



Incident grave survenu au Cessna 525A Citation CJ2
immatriculé **F-HMSG**
exploité par Valljet
le 28 octobre 2023
sur l'aéroport Paris – Le Bourget (93)

Heure	Vers 00 h 15 ¹
Nature du vol	Transport commercial de passagers
Personnes à bord	Commandant de bord (PF ²), copilote (PM), un passager ³
Conséquences et dommages	Avion légèrement endommagé

Dysfonctionnement du train d'atterrissage avant lors du décollage, traitement de la panne en vol, atterrissage avec le train avant rentré

1 DÉROULEMENT DU VOL

Note : Les informations suivantes sont principalement issues des témoignages, des enregistrements des radiocommunications et des données radar.

L'équipage décolle à 21 h 23 de l'aéroport Paris – Le Bourget à destination de l'aéroport de Farnborough (Royaume-Uni) en régime de vol IFR. Il s'agit du premier vol de l'avion après avoir subi des opérations de maintenance au cours des jours précédents, avec notamment des interventions sur les trains d'atterrissage (voir § 2.5).

Peu après l'envol, le PF demande la rentrée des trains d'atterrissage. Le PM actionne la commande et quelques secondes plus tard, un bruit anormal surprend l'équipage. Le voyant rouge *gear unlock* est allumé, les trois voyants verts *downlock lights* sont éteints. L'équipage commande la sortie du train, les deux voyants verts du train principal s'allument, le voyant vert du train avant ne s'allume pas et le voyant rouge *gear unlock* reste allumé. L'équipage commande à nouveau la rentrée des trains, le voyant rouge est toujours allumé et les trois voyants verts sont éteints. L'équipage comprend alors qu'il y a un dysfonctionnement du train d'atterrissage avant.

Vers 21 h 25, l'avion quitte les espaces du Bourget. L'équipage contacte la contrôleuse départ (DEP) de l'approche de Paris-Charles de Gaulle (CDG) qui lui demande de monter au FL 070. L'équipage répond une minute plus tard, et demande à maintenir 3 000 ft pour « *solutionner un problème de train* ». L'équipage effectue les procédures *Landing gear will not retract* et *Landing gear will not extend*, et utilise le système de secours de sortie des trains d'atterrissage. Le train d'atterrissage avant ne se verrouille toujours pas.

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

² Le glossaire des abréviations et sigles fréquemment utilisés par le BEA est disponible sur son [site Internet](#).

³ Le passager est un mécanicien d'un atelier de maintenance basé sur l'aéroport Paris - Le Bourget.

À 21 h 30, la contrôlease demande à l'équipage de contacter un autre contrôleur sur une fréquence allouée (SUP IFR) pour l'isoler des autres radiocommunications.

À 21 h 32 sur la fréquence SUP IFR, l'équipage indique au contrôleur qu'il va revenir sur l'aéroport du Bourget, qu'il veut attendre pour « brûler du carburant » et ainsi s'alléger, et qu'il ne sait pas si le train avant est déployé. Le contrôleur demande à l'équipage de contacter le contrôleur du secteur nord (SEC NORD)⁴. Le contrôleur SEC NORD demande à l'équipage à quel niveau il souhaite vidanger le carburant. L'équipage répond qu'il ne peut pas vidanger, mais qu'il souhaite consommer du carburant à 3 000 ft, dans les basses couches. Le contrôleur demande à l'équipage de monter au FL 070 pour rester dans la zone de CDG, et ainsi éviter les zones de Beauvais (60) et les espaces de classe G. L'avion évolue ainsi dans le secteur de Noyon (60).

Entre 21 h 43 et 21 h 46, l'équipage mentionne au contrôleur SEC NORD qu'il n'est pas dans de bonnes conditions météorologiques et qu'il souhaite sortir de la couche, l'avion est alors au FL 075⁵. Des échanges entre le contrôleur et l'équipage s'ensuivent pour identifier la meilleure zone pour l'attente. Le contrôleur indique qu'il souhaite maintenir l'avion dans ses espaces, pour qu'il ait connaissance des trafics environnants. Finalement, l'équipage descend au FL 070 et suit le guidage radar donné pour l'attente.

À 21 h 55, l'équipage indique au contrôle qu'il est prêt à rentrer sur l'aéroport du Bourget. L'équipage prévoit une approche ILS 27 VPT 25 et un atterrissage sur la piste 25. Il demande l'assistance à l'arrivée, car il ne sait pas si le train avant est sorti et verrouillé. L'avion est guidé vers le début de l'approche puis est transféré au contrôleur tour (position LOC) du Bourget.

À 22 h 14, le contrôleur prévient l'équipage que les pompiers sont positionnés à proximité de la piste 25. L'avion est alors établi sur l'ILS 27, à 3 000 ft. Quelques minutes plus tard, l'équipage décide de faire un passage bas au-dessus de la piste 25 du Bourget pour faire vérifier l'état du train d'atterrissage. Le contrôleur propose de faire ce passage en piste 27 car il aura une meilleure visibilité, de nuit, ce que l'équipage accepte. À 22 h 22 lors du survol de la piste par l'avion, les pompiers et le contrôleur⁶ confirment que le train avant n'est pas sorti.

À 22 h 25, à nouveau transféré avec l'approche de CDG (DEP), l'équipage demande à nouveau à rester dans les basses couches pour consommer du carburant en vue d'atterrir le plus léger possible. Quelques minutes plus tard, l'avion est de nouveau guidé vers le secteur de Noyon au FL 070. L'équipage partage avec le nouveau contrôleur en position DEP l'idée d'atterrir à CDG dont les pistes sont plus longues et larges que celles du Bourget. L'équipage est de nouveau transféré sur la fréquence SEC NORD.

À 22 h 31, le contrôleur demande à l'équipage s'il a besoin d'assistance et indique qu'il envisage de mobiliser un Rafale pour escorter l'avion jusqu'à la finale et vérifier l'état du train d'atterrissage. L'équipage indique que ce n'est pas nécessaire, car il a eu la confirmation que le train avant n'était pas sorti lors du passage bas au Bourget. L'équipage précise également qu'il va maintenir un atterrissage au Bourget dont les pistes sont suffisamment longues et larges.

⁴ Contrôleur militaire de l'EACA (Élément Air de Contrôle de l'Aéroport CDG).

⁵ Il est possible que l'avion soit resté calé en QNH à ce moment, le QNH était de 997.

⁶ Le contrôleur a utilisé des jumelles.

À 22 h 37, le même contrôleur propose de dérouter un hélicoptère doté de jumelles de vision nocturne en surveillance au Stade de France, pour vérifier lors de la finale si le train est sorti. L'équipage indique à nouveau que ce n'est pas nécessaire, car il a eu la confirmation que le train avant n'était pas sorti lors du passage bas. L'équipage informe le contrôleur qu'il va consommer du carburant pendant environ une heure et demande des informations sur les conditions météorologiques. Le contrôleur indique qu'il n'y a pas de dégradation prévue dans l'heure, mais que de la pluie est attendue plus tard dans la nuit.

À 22 h 43, le contrôleur relaye la proposition des pompiers du Bourget d'installer un tapis de mousse sur la piste⁷, pour prévenir de tout incendie, ce que l'équipage décline initialement, ne sachant pas s'il y aura un impact sur les performances à l'atterrissage. L'équipage questionne le contrôleur sur cette option. Le contrôle demande à l'équipage d'en discuter directement avec les pompiers sur une fréquence allouée qu'il lui fournit.

À 23 h 17, l'équipage s'annonce prêt pour le retour, et indique au contrôleur qu'il n'a en fin de compte pas réussi à contacter les pompiers⁸. L'équipage est transféré sur la fréquence d'approche intermédiaire dédiée principalement aux avions à destination de l'aéroport du Bourget (ITM BA). L'équipage précise au contrôleur d'approche qu'il ne souhaite pas de tapis de mousse. Le contrôleur le guide vers l'aéroport du Bourget en vue d'une procédure ILS 27 VPT 25. Il indique à l'équipage que les départs de CDG seront arrêtés pour laisser plus de liberté à l'équipage pour la manœuvre afin de rejoindre la piste 25 (voir § 2.2.1). L'équipage précise qu'il ouvrira ainsi un peu plus tôt pour assurer la stabilisation en finale.

À 23 h 26, l'équipage indique au contrôleur qu'il souhaite consommer encore un peu plus de carburant, pendant une durée de 30 min environ. Il évolue alors dans le secteur de Crépy-en-Valois (60) à 3 000 ft. Quinze minutes plus tard, l'équipage prévient le contrôleur qu'il va faire une ressource pour tenter de débloquer le train. Le contrôleur précise que l'espace de classe G se situe à 500 ft en dessous. L'équipage réalise la manœuvre et en déduit que cela n'a pas corrigé le problème, car les voyants sont inchangés.

À 23 h 55, l'équipage indique au contrôleur qu'il souhaite commencer l'approche. Il précise qu'en cas d'approche interrompue, il souhaitera un « circuit assez court » car il n'aura plus beaucoup de carburant. L'équipage demande finalement le tapis de mousse. Le contrôleur relaye la réponse des pompiers qui précisent qu'il s'agira d'un tapis de 40 m de long pour éviter les étincelles lors du contact de la partie avant de l'avion avec la piste. Le contrôleur poursuit ensuite en précisant que les pompiers ne sont pas sûrs d'avoir le temps d'installer ce tapis de mousse. Le contrôle propose alors de rallonger la trajectoire de l'avion, l'équipage répond qu'il fera une attente au sud de l'axe de l'ILS 27 du Bourget. Les échanges se poursuivent pour savoir où doit être positionné ce tapis de mousse sur la piste. L'équipage répond qu'il le souhaite à mi-piste. Le contrôleur relaye la demande des pompiers pour savoir s'il souhaite s'affranchir du seuil décalé pour l'atterrissage. L'équipage répond de manière positive. L'équipage indique qu'il souhaite commencer l'approche, en raison de la quantité de carburant restante. Finalement, le contrôleur prévient l'équipage qu'il n'y aura pas de tapis de mousse car il y a trop d'incertitudes sur le temps de maintien de la mousse. Il confirme que l'ensemble des moyens pompiers sont mobilisés pour l'arrivée de l'avion. L'équipage est

⁷ L'idée avait été évoquée par les pompiers avec le contrôle du Bourget après le passage bas.

