour assurer le drainage. Il précise qu'il est généralement enseigné aux techniciens qu'il est important de ne pas avoir de point bas dans les conduites, qui pourrait piéger de l'eau liquide.

Le constructeur Textron Aviation indique également que, même s'il n'a jamais fait de test ou d'étude, si l'air entrant dans le système Pitot est suffisamment froid, il est possible que de l'eau qui se serait accumulée au niveau d'un point bas gèle, même si la conduite se situe dans la cabine. Il ajoute que cela dépendrait de la température de l'air, de la quantité d'eau, de la position du point bas où l'eau s'est accumulée et de la durée du vol. Le constructeur de la sonde Pitot, Aerosonic, quant à lui, indique que la température de l'air entrant dans le Pitot n'est pas suffisamment basse pour geler de l'eau présente dans un point bas ; cependant si la température environnant la position du point bas est suffisamment basse, l'eau peut geler. Ces deux constructeurs indiquent finalement que le point bas étant situé en milieu tempéré, à environ 1,2 m de la sonde Pitot, il reste peu probable que du givre se forme à cet endroit.

Note : à la demande du BEA, l'installation de cette conduite souple a été vérifiée sur un autre Cessna 525 CJ de l'exploitant Valljet, au cours de l'enquête. L'atelier de maintenance a indiqué qu'elle présentait également un point bas, avec un cheminement différent de celui du F-HGPG. Aucune défaillance du circuit anémo-barométrique n'a été portée à la connaissance du BEA sur cet avion.

Enfin, le constructeur Textron Aviation ajoute qu'ils n'ont pas de retour de clients au sujet de la longueur de cette conduite souple.

1.6.6 Test du système de réchauffage de la sonde Pitot gauche au BEA

La sonde Pitot gauche (ensemble 1) a été déposée de l'avion début mars 2022. Le test du système de réchauffage s'est déroulé dans les laboratoires du BEA et un relevé de température en trois points de la sonde Pitot a été enregistré sur une dizaine de minutes après activation du système de réchauffage. Les résultats obtenus sont conformes aux spécifications du constructeur.

²⁷ [FAA Advisory Circular 43.13-1B, Acceptable Methods, Techniques, and Practices – Aircraft Inspection and Repair / § 12-61\(c\)](#).

1.6.7 Examen de la sonde Pitot gauche chez le constructeur

La sonde Pitot gauche a été examinée par Aerosonic fin novembre 2022. Elle a notamment subi des tests électriques, ainsi que des tests de fuite et de débit sous pression, tous conformes aux spécifications. Le diamètre du drain permettant l'évacuation de l'humidité était conforme aux spécifications.

1.6.8 Bilan des examens réalisés

Les examens techniques réalisés sur le système anémo-barométrique après l'incident grave n'ont pas permis d'identifier avec certitude l'origine de la défaillance. Néanmoins, les symptômes rapportés par les pilotes lors des événements (voir § 1.11.2) de 2017, 2019, 2021 et 2022 (augmentation de la vitesse indiquée en montée, différence entre les deux altimètres et disparition des anomalies lors de la descente) laissent penser que :

- la défaillance se situait probablement au niveau de la conduite souple entre la sonde Pitot et l'anémomètre de l'ensemble 1. Elle a pu prendre la forme d'une obstruction totale ou partielle en un point ;
- la cause de l'obstruction était très probablement d'ordre environnemental (eau liquide ou givre, qui aurait disparu lors de la descente).

La présence d'un point bas dans la conduite souple de la sonde Pitot gauche a pu créer des conditions propices à l'obstruction partielle ou totale.

À la suite des examens menés avec le BEA, ayant conduit à la dépose et au remplacement de la sonde Pitot de l'ensemble 1 et de la conduite souple en éliminant le point bas, l'avion a été remis en service début mars 2022. À la mi-avril 2023, aucune défaillance du circuit anémo-barométrique n'a de nouveau été rapportée.

1.7 Renseignements météorologiques

Au départ, sur l'aérodrome Paris-Le Bourget, le vent était calme. La visibilité était réduite à 600 m en raison d'un brouillard givrant. La température et la température du point de rosée étaient de -1 °C. Le QNH était à 1 039 (écart de 730 ft par rapport à l'isobare 1 013, en atmosphère standard). L'équipage indique que l'épaisseur du banc de brouillard était de quelques centaines de pieds. Au cours de la nuit précédant le vol de l'incident grave, les conditions météorologiques étaient sensiblement identiques.

Lors de la croisière, le ciel était dégagé. Météo-France indique que le vent était du nord-est pour environ 30 kt et qu'il n'y avait pas de risque de givrage. La température au FL 280 était de -45 °C. L'isotherme 0° était située au niveau du sol et à 5 000 ft.

À l'arrivée, sur l'aérodrome de Genève, le vent était du 040° pour 14 kt, la visibilité était supérieure à 10 km, la couverture nuageuse était morcelée à une altitude de 1 900 ft, la température était de 0 °C et le QNH était à 1 034.

1.8 Aides à la navigation

Sans objet.

1.9 Télécommunications

Au moment de l'incident grave, les équipages du F-HGPG et du F-HBXG étaient en contact avec les contrôleurs du secteur UT (fréquence 133,505 Mhz) de Paris Contrôle basé au CRNA Nord.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

Sans objet.

1.11 Enregistreurs de bord

Le F-HGPG n'est pas équipé d'enregistreur de vol. La réglementation n'en impose pas l'emport pour cet avion.

Le F-HBXG est équipé de deux enregistreurs de vol, un FDR et un CVR. Seules les données du FDR ont été exploitées.

1.11.1 Données ADS-B et radar du F-HGPG

L'analyse des données ADS-B du vol, ainsi que des données radar transmises par le transpondeur 1 actif au cours du vol de l'incident grave, a mis en évidence que :

- dans la première partie du vol, en montée jusqu'au FL 170, l'altitude-pressure de l'ensemble 1 et l'altitude GNSS présentaient un écart stabilisé de l'ordre de 700 ft (écart proche de la correction de QNH) ;
- à partir du FL 180 en montée, pendant la croisière et jusqu'au FL 105 en descente, les évolutions de vitesse indiquée de l'ensemble 1 suivaient précisément les évolutions réelles d'altitude (altitude GNSS), ce qui est cohérent avec une sonde Pitot obstruée ;
- l'écart entre l'altitude-pressure de l'ensemble 1 et l'altitude GNSS a atteint 2 075 ft.

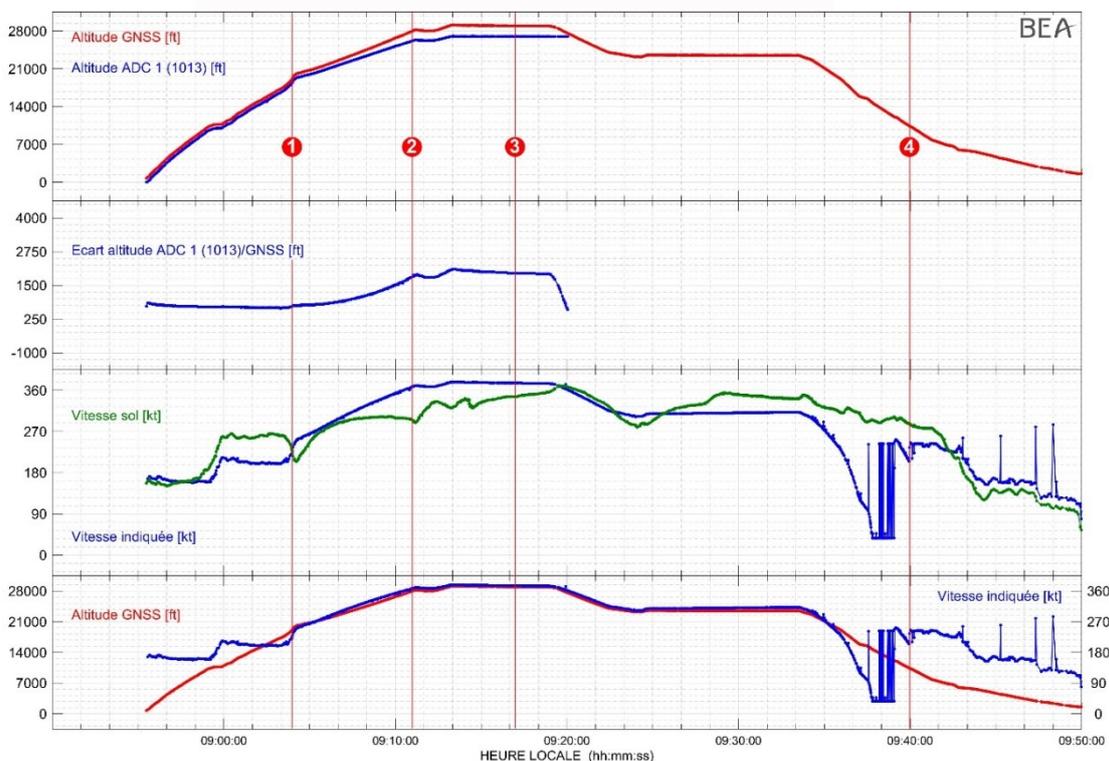


Figure 3 : planche de courbes (Source des paramètres : ADS-B)

1.11.2 Événements similaires survenus sur le F-HGPG

1.11.2.1 Événement survenu le 11 décembre 2021

Le jour de cet événement, l'équipage réalisait la branche aller d'une rotation entre les aérodromes Paris-Le Bourget et Cannes-Mandelieu.

L'analyse des données ADS-B du vol, ainsi que des données radar transmises par le transpondeur 1 actif au cours du vol de l'événement, a mis en évidence que :

- dans la première partie du vol, en montée jusqu'au FL 210, l'altitude-pression de l'ensemble 1 et l'altitude GNSS présentaient un écart stabilisé de l'ordre de 150 ft (écart proche de la correction de QNH²⁸) ;
- à partir du FL 210 en montée, pendant la croisière et jusqu'au FL 105 en descente, les évolutions de vitesse indiquée de l'ensemble 1 suivaient précisément les évolutions réelles d'altitude (altitude GNSS) ;
- l'écart entre l'altitude-pression de l'ensemble 1 et l'altitude GNSS a atteint 650 ft.

Les membres d'équipage précisent qu'ils se sont rendu compte d'une anomalie de l'anémomètre de l'ensemble 1 vers la fin de la montée. L'aiguille de l'anémomètre dépassait la vitesse maximale, alors que sur l'ensemble 2, la vitesse indiquée était cohérente avec la phase de vol. Ils ont alors décidé de faire confiance à l'anémomètre de l'ensemble 2. L'avion n'a pas pris d'attitude anormale. Au cours de la croisière, ils ont observé un écart d'altitude de plusieurs centaines de pieds entre les deux altimètres et ont décidé de faire confiance à l'altimètre de l'ensemble 1 car les données étaient cohérentes avec l'information du transpondeur. Au cours de la descente, la défaillance a disparu.

À destination, le CDB²⁹ et le copilote ont échangé par téléphone avec le chef du secteur Citation de l'exploitant (voir § 1.17.2.7.5) sur la défaillance décrite ci-dessus. Celui-ci leur a indiqué que ce problème s'était déjà manifesté deux fois auparavant, dont une fois lorsqu'il était à bord, et que la maintenance n'avait pas identifié de dysfonctionnement (voir § 1.11.2.2). Selon le CDB, le chef du secteur Citation était confiant sur la bonne réalisation du vol retour vers la base sur l'aérodrome Paris-Le Bourget, il a ajouté que l'avion serait inspecté au retour. Le CDB a pris la décision de ne rien marquer dans le CRM de l'avion, et d'envisager d'écrire la défaillance si elle se reproduisait au vol retour.

Après une visite prévol avec une attention particulière sur les sondes Pitot et les ports statiques, l'équipage a effectué le vol retour avec cinq passagers le lendemain. Aucune défaillance n'est survenue. Le CDB précise alors qu'aucune mention n'a été portée dans le CRM, mais que le chef du secteur Citation était informé du problème.

Le copilote indique qu'il était inquiet, mais qu'il a suivi la décision du CDB. Les prévisions météorologiques pour le vol retour étaient bonnes. Ils avaient décidé de prendre du carburant en plus.

²⁸ Le QNH sur l'aérodrome de départ était 1 020, soit un écart de 200 ft par rapport à l'isobare 1 013.

²⁹ Le CDB n'était pas un pilote salarié de l'exploitant, mais un pilote indépendant (« *freelance* ») volant régulièrement pour le compte de l'exploitant.

À l'issue du vol retour, le copilote a échangé par messages avec le chef du secteur Citation au sujet de cette panne du système Pitot et statique qui pourrait « être plus dangereuse en fonction de quand ça arrive ». Le chef de secteur lui a indiqué qu'aucune panne n'étant survenue sur le trajet retour, qu'il était « impossible de faire une recherche de panne sans panne » et que cela serait « à suivre à la prochaine visite » (voir § 1.6.4). Le copilote indique qu'il a rédigé un ASR. Néanmoins, sa démarche ne lui a pas semblé aboutir. Lors de la validation, le logiciel est resté figé et il n'a pas reçu de confirmation d'un dépôt effectif de l'ASR dans le logiciel. Il n'a pas cherché à réitérer sa démarche. Aucun ASR n'a donc été transmis. Il a cependant échangé avec quelques pilotes sur la défaillance rencontrée en vol. Il avait notamment averti le CDB du vol de l'incident grave du 12 janvier 2022 au cours d'un appel téléphonique, mais ce dernier explique qu'il n'y avait pas porté une attention particulière étant occupé à autre chose lors de cet appel téléphonique. Il avait compris qu'il s'agissait d'une panne du pilote automatique et que c'était « une panne de plus sur un avion ».

1.11.2.2 Événement survenu le 28 février 2019

Le jour de cet événement, l'équipage a réalisé trois vols : depuis l'aérodrome Paris-Le Bourget vers celui de Zurich (Suisse) avec un passager, puis vers celui de Berlin-Schönefeld (Allemagne) sans passager, puis un retour sur Paris-Le Bourget avec deux passagers. Le chef du secteur Citation (voir §§ 1.17.2.3.2 et 1.17.2.7.5) était positionné en place droite pour réaliser les vols sous supervision (LIFUS) d'un CDB en formation. En tant que superviseur, le chef du secteur Citation était le CDB désigné sur ces vols.

Selon le témoignage de l'équipage, la défaillance s'est produite sur la deuxième branche entre Zurich et Berlin, pendant la montée, et a disparu au cours de la descente. Il indique qu'en montée sous pilote automatique avec une vitesse de l'ordre de 210 kt, la vitesse indiquée a augmenté lentement, de même que l'assiette de l'avion. L'équipage n'avait rien remarqué jusqu'à ce que le pilote automatique ne se déconnecte vers 130 kt (vitesse réelle de l'avion). Il indique que le *stick shaker* ne s'est pas activé. L'équipage a déterminé que les indications de l'anémomètre de l'ensemble 1 étaient fausses. Il n'a plus le souvenir d'un écart d'altitude entre les altimètres.

L'analyse des données ADS-B du vol montre un écart entre l'altitude-pression de l'ensemble 1 et l'altitude GNSS au cours de la défaillance d'environ 700 ft ; le QNH du moment était de 1 011. Il y avait probablement un écart de l'ordre de 600 ft entre les deux altimètres. La valeur de vitesse indiquée de l'anémomètre de l'ensemble 1 a suivi les évolutions d'altitude. Les données montrent que l'équipage a basculé sur le transpondeur 2 au moment de l'interception du niveau de croisière. L'équipage n'a plus le souvenir de cette action.

La défaillance a été inscrite dans le CRM de l'avion au retour à Paris avec la mention « *Static cdb inop* » (voir § 1.6.4). Cet événement n'a pas fait l'objet d'un ASR.

Le chef du secteur Citation indique qu'il avait demandé au CDB en formation sous supervision de rédiger l'ASR et il se rend compte a posteriori que cela n'a pas été fait. Il indique que la panne n'a été inscrite dans le CRM que lors de la branche retour vers la base et non sur la branche intermédiaire afin de ne pas pénaliser l'exploitation de l'avion (voir § 1.17.2.7.5).

Le CDB en formation indique qu'il était réticent à réaliser la dernière branche pour le retour au Bourget. C'était un vol de nuit et il était fatigué. Il n'a pas cherché à imposer son point de vue auprès du chef du secteur Citation car il était en formation. Selon lui, ce dernier lui a indiqué qu'il s'occupait

de l'inscription de la panne dans le CRM et de la remontée de l'événement lui-même. Le CDB en formation explique qu'il n'est resté que huit mois (entre novembre 2018 et juillet 2019) chez l'exploitant car il estimait que le niveau de sécurité de l'époque n'était pas celui qu'il espérait. Il ajoute que selon lui la sécurité n'était pas la principale préoccupation de l'exploitant à cette époque-là. Enfin, il précise que l'une des consignes du chef du secteur Citation était : « *tu ne marques rien dans le CRM, tu m'appelles avant* » (voir § 1.17.2.7.5).

1.11.2.3 Événement survenu le 8 novembre 2017

Le jour de cet événement, l'équipage réalisait un vol entre les aérodromes Paris-Le Bourget et Cracovie-Jean-Paul II (Pologne). Selon l'ASR rédigé à la suite de cet événement, au cours de la montée, l'équipage a constaté la défaillance de l'anémomètre de l'ensemble 1 puis celle de l'altimètre. Il a décidé de revenir sur l'aérodrome du Bourget. Pendant la descente, l'équipage a observé que les écarts altimétrique et anémométrique se sont peu à peu résorbés jusqu'à devenir normaux vers le FL 080. La défaillance avait été reportée sur le CRM avec la mention : « *Panne anémomètre gauche suivie d'une erreur altimètre gauche* » (voir § 1.6.4).

Selon l'ASR, l'écart entre les deux altimètres était d'environ 4 000 ft ; le QNH du moment était de 1 020. La vitesse de l'anémomètre de l'ensemble 1 a augmenté dépassant la valeur maximale et est allée jusque 40 kt³⁰. Par ailleurs, l'ASR précise : « *nous informons le contrôle de notre panne et notre choix de faire demi-tour* ».

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

Sans objet.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Sans objet.

1.14 Incendie

Sans objet.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

Sans objet.

1.16 Essais et recherches

Sans objet.

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

1.17.1 Règlementation en matière de notification et de traitement d'un événement

Lors de la survenue d'une défaillance au cours d'un vol (système n'ayant pas fonctionné comme prévu), cette dernière doit être inscrite par le CDB³¹ dans le CRM, après l'atterrissage, afin que les actions de maintenance idoines puissent être effectuées. La nature de la défaillance peut conduire à l'immobilisation de l'avion (AOG³²), l'acte de maintenance conditionnant la remise en service de

³⁰ L'aiguille effectue le tour du cadran.

³¹ Dans le cadre d'un vol LIFUS, c'est au CDB désigné (le superviseur) que revient cette responsabilité.

³² *Aircraft On Ground* (ou NO GO).

l'avion. Certaines défaillances, décrites dans la MEL ou dans les données d'entretien, peuvent conduire à des actes de maintenance différés évitant ainsi l'immobilisation immédiate de l'avion. En l'absence d'item MEL relatif à une défaillance, ou si le défaut n'est pas dans les tolérances acceptables, l'avion doit être considéré comme inapte au vol. Dans ces conditions, il convient à la maintenance d'analyser les symptômes décrits dans le CRM, d'appliquer les procédures associées et se prononcer enfin sur la remise en vol de l'avion.

Le règlement européen « Air Ops³³ » précise dans le paragraphe CAT.GEN.MPA.105 :

« Responsabilités du commandant de bord

a) Le commandant de bord, [...] :

[...]

14) enregistre, à la fin du vol, les données d'utilisation et tous les défauts connus ou présumés de l'aéronef dans le compte rendu matériel (CRM) ou le carnet de route de l'aéronef afin de garantir la continuité de la sécurité des vols.

[...] »

Le règlement européen consolidé N°1321/2014³⁴ précise dans le paragraphe M.A.306 :

« Système de compte rendu matériel d'aéronef

a) Outre les exigences du point M.A.305, en cas de transport aérien commercial, d'exploitations commerciales spécialisées et d'exploitations des ATO ou DTO à visée commerciale, l'exploitant doit utiliser un système de compte rendu matériel d'aéronef contenant les informations suivantes pour chaque aéronef :

[...]

4. la liste de toutes les rectifications de défauts à exécuter et reportées qui affectent l'exploitation de l'aéronef ; et

[...] »

Il précise dans le paragraphe M.A.403 :

« Défauts d'aéronefs

a) Tout défaut d'aéronef portant gravement atteinte à la sécurité du vol doit être rectifié avant tout autre vol.

b) Seul le personnel de certification visé au point M.A.801 b) 1) ou à la sous-partie F de la présente annexe ou à l'annexe II (partie 145) ou à l'annexe V quinquies (partie CAO), ou la personne autorisée conformément au point M.A.801 c) de la présente annexe, peut décider, en utilisant les données d'entretien visées au point M.A.401 de la présente annexe, si un défaut d'aéronef compromet gravement la sécurité du vol et, par conséquent, décider du moment et de la manière dont l'action de correction doit être entreprise avant tout vol et quelle action corrective peut être reportée. Toutefois, cela ne s'applique pas lorsque la liste minimale des équipements est utilisée par le pilote ou par les personnels de certification.

c) Tout défaut d'aéronef qui ne porterait pas gravement atteinte à la sécurité du vol doit être rectifié dès que possible, après identification de la date de ce défaut et dans les limites spécifiées dans les données d'entretien ou sur la liste minimale des équipements.

³³ Op. cit. § 1.6.1.

³⁴ Règlement de la Commission du 26 novembre 2014 relatif au maintien de la navigabilité des aéronefs et des produits, pièces et équipements aéronautiques, et relatif à l'agrément des organismes et des personnels participant à ces tâches ([Version en vigueur le jour de l'incident grave](#)).

d) Tout défaut qui n'est pas rectifié avant le vol doit être enregistré dans le système d'enregistrement du maintien de navigabilité des aéronefs visé au point M.A.305 ou, le cas échéant, dans le système de compte rendu matériel d'aéronef visé au point M.A.306. »

Enfin, le règlement européen consolidé N°376/2014³⁵ précise dans l'article 4 :

« Comptes rendus obligatoires

1. Les événements susceptibles de présenter un risque important pour la sécurité aérienne et qui relèvent des catégories ci-après sont notifiés par les personnes énumérées au paragraphe 6 par le biais des systèmes de comptes rendus d'événements obligatoires prévus au présent article :

a) les événements liés à l'exploitation de l'aéronef, tels que :

[...]

iv) les événements liés au vol ;

b) les événements liés à des conditions techniques, à l'entretien et à la réparation de l'aéronef, tels que :

[...]

ii) des dysfonctionnements du système ;

[...]

[...]

2. Chaque organisation établie dans un État membre met en place un système de comptes rendus obligatoires pour faciliter la collecte de renseignements sur les événements visés au paragraphe 1.

[...]

6. Les personnes physiques figurant ci-après notifient les événements visés au paragraphe 1 dans le cadre du système établi conformément au paragraphe 2 par l'organisation qui emploie, [...] :

a) le pilote commandant de bord ou, dans le cas où il n'est pas en mesure de notifier l'événement, tout autre membre de l'équipage venant après celui-ci dans la chaîne de commandement [...];

b) une personne impliquée dans la conception, la construction, le suivi de navigabilité continue, l'entretien ou la modification d'un aéronef ou de tout équipement ou pièce s'y rapportant, [...];

c) une personne qui signe un certificat d'examen de navigabilité ou une approbation pour remise en service, relatifs à un aéronef ou à tout équipement ou pièce s'y rapportant, [...];

[...] »

1.17.2 Renseignements sur l'exploitant Valljet

L'exploitant Valljet dispose d'un Certificat de Transporteur Aérien (CTA) depuis 2008. C'est une compagnie d'aviation d'affaire européenne, réalisant des vols à la demande.

³⁵ Règlement du Parlement européen et du Conseil concernant les comptes rendus, l'analyse et le suivi d'événements dans l'aviation civile ([Version en vigueur le jour de l'incident grave](#)).

1.17.2.1 Quelques chiffres

À la date de l'incident grave, l'exploitant dispose d'une flotte de 28 avions :

- 11 Cessna 525 (Citation Jet) : 3 CJ, 2 CJ1, 1 M2, 3 CJ2, 1 CJ2+ et 1 CJ3 ;
- 4 Cessna 550 Citation II ;
- 2 Raytheon Hawker 800XP et 4 Raytheon Hawker 900XP ;
- 2 Embraer EMB145-EP et 1 Embraer EMB145-MP ;
- 4 Embraer EMB135-BJ.

La Figure 4 ci-dessous illustre l'évolution du nombre d'avions dans la flotte de l'exploitant :

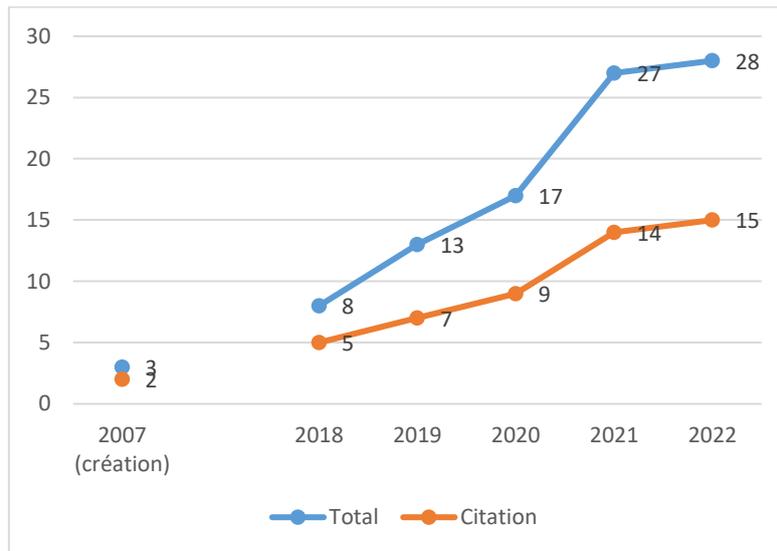


Figure 4 : évolution du nombre d'avions de la flotte (Source : Valljet)

Le graphique ci-dessous indique le nombre de mouvements de la flotte de l'exploitant, en particulier, celui du secteur Citation :

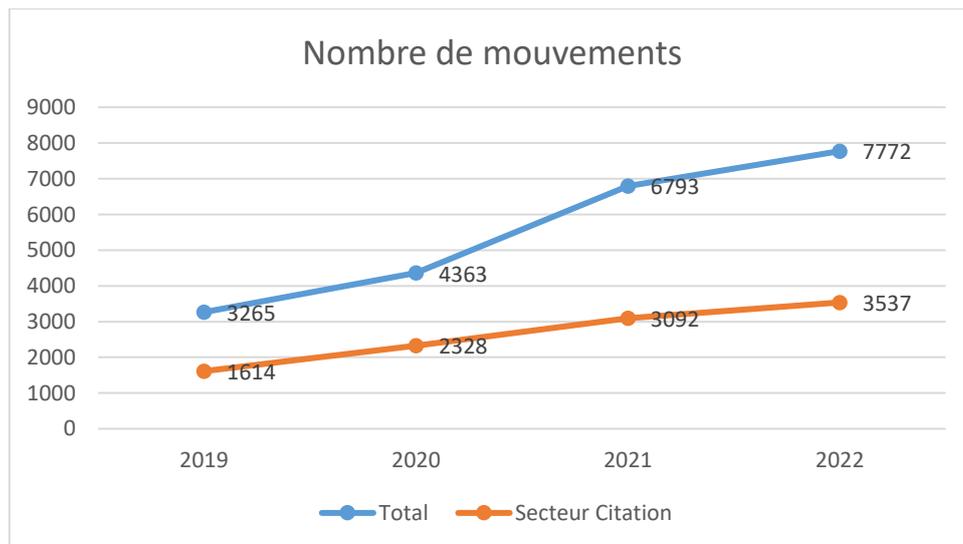


Figure 5 : nombre de mouvements de la flotte de l'exploitant (Source : Valljet)

1.17.2.2 Notification d'une défaillance

Le chapitre A-08 § 1.11 du Manuel d'exploitation de l'exploitant Valljet précise notamment, au sujet du CRM :

« In accordance with the requirements of Part M.A. 306, it contains the details of any information considered necessary to ensure the safety of the flight. This information includes:

In accordance with the requirements of Part M.A. 306, it contains details of any deferred defects that affect or could affect the airworthiness and safety of use of the aircraft and should therefore be brought to the attention of the Captain.

[...]

5. Details of any aircraft failure, defect and malfunction affecting or not the airworthiness or safe operation of the aircraft including standby systems, any cabin defects, failures or malfunctions affecting or not airworthiness or safety of the occupants brought to the attention of the Captain.

Note : If the airworthiness is not affected, following the return to normal operation of the temporarily faulty system after a "RESET" type action by the crew, the "Defect" must be reported to the techlog specifying the action which was carried out followed by the mention "RESET SUCCESSFULLY". The information reporting must be preceded by the words FOR CAMO INFO and the "Maintenance" part crossed out with a diagonal line.

6. The registration of the APRS following the rectification of a defect or of the tolerance state (accompanied by the associated maintenance procedure) or maintenance visit carried out. The APRS appearing on each page of this section should make it possible to identify the defects to which it relates to or the maintenance visit carried out.

[...] ».

Dans ce même chapitre, au § 1.11.2 au sujet du remplissage du CRM, il est précisé : *« report in the Techlog any technical abnormalities encountered during the flight »* et *« The flight crew notes the technical malfunctions of the aircraft including those identified on ground (during preflight check for example) with the number of the leg where the failure was reported. [...] »* dans la case « défauts »³⁶ du CRM.

Ces dispositions avaient été reprises dans le cadre d'un Bulletin sécurité des vols³⁷ d'octobre 2021 de l'exploitant.

1.17.2.3 Rôle et responsabilités

1.17.2.3.1 Responsable du maintien de la navigabilité

Le paragraphe 0.3.2 du Manuel des spécifications de l'organisme de Gestion du Maintien de la Navigabilité (CAME³⁸) de l'exploitant précise les rôles et responsabilités du Responsable désigné du maintien de la navigabilité (RDMN) du CAMO³⁹ :

- *« He is responsible for managing the airworthiness of aircraft operated by Valljet;*
- *He reports to the Accountable Manager;*
- *He defines the organization and operating procedures necessary to comply with the regulations;*

³⁶ Defects box.

³⁷ Flight Safety Bulletin (voir § 1.17.2.7.6).

³⁸ Continuing Airworthiness Management Exposition.

³⁹ Continuing Airworthiness Management Organisation.

- *He ensures that these procedures are correctly described in the CAME, and if necessary arranges for amendments to the CAME;*
- *He ensures that the maintenance of aircraft operated by VALLJET is carried out in timely manner, in accordance with the standards of Part 145 and in accordance with the approved maintenance programs;*
- *He ensure that the organization always complies with the applicable regulations;*
- *To this end, he sets up maintenance contracts, after making sure that the contracted organization has the appropriate facilities, equipment and tools, qualified and sufficient staff;*
- *He establishes relations with the competent authorities;*
- *He is responsible for providing feedback to the competent authorities and to the manufacturers of faults observed during events in operation;*
- *He defines the policy for the implementation of service bulletins and optional modifications;*
- *He ensures the implementation and monitoring of corrective actions resulting from the monitoring of the Compliance Monitoring Manager and the competent authorities;*
- *He has the aircraft log book and maintenance programs approved by the Authority;*
- *He is in communication with flight crews to ensure feedback on the quality of maintenance, the aircraft log book filling procedures and its improvement, the use of the MEL;*
- *He ensures the link with flight operations in order to ensure correct scheduling of necessary maintenance actions.*
- *He ensures that all tasks listed in MSG 2.3.4 are performed. »*

Les « agents CAMO » des différents secteurs sont placés sous l'autorité du RDMN.

1.17.2.3.2 Référent des opérations en vol d'un secteur⁴⁰

Le paragraphe A-01 3.10.2 du Manuel d'exploitation de l'exploitant précise les rôles et responsabilités des référents des opérations en vol⁴¹ des secteurs Embraer, Hawker et Citation :

- *« Responsible for pilots sharing the same qualification:*
 - *Report any operational issues and suggests solutions*
- *Technical support :*
 - *Flight Operations communications (MEMO, Incident analysis...)*
 - *Flights feasibility (Performance, Cat. C airports...)*
- *Minor amendments of OM.B*
- *Establish a weekly report about:*
 - *Staffing situation (Flight Crews)*
- *Helps to prepare response to SANA/SACA compliance of the involved sector*
- *Manage updates of FMS databases*
 - *Anticipates AIRAC cycles updates*
 - *Alert crews who will have to perform the updates*
 - *Receive and acknowledgment of FMS update effectiveness. »*

Les référents des opérations en vol des différents secteurs sont appelés communément « chefs de secteurs » par l'exploitant, ils sont placés sous l'autorité du Responsable désigné des opérations en vol (RDOV).

⁴⁰ Voir § 4.3.

⁴¹ Flight Ops Referents.

1.17.2.3.3 Responsable de la gestion de la sécurité

Le paragraphe 2.3.2 du Manuel du système de gestion (MSG) de l'exploitant précise les rôles et responsabilités du responsable de la gestion de la sécurité :

- *« Faciliter l'identification des risques, analyser et gérer les risques notamment ceux liés au changement ;*
- *Surveiller la mise œuvre des actions prises pour atténuer les risques en accord avec le plan d'action sécurité ;*
- *Fournir des rapports périodiques sur la performance du SGS ;*
- *Mettre à jour la documentation liée au SGS ;*
- *S'assurer que le personnel suit une formation SGS qui est conforme aux standards acceptables ;*
- *Fournir des conseils sur les sujets liés à la sécurité ;*
- *S'assurer de la mise en œuvre et du suivi des événements internes / des enquêtes accidents. »*

Le responsable de la gestion de la sécurité est placé sous l'autorité du Dirigeant Responsable (DR).

1.17.2.4 Mise en place du Maintenance Control Center (MCC)

En juillet 2021, l'exploitant a fait l'objet d'une intervention de surveillance de l'OSAC. L'un des écarts constatés au cours de cette intervention de surveillance concernait des pannes et des défauts qui étaient ouverts et traités en maintenance (après information des équipages de manière informelle) alors qu'aucun défaut ne figurait dans les CRM des vols précédant l'intervention de maintenance.

L'exploitant précise qu'à la suite de cette intervention de surveillance, il a mis en place le 15 novembre 2021 le MCC pour soutenir la croissance de la flotte et par conséquent l'augmentation des problématiques rencontrées en opération, par une note de service. Ses responsabilités sont les suivantes :

- *« Suivre en instantané tout avion de la flotte en condition « vol » ;*
- *Répondre, prévenir et coordonner 24h/24h & 7j/7j les appels des OPS, des équipages, du CAMO & des PART 145 ;*
- *Assister les équipages & techniciens pour la mise en MEL ;*
- *Décider des AOGs ;*
- *Superviser les interventions & les remises en services dans le cadre des pannes ;*
- *Assurer la traçabilité de l'ensemble de l'activité. »*

Le MCC permet ainsi d'aider les équipages au sujet des problèmes techniques qu'ils rencontrent et de les orienter pour leur prise de décision.

À sa création, le MCC était armé d'une seule personne, son responsable.

À la date de l'incident grave, le MCC n'était pas défini dans le manuel d'exploitation de l'exploitant. Le rôle de MCC était assuré par la société de maintenance Part 145 R&O (voir § 1.6.4).

En ce qui concerne le vol du 11 décembre 2021, alors que le MCC était en service, le CDB a choisi de n'échanger qu'avec le chef du secteur Citation sur la défaillance rencontrée en vol. Un cadre de l'exploitant explique : *« il est vrai que certains commandants de bord ont continué à prendre contact avec des personnes référentes de la compagnie ou disposant d'une expérience significative sur l'avion en question. Cette prise de contact, qui n'était pas une procédure clairement définie au sein*

de la compagnie, relevait plutôt d'une habitude ou d'une bonne pratique qui avait été acquise entre les personnels navigants et les différents départements de la compagnie au cours des premières années de la compagnie dans le but de pouvoir être réactif lors de la gestion de pannes (aspects opérationnels, techniques et commerciaux). À noter, que la compagnie a eu un développement très rapide au cours des deux dernières années, et qu'auparavant aucune procédure officielle n'était établie. La note de service communiquée, en novembre 2021, a donc eu pour objectif de formaliser une procédure officielle de gestion des pannes entre les équipages et les différents départements de la compagnie. »

L'exploitant précise également :

« En ce qui concerne la gestion d'une panne par un commandant de bord (après contact avec le MCC), plusieurs moyens sont à sa disposition pour traiter celle-ci. Il peut :

- *consulter la Minimum Equipment List (MEL) afin d'identifier si l'aéronef est navigable durant une période limitée ;*
- *effectuer des resets sur certains systèmes de l'aéronef après autorisation d'un technicien qualifié sur l'aéronef ;*
- *déclarer l'aéronef inapte au vol.*

Dans tous les cas, le commandant de bord a la responsabilité finale d'inscrire l'ensemble des informations relatives à la gestion de la panne sur le CRM soit au travers d'un For CAMO Info (Procédure en partie A08.1.11), soit par l'ouverture d'un item MEL ou soit par la décision de déclarer l'aéronef inapte au vol (AOG=Aircraft On Ground).

À noter, également, que depuis 2021, les équipages (anciens et nouveaux) reçoivent un support de cours CAMO. Celui-ci leur permet de comprendre plus précisément comment rédiger les informations au sein du TLB. »

Plusieurs responsables de MCC se sont succédé :

- un premier responsable était en fonction entre le 15 novembre et la mi-décembre 2021 ;
- entre la mi-décembre 2021 et la mi-janvier 2022, le poste de responsable du MCC est resté vacant ;
- le poste de responsable du MCC a été confié le 12 janvier 2022 à un pilote (deuxième responsable) qui s'était rapproché de l'exploitant quelques mois auparavant ;
- le 21 juin 2022, le MCC a été réorganisé supprimant le poste de responsable. Le MCC a été transféré de la société de maintenance Part 145 R&O à l'exploitant Valljet. Un référent (le chef de chaque secteur), ainsi qu'un « *back-up* », ont été désignés pour chaque secteur pour répondre aux sollicitations des équipages.

1.17.2.5 Gestion de la sécurité par l'exploitant

Au titre de son Système de Gestion de la sécurité (SGS), l'exploitant a établi une cartographie des risques qu'il met à jour périodiquement. La version de la cartographie des risques en vigueur au moment de l'incident grave du 12 janvier 2022 faisait apparaître plusieurs éléments en lien avec les risques de dysfonctionnement des équipements au regard des risques que matérialise cet événement.