⁸ Il semble que la portée de la radio portative utilisée par les pompiers n'était pas suffisante. Un essai a été tenté sur une autre fréquence de secours du Bourget, puis un essai avec le téléphone portable du CDB a également été tenté en vain.

transféré au contrôleur LOC du Bourget qui avait pris connaissance que l'équipage allait s'affranchir du seuil décalé pour l'atterrissage. Le contrôleur précise à l'équipage qu'en cas d'approche interrompue, il restera en fréquence avec lui pour un circuit court.

Vers 00 h 15, l'équipage, à 2 NM du seuil de piste, en finale sur le plan standard, augmente le taux de descente en vue d'atterrir en piste 25 en amont du seuil décalé. L'équipage atterrit, le train principal touche la piste en premier, puis l'avant de l'avion, sans incident supplémentaire. De la mousse est ensuite projetée sur l'avion par les pompiers pour éviter tout risque d'incendie.

2 RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

2.1 Témoignages

2.1.1 Expérience et témoignage de l'équipage

Le commandant de bord (CDB), âgé de 45 ans, était titulaire d'une licence de pilote professionnel CPL(A) depuis 2003. Il totalisait environ 5 800 heures de vol, dont environ 3 000 sur type. Il était également instructeur FI(A) et totalisait environ 2 500 h en tant qu'instructeur.

Le copilote, âgé de 25 ans, était titulaire d'une licence de pilote professionnel CPL(A) depuis 2019. Il totalisait environ 1 600 heures de vol, dont environ 150 sur type. Il était également instructeur FI(A) et totalisait environ 1 200 h en tant qu'instructeur.

Les deux membres d'équipage expliquent qu'ils ont tous les deux fait un « tour avion » pour la visite prévol, de nuit sur le parking MIKE qui est moyennement éclairé selon le copilote. Ils n'ont rien remarqué de particulier. L'avion sortait de maintenance. Ils ajoutent qu'il n'y avait pas de problème de train d'atterrissage connu sur cet avion.

Ils indiquent qu'en vol, ils ont rapidement compris qu'il y avait un dysfonctionnement du train d'atterrissage avant. À la suite de souvenirs d'autres événements similaires sur d'autres Citations de l'exploitant, ils ont tenté de sortir puis rentrer le train. Ils ont ensuite appliqué les procédures liées au problème technique. Conformément aux procédures de l'exploitant, c'est le CDB qui a traité la panne. Les actions n'ont pas corrigé le problème. Ils ont également fait une manœuvre de ressource, en vain. Ils ajoutent qu'il y a eu une bonne synergie entre eux pendant cette phase et que le contrôle aérien a fourni une assistance adéquate. Ils ont utilisé le pilote automatique lors de l'attente pour consommer le carburant.

Dans le cadre de la gestion des erreurs et des menaces (TEM)⁹ relatif à cette panne, ils avaient identifié plusieurs risques pour l'atterrissage :

- le risque d'incendie, l'atterrissage sur la partie avant de l'avion pouvant générer des étincelles ;
- la perte de direction lors du roulement à l'atterrissage, un problème sur l'un des trains principaux ne pouvant être exclu.

Le CDB explique qu'en vol, il a envoyé un message au responsable technique de gestion de flotte¹⁰ de l'exploitant qui n'a pas pu les aider davantage pour résoudre la défaillance.

⁹ *Threat and Error Management.*

¹⁰ *Fleet technical manager.*

Les deux membres d'équipage avaient initialement emporté 3 600 livres (lb) de carburant¹¹. Ils indiquent qu'ils avaient retenu une consommation de 600 lb/h¹². À la suite de la panne, l'objectif était de consommer un maximum de carburant, pour être léger et diminuer les vitesses de référence (vitesse cible de l'ordre de 100 kt), et d'en garder suffisamment pour conduire une nouvelle approche le cas échéant, soit environ 600 lb¹³. La quantité minimale de carburant pour commencer l'approche a été réévaluée à plusieurs reprises. En particulier, lorsqu'ils avaient annoncé au contrôleur leur volonté de commencer l'approche sur l'aéroport du Bourget l'avant-dernière fois, ils avaient environ 1 400 lb de carburant, encore trop vis-à-vis du risque incendie selon eux.

Ils expliquent qu'ils ont initialement refusé la proposition des pompiers d'installer un tapis de mousse pour l'atterrissage : ni les pompiers, ni les contrôleurs, ni eux ne connaissaient l'impact de ce dispositif sur les performances de l'avion (roulement avec le train principal uniquement). Quand ils ont finalement accepté, l'atterrissage était trop proche pour permettre l'utilisation du dispositif.

Enfin, ils ont demandé d'atterrir sur la piste 25 qui est plus longue. Le CDB a indiqué qu'il n'avait pas l'habitude d'atterrir sur cette piste, son dernier atterrissage sur cette piste remontait à quatre ou cinq ans. Lors de l'atterrissage, le CDB a maintenu l'avant de l'avion haut le plus longtemps possible et coupé les moteurs. L'avion est resté dans l'axe.

L'équipage considère que les conditions météorologiques étaient bonnes¹⁴, malgré un peu de pluie.

2.1.2 Autres témoignages

Les deux agents de la société d'assistance qui avaient tracté l'avion entre le hangar de l'atelier de maintenance et l'aire LIMA 1, puis entre l'aire LIMA 1 et l'aire MIKE n'ont rien remarqué d'inhabituel au niveau du train d'atterrissage avant de l'avion. Pendant le tractage de l'avion, la barre de tractage est connectée au niveau du train d'atterrissage avant.

2.2 Renseignements sur les aéroports et sur les services de la navigation aérienne

2.2.1 Aéroport Paris - Le Bourget

L'aéroport Paris – Le Bourget dispose de trois pistes :

- la piste 09-27, de dimensions 1 847 x 45 m ;
- la piste 07-25, de dimensions 2 991 x 45 m ;
- la piste 03-21, de dimensions 2 395 x 45 m.

¹¹ La livre est une unité de poids ; 1 lb pèse environ 0,45 kg.

¹² Selon la documentation, avec les trains d'atterrissage sortis, l'avion consomme environ 1 000 lb/h, en attente, et 1 700 lb/h en croisière.

¹³ La réserve finale habituelle de l'avion est de 372 lb.

¹⁴ Les METAR de l'aéroport Paris - Le Bourget mentionnent un plafond à une hauteur de l'ordre de 1 500 ft, une température de 12 °C et un vent 190°/8 kt.

Les longueurs disponibles pour l'atterrissage (LDA) des pistes concernées dans l'incident grave sont :

- 1 805 m en piste 27 ;
- 2 100 m en piste 25.

En configuration face à l'ouest (en vigueur lors de l'incident grave sur les aéroports CDG et du Bourget), l'axe de la finale en piste 25 est sécant avec les axes de décollages des pistes du doublet sud de CDG, très proche de l'aéroport du Bourget. La piste 27, équipée d'un ILS, est la plus fréquemment utilisée. La piste 25 ne dispose pas d'un ILS. Afin de ne pas interférer avec les départs du doublet sud, la trajectoire d'approche VPT 25 suit initialement l'axe d'approche ILS de la piste 27, jusqu'à environ 2 NM du seuil, avant de virer à droite au cap 285° pendant 1,2 NM pour venir intercepter à vue l'axe de la piste 25. Cette piste présente un seuil décalé de 891 m, qui permet d'éloigner le début de la finale VPT 25 des axes de CDG. Il n'existe pas de procédure consistant à s'affranchir du seuil décalé pour atterrir en piste 25. Par ailleurs, dans ces conditions, le franchissement des obstacles est susceptible de ne plus être assuré. Aéroports de Paris, l'exploitant de l'aéroport, précise notamment que des grues étaient présentes, proches de l'aéroport, dans l'axe ou proche de l'axe de la piste 25. Ces grues, équipées de balises d'obstacles, perçaient les OLS (*Obstacle Limitation Surfaces*). Aucun impact n'avait été identifié pour les approches VPT 25, mais aucune analyse n'a été produite vis-à-vis d'une approche directe.

L'aéroport, doté d'un service de sauvetage et de lutte contre l'incendie des aéronefs (SSLIA), avait un niveau de protection de l'aérodrome de 8 au moment de l'incident grave.

L'avion s'est immobilisé sur la piste 25, à la hauteur de la voie de circulation R1.