Danger/Menace	Événement indésirable	Barrières
Perte totale ou partielle d'un équipement	Défaillance d'un système/ équipement à bord entraînant une perturbation de la gestion du vol	<ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'urgence / anormales • Alarme • Travail en équipage • Formation PNT
Défaillance d'un système de navigation de l'aéronef	Perte de séparation en vol	<ul style="list-style-type: none"> • Système TCAS⁴² • Procédures d'urgence / anormales • Formation PNT • Communication ATC • Travail en équipage

Figure 6 : extrait de la cartographie des risques de l'exploitant en vigueur à la date de l'incident grave (Source : Valljet)

L'exploitant utilise cette modélisation afin d'analyser les événements et d'évaluer le niveau de criticité des risques associés et en vérifier sa maîtrise. À ce titre, à chaque événement indésirable, sont associés les numéros d'ASR correspondants. Le document ne fait apparaître aucun des trois événements antérieurs identifiés dans ce rapport.

1.17.2.6 Audit de la DSAC

Le règlement « Air Ops⁴³ » précise dans le paragraphe ARO.GEN.300 :

« Surveillance :

a) L'Autorité compétente vérifie :

[...]

2) le maintien de la conformité aux exigences applicables des organismes qu'elle a certifiés, des exploitations spécialisées qu'elle a autorisées et des organismes dont elle a reçu une déclaration ;

[...]»

La DSAC constitue notamment l'Autorité de surveillance des exploitants disposant d'un CTA. À ce titre, la DSAC conduit régulièrement des audits. En particulier, elle conduit des audits sur l'organisation et sur le système de gestion de la sécurité des exploitants. La DSAC précise que l'objectif de ce type d'audit est d'évaluer le traitement des événements de sécurité sur la base des informations mises à la disposition des inspecteurs par l'exploitant ou obtenues lors des entretiens. Elle ajoute que la démarche ne permet pas d'identifier d'éventuelles pratiques délibérément déviantes dans ce domaine.

Le dernier audit de l'exploitant sur son organisation et la gestion de la sécurité des vols datait de mai 2021. Cet audit ne faisait pas apparaître de dysfonctionnement du SGS de l'exploitant, ni d'écarts tels que ceux constatés au sujet des événements traités au cours de l'enquête (absence de déclaration de défaillance technique dans le CRM, report de certaines déclarations au retour à la base et absence d'ASR relatif à un événement de sécurité lié à une défaillance technique).

⁴² Équipement d'anticollision répondant à la norme ACAS.

⁴³ Op. cit. § 1.6.1.

Le compte-rendu faisait apparaître qu'en 2021 l'exploitant était dans une dynamique de développement en matière de promotion de la sécurité, avec « *des efforts entrepris par la compagnie depuis 2019 qui commencent à porter leurs fruits. Les équipes ont été considérablement renforcées au sol avec notamment la nomination de correspondants SGS, la mise en place d'un CCO composé de coordinateurs de vol et la création d'un bureau d'études. Cela a permis au système de gestion d'atteindre une maturité satisfaisante, capable de détecter et de traiter ses faiblesses.* »

1.17.2.7 Témoignages

1.17.2.7.1 Responsables du MCC

Le premier responsable du MCC (société R&O), en fonction entre le 15 novembre et la mi-décembre 2021, indique qu'il trouvait l'idée intéressante de fournir un support technique d'aide à la décision pour les équipages. Il était technicien de maintenance. Il précise qu'il n'était pas systématiquement informé des défauts techniques des avions, que les équipages avaient tendance à garder le réflexe d'appeler le chef du secteur considéré. Ainsi, parfois même s'il était consulté, d'autres référents ou cadres pouvaient interagir et donner des consignes sans l'impliquer. Selon lui, l'exploitant manquait d'organisation. Il indique que les pilotes subissaient une grosse pression et que parfois, même s'il recommandait une inscription d'une mention dans le CRM, les CDB n'en tenaient pas compte. Il indique que l'exploitant ne mettait pas les moyens nécessaires pour le bon fonctionnement du MCC. Selon lui, il essayait de mettre en place les standards qu'il avait connus en travaillant pour un autre exploitant, avec une flotte plus importante. Il ressentait une certaine pression car les consignes étaient de ne pas bloquer les avions trop longtemps. Il regrettait par ailleurs qu'il y ait beaucoup de turn-over chez les pilotes de l'exploitant, ne permettant pas la consolidation d'une expérience collective, et ce, malgré la qualité et la motivation initiale des individus.

Le deuxième responsable du MCC, à partir du 12 janvier 2022, indique que sa fonction principale était l'assistance aux équipages au sujet des problèmes techniques qu'ils rencontraient. Il aidait à la prise de décision. Il ajoute qu'il avait vocation à décharger le Responsable désigné de la formation des équipages (RDFE) et le RDOV, ainsi que les chefs des différents secteurs, souvent appelés par les équipages. Il précise qu'il n'avait aucune responsabilité en ce qui concerne la navigabilité des avions, néanmoins, il pouvait faire appel à la maintenance afin d'intervenir rapidement lorsque l'avion était sur l'aérodrome de Paris-Le Bourget. Il estime qu'il recevait peu d'appels des équipages du secteur Citation. Quotidiennement, il rédigeait un rapport d'activité avec la liste des échanges qu'il avait eus avec les équipages. Enfin, il indique qu'il a une formation de pilote et non de technicien de maintenance.

L'analyse des rapports du MCC rédigés en février et mars 2022 montre qu'il a été sollicité :

- 6 fois pour le secteur Citation ;
- 4 fois pour le secteur Embraer ;
- 31 fois pour le secteur Hawker.

1.17.2.7.2 Agent CAMO du secteur Citation

L'agent CAMO du secteur Citation a rejoint l'exploitant en juin 2020 et l'a quitté en novembre 2022. Il indique qu'il n'avait pas connaissance des événements de 2017 et 2019, il n'avait pas non plus entendu parler de l'événement du 11 décembre 2021 avant la survenue de l'incident grave. Il indique qu'il y avait une culture de non-report au sein de l'exploitant, tant d'un point de vue technique (report de dysfonctionnements techniques sur le CRM) que sécurité (report d'événement de sécurité sous forme d'ASR). Il précise que les pilotes s'en remettaient

généralement à certains cadres ou référents de l'exploitant, mais qu'il était compliqué pour eux d'écrire dans le CRM ou de produire des ASR, ces cadres ayant accès aux informations. Selon lui, les pilotes craignaient des sanctions.

Il estime qu'il y avait beaucoup d'interférences de la part de différents référents ou cadres de l'exploitant sur des sujets qui ne constituaient pas leur activité principale. Il ajoute aussi que l'exploitant devait encore « *se structurer, se professionnaliser et arrêter les pratiques d'aéroclub* ».

À titre d'exemple, il indique que les pilotes échangeaient entre eux au travers de messageries instantanées sur le suivi opérationnel des avions (en général, une discussion par avion). Certains pilotes parlaient également de l'état technique de l'avion sur ces fils de discussions. Des référents ou cadres, destinataires de ces messages, prenaient l'opportunité de communiquer avec les équipages pour leur donner des conseils. Il précise qu'il n'était pas dans la liste de diffusion propre à chaque avion, cependant certains pilotes le contactaient directement. Selon lui, ces états techniques n'étaient pas toujours reportés dans le CRM de l'avion. Néanmoins, l'agent CAMO du secteur Citation tenait une liste d'événements techniques dont il avait connaissance via d'autres canaux, pour chaque avion. Il utilisait cette liste pour faire ajouter des inscriptions sur les CRM des avions avant qu'ils ne rentrent en maintenance, en s'appuyant sur certains pilotes de confiance. Il précise que les pilotes concernés acceptaient ce fonctionnement dégradé afin de pouvoir continuer à voler sur des avions avec des défaillances qui seraient traitées par la suite. Il indique qu'il y avait des pratiques similaires, néanmoins moins organisées (écart constaté par l'OSAC au cours de son intervention de surveillance (voir § 4.3)) dans les autres secteurs de l'exploitant. Il précise qu'il agissait « *en sous-marin* », il gardait de bonnes relations tant avec les pilotes qu'avec les référents de l'exploitant. Il ajoute qu'il avait choisi d'agir ainsi et de ne pas s'opposer, lorsqu'il n'avait pas la responsabilité ni la maîtrise des sujets en question, afin d'avoir une action plus bénéfique sur le long terme. Selon lui, l'ensemble de la hiérarchie cautionnait l'absence de report d'événement, le chef du secteur Citation étant proche des cadres dirigeants de l'entreprise. Il indique aussi que certaines pannes n'étaient inscrites dans le CRM que lors de la branche retour vers l'aérodrome de Paris-Le Bourget, alors qu'elles étaient survenues au cours d'un vol intermédiaire, ceci afin d'éviter d'immobiliser un avion en escale.

Il ajoute par ailleurs que le secteur Citation était une flotte très hétérogène ce qui ne favorisait pas les possibilités d'échange de pièces. Il précise que les avions n'étaient pas stockés dans des hangars et que cela pouvait favoriser la survenue d'événements techniques liés aux conditions environnementales. Certaines pannes n'étant pas toujours confirmées au sol, certaines, récurrentes, devenaient « *normales* », inscrites dans « *l'ADN de l'avion* », charge aux pilotes d'être vigilants.

1.17.2.7.3 Pilotes de l'exploitant

Cinq pilotes du secteur Citation se sont entretenus avec le BEA dans le cadre de l'enquête et ont partagé des informations relatives à l'organisation de l'exploitant. Trois d'entre eux étaient concernés par les événements décrits dans ce rapport, un autre a été sollicité au cours de l'enquête et un autre a appelé spontanément le BEA à la suite de l'incident grave du 12 janvier 2022. Ce dernier a précisé qu'il souhaitait échanger avec le BEA car il craignait qu'un jour, un événement grave ne se produise. Selon lui, la culture de la sécurité au sein de l'exploitant était peu développée. Ce sentiment était partagé par trois autres pilotes.

Ces quatre pilotes indiquent qu'il y avait un sentiment partagé par la plupart des pilotes du secteur Citation, de pressions opérationnelles et commerciales au détriment de l'état technique des avions. Ils estimaient la « *culture juste* » peu développée au sein de l'exploitant. Lors des appels téléphoniques aux référents de l'exploitant à la suite de la survenue d'événements techniques, certains avaient souvent tendance à minimiser l'événement et à inciter l'équipage à poursuivre la

mission. Une partie des pilotes du secteur Citation, principalement les jeunes pilotes, avaient notamment une grande confiance dans le jugement et les conseils du chef du secteur Citation, vu son ancienneté chez l'exploitant, et surtout, vu son expérience. Néanmoins, cette confiance était dégradée chez les pilotes plus expérimentés du même secteur. Ces pilotes précisent qu'ils essayaient d'être arrangeants, mais certaines fois, ils considéraient que des limites étaient dépassées. Certains estiment que ces pratiques étaient « dignes d'aéroclubs ». Cependant, face aux pressions qu'ils ressentaient, ils appliquaient parfois les consignes indiquées. Certains pilotes s'appuyaient également sur les conseils des référents techniques (agent CAMO du secteur Citation) afin d'apporter la solution la moins pénalisante au référent opérationnel.

Les pilotes ont fait part d'une atmosphère pesante, difficile à qualifier, néanmoins présente. Ils expliquent qu'ils en arrivaient à percevoir certaines décisions opérationnelles (absence de programmation de vol par exemple) comme des sanctions à la suite d'un refus de leur part de certaines sollicitations jugées non sûres ou de certaines décisions ne favorisant pas les opérations commerciales. Cependant, ils indiquent qu'ils n'ont pas eu connaissance de sanctions avérées.

Les pilotes précisent que le MCC n'était pas suffisamment dimensionné et n'avait pas suffisamment de recul ou d'expérience sur l'avion afin d'apporter une aide équivalente à celle qu'ils recevaient des référents du secteur. Il arrivait également que le responsable du MCC se renseigne, voire sollicite des instructions, auprès du référent du secteur avant de se prononcer. Ils indiquent que plusieurs responsables du MCC se sont succédé et qu'ils ont eu du mal à savoir qui il fallait contacter. Les pilotes avaient tendance à garder les habitudes qu'ils avaient avant la création du MCC, même après le rappel effectué le 18 janvier 2022 (voir § 4).

Enfin, deux pilotes ajoutent que les pilotes indépendants officiant comme CDB, souvent expérimentés, avaient tendance à moins inscrire de mentions dans le CRM. Ils pensent que ces pilotes craignaient d'être écartés par l'exploitant s'ils signalaient trop de défauts pouvant potentiellement immobiliser les avions.

Parmi ces pilotes que le BEA a interviewés, l'un avait déjà quitté l'exploitant, plusieurs avaient entamé une démarche en ce sens, pour diverses raisons, avant l'incident grave du 12 janvier 2022. Un autre pilote a quitté l'exploitant quelques mois après l'incident grave.

1.17.2.7.4 Coordinateur des opérations du secteur Citation

Le coordinateur des opérations du secteur Citation pour le Centre de Contrôle des Opérations (CCO) en poste entre l'été 2021 et l'été 2022 indique qu'il existait une atmosphère pesante au sein de l'exploitant entretenue par l'un des cadres ; une forme de pression psychologique confirmée par les pilotes selon lui. Le coordinateur précise qu'à sa connaissance, aucune sanction n'avait été prise à l'encontre des pilotes.

1.17.2.7.5 Chef du secteur Citation

Le chef du secteur Citation, au sujet de l'événement du 11 décembre 2021, avait compris lors de l'appel du CDB, qu'il s'agissait d'une défaillance furtive de l'anémomètre, qui n'avait duré que quelques minutes. Il avait fait directement le lien avec les événements survenus en 2017 et 2019. Il précise qu'il avait expliqué la situation aux deux membres d'équipage de ce vol. Il explique qu'il n'avait pas cherché à influencer l'équipage pour effectuer le vol retour, comme pour les autres appels des équipages. Il avait estimé que, comme la panne n'était pas réapparue sur le vol retour, il n'était pas nécessaire de lancer une action de maintenance. Il rappelle que c'est le CDB qui doit inscrire la défaillance dans le CRM et non lui. De même, il rappelle que c'est au CDB de faire un ASR.

Avec son expérience, il estimait avoir une bonne connaissance du vol et des avions, notamment de défaillances qui pouvaient être liées à une mauvaise utilisation. Il conseillait les équipages sur les actions à faire lorsqu'il était sollicité lors des appels téléphoniques au sujet de défaillances techniques. Il explique d'ailleurs que quand il demandait aux équipages de l'appeler avant d'inscrire une panne dans le CRM, c'était dans le but d'aider les équipages à la rédaction de la mention dans le CRM afin de faciliter le travail de recherche de panne par la maintenance. Il ajoute qu'il a été technicien de maintenance certifié sur avion Daher TBM. Il précise qu'il n'a jamais incité un équipage à prendre un avion avec une défaillance, qu'il laissait évidemment toute latitude aux équipages d'inscrire une panne dans le CRM. Il indique que la culture de l'exploitant n'était en aucun cas de demander aux équipages de ne pas inscrire des pannes dans le CRM. Il estime qu'il y avait une bonne culture de sécurité chez l'exploitant et que rien n'était caché. Concernant la pratique consistant à différer l'inscription des dysfonctionnements dans le CRM au retour à la base, il considère que c'est une pratique courante chez les exploitants de ce type.

Au sujet du MCC, il indique que selon lui, le premier responsable du MCC recevait énormément d'appels et qu'il n'a pas supporté la charge de travail. Il ajoute que ce dernier était technicien de maintenance Embraer, et qu'il manquait de compétences sur le secteur Citation. Il arrivait fréquemment que les responsables de MCC renvoient les équipages vers le chef de secteur Citation, parce qu'il connaissait un grand nombre de situations. Enfin, il précise que le premier responsable du MCC avait des difficultés pour utiliser les moyens modernes de communications, comme les messageries instantanées. De ce fait, le chef du secteur Citation et les équipages se contactaient directement. Selon lui, le MCC pourrait être pourvu de plusieurs spécialistes de maintenance, au moins un par secteur, mais cette configuration ne serait pas supportable financièrement par l'exploitant.

1.17.2.7.6 Responsable de la gestion de la sécurité

Le responsable SGS en fonction à la date de l'incident grave était arrivé à l'été 2021, il a quitté l'exploitant à l'été 2022. Il n'avait pas eu connaissance des événements antérieurs liés à la défaillance du circuit anémo-barométrique avant la survenue de l'incident grave.

Selon lui, il existait une différence entre le secteur Citation et les deux autres secteurs, Hawker et Embraer. Dans le secteur Citation, la majeure partie des pilotes salariés de l'exploitant étaient jeunes, avec une faible expérience et ne restaient pas très longtemps chez l'exploitant. L'exploitant faisait également appel à des pilotes indépendants qui eux, disposaient d'une plus grande expérience, mais qui se sentaient moins concernés par la culture de l'exploitant. Dans les deux autres secteurs, les pilotes étaient plus expérimentés. Il estime que le responsable SGS aurait pu encore recevoir plus d'ASR de la part des pilotes du secteur Citation, même s'il avait constaté une grande amélioration au cours des deux dernières années.

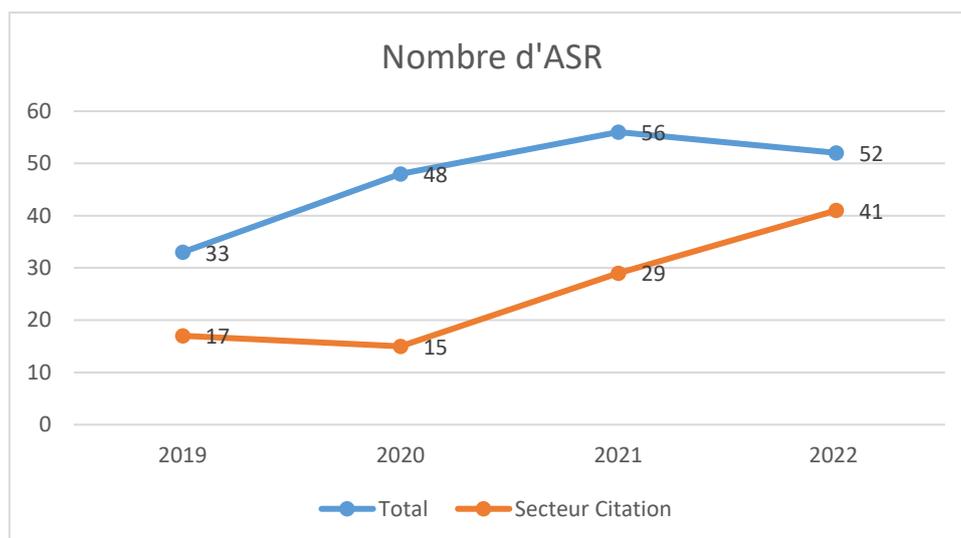


Figure 7 : nombre d'ASR (Source : Valljet)

Ce responsable SGS précise que pour certains événements, il était parfois le dernier informé, averti par le CAMO par exemple. De ce fait, il sollicitait les équipages tardivement pour obtenir des ASR pour les événements qui le nécessitaient. Le responsable SGS précise que l'exploitant communiquait régulièrement vers les pilotes, au travers de *Flight safety bulletin* ou de Flashes sécurité, pour les inciter au report des événements. Il explique que les pilotes étaient parfois réticents à reporter un événement, car l'exploitant est de petite taille et il est alors facile d'identifier un vol, un équipage. Il pouvait alors s'ensuivre une analyse et une discussion avec des référents ou des cadres de l'exploitant n'ayant pas la fonction SGS. Par ailleurs, il avait constaté une absence de prise de conscience de la gravité de certains événements par certains référents ou cadres.