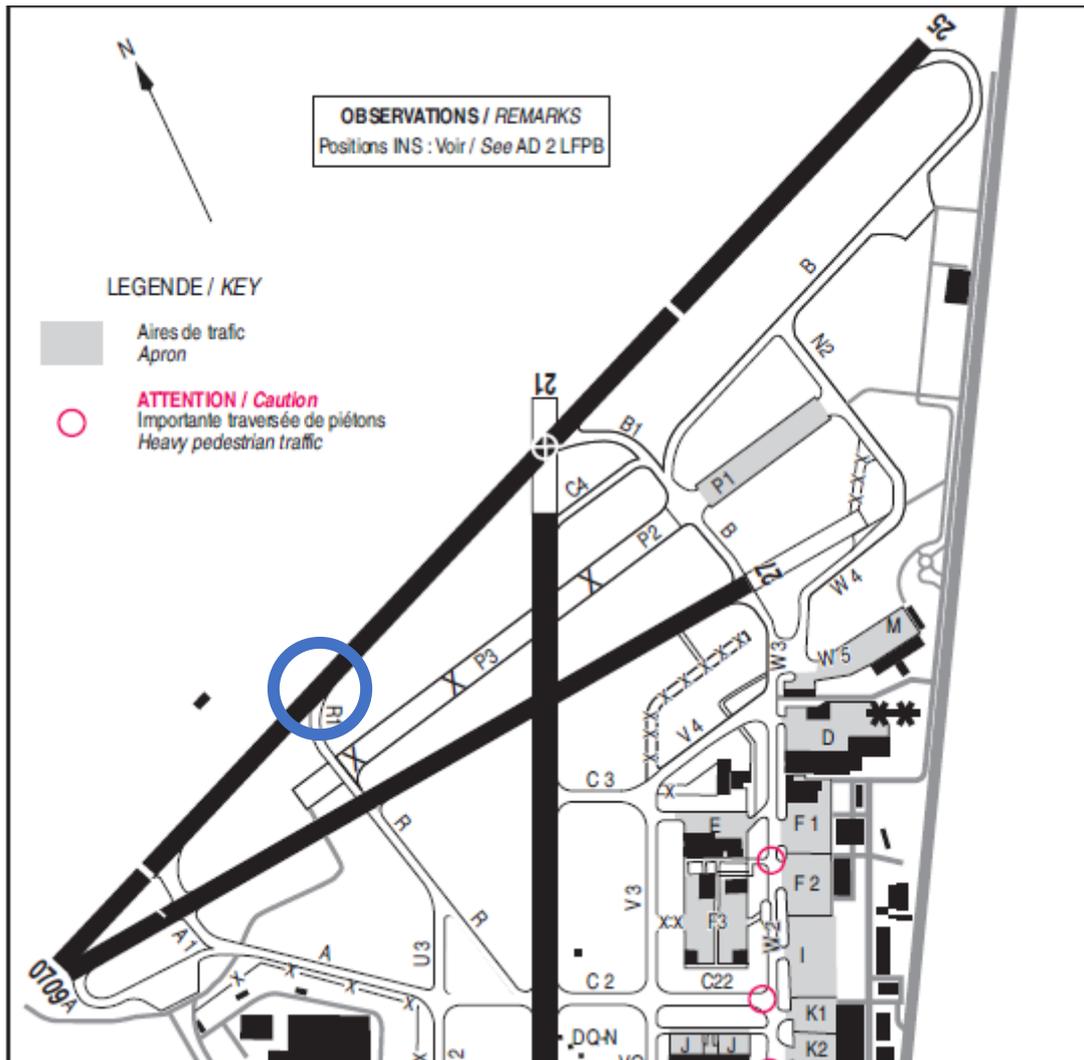


Figure 1 : pistes 07-25 et 09-27 (Source : SIA, annotations BEA)

La documentation du Service de la Navigation Aérienne de l'aéroport du Bourget (SNA-RP/LBG) ne contient pas de procédure relative à un train d'atterrissage dysfonctionnel. Ce n'est pas un sujet traité en formation récurrente.

2.2.2 Aéroport Paris – Charles de Gaulle

Les LDA des pistes de CDG en configuration face à l'ouest sont :

- 2 700 m en piste 27R (largeur 60 m) ;
- 3 600 m en piste 27L (largeur 45 m) ;
- 3 616 m en piste 26R (largeur 45 m) ;
- 2 700 m en piste 26L (largeur 60 m).

La documentation du Service de la Navigation Aérienne de CDG (SNA-RP/CDG) contient une fiche réflexe relative au « *Belly landing* ». Cette fiche mentionne la piste à privilégier à CDG, les personnes à contacter/informer et comment gérer le trafic dans le cas d'un atterrissage « sur le ventre ». Par ailleurs, la fiche « *PAN PAN ou MAYDAY* » prévoit d'isoler en fréquence l'avion en difficulté. La fiche « Assistance à VFR » prévoit quant à elle de déclencher la permanence opérationnelle (Rafale de l'Armée de l'air et de l'espace) au besoin.

Le manuel d'exploitation pour l'aéroport de CDG précise que la conduite d'une mission d'assistance à un aéronef en situation d'urgence (PAN PAN PAN, par exemple) ou de détresse (MAYDAY, MAYDAY, MAYDAY, par exemple)¹⁵ par un aéronef de la Défense est confiée en tout ou partie à l'EACA. La vérification d'un train d'atterrissage est mentionnée dans la liste d'exemples de situations d'urgence ou de détresse. L'opération d'assistance n'est déclenchée que sur demande du pilote.

Le manuel d'exploitation précise également que dans le cas d'un avion en difficulté, ce dernier peut être guidé vers les secteurs d'attente définis sur les IAF. Les premiers niveaux utilisables sont en général proches du FL 070 pour rester en espace aérien contrôlé. L'utilisation de l'altitude de 3 000 ft peut être compliquée en raison de la proximité des aéroports CDG et du Bourget où le trafic aérien peut être dense. Dans le nord de CDG, sur demande du contrôleur militaire SEC NORD, il est possible d'activer une zone militaire gérée par un contrôleur militaire de l'EACA et d'y transférer l'aéronef en difficulté. Cette zone s'étend du FL 065 (plancher de la TMA de classe A) jusqu'au FL 195.

2.3 Renseignements sur l'avion

Le F-HMSG est un Cessna 525A Citation Jet CJ2 construit par Textron Aviation et certifié monopilote. L'exploitant Valljet¹⁶ l'utilise en multipilote pour les opérations de transport aérien commercial, conformément aux exigences réglementaires applicables.

Les moteurs de l'avion sont fixés sur l'arrière du fuselage.

Le manuel de vol de l'avion prévoit dans la procédure normale, section inspection extérieure (visite prévol), d'inspecter les trappes, les roues et les pneumatiques des trains d'atterrissage avant, principal droit et principal gauche.

Le manuel de vol de l'avion et le QRH¹⁷ de l'exploitant contiennent la procédure *Landing gear will not retract (gear unlock light remains ON)*. Cette procédure prévoit notamment de faire un *reset* du *Gear Control Circuit breaker* avec la commande du train d'atterrissage positionnée sur *UP* (train rentré). Si le train ne rentre pas, il faut positionner la commande sur *DOWN* (train sorti) et atterrir dès que possible en vérifiant que les trains d'atterrissage sont bien sortis.

Le manuel de vol de l'avion et le QRH contiennent également la procédure *Landing gear will not extend*. Cette procédure prévoit notamment, avec une vitesse inférieure à 200 kt, de faire un *reset* du *Gear Control Circuit Breaker* avec la commande du train d'atterrissage positionnée sur *DOWN* (train sorti). Si le train ne sort pas, il faut tirer le *Gear Control Circuit Breaker* puis utiliser la commande de secours de sortie du train d'atterrissage. La procédure ne prévoit pas d'actions supplémentaires au cas où le train ne sortirait pas avec la commande de secours.

Ni le manuel de vol ni le QRH ne comportent de procédure relative à un atterrissage avec un train d'atterrissage dysfonctionnel, de type « *landing with abnormal landing gear* », qui peut exister sur d'autres types d'avion.

¹⁵ Aucune des deux phraséologies n'a été utilisée au cours du vol de l'incident grave.

¹⁶ Compagnie d'aviation d'affaire européenne basée sur l'aéroport Paris – Le Bourget, réalisant des vols à la demande.

¹⁷ *Quick Reference Handbook*.

La documentation de l'exploitant impose, pour obtenir la distance d'atterrissage à l'heure de l'arrivée (LDTA), d'ajouter 15 % de marge de sécurité à la distance d'atterrissage, basée sur les tables fournies par le constructeur. L'exploitant a calculé les LDTA suivantes, pour les conditions suivantes, au moment de l'incident grave : masse d'environ 8 500 lb, température de 12 °C, vent de face de 4 kt, au niveau de la mer (altitude de référence de l'aéroport Paris - Le Bourget = 220 ft), en configuration atterrissage et à VREF :

- 3 660 ft environ soit 1 110 m, sur une piste sèche ;
- 5 130 ft environ soit 1 560 m, sur une piste mouillée¹⁸.

2.4 Dysfonctionnement du train d'atterrissage avant

2.4.1 Examen de l'avion

Le BEA n'a pas assisté au relevage de l'avion ni à son transfert vers le hangar. Ces opérations se sont déroulées dans la nuit de l'incident grave. Un technicien ayant assisté aux opérations a indiqué au BEA que des bandes adhésives en aluminium étaient collées sur les trappes du train d'atterrissage avant et qu'il les a retirées après les avoir prises en photo.



Figure 2 : bandes adhésives présentes sur les trappes du train avant (Source : R&O)

L'avion a été examiné par le BEA dans le hangar de l'atelier de maintenance R&O (voir § 2.5). Il a été constaté que le mécanisme d'actionnement des trappes du train d'atterrissage avant était déconnecté :

- la charnière arrière droite était déconnectée de la trappe droite (cercles verts sur la Figure 3) et les six vis correspondantes étaient présentes dans un sachet qui était accroché à la bielle d'actionnement de la trappe gauche ;
- la bielle d'actionnement de la trappe gauche était déconnectée de la charnière arrière gauche (cercles rouges sur la Figure 3) et l'assemblage vis-écrou correspondant était présent dans le sachet de vis.

¹⁸ Le contrôleur avait indiqué à l'équipage que la piste était légèrement mouillée.