Au sujet du MCC, le responsable du SGS précise qu'il pourrait être amélioré, la mission ayant été confiée, au premier semestre 2022, à un pilote et non à un opérateur de maintenance, qui ne pouvait raisonnablement se rendre disponible « 24h/24h & 7j/7j ».

Enfin, il estime que l'exploitant avait encore besoin de se structurer, il constate que les pilotes avec une faible expérience se rattachaient essentiellement aux référents.

1.17.2.7.7 Correspondant SGS vol C525/C550

Dans son manuel de gestion de la sécurité, l'exploitant identifie plusieurs pilotes comme correspondants SGS pour chaque secteur. L'une de leurs responsabilités est d'« effectuer le reporting des événements dont il a connaissance ». Le correspondant SGS vol C525/C550 n'avait pas été informé des événements antérieurs à l'incident grave.

Le correspondant SGS vol C525/C550, également pilote, indique qu'il était principalement sollicité par le responsable de la gestion de la sécurité pour fournir une analyse des différents événements rapportés par les pilotes. Il était peu sollicité directement par les pilotes par rapport à sa fonction, car les pilotes privilégiaient des échanges avec le chef de leur secteur.

1.17.3 Renseignements sur la navigation aérienne (CRNA Nord)

1.17.3.1 Renseignements sur les contrôleurs et témoignages

La position de contrôle était armée avec deux contrôleurs :

- le contrôleur radariste, notamment en charge des échanges radio sol-bord, du guidage radar des aéronefs et de la résolution tactique des conflits. Le contrôleur en poste était qualifié depuis 2000 au CRNA Nord ;
- le contrôleur organique, notamment en charge des coordinations avec les autres secteurs ou centres. Le contrôleur en poste était qualifié depuis 2006 au CRNA Nord.

Les contrôleurs précisent que la situation radar était très calme au moment de l'incident grave. Il y avait peu d'avions dans le secteur. Le contrôleur radariste précise que lorsque l'équipage a annoncé son doute sur l'altitude, le croisement avec l'Embraer 170 à 2 NM était imminent ; il était important de ne pas donner d'instruction de guidage. Il indique en effet, qu'en dessous de 5 NM (norme de séparation horizontale à cet endroit), la position des aéronefs n'est pas déterminée précisément, vu l'imprécision des systèmes radar et le retard à l'affichage de la position réelle des aéronefs. Selon lui, cette information sur la précision est acquise au cours de la formation de base des contrôleurs⁴⁴. Il faut aussi considérer le temps de réaction des équipages.

Il ajoute qu'après avoir demandé quelques précisions à l'équipage sur son altitude, il lui a demandé de couper le Mode C. La coordination avec le secteur suivant (Suisse) a été également réalisée. Il prévoyait ensuite de faire croiser l'avion avec 5 NM d'espacement par rapport aux autres aéronefs. Il explique aussi qu'il a appelé le chef de salle pour proposer d'envoyer une mission d'interception, mais vu son ressenti de la situation à bord, il a par la suite considéré cette solution inutile. Le contrôleur radariste précise qu'il avait la procédure en mémoire lors de l'incident grave et estime qu'il a de bonnes connaissances sur les informations altimétriques. Les contrôleurs indiquent qu'ils ont ensuite vérifié la fiche réflexe⁴⁵ accessible depuis leur position sur un écran annexe présentant des informations générales⁴⁶.

Le contrôleur radariste indique que lorsque l'équipage lui a demandé à quelle altitude il le voyait lors de la montée, cela ne les a pas interpellés. Ils n'ont pas réalisé qu'il y avait un problème à bord et que l'équipage avait des doutes sur son altitude. Il a traité cette vérification comme une vérification de la communication radio (*radio check*). L'avion était en phase de montée et l'équipage n'a pas fait de commentaire à ce moment-là. Par la suite, l'avion était parfaitement stabilisé à l'altitude de vol assignée. Les contrôleurs auraient souhaité que l'équipage les informe plus tôt du problème altimétrique, sur la base « *d'un doute raisonnable à bord* ». Le contrôleur organique ajoute qu'il arrive régulièrement que les équipages demandent une confirmation de l'altitude.

Les contrôleurs précisent qu'ils sont sensibilisés à ce problème de doute altimétrique, notamment au cours de la formation continue où l'incident grave du 2 juin 2010 (voir § 1.18.1) est présenté.

1.17.3.2 Renseignements sur le chef de salle et témoignage

Le chef de salle du CRNA Nord présent au moment de l'incident grave y était qualifié depuis 2000.

Il explique qu'il a été sollicité par le contrôleur radariste et le contrôleur organique afin d'essayer de déterminer l'altitude de l'avion. Il a estimé qu'envoyer une mission d'interception n'aurait pas été suffisamment efficace. Il alors contacté le CNOA pour déterminer l'altitude de l'avion avec les

⁴⁴ Cette information est également régulièrement fournie dans des briefings.

⁴⁵ Ils ont consulté la fiche réflexe « Panne transpondeur ».

⁴⁶ Outil Cigale (Chaîne d'information générale aéronautique).

moyens des organismes militaires. Il s'est rappelé que certains radars militaires avaient la capacité de mesurer les angles de site (angle d'élévation). Néanmoins, au cours de l'échange, il s'est aperçu que son interlocuteur n'avait pas de moyens supplémentaires pour déterminer l'altitude par rapport à ceux dont il disposait lui-même au CRNA Nord.

Quelques minutes après cet échange, il a été rappelé par le CNOA qui a indiqué que l'avion avait un calage altimétrique erroné, qu'il était calé à 1 040 au lieu du standard (1 013). Cette information, transférée à l'équipage via l'organisme de contrôle aérien suisse, s'est révélée être fausse, l'avion étant bien calé au 1 013. Cette information a été transmise au CNOA ; ce dernier a précisé qu'il utilisait un outil, SEPIA, propre aux organismes militaires pour déterminer cette information.

Le chef de salle estime, lorsqu'il travaille en tant que contrôleur, qu'il a peu, voire pas, de demande de confirmation d'altitude. Il considère néanmoins que cette question peut renvoyer à deux attentes :

- Recevez-vous bien mes émissions d'altitude du transpondeur ?
- L'altitude transmise par le transpondeur est-elle cohérente avec celle lue sur l'altimètre ?

Ainsi, il indique que cet événement rare n'interpelle pas nécessairement le contrôleur au sujet d'une éventuelle défaillance altimétrique à bord de l'aéronef.

1.17.3.3 Procédure en cas de doute annoncé par un pilote sur l'altitude de son vol

Le Manuel d'exploitation du CRNA Nord décline la consigne opérationnelle 11-158/10 (voir § 1.18.1.2) dans son § 13.2.5 *Doute sur l'équipement altimétrique* : « Lorsque le contrôleur constate une incohérence d'altitude sur son radar (différence de plus de 300 ft), il le signale à l'équipage et lui demande de vérifier son calage altimétrique et de confirmer son altitude / niveau de vol. Si l'anomalie persiste ou si un équipage annonce avoir des doutes sur l'intégrité de ses informations altimétriques, il faut appliquer la procédure suivante :

- *Vis-à-vis des autres vols pour lesquels la séparation est due, appliquer dès que possible une séparation latérale, ou éventuellement, une séparation verticale à partir du moment où le pilote affirme connaître la plage d'altitudes ou de niveaux dans laquelle il se situe.*
- *Demander au pilote d'arrêter d'émettre sur le Mode C*
- *Lui indiquer que le lever de doute ne peut être fait par les services de contrôle*
- *Informers le(s) secteur(s) ou le(s) centre(s) de contrôle partiellement concerné(s) par la situation ;*
- *Informers le CMCC⁴⁷/DMC⁴⁸ (Centre Militaire implanté au CRNA) concerné et le CCER⁴⁹.*

En complément, en fonction de la gravité perçue de la situation, une ou plusieurs des actions suivantes peuvent être prises :

[...]

Fournir une assistance en vol à l'équipage, soit immédiatement si ce dernier se considère en état de détresse, ou à sa demande s'il se considère en état d'urgence. L'assistance en vol peut être conduite, si nécessaire, avec le concours de la défense dans le cas de l'assistance à personne en danger. À ce titre, elle peut dans certains cas, conduire à une interception [...]. »

⁴⁷ Centre militaire de contrôle et de coordination.

⁴⁸ Détachement militaire de coordination.

⁴⁹ Centre de contrôle de la circulation d'essais et de réception.

Lors de l'incident grave, le STCA ne s'est pas déclenché, car le système de traitement des données radar a considéré que les deux aéronefs étaient séparés de 1 000 ft et stables. Lorsque le F-HGPG a achevé son message annonçant une incohérence dans ses informations d'altimétrie (message d'une vingtaine de secondes), il n'était plus qu'à 3,3 NM du F-HBXG, valeur en-deçà du minimum de 5 NM de séparation radar du CRNA.

En conséquence, le contrôleur n'était pas dans un cas où le franchissement de la norme minimale de séparation était prévisible (cas pour lequel des actions spécifiques sont prescrites), mais dans un cas où cette norme était déjà franchie (cas dans lequel des solutions diverses sont applicables et dépendent de la situation). Sur son image radar, le contrôleur a estimé la séparation à 2 NM sans confirmation et sans assurance quant à la position réelle (relative) des deux avions. Il a alors eu recours à l'action jugée la plus pertinente : délivrer une information de trafic afin de donner conscience au pilote de la situation et lui permettre d'identifier le trafic conflictuel.

1.17.4 Renseignements sur le CNOA

Le CNOA, organisme militaire en charge de la sûreté et sécurité aérienne, est l'un des interlocuteurs privilégiés des contrôleurs aériens en cas de doute sur la sûreté ou la sécurité d'un vol.

Le CNOA dispose de plusieurs sources d'informations pour ses analyses de trajectoires, utilisées dans l'outil SEPIA :

- les données des radars civils ;
- les données des radars militaires ;
- les données ADS-B, disponibles sur plusieurs sites internet.

Au cours de l'incident grave, le chef de salle du CRNA Nord a sollicité le CNOA qui lui a indiqué :

- dans un premier temps, l'altitude de l'avion, alors que le mode C du transpondeur était coupé : FL 234. L'enquête n'a pas permis de retrouver la source de cette information, néanmoins il est probable que cette information soit issue des données ADS-B, l'altitude GNSS de l'avion à cet instant étant à une altitude proche de 23 400 ft, différente de l'altitude-pression par nature ;
- dans un second temps, le calage altimétrique de l'avion : 1 040, alors qu'il était à 1 013.

Lors de l'incident grave, les données ADS-B récupérées par le CNOA relatives au calage altimétrique étaient les suivantes :

- au début du vol, un calage à 1 013 ;
- en croisière, un calage au 1 040 ;
- à la fin du vol, un calage à 1 013.

Au regard du profil du vol et du témoignage de l'équipage, ces données semblaient erronées. Par ailleurs, l'altitude sélectionnée observée dans les données ADS-B semblait également erronée. Ces deux paramètres n'étaient disponibles que partiellement au cours du vol.

L'enquête n'a pas déterminé s'il s'agissait d'un problème lié :

- au transpondeur de l'avion ;
- au traitement des données par les sites internet mettant à disposition les données ADS-B ;
- à l'outil SEPIA utilisé par le CNOA.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Incident grave similaire enquêté par le BEA, relatif à une défaillance du circuit barométrique, survenu en 2010⁵⁰

1.18.1.1 Description et conclusion de l'enquête BEA

Le 2 juin 2010, une quasi-collision s'est produite entre un Airbus A31851 d'Air France et un Pilatus PC 1252. L'A318 était au FL 290 et le PC 12, autorisé au FL 270, était au FL 290 en raison d'un problème altimétrique. L'équipage de l'Airbus a effectué une manœuvre d'évitement d'urgence. La séparation minimale entre les deux avions n'a pas pu être mesurée sur l'enregistrement radar et a été estimée par les équipages, entre 15 à 30 m horizontalement et environ 100 ft verticalement.

Dans la conclusion de son rapport d'enquête le BEA mentionne :

« Cet incident est dû à une fuite au niveau du circuit de pression statique alimentant le système anémo-barométrique en place gauche. Cette fuite a entraîné la fourniture d'informations d'altitude et de vitesse erronées et a amené le PC 12 à évoluer à un niveau conflictuel avec le vol Air France sans que le risque de collision entre les 2 avions puisse être détecté ni par le contrôle aérien, ni par les systèmes d'anticollision tels que le filet de sauvegarde (STCA) ou les systèmes ACAS.

Le niveau de vol affiché sur les systèmes sol ne permettait pas de lever le doute et a, ainsi, conforté l'ensemble des acteurs (équipage et contrôleurs) sur un niveau de vol erroné de l'avion. De ce fait, l'équipage n'a pas recherché davantage les causes de l'incohérence de la vitesse observée sur l'ensemble en place gauche. »

1.18.1.2 Recommandations de sécurité et mesures prises à la suite de cet incident grave

« Procédures équipages »

L'enquête avait *« montré que l'équipage disposait d'informations pour détecter l'erreur anémométrique côté pilote et que la seule lecture des altimètres ne permettait pas de détecter l'erreur.*

Or, au regard de la conception des circuits, une panne sur le circuit anémométrique et barométrique peut avoir des conséquences sur les valeurs indiquées à bord tels que la vitesse indiquée, le niveau de vol et la vitesse verticale. Par exemple, une incohérence de la vitesse indiquée peut être liée à une erreur de l'altitude affichée et vice versa.

Une recherche effectuée auprès de plusieurs constructeurs d'avions avait montré que les procédures sur la conduite à tenir par les équipages en cas d'incohérence d'altitude étaient soit incomplètes, soit inexistantes. »

En conséquence le BEA a recommandé à l'AESA :

- *« que des procédures du manuel de vol relatives aux situations d'altitude douteuse ou erronée soient complétées ou élaborées par les constructeurs ;*
- *que ces cas soient considérés comme des situations d'urgence devant être déclarées par les équipages sans délai aux services de la circulation aérienne. »*

⁵⁰ [Incident grave survenu à l'Airbus A318 immatriculé F-GUGJ exploité par Air France et au Pilatus PC 12 immatriculé EC-ISH le 2 juin 2010 en croisière.](#)

⁵¹ Avion répondant aux critères de certification CS 25.

⁵² Avion répondant aux critères de certification CS 23.

En réponse à la première recommandation du BEA, l'AESA avait alors répondu que Pilatus avait mis à jour les procédures de son manuel de vol et qu'elle considérait que cette recommandation pouvait être close. En 2021, l'AESA a indiqué au BEA qu'aucune action spécifique n'avait été entreprise depuis cet événement, notamment vis-à-vis des autres constructeurs » (voir § 1.18.2.3).

« Direction des services de la navigation aérienne (DSNA)

Ce type d'incident, particulièrement grave, présente la particularité d'être indétectable par les services de contrôle et par les différents systèmes de détection de conflits tels que le filet de sauvegarde (SCTA) ou l'ACAS. Par ailleurs, dans la réglementation en vigueur, il n'existe aucune disposition prévoyant la gestion spécifique d'un vol dès lors qu'un pilote émet un doute sur sa position verticale. »

Le BEA a recommandé à la DSNA qu'elle « mette en œuvre, dans les plus brefs délais, une procédure d'urgence pour que le contrôle aérien assure un volume de sécurité autour d'un aéronef dès que l'équipage émet un doute sur sa position verticale et sans attendre la déclaration par celui-ci d'une situation de détresse ou d'urgence. »

À la suite de l'incident grave, la DSNA avait élaboré puis diffusé la consigne opérationnelle 11-158/10 applicable en cas de doute annoncé par le pilote d'un vol IFR sur l'altitude de son vol. Cette consigne a été mise en application le 21 juillet 2010 par tous les organismes de contrôle (CRNA et SNA).

En application de cette consigne, dans une situation de doute sur l'altitude d'un vol IFR, le contrôleur doit, entre autres, appliquer dès que possible une séparation latérale vis-à-vis des autres vols, demander au pilote d'arrêter d'émettre son mode C et lui indiquer que le lever de doute ne peut être fait par les services de contrôle.

1.18.2 Incident grave similaire enquêté par le BEA, relatif à une défaillance du circuit barométrique, survenu en 2020⁵³

1.18.2.1 Description et conclusion de l'enquête BEA

Le 14 août 2020, le pilote d'un Cessna 525A CJ2⁵⁴ a rencontré des difficultés techniques au décollage de l'aérodrome Paris-Le Bourget. En particulier, il a constaté des incohérences d'informations d'altitude et de vitesse affichées entre les différents instruments dont il disposait. Le pilote n'a pas appliqué la procédure bord dédiée aux situations d'incohérences des informations d'altitude et de vitesse affichées au PFD. Il a cherché à lever le doute avec l'aide de la contrôleuse. Cela a conduit les acteurs à se fier à l'ensemble anémo-barométrique qui était associé au transpondeur donnant lieu ainsi à une situation de biais de confirmation – cet ensemble était celui qui fournissait une information erronée. Ainsi au cours de l'incident grave, la contrôleuse a demandé au pilote évoluant dans la couche nuageuse de descendre à 1 500 ft, l'altitude affichée au radar étant proche de 3 000 ft, alors que l'altitude réelle de l'avion était de l'ordre de 1 300 ft. Une alarme EGPWS de proximité du terrain s'est déclenchée à bord. Lors des examens de l'avion après le vol de l'incident grave, un insecte et du sable ont été trouvés dans un port statique.

⁵³ [Incident grave survenu au Cessna 525A immatriculé N222NF le 14/08/2020 près du Bourget \(93\).](#)

⁵⁴ Avion répondant aux critères de certification CS 23.

1.18.2.2 Procédures et formations des contrôleurs en cas de doute annoncé par un pilote sur l'altitude de son vol

Le paragraphe 3.4.4 du rapport d'enquête mentionne : « *la consigne opérationnelle (11-158/10) en cas de doute annoncé par un pilote sur l'altitude de son vol est intégrée dans le Manuel d'exploitation TWR/APP de Paris-Charles de Gaulle dans le chapitre 2 Procédures d'urgence.* »

Au moment de l'événement, la défaillance d'une chaîne altimétrique n'était pas évoquée lors des formations initiales et continues à Paris-Charles de Gaulle.

La procédure d'urgence était disponible dans le Manuel d'exploitation mais elle ne faisait pas l'objet d'un traitement particulier sous forme d'une fiche reflexe d'urgence ou d'une check-list.

La DSNA indique qu'entre 2010 et 2016, cette thématique de sécurité était systématiquement au programme des stages de maintien de compétences des contrôleurs de toutes ses unités. La consigne opérationnelle (11-158/10) était rappelée et l'incident grave de 2010 était utilisé comme illustration à cette occasion. Pour rappel, chaque contrôleur est soumis à ce maintien de compétences tous les trois ans. Les supports de ces formations sont communs à tous les contrôleurs d'une même unité de contrôle et sont modifiés tous les trois ans.

La DSNA explique que différentes unités ont depuis privilégié d'autres thématiques de sécurité pour certaines de leurs formations triennales. »

1.18.2.3 Recommandations de sécurité (émises en octobre 2022) et mesures prises à la suite de cet événement

« Procédures des constructeurs relatives aux situations d'altitude douteuse ou erronée »

Le BEA a recommandé que :

- *« considérant que la procédure « AMBER ROLL, PIT, ATT, HDG, ALT or IAS (Comparator monitor alerts) » est commune à tous les Cessna Citation C525 quels que soient leurs équipements ;*
- *considérant que la procédure « AMBER ROLL, PIT, ATT, HDG, ALT or IAS (Comparator monitor alerts) » est inadaptée et incomplète pour un Cessna Citation 525-A, équipé en option d'un troisième PFD et d'un deuxième ADC : dans le cas d'une défaillance de la chaîne baro-anémométrique n°2, la procédure conduit le pilote à suivre une source anémo-barométrique erronée ;*
- *considérant que la procédure Cessna omet de mentionner la sélection du transpondeur alimenté par la chaîne anémo-barométrique identifiée comme valide;*

la FAA veille à ce que la procédure du manuel de vol du Cessna Citation 525 soit mise à jour afin que les pilotes disposent d'une procédure spécifique de traitement des incohérences des informations anémo-barométriques, adaptée la configuration de l'avion concerné.

[Recommandation FRAN-2022-012]

Lors de l'enquête menée par le BEA en 2010, il avait été identifié que les procédures de plusieurs constructeurs sur la conduite à tenir par les équipages en cas d'incohérence d'altitude étaient soit incomplètes, soit inexistantes. En conséquence le BEA avait recommandé à l'AESA que des procédures du manuel de vol relatives aux situations d'altitude douteuse ou erronée soient complétées ou élaborées par les constructeurs. L'AESA avait alors répondu que le constructeur Pilatus avait mis à jour sa procédure au cours de l'enquête et que l'agence pouvait considérer que le statut de cette recommandation était clos.

Le BEA rappelle la recommandation de sécurité émise en 2010 et qui n'a pas été appliquée aux aéronefs autre que le Pilatus PC 12 à ce jour : « En conséquence le BEA recommande à l'AESA que des procédures du manuel de vol relatives aux situations d'altitude douteuse ou erronée soient complétées ou élaborées par les constructeurs ; »

En conséquence, le BEA a recommandé à nouveau que :

- « considérant que l'enquête menée, 10 ans plus tard, montre qu'il subsiste toujours des procédures incomplètes sur la conduite à tenir en cas d'incohérences des informations d'altitude ;

l'AESA en liaison avec les autorités primaires de navigabilité des avions mette en œuvre la recommandation en ne se limitant pas au cas particulier du Pilatus PC 12.

[Recommandation FRAN-2022-013] »

« Procédure d'urgence des services de la navigation aérienne liées aux situations d'altitude douteuse ou erronée »

Le BEA a recommandé que :

- « considérant qu'un certain nombre de contrôleurs n'ont pas conscience que l'information d'altitude qu'ils visualisent sur leurs écrans de contrôle provient uniquement du transpondeur de l'avion ;

la DSNA s'assure, qu'en complément de l'enseignement de la procédure d'urgence « doute annoncé par le pilote sur l'altitude de son vol », tous les contrôleurs en activité aient une connaissance correcte du principe de recueil de l'information altimétrique dont ils disposent sur leurs écrans.

[Recommandation FRAN-2022-016] »

1.18.2.4 Suites données aux recommandations de sécurité (émises en octobre 2022)

Recommandation [FRAN-2022-012]

À la mi-avril 2023, la FAA n'a pas répondu encore à la recommandation du BEA.

Recommandation [FRAN-2022-013]

Fin janvier 2023, l'AESA a informé le BEA, en réponse à sa recommandation, qu'elle a adressé un élément de révision du maintien de la navigabilité (CARI⁵⁵) aux différents titulaires de certificats de type TCH⁵⁶ d'aéronefs relevant des certifications CS 23, CS 27 et CS 29, ainsi qu'aux titulaires de certificats de type supplémentaires STCH⁵⁷ relatifs à l'avionique et/ou aux systèmes « données air » pour ces aéronefs. Ce CARI demande aux titulaires d'un agrément de conception DOA⁵⁸ de revoir les procédures opérationnelles en ce qui concerne des incohérences ou des écarts de « données air ».

Le BEA a considéré que la réponse de l'AESA était adéquate.

⁵⁵ Continuing Airworthiness Review Item.

⁵⁶ Type Certificate Holders.

⁵⁷ Supplemental Type Certificate Holders.

⁵⁸ Design Organisation Approval (DOA).

En mai 2023, l'AESA précise qu'elle n'a reçu des retours que des organismes disposant d'un DOA AESA (ce qui n'est pas le cas de Textron Aviation). L'AESA indique que pour les types d'avions comparables au Cessna 525, les procédures idoines semblent disponibles, mais qu'elles peuvent être améliorées en termes de changement de la source du transpondeur et d'information au contrôleur. L'AESA ajoute que certains TCH et STCH ont déjà modifié leurs procédures dans ce sens. Le sujet sera discuté prochainement au sein de l'AESA pour définir si des actions sont nécessaires.

L'AESA explique que le CARI a été envoyé à la FAA ainsi qu'aux Autorités de l'Aviation civile du Canada (TCCA), du Brésil (ANAC-Brazil) et du Royaume-Uni (CAA-UK) et qu'elle n'a pas eu de retour de leur part à ce stade. L'AESA ajoute enfin que Textron Aviation, ainsi que la FAA, l'Autorité compétente, ont été mis au courant du sujet.

Recommandation [FRAN-2022-016]

En février 2023, la direction de la sécurité de la DSNA a informé le BEA que la recommandation [FRAN-2022-016] du BEA était prise en compte et qu'elle va s'attacher à effectuer une action globale de rappel à destination des contrôleurs aériens en activité du principe de recueil de l'information altimétrique dont ils disposent sur leurs écrans.

Le BEA attend d'avoir confirmation de la mise en œuvre de mesures concrètes, avant de statuer sur cette réponse. À la mi-avril 2023, cette action est toujours en cours à la DSNA.

1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces

Sans objet.

2. ANALYSE

2.1 Introduction

Au cours de la montée du Cessna 525, après une variation soudaine d'assiette à cabrer sous pilote automatique en mode IAS, l'équipage a constaté des vitesses erratiques sur l'anémomètre de l'ensemble 1. Après une courte phase de pilotage manuel, la montée a été poursuivie sous pilote automatique en mode VS. Plus tard, approchant le niveau de croisière, l'équipage s'est rendu compte d'un écart d'altitude entre les deux altimètres (ensemble 1 et ensemble 2). Le lever de doute, effectué avec l'aide du contrôleur disposant du niveau de vol diffusé par le transpondeur de l'avion sur son écran radar, n'a pas permis à l'équipage d'identifier que les indications altimétriques de l'ensemble 1 étaient erronées. La montée a été poursuivie vers le niveau de croisière sur la base d'une altitude erronée.

En croisière, après avoir constaté les écarts d'indications des altimètres gauche et droit, l'équipage a prévenu le contrôleur de la défaillance altimétrique à bord. Ce dernier a alors informé l'équipage d'un trafic (un Embraer 170) convergent à 2 NM a priori, 1 000 ft plus haut. Le trafic était en réalité plus bas (la séparation minimale a été évaluée à 665 ft et 1,5 NM). Aucun système d'anticollision, au sol ni à bord de l'Embraer 170, n'a émis d'alerte, les systèmes ayant analysé des données erronées provenant du Cessna 525. Par la suite, le contrôleur a demandé à l'équipage de désactiver le Mode C du transpondeur, il s'est coordonné avec les services de contrôle suisse et le vol s'est poursuivi jusqu'à Genève, sa destination.

Par ailleurs, le chef de salle du centre de contrôle a essayé de déterminer l'altitude réelle de l'avion avec l'aide du CNOA, néanmoins ce dernier n'avait pas d'information d'altitude supplémentaire. Cependant, un autre paramètre, le calage altimétrique de l'avion, partagé par le CNOA au contrôleur, s'est avéré être erroné. L'enquête n'a pas permis de déterminer l'origine de cet écart.

L'analyse de l'incident grave porte sur les points suivants :

- l'origine de la défaillance du circuit anémo-barométrique du F-HGPG ;
- le traitement de la défaillance du circuit anémo-barométrique du F-HGPG par l'exploitant Valljet ;
- le report des événements de sécurité chez l'exploitant Valljet ;
- le doute de l'équipage sur l'altitude de son vol ;
- l'analyse du risque que constitue la défaillance d'une chaîne barométrique.

2.2 Origine de la défaillance du circuit anémo-barométrique du F-HGPG

La défaillance du circuit anémo-barométrique de l'ensemble 1 (altimètre et anémomètre du CDB) était déjà survenue à plusieurs reprises sur l'avion.

En 2017, le CDB avait noté dans le CRM une « *panne anémomètre gauche suivie d'une erreur altimètre gauche* ». Il s'ensuivit une opération de maintenance au cours de laquelle des pollutions ont été trouvées dans le circuit anémométrique (mesure de pression Pitot) gauche.

En 2019, le CDB désigné avait noté dans le CRM : « *Static cdb inop* ». Aucun défaut n'avait été identifié au cours de l'opération de maintenance. L'action de maintenance s'était focalisée sur le circuit de mesure altimétrique.

Au regard des travaux engagés au cours de ces interventions de maintenance, il apparaît que l'atelier de maintenance Textron Aviation Paris Service Center n'a pas fait le lien entre les deux défaillances rapportées. Il n'a pas engagé de travaux allant au-delà du manuel de maintenance du constructeur Textron Aviation et en l'occurrence, l'ensemble des conduites n'ont pas été inspectées de manière approfondie.

En 2022, à la suite de l'incident grave, des examens ont été menés par le BEA allant au-delà des préconisations du manuel de maintenance du constructeur dans sa version applicable à cet avion, modifié selon le SB525-34-41 (RVSM). Ces examens étaient essentiellement basés sur le manuel de maintenance, mais incluaient également des actions de démontage permettant un examen visuel détaillé de chaque élément de la chaîne anémo-barométrique. Ces actions d'inspection détaillée de démontage sont mentionnées dans la tâche relative au troubleshooting du système anémo-barométrique du manuel de maintenance applicable aux Cessna 525 n'ayant pas été modifiés selon le SB525-34-41 (contrairement au F-HGPG). Ces examens n'ont pas permis d'identifier avec certitude l'origine de la défaillance.

Les symptômes rapportés par les pilotes lors des événements survenus en 2017, 2019, 2021 et 2022 (augmentation de la vitesse indiquée en montée, différence entre les deux altimètres et disparition des anomalies lors de la descente) laissent penser que :

- la défaillance se situait probablement au niveau de la conduite souple entre la sonde Pitot et l'anémomètre de l'ensemble 1. Elle a pu prendre la forme d'une obstruction totale ou partielle en un point ;
- la cause de l'obstruction était très probablement d'ordre environnemental (eau liquide ou givre, qui aurait disparu lors de la descente).

La présence d'un point bas dans la conduite souple de la sonde Pitot gauche a pu créer des conditions propices à l'obstruction partielle ou totale.

L'examen d'un autre Cessna Citation de la flotte de l'exploitant Valljet semble mettre en évidence que le cheminement de la conduite souple peut faire apparaître un point bas suivant la façon dont celle-ci est installée.

Le constructeur Textron Aviation a précisé :

- qu'il n'a pas connaissance d'événement en service relatif à la défaillance d'un circuit anémo-barométrique ;
- qu'il n'a pas de retour concernant la longueur de la conduite souple de la part de ses clients ;
- que le cheminement des conduites souples doit respecter les bonnes pratiques afin d'éviter l'apparition d'un point bas. Textron Aviation a mentionné une circulaire de la FAA comme référence pour cette bonne pratique, mais n'a pas inclus d'information au sujet de celle-ci dans sa documentation applicable aux Cessna 525 produits avant 1996.

À la suite des examens menés avec le BEA, ayant conduit à la dépose et au remplacement de la sonde Pitot de l'ensemble 1 et de la conduite souple en éliminant le point bas, l'avion a été remis en service début mars 2022. À la mi-avril 2023, aucune défaillance du circuit anémo-barométrique n'a de nouveau été rapportée.

2.3 Historique en service et traitement des défaillances du circuit anémo-barométrique du F-HGPG

La défaillance du circuit anémo-barométrique de l'ensemble 1 (altimètre et anémomètre du CDB) était déjà survenue à plusieurs reprises sur l'avion :

- en 2017, avec un retour sur l'aérodrome de départ (base des opérations), une inscription d'une mention dans le CRM et la rédaction d'un ASR ; une action de maintenance s'en était suivie ;
- en 2019, avec l'inscription d'une mention partielle dans le CRM, sur le vol suivant, de retour à la base des opérations, et sans ASR ; une action de maintenance focalisée sur une recherche de défaillance barométrique s'en était suivie ;
- en 2021, un mois avant l'incident grave, sans inscription d'une mention dans le CRM ni ASR, mais avec uniquement des échanges verbaux non formalisés avec le chef du secteur Citation et quelques autres pilotes.

2.3.1 Inscription d'une mention dans le CRM

La situation observée d'écart significatif entre les deux altimètres (jusqu'à 4 000 ft d'écart observé en 2017) et d'indications erronées sur l'anémomètre de l'ensemble 1 à partir du milieu de la montée jusqu'au milieu de la descente, doit règlementairement conduire :

- à l'inscription de la panne dans le CRM à l'issue du vol par le CDB ;
- du fait de l'absence d'item correspondant sur la MEL, à considérer que l'avion ne répondait plus aux conditions de navigabilité et qu'il était inapte au vol (AOG). Une opération de maintenance était nécessaire pour la remise en service.

Ces actions ont été réalisées après l'événement de 2017.

Lors de l'événement de 2019, le chef du secteur Citation s'est basé sur son expérience personnelle pour qualifier la panne, à partir de l'événement de 2017 porté à sa connaissance à l'époque, et des actions de maintenance associées. Cette expérience l'a amené à indiquer dans le CRM le système qu'il pensait défaillant (port statique défectueux) et non d'y préciser les symptômes rencontrés en vol. Il avait choisi de maintenir le vol suivant, avec des passagers, vers la base des opérations de l'exploitant, où il a renseigné le CRM.

En 2021, c'est également sur la base de son expérience personnelle qu'il a échangé avec l'équipage et que le vol retour avec des passagers a été maintenu. La défaillance ne s'étant pas manifestée sur le vol retour, l'équipage n'a pas mentionné la panne dans le CRM.

Informé de l'ensemble des événements, le chef du secteur Citation ne s'est pas rapproché des entités SGS et CAMO pour les informer de la défaillance répétitive. Le report de cet événement s'est dégradé au fil du temps, jusqu'à l'absence de report règlementaire de la défaillance dans le CRM un mois avant l'incident grave.

L'inscription d'une mention dans le CRM en 2017, l'inscription d'une mention partielle dans le CRM en 2019 et l'absence d'inscription d'une mention dans le CRM en 2021 n'ont pas permis d'action de maintenance adaptée, en coopération avec le constructeur, pour identifier et traiter la défaillance répétitive. L'absence, pour cet avion, de TSM ou de tâche de maintenance spécifique à la recherche de ce type de panne rend l'assistance du constructeur souhaitable pour une recherche de panne efficace.

Le chef du secteur Citation a indiqué au BEA que son objectif était, lorsqu'il est sollicité au téléphone, d'aider les équipages à la rédaction de la mention dans le CRM afin de faciliter le travail de recherche de panne par la maintenance. Cependant, lors de la survenue de l'événement de 2019, la mention par le chef du secteur Citation d'une défaillance au niveau du port statique, qu'il croyait à l'origine des écarts observés sur l'altimètre et l'anémomètre, n'était pas de nature à aider la maintenance à identifier le lien possible avec l'événement de 2017 ni à inciter la maintenance à s'engager dans un examen plus approfondi de l'ensemble de la chaîne anémo-barométrique, en relation si nécessaire avec le constructeur. En 2021, après le vol de l'événement, le CDB a contacté le chef de secteur dont l'analyse a probablement contribué à ce que la panne ne soit pas mentionnée dans le CRM. L'absence de mention dans le CRM de cet événement n'a pas permis à la maintenance de prendre conscience du caractère répétitif d'un problème de mesure anémo-barométrique sur le F-HGPG et du besoin de le résoudre avant tout prochain vol. La tendance du chef de secteur Citation à chercher à faire une analyse technique des pannes avant de les reporter dans le CRM, plutôt que d'inviter les pilotes à simplement reporter dans le CRM le constat des défaillances fonctionnelles observées en vol, comme le demande l'exigence CAT.GEN.MPA.105 de l'« Air Ops »⁵⁹, peut être de nature à compliquer la recherche par l'organisme de maintenance des éventuels défauts techniques et leur rectification, allant ainsi à l'encontre de l'objectif affiché.

L'exploitant réalisant des vols à la demande, il lui est plus difficile de disposer d'une assistance de maintenance en ligne sur l'ensemble des aérodromes où ses avions sont amenés à se rendre. Ceci a probablement favorisé la pratique mentionnée par le chef du secteur Citation, consistant à différer l'inscription des dysfonctionnements dans le CRM de retour à la base, notamment lorsqu'il s'agit de dysfonctionnements transitoires. Selon lui, il s'agit d'une pratique courante chez les exploitants réalisant des opérations de même nature. Cette pratique a pu inciter le CDB de l'événement de 2021 à ne faire aucune mention de la défaillance dans le CRM, celle-ci ne s'étant pas produite à nouveau sur le vol retour. Il est du ressort de l'exploitant (et de son CAMO) de mettre en place les procédures nécessaires au traitement des pannes, dont celles se produisant en dehors des sites supportés par un organisme de maintenance.

Enfin, il est possible que le statut de certains pilotes CDB employés par l'exploitant, et la nature de leur relation avec l'exploitant, favorise ces pratiques. En effet, l'exploitant emploie des pilotes indépendants (*freelance*) pour réaliser certains vols. C'était notamment le cas pour le vol du 11 décembre 2021 au cours duquel la défaillance n'a pas été inscrite dans le CRM. Il peut demeurer une volonté de ces CDB de ne pas compromettre les opérations en vol et d'immobiliser les avions. Certains pilotes interviewés au cours de l'enquête mentionnent que certains CDB indépendants minimisent ainsi des défaillances, possiblement par crainte qu'un report trop systématique de défaillances constatées par eux ne conduise l'exploitant à ne plus faire appel à leurs services. Ceci peut également être rapproché du témoignage du responsable du SGS selon lequel ces pilotes indépendants se sentent moins impliqués dans le fonctionnement de l'exploitant.

2.3.2 Analyse sous l'angle SGS

Les événements survenus en 2019 et 2021 n'ont pas fait l'objet d'un compte rendu obligatoire (voir § 1.17.1), contrairement à l'événement survenu en 2017 et à l'incident grave de 2022 :

- en 2019, il semble y avoir eu un quiproquo entre les deux pilotes à bord sur la désignation du rédacteur ;

⁵⁹ Op. cit. § 1.6.1.

- en 2021, le copilote a, a priori, tenté de renseigner un ASR, mais sa démarche initiale n'a pas abouti et il n'a pas renouvelé l'opération.

La réglementation établit qu'il incombe en priorité au CDB de rendre compte des événements.

En 2019, l'équipage avait utilisé le transpondeur de l'ensemble 2 rapidement après la survenue de la panne. L'analyse de la situation était probablement correcte, contrairement à l'analyse menée par l'équipage lors de l'événement de 2021 qui avait conclu que l'altimètre de l'ensemble 2 était défaillant. L'événement de 2019 était donc riche d'enseignements vis-à-vis de l'analyse de la panne, mais aussi pour l'identification du risque de décrochage. Au cours des événements, les équipages ont rapporté l'absence de déclenchement du *stick shaker*, l'incidence atteinte étant probablement inférieure à l'incidence de son déclenchement et, a fortiori, à l'incidence de décrochage.