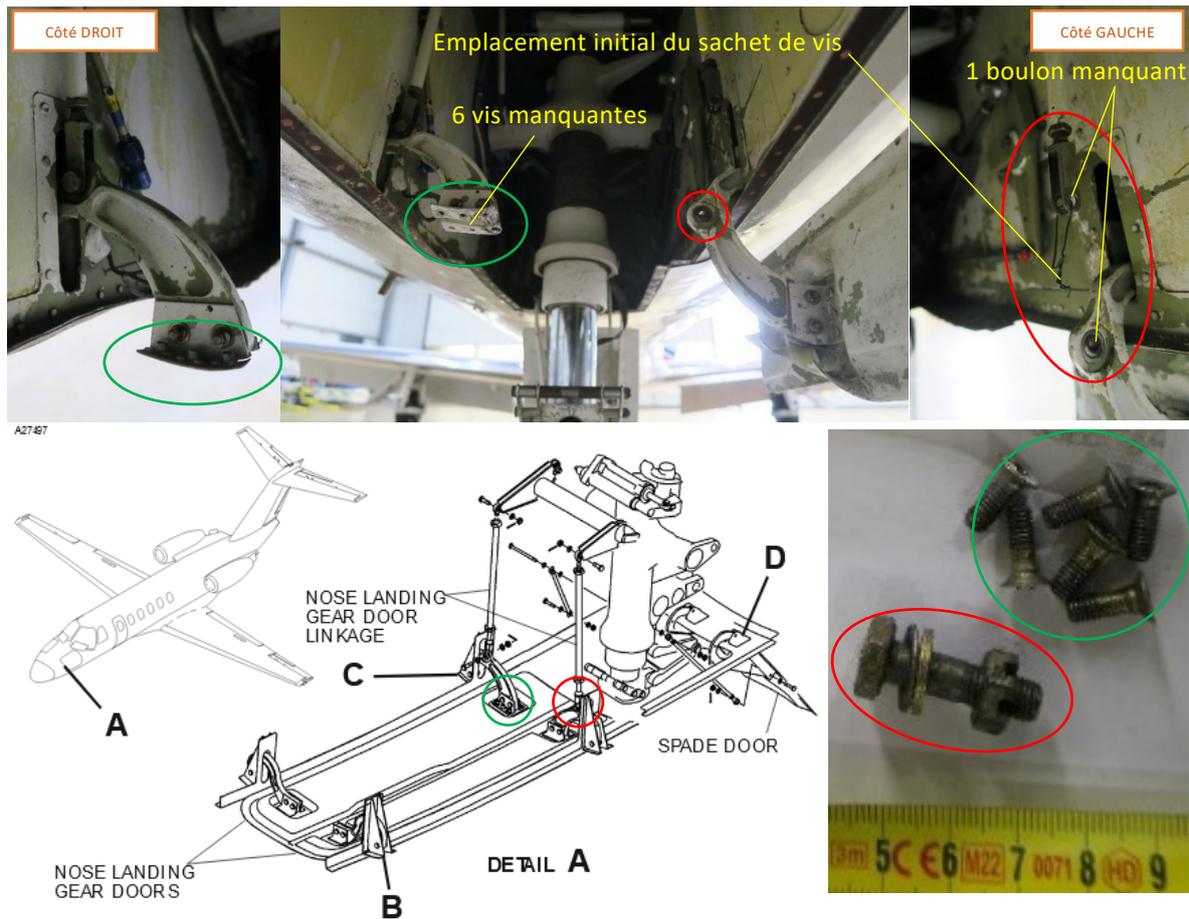


Figure 3 : mécanisme d'actionnement des trappes du train avant du F-HMSG
(Source : AMM Textron Aviation ; photos et annotations BEA)

2.4.2 Scénario relatif au blocage du train d'atterrissage avant

Lors de l'utilisation normale du train d'atterrissage, les trappes de train avant sont fermées lorsque ce dernier est en position sorti ou rentré. Les trappes du train avant ne sont ouvertes que lorsqu'il est en mouvement.

Les charnières arrière des trappes sont actionnées par deux bielles reliées mécaniquement au mécanisme de rentrée et sortie du train. Ces deux bielles ont un mouvement vertical lors de leur actionnement au début et à la fin du mouvement de sortie et de rétraction du train avant.

Lors du vol de l'incident grave, ces bielles n'étaient plus connectées aux trappes du train avant car les vis n'avaient pas été remontées, empêchant le mouvement nominal des trappes.

En vol, lorsque l'équipage a commandé la rentrée du train avant alors que les trappes étaient fermées par la bande adhésive, la trappe droite a probablement été forcée de s'ouvrir sous l'effet de la force exercée vers le bas par la bielle d'actionnement de la trappe droite sur la charnière arrière. La bande adhésive retenant les trappes fermées s'est alors probablement déchirée, permettant ainsi à la trappe gauche de s'ouvrir et de rester suspendue, dans une position intermédiaire entre l'ouverture complète et la fermeture complète. La charnière droite a probablement maintenu la trappe droite complètement ouverte jusqu'à ce que la séquence de rétraction du train commence à soulever la bielle droite qui n'était pas attachée à la charnière droite. À ce moment-là, la trappe droite a probablement également été suspendue dans une

position déterminée par les forces aérodynamiques. Il est très probable que lorsque le train avant est rentré, les trappes ont été suffisamment soulevées pour interférer avec le train avant, ce qui a provoqué un blocage qui a empêché par la suite la sortie du train avant.

2.5 Renseignements sur la maintenance

2.5.1 Généralités

La maintenance des avions de l'exploitant Valljet est confiée à l'atelier maintenance part 145 R&O¹⁹, également basé sur l'aéroport Paris – Le Bourget.

Le F-HMSG avait fait l'objet d'opérations de maintenance entre le lundi 23 et le jeudi 26 octobre 2023, sur différents systèmes. Trois opérations d'entretien demandaient d'intervenir au niveau du train d'atterrissage avant et en particulier la tâche 53-00-00-215.

2.5.2 Tâche de maintenance 53-00-00-215

Cette tâche explicite les items à réaliser en vue de l'inspection visuelle générale du puits de train d'atterrissage avant. Le manuel de maintenance du constructeur contient les éléments suivants :

« Task 53-00-00-215: Nose Landing Gear Wheel Well General Visual Inspection (Corrosion Inspection) »

(1) Open the nose landing gear doors. Refer to Chapter 52, Nose Landing Gear - Maintenance Practices.

(2) Complete a preliminary examination of the nose landing gear wheel well and all hardware, tubing, cables and other components in the wheel well area for cleanliness, foreign objects, deformed or missing fasteners, security of installation, corrosion, damage, paint swelling, bubbles, blisters, pits, discoloration, buckling, powdery deposits, bulging, dents, or chafed components.

(3) Clean and dry the nose landing gear wheel well area and other components in the wheel well area to remove all dirt, contaminants and grease from the inspection area.

(4) Use a flashlight held at an angle approximately parallel to the inspection surface to examine the nose landing gear wheel well area for any indications of corrosion.

(5) If you suspect corrosion exists in a specific area that has paint or primer on it, do the following:

(a) Use MPK to clean the area that is to be examined.

(b) Firmly apply 3M 250 tape to the affected area.

(c) Remove the tape quickly.

1 If the paint is removed but the primer is not, apply the tape directly to the primer and quickly remove it.

2 Corrosion is indicated if the primer is removed from the surface of the structure.

¹⁹ Le dirigeant responsable de l'exploitant Valljet est également le dirigeant responsable de l'atelier de maintenance part 145 R&O.

3 If the paint is removed but the primer is not, apply the correct paint to the affected area. Refer to the Citation Standard Practices Manual, Chapter 20, Exterior Finish - Cleaning/Painting.

(6) If corrosion is found, refer to the Model 525A Structural Repair Manual, Crack, Scratch, Gouge and Corrosion - Description and Operation or the applicable Component Maintenance Manual for information on allowable damage and repair procedures.

(7) If the corrosion damage exceeds the limits specified in the applicable manual or if damage limits are not specified, complete a written report on the location and severity of the corrosion. Include photographs and any other necessary information. Contact Textron Aviation Customer Service, Structural Repair to report the corrosion findings. Refer to the Introduction - Introduction, How to Get Customer Assistance.

(8) Close the nose landing gear doors. Refer to Chapter 52, Nose Landing Gear - Maintenance Practices. »

2.5.3 Témoignages des techniciens de maintenance

L'ensemble des techniciens qui sont intervenus sur le F-HMSG lors des opérations au niveau du train d'atterrissage avant, s'est entretenu avec le BEA :

Technicien de maintenance	Âge	Ancienneté chez R&O	Licence Part 66	Qualifié sur Citation	Évaluation interne de compétences ²⁰	Horaires de travail
1	59 ans	4 mois	oui	non ²¹	non	6 h – 18 h
2	42 ans	2 ans	oui	non	oui	6 h – 19 h
3	19 ans	2 mois	non		non	6 h – 18 h
4	23 ans	8 mois	non		non	6 h – 18 h
5	22 ans	4 ans	non		oui	8 h – 16 h 30
6	61 ans	13 ans	oui	oui	oui	8 h – 16 h 30

Les techniciens 1, 3 et 4 avaient un cycle de travail de quatorze jours. Pendant les sept premiers jours (vacation de travail), du jeudi au mercredi, ils travaillaient tous les jours de 6 h à 18 h, puis étaient en repos les sept jours suivants. Le technicien 2 avait également un cycle de travail de quatorze jours. Pendant les sept premiers jours (vacation de travail), du jeudi au mercredi, il travaillait tous les jours de 6 h à 19 h, sauf le dimanche, puis était en repos les sept jours suivants. Certains techniciens précisent que c'est un rythme fatigant, et qu'en fin de vacation, le mercredi, ils étaient fatigués. Ils ajoutent que cela pouvait favoriser la survenue d'erreurs et une baisse de vigilance. Les techniciens 5 et 6 travaillaient uniquement du lundi au vendredi, de 8 h à 16 h 30. Une autre équipe de techniciens travaillait en transparence de l'équipe concernée par l'incident grave, pendant ses jours de repos.

²⁰ En cas d'absence d'évaluation des compétences, le technicien n'est pas autorisé à travailler sans supervision.

²¹ Il était qualifié sur avions Falcon.

	jeudi	vendredi	samedi	dimanche	lundi	mardi	mercredi	jeudi	vendredi	samedi	dimanche	lundi	mardi	mercredi
#1	6h-18h	6h-18h	6h-18h	6h-18h	6h-18h	6h-18h	6h-18h	Repos						
#2	6h-19h	6h-19h	6h-19h	Repos	6h-19h	6h-19h	6h-19h	Repos						
#3	6h-18h	6h-18h	6h-18h	6h-18h	6h-18h	6h-18h	6h-18h	Repos						
#4	6h-18h	6h-18h	6h-18h	6h-18h	6h-18h	6h-18h	6h-18h	Repos						
#5	8h-16h30	8h-16h30	Repos	Repos	8h-16h30	8h-16h30	8h-16h30	8h-16h30	8h-16h30	Repos	Repos	8h-16h30	8h-16h30	8h-16h30
#6	8h-16h30	8h-16h30	Repos	Repos	8h-16h30	8h-16h30	8h-16h30	8h-16h30	8h-16h30	Repos	Repos	8h-16h30	8h-16h30	8h-16h30

Figure 4 : cycles de travail des différents techniciens (Source : BEA)

Les travaux sur le F-HMSG ont débuté le lundi 23 octobre. Le technicien 1 indique qu'en l'absence du chef d'équipe²² qui était en congé, il a décidé d'organiser et de superviser les tâches. C'était la deuxième fois qu'il prenait ce rôle dans cet atelier ; il avait toutefois déjà rempli cette fonction chez ses employeurs précédents. Le technicien 1 a chargé les techniciens 4 et 5 des tâches liées au moteur gauche. Les deux techniciens indiquent qu'ils ont été accompagnés par le technicien 1 au cours de leur intervention. Concernant les tâches des trains d'atterrissage, il a demandé au technicien 3 de s'en occuper. Pour le train d'atterrissage avant, le technicien 1 a choisi de partager la tâche entre plusieurs techniciens. Il indique qu'il a demandé au technicien 3 de s'occuper du nettoyage (item 3 de la tâche 53-00-00-215), et comme ce dernier avait peu d'expérience, il a préalablement demandé au technicien 2 d'ouvrir les trappes (item 1 de la tâche 53-00-00-215). Le technicien 1 avait une confiance limitée dans les compétences du technicien 3. Plusieurs techniciens mentionnent qu'il est, selon eux, préférable de confier une tâche, dans son intégralité, à un seul technicien afin de limiter la survenue d'erreurs.

Le technicien 3 a commencé son travail sur les trains d'atterrissage le lundi et a terminé le mardi avec le train d'atterrissage avant. Il s'est notamment occupé de l'inspection et du nettoyage du train d'atterrissage avant (items 2 et 3 de la tâche 53-00-00-215). Il précise qu'il ne savait pas qui avait préalablement ouvert les trappes. Il explique que lorsqu'il a terminé, il a informé le technicien 1 et lui a demandé s'il devait connecter les trappes du train d'atterrissage avant au système de fermeture. Il indique que le technicien 1 lui a répondu par la négative car il souhaitait vérifier les travaux et refermer les trappes lui-même. Toutefois, il indique que le technicien 1 lui avait demandé de remplir la carte de travail relative à la tâche 53-00-00-215, ce qu'il a fait.

Le technicien 1 explique, quant à lui, que le technicien 3 n'est jamais venu lui indiquer qu'il avait travaillé sur le train d'atterrissage avant. Le technicien 1 avait, le mardi matin, procédé à l'inspection du train d'atterrissage avant (item 2 de la tâche 53-00-00-215). Il ajoute que mardi après-midi, le technicien 3 lui a demandé une autre tâche à effectuer. Le technicien 1 a ainsi considéré que les travaux sur les trains d'atterrissage étaient intégralement terminés, cependant il ne l'a pas vérifié. Il précise « qu'il ne pouvait pas être partout et tout vérifier ».

Le technicien 3 indique avoir demandé plusieurs conseils au technicien 1, après avis du technicien 4, sur la base de photos, au sujet du train d'atterrissage avant. Ces demandes portaient sur :

- des traces de corrosion sur des ressorts : le technicien 1 a indiqué qu'il s'agissait d'une corrosion superficielle et qu'un nettoyage et un graissage suffisaient. Il l'avait également constaté lors de son inspection ;

²² Ce chef d'équipe était titulaire d'une licence part 66 et était qualifié sur Cessna Citation. Dans la documentation de l'atelier, le chef d'équipe est appelé chef de production. C'est lui qui signe les APRS quand il est présent.

- l'absence de protection anticorrosion sur les parois du puits : le technicien 1 a indiqué qu'elle n'était pas très importante, que cela pouvait attendre la prochaine grande visite et qu'il n'était pas possible de tout repeindre.



Figure 5 : traces de corrosion sur des ressorts du mécanisme du train d'atterrissage avant²³
(Source : R&O)



Figure 6 : protection anticorrosion (de couleur jaunâtre) absente sur les parois du puits du train d'atterrissage avant
(Source : R&O)

Le technicien 3 était absent le mercredi 25 octobre pour raisons personnelles. Ce jour-là, en début d'après-midi, les techniciens 4 et 5 ont tracté l'avion en dehors du hangar en prévision d'un point fixe pour vérifier différents systèmes. Afin de ne pas endommager les trappes du train avant avec le remorqueur, les deux techniciens ont scotché en position fermée les deux trappes avec de la bande adhésive en aluminium. Le technicien 5 indique qu'une « flamme rouge » était présente. Selon lui, elle pendait depuis l'intérieur du puits et était visible de l'extérieur, trappes fermées. Le technicien 4 ne se souvient plus si c'est lui qui a installé cette flamme, par réflexe, car les trappes n'étaient pas connectées au système de fermeture, ou si elle était déjà présente²⁴. Les deux techniciens expliquent qu'ils ont utilisé de « longues bandes » de ruban adhésif afin qu'elles soient visibles.

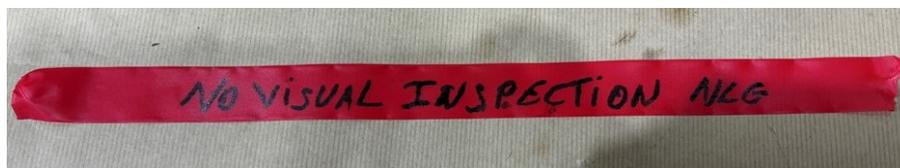


Figure 7 : flamme présente sur le train d'atterrissage avant (Source : R&O)

Le technicien 1 explique qu'avant de faire le point fixe avec le technicien 6, il a fait le tour de l'avion. Il a vu une flamme collée sur le fuselage de l'avion à proximité du train d'atterrissage avant et l'a retirée, car il avait fait l'inspection la veille. Il ne s'est pas posé de questions et n'a pas vérifié

²³ Le BEA a partagé quelques photos avec Textron Aviation. Ce dernier indique que, vu le niveau de corrosion observé sur les photos, s'il avait été consulté, il aurait recommandé le remplacement des ressorts.

²⁴ Aucun des autres techniciens n'a mentionné avoir installé cette flamme.

visuellement les abords du train d'atterrissage. Les trappes étaient fermées, ce qui était cohérent avec la tâche terminée. Il ajoute que si les trappes n'étaient pas connectées au système de fermeture, il ne fallait pas les fermer et que le cas échéant, il fallait le dire. Il précise que ce jour-là, il a dû « courir partout ».

Plusieurs techniciens indiquent que la journée du mercredi était très chargée, en raison notamment de plusieurs changements de priorité sur divers avions, impliquant un grand nombre de déplacements d'avions. Un technicien mentionne que le chef pilote du secteur Citation de Valljet²⁵ est venu lui donner des directives sur les priorités. Il précise qu'il n'est pas rare de voir cette personne venir hiérarchiser le travail des techniciens. Un autre technicien précise que les techniciens appliquent les directives de cette personne, car elle est très proche du dirigeant responsable de l'atelier et qu'elle a été technicien de maintenance également.

Le technicien 6²⁶ explique que c'est lui qui a signé l'approbation pour remise en service (APRS) de l'avion, le jeudi 26 octobre. Sa vérification sur l'avion a duré une dizaine de minutes. Il indique qu'il n'a rien observé de spécifique. De manière générale, il fait confiance aux chefs d'équipe pour lui signaler les éventuels problèmes. Habituellement les chefs d'équipe s'occupent des APRS, mais quand ils sont absents il prend le relai. Enfin, il indique que quelques dernières tâches confiées au technicien 5 ont été réalisées à l'extérieur. Le technicien 5 indique qu'il n'a pas prêté attention aux trappes de train, et n'a pas vu les bandes adhésives en aluminium qui les refermaient.

La plupart des techniciens interviewés par le BEA indiquent que l'organisation de R&O est difficile à comprendre. Ils précisent qu'ils ne savent pas « qui est chargé de quoi ni qui est responsable de quoi ». Ils ajoutent qu'il y a beaucoup de turn-over et que cela ne favorise pas la consolidation de méthodes et d'expériences collectives. C'était l'une des premières fois que le chef d'équipe était absent, pour cette équipe. Le technicien 1, vu son expérience, a pris ce rôle de chef d'équipe « remplaçant ». Il n'avait pas reçu de consigne de ses responsables, en l'absence de son chef d'équipe. Il précise « qu'il fallait faire le travail ». Les techniciens précisent que l'équipe qui travaille pendant les sept jours où ils sont en repos n'a pas de chef d'équipe. Le technicien 1 précise qu'il n'existe pas de moyen formel pour transmettre des informations et que par exemple pour informer l'équipe suivante des travaux à terminer, il utilise « un morceau de papier, déposé sur le clavier de l'ordinateur ». Un technicien précise qu'avec la multitude de plannings différents entre les techniciens, le suivi et la passation des tâches sont difficiles.

Enfin, plusieurs techniciens indiquent qu'il n'est pas rare que les tâches de travail soient interrompues, soit pour assister un collègue sur une autre tâche, soit pour rendre des services à des membres de l'encadrement, services qui peuvent être complètement décorrélés de la maintenance sur avion.

2.5.4 Analyse des cartes de travail liées à l'inspection du train d'atterrissage avant

Il n'a pas été indiqué sur la carte de travail relative à la tâche 53-00-00-215 qu'elle a été répartie entre plusieurs techniciens ni que les trappes n'étaient pas fermées. Seul le technicien 3 avait signé les travaux relatifs à cette carte. Les interventions des techniciens 1 et 2 n'étaient pas mentionnées.