Le document remis au BEA (voir § 1.17.2.5), reprenant le modèle de sécurité de l'exploitant, sur lequel il reportait les ASR considérés comme pertinents au regard de chaque risque identifié, ne fait apparaître aucun des trois événements antérieurs identifiés dans ce rapport. Par conséquent, en l'absence de notification ou de prise en compte appropriée de ces notifications de manière transverse, ces événements n'ont pas été analysés en s'appuyant sur ce modèle de sécurité. Ainsi, l'exploitant n'avait pas su, avant la survenue de l'incident grave du 12 janvier 2022 :

- apprécier le caractère répétitif de ce dysfonctionnement et donc se rendre compte de son niveau d'exposition à différents risques associés au dysfonctionnement d'une chaîne anémo-barométrique ;
- questionner sa maîtrise réelle de ces risques.

En particulier, alors que l'exploitant disposait d'une méthodologie d'analyse des risques basée sur l'évaluation des barrières séparant l'événement survenu de l'événement ultime redouté, les trois événements antérieurs ne l'avaient pas amené à :

- noter l'absence de procédure opérationnelle relative à une défaillance anémo-barométrique ;
- noter l'absence d'alarme spécifique à ce type de dysfonctionnement sur cet avion ;
- noter que le système ACAS ne pouvait pas être considéré comme une barrière fiable face au risque de collision en vol découlant de ce type de dysfonctionnement ;
- sensibiliser, voire former, les équipages à ce type de dysfonctionnement et à l'ensemble des conséquences possibles et notamment rappeler l'importance d'une information rapide vers le contrôleur ;
- considérer la barrière que constitue l'analyse des CRM relatifs à des défaillances sur l'équipement et leur traitement correct par la maintenance.

À l'issue de l'incident grave, en parallèle de l'enquête du BEA, l'exploitant a entrepris différentes actions visant à renforcer certaines des barrières préidentifiées dans la cartographie des risques (voir § 4).

2.4 Report des événements de sécurité chez l'exploitant Valljet

L'enquête a montré qu'au sein du secteur Citation de l'exploitant, les pratiques en matière de report des événements de sécurité, et notamment en matière de report de défauts technique constatés en vol, étaient inadaptées.

Cela se traduisait notamment par la sollicitation excessive et quasi exclusive de l'avis du chef de secteur, y compris pour des problématiques techniques. La mise en place du MCC quelques mois avant la survenue de l'incident grave du 12 janvier 2022 aurait pu modifier pour partie ces pratiques. L'efficacité de cette action n'a pas été démontrée avant la survenue de cet incident grave.

De plus, il a été observé l'absence de report formel systématique ou des reports réalisés a posteriori, notamment de retour sur la base, pour ce qui concerne l'inscription d'une mention dans le CRM. Ces observations, ainsi que les témoignages qui ont été recueillis auprès de plusieurs pilotes et responsables de l'exploitant, tendent à montrer qu'il y avait des pratiques visant à ne pas compromettre les engagements opérationnels et commerciaux, même lorsque des dysfonctionnements relevant de la navigabilité des avions étaient identifiés. Pour pallier ces reports défectueux, l'agent CAMO du secteur Citation a mis en place une liste non officielle pour chaque avion de défauts dont il avait connaissance par d'autres canaux que le CRM, afin de les traiter dans le cadre de la maintenance malgré tout. Le vol du 28 février 2019, s'agissant d'un vol sous supervision d'un CDB en formation avec le chef du secteur Citation à bord, peut laisser penser qu'il s'agit d'une culture ancrée chez l'exploitant, ce type de vol devant logiquement être exemplaire.

La mise en place d'une gestion parallèle pour le report des défaillances (messagerie instantanée, liste non officielle de l'agent CAMO, échanges verbaux entre pilotes) va dans le sens de l'existence d'une telle culture chez l'exploitant. Cette gestion parallèle, probablement liée à une organisation instable et variable, ne favorise pas le traitement efficace de ces défaillances, par exemple dans le cadre du SGS. L'exploitant a connu une forte croissance au cours des dernières années. Les témoignages recueillis pointent un manque de structure au sein de l'organisation.

Par ailleurs, le MCC, qui avait une vocation initiale technique affirmée lors de sa création en novembre 2021, s'est vu attribuer comme points de contact en juin 2022 (soit plusieurs mois après l'incident grave) les référents des opérations en vol (chefs de secteur). Cette transformation paraît acter la priorisation des aspects opérationnels vis-à-vis des aspects techniques chez l'exploitant. De plus, la nature même du MCC tel que défini chez l'exploitant Valljet, l'ajout d'un intermédiaire voire d'un filtre entre un CDB et le CRM, semble aller à l'encontre de l'exigence réglementaire qui demande au CDB d'enregistrer : *« à la fin du vol, les données d'utilisation et tous les défauts connus ou présumés de l'aéronef dans le compte rendu matériel (CRM) ou le carnet de route de l'aéronef afin de garantir la continuité de la sécurité des vols »*.

Ces lacunes observées en matière de notification des événements et d'enregistrement des dysfonctionnements pourraient s'expliquer par le sentiment d'absence de « culture juste » exprimé par des pilotes et certains responsables. Des pilotes ont indiqué au BEA qu'ils en arrivent à percevoir certaines décisions opérationnelles (absence de programmation de vol par exemple) comme des sanctions à la suite d'un refus de leur part de certaines sollicitations jugées non sûres ou de certaines décisions ne favorisant pas les opérations commerciales. Ils indiquent qu'ils n'ont pas connaissance de sanctions avérées. Règlementairement, les obligations relatives à la déclaration d'événements de sécurité sont formulées de façon assez large et assorties de garanties solides de protection pour les personnes rapportant ces événements. De ce fait, une sanction prise pour un motif lié à la déclaration d'un défaut technique pourrait aisément être juridiquement contestée.

Le niveau de sécurité paraît être perçu de manière différente entre les pilotes et une partie de l'encadrement. L'ensemble de ces points met en péril la culture de sécurité de l'exploitant Valljet.

Enfin, l'enquête met en évidence que des pratiques inadaptées ont perduré :

- absence d'inscription dans le CRM, ou report de l'inscription au retour à la base ;
- gestion parallèle pour le report des défaillances (sollicitation quasi systématique du chef de secteur Citation, fonctionnement non conforme mis en place par l'agent CAMO du secteur Citation) ;
- absence d'ASR.

Les cadres ou référents, notamment le premier responsable du MCC, le chef du secteur Citation et l'agent CAMO du secteur Citation, et certains pilotes avaient connaissance de telles pratiques. L'enquête n'a permis de déterminer si le dirigeant responsable avait conscience de ces pratiques.

2.5 Doute de l'équipage sur l'altitude de son vol

Après avoir détecté l'écart d'altitude, l'équipage du F-HGPG interroge le contrôleur sur l'altitude de son vol. Ce dernier répond à la question en donnant l'information qu'il lit sur son écran radar. L'information transmise conforte initialement l'équipage dans une analyse erronée de la panne. En effet, à ce stade de l'analyse de la panne, l'équipage n'intègre pas que l'information fournie par le contrôleur n'est autre que celle élaborée par les systèmes de l'avion, en l'occurrence par l'ensemble 1 (côté CDB). Ce type de vérification à la demande de l'équipage (qui dans l'incident grave suit une demande de *radio check*) semble être un événement relativement commun, selon le témoignage du contrôleur en poste. Cela ne l'a pas amené à suspecter un problème altimétrique à bord, même s'il avait été sensibilisé à l'incident grave de 2010 (voir § 1.18.1). Il n'a pas cherché à lever le doute sur un éventuel doute à bord ni à fournir une assistance complémentaire.

Plusieurs minutes plus tard, le CDB a informé le contrôleur des incohérences d'indications altimétriques à bord et du fait que, très probablement, l'avion était plus haut que ce que le contrôleur pouvait consulter sur son écran (information transmise par le transpondeur). Ce n'est qu'à ce moment que le contrôleur a pris conscience de la situation. À ce stade, n'ayant que deux ensembles de mesure d'altitude à bord, l'équipage n'a pas pu confirmer de manière définitive quel altimètre était défaillant. Les incohérences des indications de l'anémomètre de l'ensemble 1 constituaient cependant une donnée utile qui auraient pu orienter l'équipage vers l'hypothèse d'une défaillance de la chaîne anémo-barométrique de l'ensemble 1.

Lors de l'événement survenu un mois plus tôt, l'équipage avait fait une analyse erronée de la défaillance. Il avait considéré que l'information de l'altimètre de l'ensemble 1 était pertinente, parce qu'elle était identique à celle lue sur le transpondeur 1.

La documentation de bord ne contenait aucune procédure de traitement de cette panne. L'absence de procédure à bord des avions impliqués avait été identifiée par le BEA au cours des enquêtes sur des incidents graves impliquant un PC 12 en 2010 (voir § 1.18.1) et un Cessna Citation en 2020 (voir § 1.18.2). Des recommandations de sécurité à destination de l'AESA avaient été émises en ce sens. Les actions associées n'avaient pas permis d'améliorer la situation pour ce qui concerne les procédures sur des aéronefs autres que le PC 12 à la date de l'incident grave.

Après la gestion de la situation d'urgence liée au croisement entre le F-HGPG et le F-HBXG, le contrôleur, ayant la procédure « *doute annoncé par l'équipage sur l'altitude de son vol* » en mémoire, a :

- demandé de désactiver l'alticodeur du F-HGPG ;
- envisagé de lancer une mission d'interception par le CNOA, pour vérifier l'altitude du vol.

Ce deuxième point a été rapidement écarté au regard de l'analyse de la panne faite par l'équipage et de la proximité de la destination.

Lors de ses échanges avec le CNOA, le chef de salle du centre de contrôle a demandé une évaluation de l'altitude du F-HGPG. Cependant, il s'est rapidement aperçu que le CNOA n'avait pas beaucoup plus d'informations fiables que lui : il s'agissait uniquement d'informations provenant de l'avion et potentiellement erronées. Le CNOA lui a transmis des données, notamment une altitude, qui étaient probablement de source GNSS et plus tard, l'information du calage altimétrique de l'avion qui s'est avérée être erronée (sans lien avec la défaillance de l'altimètre de l'ensemble 1).

Enfin, le contrôleur, pour clore l'événement, s'est reporté à la fiche réflexe « *panne transpondeur* », la plus adaptée selon lui à la situation ; la procédure « *doute annoncé par un pilote sur l'altitude de son vol* » n'était pas déclinée en fiche réflexe (ni insérée dans l'outil Cigale), mais uniquement décrite dans le Manuel d'exploitation du CRNA Nord. Ce constat d'absence de fiche réflexe en cas de doute sur l'altitude de vol avait été fait lors de l'enquête sur l'incident grave survenu en 2020 au cours duquel la procédure d'urgence mise en place par les services de la navigation aérienne à la suite de l'incident grave de 2010 n'était pas connue de la contrôleuse et n'était pas disponible depuis la position de contrôle.

Par ailleurs, ces procédures, ainsi que la consigne opérationnelle 11-158/10 de la DSNA, ne rappellent pas que l'altitude indiquée sur l'écran radar est une information bord transmise par le transpondeur.

2.6 Analyse du risque que constitue la défaillance d'une chaîne barométrique

La séparation verticale minimale entre le F-HGPG et le F-HBXG est estimée à 665 ft à partir des données GNSS. À bord du F-HGPG, l'écart d'altitude entre les deux altimètres était de l'ordre de 1 400 ft. L'enquête a mis en évidence, avec l'analyse des événements antérieurs, que cet écart n'était pas constant, qu'il était fonction de l'altitude et de la vitesse de l'avion, et pouvait atteindre jusqu'à 4 000 ft (événement de 2017). Le risque de collision en vol avec le F-HBXG ou tout autre aéronef dans le secteur était avéré.

La défaillance d'une chaîne barométrique constitue une menace singulière et réelle pour la sécurité aérienne.

En premier lieu, ce type de dysfonctionnement en vol est susceptible, simultanément, de :

- générer un écart de trajectoire dans le plan vertical qui peut être à l'origine d'un rapprochement dangereux entre aéronefs (ou d'un aéronef avec le sol) ;
- priver les pilotes et les contrôleurs aériens des éléments leur permettant d'avoir pleinement conscience de la situation réelle ;
- compromettre l'efficacité des barrières de récupération que constituent les systèmes ACAS côté bord, et STCA ou MSAW côté contrôle aérien.

En second lieu, peuvent cohabiter dans un même espace aérien des aéronefs relevant de :

- critères de certification différents (tels que ceux des CS 25 ou CS 23), ne garantissant pas le même niveau d'intégrité des informations d'altitude ;

- types d'exploitation différents (tels que des opérations CAT, NCC ou NCO), impliquant des équipages monopilotes ou bipilotes composés de pilotes bénéficiant d'expériences et d'entraînements différents pour traiter une panne complexe.

Ainsi, face au risque de collision en vol, en l'absence de ségrégation, les trafics pour lesquels les exigences sont règlementairement les plus élevées (par exemple, les aéronefs relevant de la CS 25 ou équivalent et/ou exploités pour du transport commercial) sont en réalité tributaires du niveau de sécurité résultant des exigences réduites applicables à d'autres trafics (par exemple, les aéronefs relevant de la CS 23 ou équivalent et/ou exploités dans un cadre non commercial).

Dans un tel contexte, pour déterminer s'il est acceptable, le risque doit être évalué de façon globale.

Au cours de l'enquête, le BEA a interrogé l'AESA concernant sa perception du risque que constitue la défaillance d'une chaîne barométrique en vol. Dans le cadre de son « *ATM/ANS safety risk portfolio*⁶⁰ », l'AESA a identifié un item de sécurité relatif au mauvais fonctionnement du transpondeur. L'AESA a précisé qu'une évaluation de la thématique de sécurité⁶¹ « *Deconfliction with aircraft operating with a malfunctioning/non-operative transponder (SI-2002) (Amended)* »⁶² était en cours, qu'elle devait être terminée à la fin de l'année 2022, mais que le calendrier a été repoussé à plus tard, afin de traiter d'autres sujets plus urgents nécessitant des ressources. L'évaluation a débuté en 2023 et devrait être finalisée au second trimestre. À l'issue de ce travail, l'AESA devrait développer une *Best Intervention Strategy* (BIS) sur cette thématique.

⁶⁰ [European Plan for Aviation Safety \(EPAS\) 2023 volume III, partie 8](#), pages 49 et suivantes.

⁶¹ *Safety Issue Assessment (SIA)*.

⁶² [EPAS 2022-2026 volume III](#), page 36.

3. CONCLUSIONS

3.1 Faits établis par l'enquête

- L'équipage du F-HGPG détenait les licences et qualifications pour conduire le vol.
- La dernière visite de maintenance de l'avion F-HGPG s'est déroulée entre le 27 décembre 2021 et le 6 janvier 2022. Le rapport de maintenance ne mentionnait pas de travaux réalisés sur la chaîne anémo-barométrique.
- Lorsque l'avion F-HGPG n'est pas utilisé, il est stationné sur les parkings de l'exploitant, en extérieur. Aucune protection n'est installée sur les ports statiques, le constructeur ne le demande pas. En revanche, des caches sont installés sur les sondes Pitot.
- Les conditions météorologiques étaient compatibles avec la réalisation du vol, un brouillard givrant de quelques centaines de pied était présent sur l'aérodrome de départ.
- Au cours de la montée, l'équipage du F-HGPG a constaté un fonctionnement anormal de l'anémomètre de l'ensemble 1.
- En fin de montée, l'équipage du F-HGPG a constaté un écart d'altitude entre les deux altimètres (ensemble 1 et ensemble 2), de l'ordre de 1 500 ft.
- L'équipage du F-HGPG a demandé au contrôleur du CRNA Nord de lui indiquer son altitude, telle qu'affichée sur l'écran radar.
- Le contrôleur n'a pas envisagé une défaillance à bord à la suite de cette demande.
- Ni le manuel de vol (documentation constructeur) ni le QRH (documentation exploitant) du F-HGPG ne contenaient de procédure relative à la défaillance d'un anémomètre, d'un altimètre et a fortiori d'une défaillance d'une chaîne anémo-barométrique.
- Le BEA a recommandé à deux reprises à l'AESA, à la suite d'enquêtes sur des incidents graves survenus en 2010 et 2020 (recommandation émise fin 2022 pour cette dernière enquête), consécutifs à une défaillance du circuit barométrique, de faire évoluer la documentation constructeur relative aux procédures équipage sur ce thème.
- Après une analyse de panne réalisée à bord, l'équipage du F-HGPG a informé le contrôleur de ses doutes sur son niveau de vol réel.
- Le contrôleur a donné une information de trafic relative à l'avion F-HBXG situé à midi, à environ 2 NM, et situé 1 000 ft plus haut selon les informations à sa disposition ; le croisement est intervenu quelques secondes plus tard.
- La séparation minimale calculée à partir des données GNSS des deux avions a été de 1,5 NM en latéral et 665 ft dans le plan vertical. Le F-HBXG était en réalité plus bas que le F-HGPG ;
- L'équipage du F-HBXG n'a pas eu conscience du rapprochement dangereux.
- Les systèmes du F-HBXG ne présentaient pas de défaillances, en particulier son système d'anticollision (ACAS) et son transpondeur.
- Le contrôleur et l'équipage du F-HGPG ont échangé sur les altitudes affichées à bord.
- Après analyse des différentes informations à sa disposition, l'équipage du F-HGPG en a déduit que les informations de l'altimètre et de l'anémomètre de l'ensemble 2 étaient valides et les a utilisées pour poursuivre le vol.
- Le contrôleur a ensuite demandé à l'équipage du F-HGPG de désactiver l'altimètre (Mode C).
- Le contrôleur a envisagé de déclencher une mission d'interception par le CNOA, mais cette idée a rapidement été écartée.
- Le chef de salle du centre de contrôle du CRNA Nord a demandé une évaluation de l'altitude de l'avion F-HGPG au CNOA.

- Le CNOA a communiqué une information d'altitude disponible sur ses outils. Il est possible que cette information ait été de source GNSS, élaborée à bord du F-HGPG.
- Le contrôleur a utilisé la fiche réflexe « *panne transpondeur* » pour clore l'incident.
- La procédure d'urgence « *doute annoncé par un pilote sur l'altitude de son vol* » était disponible dans le Manuel d'exploitation du CRNA Nord, mais pas dans les fiches réflexes sur la position de contrôle, ce qui révèle la faible efficacité des actions prises par la DSNA à la suite de l'incident grave de 2010 et celui de 2020.
- Le CNOA a indiqué aux contrôleurs que le calage altimétrique de l'avion F-HGPG était erroné.
- Après vérification par l'équipage du F-HGPG, le calage altimétrique était correct.
- Le CNOA n'a pas évalué la validité des paramètres disponible sur son outil, paramètres provenant en particulier de données ADS-B disponibles sur internet.
- Une défaillance du circuit anémo-barométrique s'était déjà produite à plusieurs reprises sur l'avion F-HGPG : le 8 novembre 2017, le 28 février 2019 et le 11 décembre 2021, soit un mois avant l'incident grave.
- L'événement de 2017 avait fait l'objet d'une mention de la défaillance de l'anémomètre puis de l'altimètre dans le compte rendu matériel (CRM) ; l'événement de 2019 avait fait l'objet d'une inscription partielle de la défaillance dans le CRM (défaillance port statique) ; l'événement de 2021 n'avait pas fait l'objet d'une mention inscrite dans le CRM, l'équipage avait uniquement échangé avec le chef du secteur Citation sur la défaillance rencontrée.
- La panne survenue lors de l'événement de 2019 n'a pas été inscrite dans le CRM à l'issue du vol au cours duquel elle s'est produite, mais à l'issue du vol suivant, lors du retour à la base.
- Au cours du vol du 28 février 2019, le chef du secteur Citation de l'exploitant était le commandant de bord désigné dans le cadre d'un vol sous supervision d'un commandant de bord en formation.
- Des recherches de pannes ont été menées en 2017 et en 2019 par l'atelier de maintenance Part 145 Textron Aviation Paris Service Center, sur la base d'informations différentes inscrites dans le CRM.
- Le constructeur Textron Aviation n'a pas établi de manuel de recherche de panne (TSM) pour le F-HGPG.
- Une recherche de panne portant sur la défaillance répétitive de la chaîne anémo-barométrique de l'ensemble 1 de l'avion F-HGPG, éventuellement en collaboration avec le constructeur Textron Aviation, n'a pas été menée.
- La recherche de panne menée avec le BEA en 2022 après l'incident grave a mis en évidence que la conduite souple reliée à la sonde Pitot de l'ensemble 1 présentait un point bas, ne permettant pas un drainage naturel ; la conduite souple et la sonde Pitot ont été remplacées, la conduite souple de même référence a été installée sans point bas ; les examens n'ont pas permis d'identifier avec certitude l'origine de la défaillance, cependant, à la mi-avril 2023, la défaillance ne s'est pas reproduite.
- Le constructeur Textron Aviation a précisé que son département Sécurité des Vols n'avait pas connaissance d'événement similaire. Il n'a pas eu de retour au regard de la conduite souple de la sonde Pitot.
- L'événement de 2017 avait fait l'objet d'un ASR, contrairement aux événements de 2019 et de 2021.
- Les reports des événements de sécurité (techniques et opérationnels) au sein du secteur Citation de l'exploitant Valljet n'ont pas toujours réalisés de manière formelle ou conforme aux exigences réglementaires.

- Les équipages du secteur Citation sollicitaient de façon fréquente et quasi exclusivement l'avis du chef de secteur Citation, y compris pour des problématiques techniques, malgré la mise en place d'un *Maintenance Control Center* (MCC) quelques mois avant l'incident grave.
- Le chef du secteur Citation de l'exploitant Valljet avait connaissance de l'ensemble des événements ; il n'avait pas partagé cette information avec le SGS.
- Un fonctionnement non conforme aux exigences réglementaires a été mis en place, notamment par l'organisme de gestion du maintien de la navigabilité (CAMO) du secteur Citation, afin de pouvoir prendre en compte certaines défaillances connues mais non inscrites dans le CRM à l'issue des vols au cours desquels elles sont survenues.
- L'exploitant Valljet avait rappelé à ses pilotes à plusieurs reprises, l'importance du report des événements (ASR et CRM) et expliqué le fonctionnement du MCC.
- La culture de sécurité de l'exploitant Valljet a été remise en question par plusieurs membres du personnel de l'exploitant (pilotes, responsables) au cours de l'enquête menée par le BEA.

3.2 Facteurs contributifs

Ont pu contribuer au rapprochement avec un autre avion :

- l'absence d'une information immédiate et explicite de l'équipage vers le contrôleur concernant les écarts d'indications d'altitude observés entre les ensembles 1 et 2 ;
- l'absence d'une information claire du contrôleur à l'équipage, concernant la nature et l'origine de l'information d'altitude dont il dispose sur son écran, en réponse à la question de l'équipage qui n'a pas formalisé son doute ;
- le biais de confirmation du CDB généré par la réponse du contrôleur à la question de l'équipage (similitude des indications en vol quasi stabilisé) ;
- une information tardive de l'équipage du F-HGPG au contrôleur concernant les écarts d'altitude entre les altimètres des ensembles 1 et 2, limitant les options à disposition de ce dernier pour gérer le conflit ;
- l'absence de procédure équipage (constructeur et/ou exploitant) permettant de traiter les cas de défaillance ou d'incertitude concernant les indications des systèmes anémo-barométriques.

Ont pu contribuer au maintien d'un état technique non sûr d'un système anémo-barométrique :

- des pratiques inadaptées en matière de notification et de traitement technique des événements au sein du secteur Citation de l'exploitant Valljet, qui ont montré leur inefficacité et qui pourraient témoigner d'une culture de sécurité défaillante ;
- des lacunes dans le manuel de maintenance du constructeur Textron Aviation, notamment l'absence de procédure de recherche de panne adaptée à ce type de situation.

L'absence de procédures opérationnelles à destination des équipages a pu contribuer à une gestion opérationnelle inadaptée de la défaillance d'un système anémo-barométrique en vol en raison :

- de la portée limitée des actions prises par l'AESA après l'incident grave de 2010, en ce qui concerne notamment les lacunes observées des manuels de vol élaborés par les constructeurs et relatives aux situations d'indications anémo-barométriques douteuses ou erronées ;
- des pratiques en matière de notification et de traitement opérationnel des événements qui étaient inadaptées au sein de l'exploitant Valljet, qui ne l'ont pas amené à identifier la nécessité de concevoir ce type de procédure.

4. MESURES DE SÉCURITÉ PRISES DEPUIS L'INCIDENT GRAVE

4.1 Mesure de sécurité prise par l'exploitant Valljet, relative au report des défaillances

Le 18 janvier 2022, le département des opérations vol a communiqué vers les équipages :
« Rappel sur les procédures de notification des événements techniques »

« Des événements récents montrent que le traitement des problèmes techniques et la remontée des informations vers le cadre responsable, le responsable SGS (Système de gestion de la sécurité) et/ou le RDOV (Responsable désigné des opérations en vol) ne sont pas toujours satisfaisants.

Le département des opérations vol vous rappelle que :

- *Les incidents techniques, lorsqu'ils ne peuvent être résolus par application de la QRH, ou, éventuellement, après application de la QRH, doivent faire l'objet d'un avis technique pris auprès de personnels qualifiés,*
- *À cette fin, un MCC (Maintenance Control Center) a été mis en place (mail du deputy accountable manager du 12/01/2022)*
- *[...]*
- *Les conséquences des pannes doivent également être évaluées d'un point de vue technique, opérationnel et commercial (FORDEC. Cf. MANEX B-03) ;*
- *Dans cette optique, les RDFE, RDOV, RDOS et le Safety Manager sont vos contacts de confiance ;*
- *À l'issue des vols, les REX et ASR sont les outils pour formaliser votre retour d'expérience et en permettre la communication à tous les autres équipages ;*
- *Au-delà de ces échanges formalisés, pour lesquels l'anonymat et la dépenalisation de l'erreur sont deux règles de base, les échanges informels entre PN sont encouragés au titre du retour d'expérience et du partage des bonnes pratiques.*

Il est ainsi fondamental que les informations techniques et du domaine de la sécurité des vols soient remontées via les canaux prévus pour cela, afin qu'elles soient analysées, traitées et communiquées par le personnel compétent et légitime.

En effet, toute autre procédure pourrait mettre en péril la sécurité des vols, la navigabilité de nos aéronefs, voire l'exploitation des aéronefs par Valljet. »

Au sujet de cette note relative à la notification des événements techniques, le BEA constate que le département des opérations en vol de l'exploitant ne fait pas directement référence aux obligations du CDB de renseigner le ou les défauts constatés après le vol dans le compte rendu matériel (CRM). Cette mesure prise par l'exploitant est de nature à maintenir un système dans lequel le CDB doit d'abord interagir avec des responsables de l'exploitant avant d'inscrire une panne dans le CRM, ce qui ne correspond pas au fonctionnement prévu par le CAT.GEN.MPA.105 de l'« Air Ops » (voir § 1.17.1).

L'exploitant Valljet indique par ailleurs que des actes de formation interne auprès des CDB, ayant pour but de rappeler le cadre réglementaire, les procédures en vigueur de remontées des défauts techniques / événements et des responsabilités, ont également été réalisées.

4.2 Mesure de sécurité prise par l'exploitant Valljet, relative à la défaillance du circuit anémo-barométrique

À l'issue de la première série d'examens réalisés à la suite de l'incident grave (voir § 1.6.8), la défaillance technique n'avait pas été identifiée. Deux procédures ont alors été ajoutées au QRH par l'exploitant afin de fournir aux équipages la conduite à tenir en cas de panne ou d'indications erronées d'altitude ou de vitesse.

68. LH or RH AIRSPEED INDICATOR ERRATIC or FAILED	
1. PF AUTOPILOT.....	DISCONNECT
2. PF DESCENT.....	INITIATE
	Descent below RVSM to FL280
3. PM ATC.....	ADVISE
4. PM LH or RH & Standby Altimeter.....	COMPARE / MONITOR
5. PM LH & RH Altimeter & Transponder altitude.....	COMPARE / MONITOR
IF UNABLE TO DETERMINE ACCURATE AIRSPEED	
6. C/P Maintain VMC conditions	
7. C Use the AOA for Vref	
8. C/P Land as soon as possible	
<i>" LEFT AIRSPEED INDICATOR ERRATIC OR FAILED Checklist Complete."</i>	
69. LH or RH ALTIMETER ERRATIC or FAILED	
1. PF AUTOPILOT.....	DISCONNECT
2. PF DESCENT.....	INITIATE
	Descent below RVSM to FL280
3. PM ATC.....	MAYDAY MSG
4. PM LH or RH & Standby Altimeter.....	COMPARE / MONITOR
5. PM G750 GSL Altitude.....	CHECK and MONITOR
6. PM LH & RH Altimeter & Transponder altitude.....	COMPARE / MONITOR
IF UNABLE TO DETERMINE ACCURATE ALTITUDE	
7. C/P Maintain VMC conditions	
8. PM Advise ATC	
9. C/P Land as soon as possible following instructions.	
<i>GSL Altitude accuracy is affected by factors such as satellite geometry, but it is not subject to variations in pressure and temperature that normally affect pressure altitude devices.</i>	
<i>" LH or RH ALTIMETER ERRATIC or FAILED Checklist Complete."</i>	

Figure 8 : extrait du QRH de l'exploitant, mis à jour après l'événement (Source : Valljet)

Ces procédures ont été nouvellement revues par l'exploitant de façon à mieux répondre aux objectifs de sécurité : maintien de la trajectoire, alerte du contrôle aérien et discrimination de l'instrument défaillant. L'exploitant précise qu'il n'a pas reçu d'assistance du constructeur Textron Aviation et que ce dernier n'a pas donné d'avis sur la validité technique de ces procédures sous la forme d'un NTO⁶³.

⁶³ No Technical Objection.

1. UNRELIABLE SPEED INDICATIONS/ SPEED DISCREPENCY

1. PF AP/FD.....DISCONNECT
 2. PF PITCH/TRHUST.....ADJUST

IF BELOW MSA

3. PF PITCH 10° CLIMB THRUST

IF AT OR ABOVE MSA

4. PF LEVEL OFF

THEN

5. PF Adjust Pitch/Thrust according to the following dashboard

Cruise	Approach	Landing
- GND to FL150 : Flaps 0 / N1 = 85 % / Pitch = 0°	APP, GND to FL100 : - Flaps 0° IAS = 3 x N1	Landing Conf. / N1 = 55 % / AoA = 0.6 (Vref)
- FL150 to FL250 : Flaps 0 / N1 = 90 % / Pitch = 0°	- 5 Nm avant le FAF, N1 = 55%	
- Above FL250 : Flaps 0 / N1 = 95 % / Pitch = 1°	- 2 Nm avant le FAF, Flaps TO- App, N1 = 55%	

6. PM Inform CTL of possibly unreliable ALT indications & request to CTL lateral separation with other traffic during situation assessment.
 7. PF/PM Identify unreliable speed and validate with GPS/GS info corrected by wind charts info and/or AoA.
 8. PF/PM Check ALT information and validate accurate system(s).
 9. PF/PM Divert to the nearest suitable airport.

2. UNRELIABLE ALT INDICATIONS/ ALTIMETERS FAILED

1. PF AP/FD.....DISCONNECT
 2. PM ATC.....INFORM & REQUEST LATERAL SEPARATION
 3. PM COMPARE/VALIDATE/MONITOR ALT1/2 to S/B ALT AND GSL ALT

IF BELOW MSA

4. PF CLIMB TO MSA

IF AT OR ABOVE MSA

5. PF LEVEL OFF

6. PM ATC.....INFORM & REQUEST LATERAL SEPARATION
 7. PM COMPARE/VALIDATE/MONITOR ALT1/2 to S/B ALT AND GSL ALT

In order to compare ALT1/2/S/B ALT to GSL ALT (which is a geometric altitude), apply QNH correction and temperature correction as follows:

- To ALT1/2 indication apply QNH correction (+27,5ft/mb if QNH>1013 or -27,5 ft/mb if QNH<1013) and
- Temperature correction (+4ft/1000ft/°C if outside average temperature if > STD, or -4ft/1000ft/°C if outside average temperature is below STD. Altitude may be considered valid if difference is less than 200ft.
- Divert to the nearest suitable airport

8. PM Inform CTL of possibly unreliable ALT indications & request to CTL lateral separation with other traffic during situation assessment.

Figure 10 : nouvelles procédures élaborées (Source : Valljet)

4.3 Intervention de surveillance de l’OSAC d’octobre 2022

En octobre 2022, l’OSAC a réalisé une intervention de surveillance de l’exploitant. Elle s’appuyait sur l’examen de la documentation d’un avion du secteur Citation. À la suite de cette intervention de surveillance, le dirigeant responsable (DR) a été informé d’un écart de niveau 1⁶⁴. Cet écart conduit à la suspension de l’agrément CAMO de l’exploitant et de ce fait à la suspension du CTA par la DSAC.

L’écart était le suivant : « *Les défauts et pannes détectés en exploitation ne sont pas portés au CRM. En effet, il a été identifié que des recherches de pannes et rectifications de défaut étaient commandés par le CAMO alors qu’aucun défaut ne figurait sur les CRM des vols précédant l’intervention d’entretien* ». Cet écart a été observé sur avion du secteur Citation, en cours de maintenance lors de l’intervention de surveillance. L’inspectrice a également eu accès à la liste des dépannages lancés et réalisés pour l’ensemble de la flotte de l’exploitant : cet écart a également été observé sur d’autres avions du secteur Citation et un avion du secteur Hawker. Ce type d’écart avait déjà été observé en juillet 2021 (voir § 1.17.2.4).

L’exploitant a réalisé une analyse de cette situation et a proposé des actions correctives immédiates. Ces mesures ont permis la requalification de l’écart de niveau 1 en écart de niveau 2. L’exploitant a récupéré son agrément CAMO et son CTA le jour même où il a été notifié officiellement, soit 48 h après en avoir été informé.

Les actions correctives immédiates étaient les suivantes :

1. « *La nomination du nouveau RDMN [...]*
2. *Suppression de la sectorisation des agents CAMO, le seul interlocuteur entre le CAMO et l’exploitation étant le RDMN.*

⁶⁴ Un écart de niveau 1 est une non-conformité abaissant le niveau de sécurité ou mettant gravement en danger la sécurité des vols, et justifiant des mesures immédiates de la part de l’Autorité pour interdire ou limiter les activités réalisées au titre de l’agrément.

3. *Création d'un Département étendu du CAMO pour les actions de navigabilité lors des AOG de type MCC (Maintenance Control Center)⁶⁵ qui permettra une veille et les actions associées de manière continue (lorsqu'un avion est en opération).*
4. *Suppression du poste chef du secteur Citation qui sera assumé par le RDOV.*
5. *La notification au CAMO de l'interdiction des pratiques 'parallèles'.*
6. *L'utilisation du CRM comme unique moyen de traitement des pannes relevées en exploitation auprès des Part 145.*
7. *Le traitement et la suppression des Work Orders PR dans AMOS.*
8. *Le traitement et la suppression de toute liste parallèle (cas du secteur Citation).*
9. *Avant remise en vol en Transport Public de tous les avions du secteur Citation, un vol de contrôle d'une heure minimum avec un technicien B1 ou B1C sur type sera effectué. Ce vol doit permettre d'identifier les éventuelles pannes techniques affectant la navigabilité et elles devront être corrigées avant remise en service.*
10. *Intégration d'une procédure Conformité pour la validation des Work Orders afin qu'aucun travaux hors programmés ne soit lancé sans une inscription au CRM et que le Work Order programmé ne contienne pas des éléments de traitement AOG.*
11. *La mise en place d'une procédure unique de type 'MCC' va être intégrée au CAME, avec, de façon commune à tous les secteurs, les actions à mener par les pilotes et leur correspondant quand ils détectent une panne, l'échange devant servir à lancer les opérations de traitement de la panne, la renseigner correctement sur le CRM ou valider le report selon un code MEL.*
12. *L'émission une note d'information, afin que tous retours techniques des pilotes sur le comportement d'un avion soit traité par le RDMN, qui cherchera la validation du pilote ayant remonté l'info, valider ce point avec les autres équipages exploitant l'avion ou avec l'atelier Part 145 ou le constructeur pour expertise. Une fois le point validé il fera l'objet d'une mention au CRM par le CDB ou d'une mise en MEL si c'est opportun. Cette note sera contresignée par chaque pilote et fera partie des documents obligatoires d'intégration en OCC (qui inclura un programme de formation spécifique CRM délivrée par le RDMN lors de la formation).*
13. *La mise en place d'une formation en présentielle (et Visio pour les PN éloignés) à l'ensemble des CDB pour rappeler le cadre réglementaire, les procédures en vigueur, et les responsabilités liées à leur fonction par le RDOV.*

Une fois toutes ces mesures intégrées dans le CAME sous la forme d'une révision approuvée en interne, elles seront diffusées et expliquées :

- *Au personnel CAMO, avec un read and sign ;*
- *Aux équipages, avec un read and sign. »*

Concernant le point 4, l'exploitant précise que le poste de chef de secteur a été supprimé et qu'il a été remplacé par un *fleet technical manager*.

Concernant le point 5, l'analyse de l'exploitant fournie à l'OSAC et la DSAC mentionne que : « *cette dérive dans la méthode de traitement des défauts techniques semble avoir été instaurée de fait par le CAMO sous couvert du Chef de secteur CJ, afin de « faciliter » la continuité des opérations* ». L'analyse de l'exploitant précise également qu'« *il n'a pas été mis en lumière une pression du DR [...] pour faire voler les avions avec des pannes* ».

C'est sur ces bases que l'écart de niveau 1 a été requalifié en niveau 2 par l'OSAC.

⁶⁵ Le MCC redevient une entité de l'atelier Part 145 R&O.

Concernant les points 3 et 11, une procédure relative aux échanges avec le MCC a été mise en place au 10 novembre 2022.