²⁵ Il s'agit du *Fleet technical manager* de l'exploitant Valljet.

²⁶ Il indique par ailleurs qu'il ne souhaitait pas être chef d'équipe, car il ne souhaitait pas avoir de tâches managériales.

2.5.5 Renseignements sur l'atelier R&O

R&O précise qu'un technicien réalisant une tâche doit signer le document correspondant. En fonction de l'évaluation de compétence du technicien ou de la criticité de la tâche à réaliser, celle-ci peut être contrôlée avant d'être complètement validée. En cas de multiples intervenants sur la même tâche, R&O demande que chaque technicien signe sa partie réalisée.

R&O indique qu'au moment de l'incident grave, il n'y avait qu'un seul chef d'équipe, absent au moment des travaux sur le F-HMSG, pour les deux équipes, et qu'il n'y avait pas d'adjoint au chef d'équipe. R&O précise que pour être chef d'équipe, il faut avant tout que la personne concernée accepte la mission proposée. Ensuite, cette mission est confiée aux techniciens ayant un goût pour le management d'équipe, avec une expérience approfondie de la maintenance aéronautique et une connaissance satisfaisante des normes et des règles de l'art du métier. Un chef d'équipe, qui organise le travail de son équipe, affecte les tâches de maintenance aux techniciens en fonction des compétences, supervise les contrôles, s'assure du respect des règles et des normes du métier par les techniciens de son équipe et réalise les entretiens d'évaluation de compétences des techniciens de l'équipe.

R&O précise que le *Fleet technical manager* de l'exploitant Valljet n'a pas de prérogative pour établir une priorité entre les différentes tâches de maintenance. En revanche, ses fonctions lui donnent un rôle de représentant de l'exploitant Valljet chez R&O. À ce titre, il peut exposer son point de vue et donner des conseils techniques. Il peut également, lorsque plusieurs chantiers sont en cours, exposer son besoin en exprimant un ordre de priorité des chantiers à réaliser.

2.5.6 Intervention de surveillance de l'OSAC

À la suite de l'incident grave, l'atelier a fait l'objet d'une intervention de surveillance par l'OSAC²⁷ du 30 octobre au 10 novembre 2023. Plusieurs écarts ont été constatés, la plupart en lien direct avec la survenue de l'incident grave :

Écarts de niveau 1²⁸ :

- Exigence 145.A.30(d) : « *L'organisme ne dispose pas de plan homme-heure permettant d'assurer qu'il dispose de personnel en nombre suffisant et qualifié de façon appropriée pour réaliser, superviser et inspecter les activités d'entretien, ni de procédure pour réévaluer le travail à réaliser en cas de réduction des effectifs disponibles sur une équipe ou période donnée. En effet, au cours des investigations, un planning Excel de l'année 2023 a été présenté, cependant celui-ci n'est pas à jour des effectifs réels de l'organisme, ni de leurs absences. Par exemple, les techniciens 1, 3 et 4 n'apparaissent pas sur ce fichier ; a contrario un technicien, ayant quitté l'organisme, y figure toujours comme présent ; le chef d'équipe Cessna, en congés du 23 au 27 octobre est indiqué présent. [...] » ;*
- Exigence 145.A.30(e) : « *Les compétences du personnel ne sont pas maîtrisées. En effet, il a été constaté que lors du chantier du F-HMSG réalisé du 23 au 26 octobre, trois techniciens, dont un faisant office de chef d'équipe, travaillaient sans supervision alors qu'ils n'y étaient pas autorisés, leurs compétences n'ayant pas été évaluées. Par ailleurs, quatre autres techniciens, intervenant sur ce chantier, ont été évalués comme pouvant travailler partiellement sous supervision. Cependant, leurs évaluations de compétences ne permettent pas d'identifier les activités nécessitant d'être supervisées » ;*

²⁷ L'OSAC, mandatée par la DSAC, assure notamment la surveillance des ateliers de maintenance Part 145.

²⁸ 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 (en France l'OSAC) pour interdire ou limiter les activités réalisées au titre de l'agrément.

- Exigence 145.A.30(h)1(i) : « *Le personnel de soutien et de certification ne s'assure pas que les tâches d'entretien ont été réalisées conformément au standard requis. En effet, lors du chantier réalisé sur le F-HMSG du 23 au 26 octobre, le technicien 6, agissant en tant que personnel de soutien B1 et B2 et de certification n'a pas vérifié au cours du chantier que les tâches d'entretien et inspection étaient réalisées conformément à la documentation d'entretien. Celui-ci a indiqué n'effectuer qu'une vérification administrative des cartes de travail.* »
- Exigence 145.A.50(a) : « *Les aéronefs sont remis en service alors que tous les travaux n'ont pas été réalisés en accord avec la documentation d'entretien. En effet, le Cessna 525A immatriculé F-HMSG a été remis en service alors qu'à l'issue des inspections visuelles des trains, les trappes du train avant n'avaient pas été refixées et avaient été fermées avec du scotch. Par ailleurs, il a été identifié que l'aéronef n'avait pas été mis sur vérin pour l'ouverture des trappes et l'inspection des trains alors que requis par la documentation d'entretien.* »
- Exigence 145.A.47(a) : « *La planification de la disponibilité des moyens permettant d'assurer que les travaux d'entretien sont réalisés de façon sûre n'est pas effectuée. En effet, du 23 au 25 octobre, quatre Cessna 525A étaient en entretien alors que l'organisme ne disposait que d'un personnel qualifié et habilité sur ce type d'aéronef travaillant de 8 à 16 h. Les autres techniciens étant intervenus ne sont pas qualifiés sur ce type d'aéronef, nécessitent d'être totalement ou partiellement supervisés et travaillent de 6 à 18 h. Par ailleurs, il a été constaté que la check-list de réunion de lancement de chantier (Form-20) du F-HMSG n'était contresignée que par le Bureau Technique et ne désignait pas le Chef d'équipe et le personnel de certification pour ce chantier.* »

Écarts de niveau 2²⁹ :

- Exigence 145.A.45(e) : « *Les cartes de travail ne permettent pas d'identifier les personnels d'entretien étant intervenus successivement et si l'ensemble des tâches ont été effectuées. En effet, dans le cadre du chantier du F-HMSG réalisé du 23 au 26 octobre, il a été constaté que :*
 - *les étapes successives de la procédure d'inspection du train avant ne sont pas validées ;*
 - *le technicien 2 ayant démonté la trappe du train avant n'a pas renseigné la carte de travail ;*
 - *le dossier de travaux ne contient pas de carte de travail détaillée pour les checks 1 et 2 du moteur #1 ;*
 - *la carte de travail générale de la check 1 du moteur #1 comporte une mention "oil and fuel leak check to be performed" sans information de sa réalisation ;*
 - *les étapes du test fonctionnel du joint de porte cabine (Doc. 24) sont validées de façon partielle : la section C (test de fuite) n'est pas validée. De plus, tous les personnels ayant réalisé cette tâche ne sont pas mentionnés sur la carte de travail ;*
 - *la check-list "Ouverture et fermeture des panneaux d'accès" (Form-72) listant les panneaux ouverts et attestant que ceux-ci ont bien été refermés n'est pas remplie.* »

²⁹ Un écart de niveau 2 est une non-conformité qui pourrait abaisser le niveau de sécurité et éventuellement porter atteinte à la sécurité du vol, et pour laquelle l'Autorité accorde un délai de mise en œuvre d'un plan d'action adapté à la nature de la non-conformité.

- Exigence 145.A.95(a)1 : « Les actions mises en œuvre par l'organisme en réponse aux écarts notifiées par l'Autorité sont inefficaces. En effet, des écarts similaires aux deux premiers écarts avaient été notifiés pour défaut de supervision d'un personnel non évalué et absence de plan homme-heure au mois de mars et mai 2023. »
- Exigence 145.A.70(a) : « La procédure de passage de consignes entre les équipes n'est pas respectée. En effet, il a été constaté que les consignes du chantier F-HMSG avaient été transmises sur une feuille volante retrouvée dans une poubelle et que celles des chantiers Embraer sont transmises par mail, alors que les procédures de l'organisme prévoient l'utilisation de cahiers disponibles sur les plats-bords. »

2.5.7 Plan d'actions correctives mis en place par l'atelier R&O à la suite de l'incident grave

Par décision de la commission des agréments d'OSAC, la notification des écarts de niveau 1 a été associée à une suspension de l'agrément de l'atelier de maintenance Part 145 R&O. L'agrément a été suspendu du 16 au 23 novembre 2023 puis partiellement jusqu'au 6 décembre 2023. La suspension a été levée, après la mise en place par l'atelier d'actions correctives comprenant :

- une réorganisation des équipes de production et des changements de personnel d'encadrement ;
- une réduction du domaine d'activité ;
- une modification des procédures d'évaluation des compétences, d'habilitation du personnel et de planification, enregistrement et certification des travaux ;
- une évaluation de compétences de l'ensemble du personnel et l'organisation des formations complémentaires nécessaires.

2.6 « Tapis de mousse »

2.6.1 Témoignage du responsable du SSLIA

Le responsable du SSLIA de l'aéroport du Bourget indique qu'il n'existe pas de procédure pour les opérations d'épandage préventif « tapis de mousse » et qu'elle est laissée à l'initiative du chef de manœuvre (l'un de ses collègues, au moment de l'incident grave). Il précise qu'un épandage préventif peut se concevoir pour un avion qui atterrit « sur le ventre » (*belly landing*), en effet de fortes étincelles peuvent apparaître en périphérie des ailes, donc des réservoirs, susceptibles de générer un embrasement. Une mesure d'épandage préventif peut ainsi se justifier au regard de la montée en température, voire de l'abrasion de la cellule en contact avec la piste. Selon lui, dans le cas d'un atterrissage sur le train principal, sans train avant, l'épandage préventif peut a contrario générer un glissement des pneumatiques et faire sortir l'avion de la piste.