No.	DESCRIPTION	ACTEUR
1	Le pilote se met en relation avec la personne d'astreinte du MCC et lui fait part de la panne, en donnant le maximum de détails.	Pilote
2	En lien avec le Pilote, le technicien du fait de sa qualification, expérience et connaissance de l'avion essaye de comprendre la panne et de trouver une solution, de fournir des instructions pour tester la fonction défaillante dans le but de remettre en service l'avion.	Permanent MCC
3	Si la panne est effacée, l'équipage poursuit l'exploitation de l'avion et sa mission après avoir renseigné le Techlog « reset successfully »	Pilote
4	Dans le cas où le permanent MCC ne peut trouver seul une solution, il contacte le RDOV et/ou les pilotes experts de la flotte Citation, Hawker et Embraer en regard du besoin.	MCC
4	A l'instar du permanent MCC (action n°2) le pilote expert tente pareillement de trouver une solution possible d'être exécutée par l'équipage. L'équipage poursuit l'exploitation de l'avion et sa mission après avoir renseigné le Techlog « reset successfully »	Pilotes experts
6	Dans le cas contraire, sans autre solution que de mettre l'avion en AOG. Le MCC demande au pilote de 1) renseigner le TechLog 2) si il est possible de mettre l'avion en MEL, le MCC et le pilote s'accorde pour renseigner sur le Techlog la Liste des Travaux à Reporter (LTR) et de renseigner la butée de celle-ci. Le pilote envoie le Techlog + MEL + LTR au MCC par e-mail.	MCC et Pilote
7	A réception des données fournies par l'équipage, le MCC doit transférer ces mêmes informations au CAMO sans délai.	MCC
8	Le MCC prépare alors le Work Package pour l'exécution de la mission, il recherche la disponibilité du technicien qualifié et habilité sur la base du Techlog, MEL et LTR, des données techniques de l'avion, de l'outillage, des équipements à remplacer + ingrédients et consommables nécessaires à l'intervention.	MCC
9	Le MCC organise la mission du technicien sur le plan logistique.	MCC
10	Le technicien qualifié exécute le déroulé opératoire dans le but de clore la MEL et la LTR, de signer le CRS sur le Techlog permettant à l'équipage de poursuivre leur mission en toute sécurité.	Technicien
11	De retour de mission, le technicien rend compte au MCC de son intervention, restitue l'ensemble des documents techniques à l'engineering de production pour mise à jour AMOS et MCC adresse une copie de ce dossier au CAMO.	Technicien et MCC

Figure 9 : procédure PROC-15 de fonctionnement du MCC (Source = R&O)

L'exploitant précise qu'une nouvelle organisation a été définie, en collaboration avec la DSAC. Cette organisation a pour but d'améliorer le fonctionnement des opérations et du traitement des aléas techniques, tout en remplissant les objectifs de sécurité et de remontées d'informations vers le DR.

L'organisation interne du CAMO a été revue également avec notamment la suppression de la sectorisation des agents CAMO, de façon que seul le RDMN soit l'interlocuteur entre le CAMO et l'exploitation.

Mi-avril 2023, certains points du plan d'action, liés aux modifications d'organisation, étaient toujours en cours de discussion. En particulier, la procédure PROC-15 n'était pas jugée satisfaisante par la DSAC. C'est l'une des raisons pour lesquelles l'écart de niveau 2 n'était pas clos à la mi-avril 2023.

Le BEA constate à nouveau, que plus de six mois après l'incident grave et à la suite d'une intervention de surveillance de la part de l'OSAC, l'exploitant ne privilégie toujours pas une initiative du CDB de renseigner le CRM à l'issue du vol. La procédure PROC-15 s'inscrit dans la continuité du rappel fait aux équipages à la suite de l'incident grave (voir § 4) : ce n'est qu'en étape 6 qu'il est demandé au CDB d'inscrire la défaillance, après avoir contacté le MCC, le RDOV et/ou le pilote expert de la flotte. La nécessité pour le pilote d'obtenir une validation du RDOV ou d'un pilote expert avant d'inscrire un défaut constaté sur le CRM semble s'écarter de l'esprit comme de la lettre des dispositions des exigences CAT.GEN.MPA.105 de l'« Air OPS »⁶⁶ et MA.403 du règlement (UE) N°1321/2014⁶⁷ qui impliquent un échange direct entre les équipages et l'organisme de maintenance.

4.4 Mesures de sécurité prises par le CRNA Nord

À la suite de l'analyse de l'incident grave par le CRNA Nord, les mesures suivantes ont été proposées :

- proposer une phraséologie explicite en réponse à une demande faite par un équipage sur ce que le contrôle lit sur son écran radar. La phraséologie doit refléter en substance le fait que ce qui est observé au radar provient de l'information que l'aéronef transmet ;
- revoir la fiche réflexe « *Panne transpondeur* » et inclure le cas du « *doute pilote* » ;
- prévoir un briefing (retour d'expérience) pour notamment :
 - rappeler les informations transpondeurs / altimétrie en utilisant l'événement,
 - informer / rappeler que les militaires disposent des mêmes informations radar que les civils, donc des mêmes informations réglementaires d'altitude que les civils.

À l'issue de la phase de consultation du projet de rapport final, la DSNA a indiqué au BEA :

- que la fiche réflexe « doute annoncé par un pilote sur son altitude » est désormais disponible ;
- qu'un retour d'expérience sur l'incident grave sera partagé lors du briefing prévu à l'été 2023.

Pour ce qui concerne la première mesure prise, même si le CRNA Nord a proposé une phraséologie à la Direction des opérations (DO) de la DSNA, cette dernière n'est pas favorable à l'introduction d'une phraséologie réglementaire. En effet, les règles de l'air européennes normalisées (SERA)⁶⁸ précisent que le langage clair doit être utilisé dans un cas d'usage non décrit par la phraséologie réglementaire. Cependant, à la mi-avril 2023, la DSNA a prévu d'évaluer l'opportunité de proposer une suggestion ou bonne pratique pouvant aider le contrôleur dans une situation de ce type, en s'entourant d'experts notamment des pilotes.

⁶⁶ Op. cit. § 1.6.1.

⁶⁷ Op.cit. § 1.17.1.

⁶⁸ Règlement d'exécution (UE) n°923/2012, dit « SERA » (*Standardised European Rules of the Air*).

5. RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

Rappel : conformément aux dispositions de l'article 17.3 du règlement n° 996/2010 du Parlement européen et du Conseil du 20 octobre 2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile, une recommandation de sécurité ne constitue en aucun cas une présomption de faute ou de responsabilité dans un accident, un incident grave ou un incident. Les destinataires des recommandations de sécurité rendent compte à l'Autorité responsable des enquêtes de sécurité qui les a émises, des mesures prises ou à l'étude pour assurer leur mise en œuvre, dans les conditions prévues par l'article 18 du règlement précité.

5.1 Documentation de maintenance publiée par Textron Aviation

Le personnel de maintenance s'appuie sur la documentation du constructeur pour effectuer une recherche de panne.

Il n'existe pas de manuel de recherche de panne (TSM) pour le Cessna 525. Cependant, une tâche relative au troubleshooting du système anémo-barométrique existe dans le manuel de maintenance. Cette tâche n'est applicable qu'aux Cessna 525 n'ayant pas été modifiés selon le bulletin de service SB525-34-41. Elle spécifie explicitement que pour identifier une défaillance du système anémo-barométrique, il faut inspecter visuellement tous les composants et les conduites associées du circuit. Cette tâche de maintenance n'existe pas dans la documentation pour les Cessna 525 intégrant le SB525-34-41, comme le F-HGPG. Le manuel de maintenance du Cessna 525 ne comporte que deux chapitres relatifs au système anémo-barométrique qui soient applicables au F-HGPG : le 34-11-01 et le 34-11-02. Ces derniers n'intègrent pas de tâche de démontage et d'inspection des conduites du système. Or, cette inspection peut être pertinente sur toutes les versions de Cessna 525, y compris ceux implémentant le SB525-34-41.

À la suite de l'événement du 28 février 2019 (voir § 1.11.2.2), la recherche de panne a été réalisée selon les chapitres 34-11-01 et 34-11-02 du manuel de maintenance. Les tests réalisés se sont révélés satisfaisants, mais l'origine de la défaillance n'a pas été identifiée. C'est notamment sur cette base que le chef du secteur Citation de l'exploitant Valljet a discuté avec l'équipage concerné par l'événement du 11 décembre 2021, laissant supposer que l'atelier de la maintenance aurait à nouveau des difficultés à identifier l'origine de la panne.

En conséquence, le BEA recommande que :

- *considérant qu'il n'existe pas de TSM pour le Cessna 525 ;*
- *considérant que les tâches du manuel de maintenance relatives au système anémo-barométrique excluent les avions modifiés par le bulletin de service SB525-34-41, bien que certaines actions prescrites dans cette tâche puissent être pertinentes pour ces avions modifiés ;*

Textron Aviation complète la documentation de maintenance pour préciser la conduite à tenir en cas d'anomalie du système anémo-barométrique pour toutes les versions de Cessna 525, y compris pour les avions modifiés par le SB525-34-41.

[Recommandation FRAN-2023-016]

5.2 Notification des défaillances techniques chez l'exploitant Valljet

L'enquête a mis en évidence, dans le secteur Citation de l'exploitant Valljet, un fonctionnement non conforme relatif à l'inscription des défaillances techniques dans le compte rendu matériel (CRM) à l'issue du vol, contrairement à l'exigence CAT.GEN.MPA.105 du règlement européen consolidé N°965/2012 déterminant les exigences techniques et les procédures administratives applicables aux opérations aériennes (« Air Ops »). Cela s'est notamment traduit par :

- lors de l'événement survenu en 2019, une inscription différée, au retour à la base des opérations, d'une défaillance dans le CRM ;
- lors de l'événement survenu en 2021, une absence d'inscription d'une défaillance dans le CRM.

De surcroît, l'inscription portée dans le CRM par le chef du secteur Citation lors de l'événement survenu en 2019 mentionnait la défaillance d'un port statique, alors que les observations faites en vol étaient relatives à l'anémomètre et à l'altimètre. Cette interprétation a orienté les tâches de maintenance sur le circuit de mesure altimétrique au détriment de travaux complémentaires sur le circuit des sondes Pitot.

De manière générale, au sein du secteur Citation, les pilotes étaient encouragés à contacter le chef de secteur avant d'inscrire une panne dans le CRM. Il pouvait en résulter l'absence d'inscription dans le CRM, une inscription différée ou une interprétation ne permettant pas une intervention efficace de la part de la maintenance.

Ces pratiques relatives au CRM ont fait naître une autre pratique non conforme au sein de l'organisme de gestion du maintien de la navigabilité (du CAMO⁶⁹) du secteur Citation visant à rassembler les défaillances connues par d'autres biais que le CRM par l'agent CAMO du secteur Citation, et de réaliser la recherche de panne associée plus tard lors d'interventions de maintenance programmées sur les avions concernés. Cette pratique non conforme a été détectée par l'OSAC, au cours de ses interventions de surveillance en août 2021 puis à nouveau après l'incident grave en octobre 2022.

L'ensemble de ces pratiques a contribué directement ou indirectement à l'absence de travaux pour tenter de résoudre la défaillance du circuit anémo-barométrique survenue lors de l'incident grave.

En novembre 2021, avec la mise en place d'un *Maintenance Control Center* (MCC), puis en janvier 2022, avec un rappel aux équipages sur la notification des défaillances techniques, et enfin en novembre 2022, à la suite de l'écart de niveau 1 notifié par l'OSAC, l'exploitant a continué à préconiser un fonctionnement qui semble s'écarter des prescriptions de l'exigence du CAT.GEN.MPA.105 dans la mesure où il est demandé au CDB qu'il interagisse d'abord avec des responsables ou référents de l'exploitant avant d'inscrire une panne dans le CRM. Mi-avril 2023, à la fin de la phase de consultation du projet de rapport final, l'écart de niveau 1, requalifié en écart de niveau 2, n'était toujours pas clos.

⁶⁹ Continuing Airworthiness Management Organisation.

En conséquence, le BEA recommande que :

- *considérant les pratiques inadaptées observées au cours de l'enquête en matière de report des incidents techniques, notamment l'absence de report de défauts dans le CRM ;*
- *considérant qu'une partie de ces pratiques a perduré après l'incident grave du 12 janvier 2022, notamment l'absence de report de défauts dans le CRM ;*
- *considérant que l'exploitant semble persister à demander que la constatation d'un défaut technique en vol fasse l'objet d'une validation par des responsables ou référents en lien direct avec les opérations aériennes ;*
- *considérant que le paragraphe CAT.GEN.MPA.105 fait partie des exigences applicables aux équipages des exploitants de transport commercial ;*

l'exploitant Valljet revoit son organisation, ses procédures et ses pratiques pour que les commandants de bord soient incités, conformément à l'exigence CAT.GEN.MPA.105 du règlement européen consolidé N°965/2012 dit « Air Ops », à renseigner eux-mêmes immédiatement les CRM relatifs aux défauts constatés à l'issue de chaque vol, sans devoir obtenir de validation préalable par un responsable d'exploitation ou par un pilote expert, et sans crainte que des mesures restrictives à leur encontre ne soient prises.

[Recommandation FRAN-2023-017].

- *considérant les pratiques inadaptées observées au cours de l'enquête en matière de report des incidents techniques, notamment l'absence de report de défauts dans le CRM ;*
- *considérant qu'une partie de ces pratiques a perduré après l'incident grave du 12 janvier 2022, notamment l'absence de report de défauts dans le CRM ;*
- *considérant que l'exploitant semble persister à demander que la constatation d'un défaut technique en vol fasse l'objet d'une validation par des responsables ou référents en lien direct avec les opérations aériennes ;*
- *considérant que l'exigence ARO.GEN.300 impose à l'Autorité de surveillance de vérifier « le maintien de la conformité aux exigences applicables des organismes qu'elle a certifiés » ;*
- *considérant que le paragraphe CAT.GEN.MPA.105 fait partie des exigences applicables aux équipages des exploitants de transport commercial ;*

la DSAC s'assure que l'exploitant Valljet reste en pleine conformité avec le paragraphe CAT.GEN.MPA.105 du règlement européen consolidé (UE) N°965/2012 dit « Air Ops », au titre de l'exigence ARO.GEN.300 du même règlement, en recherchant activement toutes les informations utiles, telles que les comptes rendus des équipages, les données recueillies par l'OSAC au titre de la surveillance du CAMO de l'exploitant et de l'atelier de maintenance Part 145, et les échanges et correspondances entre les opérations aériennes, le CAMO, ainsi que le ou les atelier(s) de maintenance Part 145 auquel (auxquels) l'exploitant fait appel.

[Recommandation FRAN-2023-018].

5.3 Fiche réflexe d'urgence pour le contrôleur

À la suite de la quasi-collision entre un Airbus A318 et un Pilatus PC 12 en 2010 (voir § 1.18.1), la DSNA avait développé une procédure qui permettait à un contrôleur de faire face à une situation de doute annoncé par le pilote sur l'altitude de son vol.

En octobre 2022, le BEA a recommandé, à la suite de l'enquête sur l'incident grave du N222NF survenu en 2020⁷⁰ (voir § 1.18.2), que la DSNA s'assure que tous les contrôleurs en activité aient une connaissance correcte du principe de recueil de l'information altimétrique dont ils disposent sur leurs écrans.

Les enquêtes sur les incidents graves de 2020 et de 2022 ont montré que, bien que cette procédure existât, elle est uniquement disponible dans le Manuel d'exploitation et par conséquent difficilement accessible pour un contrôleur en poste placé dans une situation d'urgence.

Par ailleurs, la procédure, à l'image de la consigne opérationnelle 11-158/10 (voir § 1.18.2), ne contient pas de phraséologie explicite relative à l'item « *Lui indiquer que le lever de doute ne peut être fait par les services de contrôle* ».

En conséquence, le BEA recommande que :

- *considérant que la procédure d'urgence relative au doute annoncé par un pilote sur l'altitude de son vol n'est pas directement accessible sur la position de contrôle ;*
- *considérant que la sollicitation d'un contrôleur par un pilote sur une question altimétrique devrait alerter le contrôleur ;*

la DSNA s'assure que la procédure d'urgence relative au doute annoncé par un pilote sur l'altitude de son vol fasse l'objet d'une fiche réflexe d'urgence, mise à la disposition des contrôleurs sur leur position de contrôle et soit accompagnée d'une formation récurrente sur simulateur.

[Recommandation FRAN-2023-019]

5.4 Informations transmises par le CNOA

Lors du lever de doute sur l'altitude de l'avion, le Centre National des Opérations Aériennes (CNOA) a transmis une information erronée de calage altimétrique de l'avion. Le CNOA dispose d'outils permettant de traiter les données ADS-B des aéronefs en vol, néanmoins, ces données « bord » ne sont parfois pas fiabilisées.

En conséquence, le BEA recommande que :

- *considérant que des informations non fiables peuvent être transmises par le CNOA vers les prestataires de la navigation aérienne lors d'un lever de doute ;*

le CNOA détermine les limites de ses systèmes et des données à sa disposition pour fournir des informations pertinentes aux partenaires aériens.

[Recommandation FRAN-2023-020]

⁷⁰ [Incident grave survenu au Cessna 525A immatriculé N222NF le 14/08/2020 près du Bourget \(93\).](#)

5.5 Analyse du risque que constitue la défaillance d'une chaîne barométrique

Les incidents graves de 2010, de 2020 et de 2022, enquêtés par le BEA, mettent en évidence le caractère catastrophique que peut représenter une défaillance d'une chaîne barométrique, l'événement redouté étant la collision en vol (mis en évidence au travers des incidents graves de 2010 et 2022) ou la collision avec le sol (mis en évidence au travers de l'incident grave de 2020).

Plusieurs recommandations de sécurité ont été émises vers l'AESA pour modifier les procédures équipages.

La défaillance d'une chaîne barométrique constitue une menace singulière et réelle pour la sécurité aérienne.

En premier lieu, ce type de dysfonctionnement en vol est susceptible, simultanément, de :

- générer un écart de trajectoire dans le plan vertical qui peut être à l'origine d'un rapprochement dangereux entre aéronefs (ou d'un aéronef avec le sol) ;
- priver les pilotes et les contrôleurs aériens d'une pleine conscience de la situation réelle ;
- compromettre l'efficacité des barrières de récupération que constituent les systèmes ACAS côté bord, et STCA ou MSAW côté contrôle aérien.

De plus, peuvent cohabiter dans un même espace aérien des aéronefs relevant de :

- critères de certification différents (tels que ceux des CS 25 ou CS 23), ne garantissant pas le même niveau d'intégrité des informations d'altitude ;
- types d'exploitation différents (tels que CAT, NCC ou NCO), impliquant des équipages monopilotes ou bipilotes composés de pilotes bénéficiant d'expériences et d'entraînements différents pour traiter une panne complexe.

Ainsi, face au risque de collision en vol, en l'absence de ségrégation, les trafics pour lesquels les exigences sont réglementairement les plus élevées (par exemple, les aéronefs relevant de la CS 25 ou équivalent et/ou exploités pour du transport commercial) seront en réalité tributaires du niveau de sécurité permis par les exigences minimales applicables à d'autres trafics (par exemple, les aéronefs relevant de la CS 23 ou équivalent et/ou exploités dans un cadre non commercial).

Dans une telle situation, la notion de risque acceptable pourrait être biaisée si le risque n'est pas considéré d'un point de vue global.

Dans le cadre de son « *ATM/ANS safety risk portfolio* », l'AESA a identifié un item de sécurité relatif au mauvais fonctionnement du transpondeur. L'évaluation de la thématique de sécurité « ***Deconfliction with aircraft operating with a malfunctioning/non-operative transponder*** » (SI-2002) est en cours, à la mi-avril 2023.

En conséquence, le BEA recommande que :

- *considérant que la défaillance d'une chaîne barométrique peut simultanément :*
 - *entraîner directement une déviation d'altitude favorisant le rapprochement avec d'autres aéronefs ou avec le sol en vol contrôlé,*
 - *compromettre la conscience de la situation des pilotes et des contrôleurs du fait des informations possiblement erronées dont ils disposent,*
 - *compromettre le fonctionnement des systèmes de protection contre le risque de collision en vol ou le risque de collision avec le sol en vol contrôlé,*

- *considérant que des aéronefs relevant de critères de certification différents évoluent dans les mêmes espaces, réduisant ainsi l'efficacité des exigences les plus élevées vis-à-vis de ce risque ;*
- *considérant que l'analyse du risque que constitue la défaillance d'une chaîne barométrique n'est pas réalisée de manière globale ;*

l'AESA poursuit et mène à bien l'analyse du risque que constitue la défaillance d'une chaîne barométrique en s'attachant à considérer le système dans sa globalité, et en tire le cas échéant les conclusions en matière d'actions de sécurité.

[Recommandation FRAN-2023-021]

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.