Au Bourget, les pompiers disposent de trois véhicules d'intervention chacun d'une capacité de 9 000 l. Cette quantité d'eau permet d'épandre environ 70 m³ de mousse, soit une longueur de l'ordre de 150 m avec une épaisseur moyenne d'une dizaine de centimètres. La quantité d'émulseur à bord permet deux épandages ; il faut compter environ dix minutes pour recharger le véhicule en eau. Le responsable ajoute que la tenue de la mousse projetée dépend de plusieurs facteurs (soumise au feu ou non, force du vent, température sur site...), en sachant qu'une mousse répandue dans des conditions idéales peut tenir trois heures, et peut être renouvelée (suivant les conditions rencontrées) à la convenance du chef de manœuvre.

2.6.2 Renseignements fournis par le Service technique de l'Aviation civile (STAC)

Le STAC précise qu'en France, il n'y a jamais eu d'évaluation de l'impact d'un « tapis de mousse » sur les performances à l'atterrissage, ni d'ailleurs sur l'intérêt effectif opérationnel d'une telle procédure, que ce soit pour des avions avec un fuselage en aluminium ou en composite.

L'épandage de mousse sur les pistes ne relève pas en effet d'une pratique recommandée pour les SSLIA par l'OACI. Ce n'est pas non plus une pratique issue de l'Agence de l'Union européenne pour la Sécurité Aérienne (AESA) ou de dispositions nationales en vigueur en matière de SSLIA. Cette pratique résulte de consignes/pratiques émises dans les années 1960, probablement par l'autorité américaine FAA, s'inspirant des pratiques prévues par l'Armée lors d'atterrissage d'urgence d'aéronefs militaires.

Le Manuel des Services des Aéroports de l'OACI (Doc. 9137 AN/898), dans son édition de 1990 (3^e édition), comprenait un chapitre 15 « Épandage de mousse³⁰ sur les pistes en cas d'atterrissage d'urgence ». Il ne s'agissait pas d'une pratique recommandée, mais plutôt d'un partage d'informations par certains États. Ce chapitre a été totalement supprimé lors de la révision de ce manuel en 2015 (4^e édition), en raison des interrogations/incertitudes sur cette pratique. La question de l'impact sur les performances des aéronefs ne figurait à l'époque toutefois que de manière indirecte dans les « problèmes opérationnels » dans le manuel.

Dans les années 1950/60, les mousses employées par les services incendie étaient de type protéiniques/fluoroprotéiniques, plutôt très foisonnantes et résistantes dans le temps. À partir des années 1970/80, les mousses synthétiques de type AFFF (*Aquaous Film Forming Foam*), plus performantes en termes d'extinction, se sont généralisées, mais elles ne permettaient plus de réaliser des tapis de mousse aussi « épais » et résistants dans le temps (cumul du temps d'épandage et d'atterrissage) que les mousses de protéiniques. Aujourd'hui, les mousses sans fluor progressivement utilisées par les aéroports français depuis le milieu des années 2010 présentent des caractéristiques de qualité de mousse qui n'ont pas été évaluées par les autorités. Leur efficacité en cas d'utilisation comme tapis de mousse n'est pas connue.

Enfin, dans un [guide relatif à l'exploitation des aéroports](#) publié en 2002, la FAA déconseille l'utilisation de tapis de mousse pour les atterrissages d'urgence : « *The FAA does not recommend the foaming of runways for emergency landings and warns against the practice with any foam other than "Protein" foam* ».

2.6.3 Belly landing d'un Piper PA31

Le BEA a été informé de l'incident survenu au Piper PA31 immatriculé F-HPXR le 13 janvier 2024 sur l'aérodrome de La Rochelle - Île de Ré (17). Le BEA n'a pas ouvert d'enquête sur cet incident, cependant des renseignements ont été collectés. Le pilote a atterri train rentré (*belly landing*), les pompiers avaient installé un tapis de mousse sur la piste.

Le pilote et les pompiers avaient échangé au sujet de la longueur du tapis et le préavis avant l'installation pour une tenue effective au moment de l'atterrissage. L'objectif était d'atténuer le risque d'incendie. Les pompiers ont indiqué au BEA qu'il n'y a pas de procédure établie sur ce sujet, qu'il s'agit d'un outil dont la mise en œuvre est à l'initiative du chef de manœuvre. Ils ont précisé qu'un tapis d'environ 800 m de longueur, 20 m de largeur et 10 cm d'épaisseur a été installé. Ce tapis n'a pas eu d'influence sur le maintien de la trajectoire au centre de la piste au cours de l'atterrissage. Finalement, l'avion a subi peu de dommages sur le fuselage.

³⁰ Portée limitée aux mousses protéiniques.

2.7 Analyse des aspects opérationnels du vol de l'incident grave

Le Cessna 525 est un avion certifié monopilote, exploité en multipilote chez Valljet, quel que soit le type d'exploitation. Cela permet ainsi une meilleure adaptabilité en cas de changement de plan d'action ou de stratégie, dans la gestion d'une défaillance ou pour répondre aux sollicitations extérieures (contrôleurs ou pompiers, par exemple).

2.7.1 Dysfonctionnement du train d'atterrissage

Le manuel de vol de l'avion et le QRH contiennent deux procédures relatives au dysfonctionnement du train d'atterrissage :

- *Landing gear will not retract (gear unlock light remains ON)*, qui consiste principalement à renouveler une séquence d'entrée/sortie des trains d'atterrissage ;
- *Landing gear will not extend*, qui consiste principalement à utiliser la commande secours de sortie du train d'atterrissage.

L'équipage a fait une première tentative de sortie/rentree du train d'atterrissage sans se référer aux procédures. Cette première action a été conditionnée par la survenue de symptômes similaires sur d'autres avions de l'exploitant.

L'équipage a ensuite appliqué les procédures du manuel de vol lors de la première phase d'attente, ce qui n'a pas résolu le problème.

L'équipage a par ailleurs contacté le *Fleet technical manager* de l'exploitant, dans le but d'avoir une assistance depuis le sol, ce qui n'a pas non plus permis de trouver de solution pour résoudre la défaillance.

Enfin, l'équipage a improvisé une manœuvre de type ressource pour tenter de débloquent le train d'atterrissage avant. Cette pratique n'est pas mentionnée dans la documentation de l'avion ; elle est parfois enseignée en formation de pilotage de base sur avion léger équipé d'un train rentrant.

2.7.2 Délestage en carburant et gestion de l'atterrissage

Contrairement à la procédure *landing gear will not retract*, la procédure *landing gear will not extend* ne demande pas d'atterrir dès que possible. En l'absence de recommandation par ailleurs, l'équipage a choisi de délester du carburant, dans le but d'éviter tout incident supplémentaire lors de l'atterrissage sur la partie avant de l'avion (risque d'incendie).

L'équipage a revu la quantité de carburant à délester à la hausse à plusieurs reprises. Il a annoncé au contrôleur qu'il était prêt à commencer l'approche sur l'aéroport du Bourget à trois reprises :

- environ 30 min après le décollage ;
- environ 2 h après le décollage ;
- environ 2 h 30 après le décollage.

L'avion n'étant pas doté d'un système pour vidanger du carburant en vol, l'équipage souhaitait voler dans les basses couches, pour consommer du carburant le plus rapidement possible.

À la suite de la première annonce, l'équipage a débuté une approche ILS 27 VPT 25 en vue d'atterrir, puis il a changé de projet d'action en effectuant un passage bas, pour confirmer visuellement avec le contrôleur et les pompiers la position du train d'atterrissage.

À la suite de la deuxième annonce, l'avion contenait encore environ 1 400 lb de carburant selon l'équipage. Cependant, alors qu'il était guidé vers le début de l'approche, l'équipage a considéré que

cette quantité représentait toujours un danger important. L'équipage a revu l'objectif final à 600 lb soit environ une heure de vol, quantité suffisante pour un tour de piste (en cas d'approche interrompue) en plus de la réserve finale, selon le témoignage de l'équipage. Ces éléments laissent supposer que l'équipage n'avait pas pris en compte le surplus de consommation en carburant de l'avion avec le train d'atterrissage sorti.

À la suite de la troisième annonce, alors que l'équipage était guidé vers le début de l'approche, le contrôleur a proposé à l'équipage de se mettre en attente afin de permettre aux pompiers d'installer le tapis de mousse finalement demandé quelques minutes plus tôt par l'équipage. L'équipage a finalement indiqué au contrôleur qu'il ne pourrait pas réaliser cette attente en raison de la quantité de carburant restante.

2.7.3 Stratégies d'atterrissage

L'équipage a changé plusieurs fois de stratégie d'atterrissage au cours du vol, pouvant rendre difficile la préparation de l'approche et de l'atterrissage, et le contenu des briefings. L'équipage était cependant très familier avec l'aéroport du Bourget.

Une première approche a été débutée. Il s'agissait d'une approche ILS 27 VPT 25 en vue d'atterrir sur la piste 25. En finale, l'équipage a décidé de ne pas atterrir et de faire un passage bas. Après quelques échanges avec le contrôleur, il a effectué un passage bas au-dessus de la piste 27, plus proche de la tour de contrôle.

Même s'ils ne sont pas mentionnés dans la documentation de l'avion, les principes du passage bas sont connus et peuvent être mis en œuvre dans le cadre de la vérification de la position du train d'atterrissage.

L'équipage avait peu d'expérience des atterrissages en piste 25, celle-ci étant peu fréquemment utilisée. Pour l'atterrissage final, le CDB PF, dans le but d'assurer la stabilisation, a débuté la finale 25 un peu plus tôt que prévu (1 NM environ). Les contrôleurs de CDG avaient interrompu les départs de l'aéroport, pour faciliter cette manœuvre.

Au cours du vol, l'équipage s'est également interrogé sur la pertinence d'atterrir à CDG dont les pistes peuvent être plus longues ou plus larges. Après réflexion, l'équipage a maintenu un atterrissage sur l'aéroport du Bourget.

Enfin, vis-à-vis du déploiement d'un éventuel tapis de mousse, les pompiers ont demandé si l'équipage s'affranchissait du seuil décalé pour l'atterrissage en piste 25. Cette question a été relayée par le contrôleur de CDG. L'équipage a accepté cette proposition. Le contrôleur du Bourget avait également été averti de cette décision. Aucun acteur n'a eu conscience des risques liés à un atterrissage avant le seuil décalé. En effet, le seuil décalé en piste 25 existe notamment en raison de la proximité de CDG, mais il peut également être associé à des obstacles, ou axes routiers dans l'axe d'approche. Ces éléments n'ont pas fait partie des éléments de réflexions des différents acteurs. Aucun texte ou procédure ne prévoit de s'affranchir d'un seuil décalé. Par ailleurs, l'équipage ne disposait ainsi plus des aides lumineuses (PAPI par exemple, dont l'angle est calé sur le seuil décalé) ni de marquages au sol pour l'atterrissage.

2.7.4 Espace aérien

Les fiches réflexes de CDG ne contiennent pas d'éléments concrets relatifs à la gestion d'un avion mis en attente pour le traitement d'une panne en vol. L'équipage souhaitait voler à 3 000 ft pour consommer rapidement du carburant. La durée de l'attente souhaitée par l'équipage a évolué à

plusieurs reprises. Le contrôleur a demandé à l'équipage de monter au FL 070, afin qu'il ne soit pas dans les espaces de Beauvais, ni en espace aérien non contrôlé, afin de le prévenir des abordages.

L'équipage et les contrôleurs de CDG ont échangé sur la fréquence allouée SUP IFR, conformément aux fiches réflexes de CDG. La majeure partie des échanges radio ont été effectués sur les fréquences SEC NORD (militaire) et ITM BA.

Au cours du vol, l'équipage avait des questions spécifiques relatives au tapis de mousse proposé par les pompiers. Afin d'éviter d'être un relai, le contrôleur de CDG a proposé à l'équipage d'échanger directement avec les pompiers sur leur radio portative, cependant la portée insuffisante de ce dispositif n'a pas permis cet échange. Les pompiers et l'équipage ont également essayé d'échanger par téléphone, en vain.

L'équipage a mentionné à plusieurs reprises au cours du vol son besoin d'assistance au sol. Le contrôleur militaire SEC NORD a proposé à l'équipage une assistance sans en préciser la nature, après que l'équipage a pu confirmer l'état du train d'atterrissage lors du passage bas. L'équipage a accepté cette assistance, pensant qu'il s'agirait de l'assistance au sol demandée auparavant. Le contrôleur a alors envisagé d'engager un Rafale de la Permanence Opérationnelle, ce que l'équipage a décliné, cette escorte ne pouvant rien apporter de plus. Quelques minutes plus tard, le même contrôleur a proposé de dérouter un hélicoptère en mission à proximité et équipé de jumelles de vision nocturne, ce que l'équipage a également décliné pour les mêmes raisons.

2.7.5 Tapis de mousse

En l'absence de procédures et de documentation, l'installation d'un tapis de mousse pour prévenir le risque d'incendie est laissée à l'initiative du chef de manœuvre du SSLIA.

L'enquête a mis en évidence que le chef de manœuvre en fonction ne semblait pas connaître les caractéristiques d'un tapis de mousse, notamment sa taille. Il avait proposé initialement un tapis de 40 m de long nécessitant un atterrissage de précision pour un équipage susceptible d'être fatigué, de nuit. Les pompiers ne savaient finalement pas où placer ce tapis de mousse.

La question principale soulevée par l'équipage sur l'impact des performances de l'avion à l'atterrissage n'a pas trouvé de réponse.

L'efficacité d'un tapis de mousse ne semble pas démontrée aujourd'hui, cependant il semblerait de nature à atténuer le risque d'incendie lors de l'atterrissage, comme la projection de mousse réalisée par les pompiers après l'atterrissage.

En fin de compte, cet aspect, non documenté et ainsi improvisé, a monopolisé beaucoup de ressources pour les différents acteurs impliqués : équipage, contrôleurs et pompiers. L'enquête a mis en évidence que les pompiers de l'aéroport du Bourget à la manœuvre n'étaient pas préparés à traiter ce type d'incident.

2.7.6 FORDEC

Le manuel d'exploitation de l'exploitant de l'avion précise qu'en cas de défaillance, c'est la méthode FORDEC qui est utilisée : *Facts, Options, Risks, Decision, Execution, Check & communicate*.

L'enquête a mis en évidence une forme de variabilité des critères décisionnels de l'équipage (carburant maximum souhaité à l'atterrissage, demande du tapis de mousse, demande d'assistance, passage bas, etc.) alors qu'aucun fait nouveau ne le justifiait. Ces changements de stratégie et leur mise en application semblent montrer que le processus décisionnel de l'équipage n'était pas structuré.

La méthodologie exposée dans le manuel d'exploitation est très générale. Elle n'est pas pourvue d'outils réellement opérationnels pour aider les équipages à former une décision structurée avant de commencer l'approche.

3 CONCLUSIONS

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

Scénario

L'avion a été remis en service après des opérations de maintenance qui incluaient l'inspection visuelle du puits de train d'atterrissage avant. Cependant, la tâche relative à la fermeture des trappes du train d'atterrissage avant, après son inspection, n'a pas été réalisée. Trois techniciens de l'atelier de maintenance sont intervenus sur l'avion, l'un d'eux, non qualifié sur le type avion, assumant le rôle de chef d'équipe en l'absence de l'unique chef d'équipe du secteur Citation de l'atelier.

Les techniciens ont tous indiqué a posteriori une fatigue importante à l'issue de leur semaine de travail, accentuée par une réorganisation des tâches demandée par le *Fleet technical manager* de l'exploitant Valljet. Cette situation a engendré, selon les techniciens, de nombreux déplacements d'avions dans le hangar et sur le parking, augmentant ainsi la charge de travail globale.

Afin de déplacer le F-HMSG sans endommager les trappes du train avant dont les bielles n'étaient pas connectées, l'un des techniciens a fermé celles-ci à l'aide de bandes d'adhésif en aluminium et une flamme rouge a été placée.

Avant le point fixe de l'avion sur le parking, le technicien ayant pris le rôle de chef d'équipe a retiré la flamme rouge sans remarquer les bandes d'adhésif en aluminium. Il pensait que la tâche de maintenance sur le train d'atterrissage avant avait été entièrement réalisée.

À la fin des opérations de maintenance, le technicien chargé de l'APRS ne s'est pas attardé sur le train d'atterrissage avant et n'a pas identifié que la tâche liée à l'inspection du train d'atterrissage avant n'avait pas été terminée. En effet, les bielles d'actionnement des trappes de train n'étaient pas fixées et les vis étaient encore accrochées dans un sachet au niveau du train avant. La carte de travail renseignée par le technicien qui avait fait l'inspection ne laissait pas apparaître ces informations.

Après ces opérations de maintenance, les deux agents chargés du tractage de l'avion entre le parking de l'atelier de maintenance et le parking de l'exploitant n'ont pas remarqué les bandes d'adhésif en aluminium. De plus, les deux pilotes, lors de l'inspection extérieure de l'avion avant le vol, de nuit, ne les ont pas remarquées non plus.

Après le décollage, lorsque l'équipage a commandé la rentrée du train d'atterrissage, l'absence de fixation des bielles des trappes du train d'atterrissage avant a perturbé le mouvement des trappes, provoquant un blocage du train avec les trappes.

L'application des procédures d'urgence n'a pas permis de corriger le problème. L'équipage a alors choisi de consommer un maximum de carburant avant d'atterrir afin de limiter les conséquences de l'atterrissage avec le train avant non verrouillé.

À l'atterrissage, le contact de la partie avant de l'avion avec la piste n'a entraîné aucun incident particulier.

Au cours du vol qui a duré environ trois heures, et pendant lequel la panne du train d'atterrissage rencontrée ne présentait pas d'urgence, de nombreuses propositions des contrôleurs, des pilotes et des pompiers ont été discutées et envisagées, voire improvisées, sans que celles-ci soient évaluées ou objectivées par un processus décisionnel structuré.

Enfin, les constats réalisés par l'OSAC à la suite de l'incident grave ont notamment mis en évidence, au sein de l'atelier de maintenance, des écarts cohérents avec les éléments collectés au cours de l'enquête par le BEA, avec notamment des écarts relatifs à :

- la gestion des techniciens et leur supervision ;
- la bonne vérification des cartes de travail, par le personnel de soutien et de certification.

Ces écarts ont depuis fait l'objet d'actions correctives de l'atelier approuvées par l'OSAC.

Facteurs contributifs

Ont pu contribuer à la mise en service de l'avion, alors que l'ensemble des tâches de maintenance sur le train d'atterrissage avant n'était pas terminé :

- le découpage de la tâche liée à l'inspection du train d'atterrissage avant entre trois techniciens, sur plusieurs jours, associé à l'absence d'échange d'informations précises entre les différents techniciens sur les actions réalisées. De ce fait, le dernier item de la tâche, comprenant la reconnexion des bielles des trappes du train d'atterrissage avant, a été omis ;
- l'absence d'une organisation adaptée et répondant aux exigences réglementaires au sein de l'atelier de maintenance part 145 qui ne permettait pas aux techniciens travaillant sur le F-HMSG de correctement identifier les rôles et responsabilités de chacun, notamment en l'absence du seul chef d'équipe du secteur Citation au sein de cette organisation ;
- la pose de bandes adhésives ou d'une flamme rouge sans autre mention par ailleurs ;
- l'absence d'identification par l'équipage des bandes d'adhésif collées sur les trappes de train d'atterrissage avant lors de la visite prévol.

Ont contribué à un processus décisionnel dégradé de l'équipage pour le traitement de la panne en vol :

- une application peu structurée du FORDEC ;
- une quantité importante d'informations, parfois superflues ou improvisées, provenant des différents services du contrôle et des pompiers augmentant ainsi la charge de travail de l'équipage.

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.