

Rapport

Accident survenu le 13 juillet 2012
sur l'aérodrome du Castellet (83)
à l'avion Gulfstream G-IV
immatriculé **N823GA**
exploité par **Universal Jet Aviation (UJT)**

BEA

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile

Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie

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
GLOSSAIRE	6
SYNOPSIS	9
1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE	11
1.1 Déroulement du vol	11
1.2 Tués et blessés	14
1.3 Dommages à l'aéronef	14
1.4 Autres dommages	14
1.5 Renseignements sur le personnel	14
1.5.1 Equipage de conduite	14
1.5.2 Aide cabine	16
1.6 Renseignements sur l'aéronef	16
1.6.1 Cellule	16
1.6.2 Moteurs	16
1.6.3 Entretien	17
1.6.4 Masse et centrage	17
1.6.5 Système de direction du train avant	18
1.6.6 Pneumatiques	19
1.6.7 Système d'augmentation de traînée et de destruction de portance (Spoilers)	20
1.6.8 Distances d'atterrissage	21
1.6.9 Issues de secours du G-IV	21
1.7 Renseignements météorologiques	22
1.8 Aides à la navigation	23
1.9 Télécommunications	24
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	24
1.11 Enregistreurs de bord	24
1.11.1 Exploitation des données du FDR	25
1.11.2 Exploitation des données du CVR	27
1.11.3 Identification des messages d'alarme, d'avertissement, d'information et détermination de la position de l'interrupteur PWR STEER	28
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	28
1.12.1 Examen du site et de l'épave	28
1.12.2 Traces de pneumatiques sur la piste	31

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	34
1.14 Incendie	34
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	34
1.15.1 Survie des occupants	34
1.15.2 Intervention des secours	34
1.16 Essais et recherches	35
1.16.1 Non armement par l'équipage des destructeurs de portance sol	35
1.16.2 Décélération de l'avion sur la piste	36
1.16.3 Estimation des charges verticales sur les trains d'atterrissage	39
1.16.4 Etude de la déviation latérale sur la piste	40
1.16.5 Efficacité du freinage de l'avion en dérapage latéral	42
1.16.6 Examens techniques du système de direction du train avant et du système de freinage	42
1.16.7 Etude de traces de pneumatiques	43
1.16.8 Etude des modes de défaillance du système de direction du train avant	48
1.16.9 Etude d'une possibilité de blocage du volant de direction par un objet extérieur	49
1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion	50
1.17.1 L'exploitant UJT	50
1.17.2 Contexte réglementaire du vol	50
1.17.3 Autorisation d'exploitation sur le territoire français et contrôles SAFA	50
1.17.4 Planification et préparation du vol, distances d'atterrissage	51
1.17.5 Procédures d'exploitation à destination des équipages	52
1.17.6 Eléments de certification relatifs à l'information sur la position des destructeurs de portance	55
1.17.7 Formation	56
1.17.8 Mise à jour documentaire	57
1.17.9 Actions de surveillance de la FAA	57
1.17.10 Organisation du service de Sauvetage et de Lutte contre l'Incendie des Aéronefs (SSLIA)	57
1.18 Renseignements supplémentaires	60
1.18.1 Evénements précédents	60
1.18.2 Témoignages	61
2 - ANALYSE	64
2.1 Scénario	64
2.2 Déviation latérale de l'avion	66
2.3 Orientation à gauche du système de direction du train avant	67
2.4 Introduction d'une nouvelle procédure, formation et mise à jour documentaire	68
2.5 Surveillance par les autorités	69

2.6 Utilisation des destructeurs de portance sol, conformité du G-IV aux exigences de certification	69
2.7 Méthodes de l'exploitant et réalisation des procédures	70
2.8 Procédures du constructeur - armement des destructeurs de portance sol	71
2.9 Organisation du service SSLIA	72
3 - CONCLUSION	73
3.1 Faits établis par l'enquête	73
3.2 Causes de l'accident	74
4 - RECOMMANDATIONS DE SECURITE	75
4.1 Système de direction du train avant	75
4.2 Efficacité de la procédure Uncommanded Nose Wheel Steering	76
4.3 Formation à la procédure Uncommanded Nose Wheel Steering	76
4.4 Destructeurs de portance sol	77
4.5 Méthodes de l'exploitant et check-list « avant atterrissage »	78
4.6 Niveau de protection SSLIA effectivement fourni	79
LISTE DES ANNEXES	81

Glossaire

ACO	Service de la FAA en charge de l'approbation de l'AFM <i>Aircraft Certification Office</i>
AEG	Service de la FAA fournissant une assistance dans le cadre de la certification des aéronefs <i>Aircraft Evaluation Group</i>
AESA	Agence Européenne de la Sécurité Aérienne <i>European Aviation Safety Agency</i>
AFIS	Service d'information de vol d'aérodrome <i>Aerodrome Flight Information Service</i>
AFM	Manuel de vol <i>Airplane Flight Manual</i>
AOM	Manuel d'exploitation de l'avion <i>Aircraft Operating Manual</i>
ASRS	<i>Aviation Safety Reporting System</i>
CRH	<i>Cockpit Reference Handbook</i>
CRM	Gestion des ressources en équipage <i>Cockpit / Crew Resource Management</i>
CVR	Enregistreur phonique de poste de pilotage <i>Cockpit Voice Recorder</i>
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
DME	Equipement de mesure de distance <i>Distance Measuring Equipment</i>
DSAC	Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile
DTA	Direction du Transport Aérien de la DGAC
ECM	Calculateur de gestion de la commande de direction du train avant <i>Electronic Control Module</i>
EHSV	Servovalve hydraulique <i>Electronic Hydraulic Servo valve</i>
EICAS	Système d'information <i>Engine Instrument and Crew Advisory System</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FAR	Règles de certification américaines <i>Federal Aviation Regulations</i>

FDR	Enregistreur de paramètres <i>Flight Data Recorder</i>
FMEA	Analyse des modes de défaillances et de leurs effets <i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
FMS	Système de gestion de vol <i>Flight Management System</i>
FSI	Flight Safety International
GOM	Manuel d'exploitation <i>General Operations Manual</i>
IFR	Règles de vols aux instruments <i>Instrument Flight Rules</i>
IPTM	<i>Initial Pilot Training Manual</i>
LDA	Distance utilisable à l'atterrissage <i>Landing Distance Available</i>
METAR	Message d'observation météorologique régulière d'aérodrome <i>Aerodrome routine meteorological report</i>
MOL	<i>Maintenance and Operations Letter</i>
MVL	Manœuvre à Vue Libre <i>Circling approach</i>
NDB	Radiophare non directionnel <i>Non-Directional radio Beacon</i>
NTSB	<i>National Transportation Safety Board</i>
NOTAM	Avis aux navigateurs aériens <i>Notice to Airmen</i>
NWS	Direction du train avant <i>Nose Wheel Steering</i>
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale <i>International Civil Aviation Organization (ICAO)</i>
OCV	Organisme du Contrôle en Vol
PAPI	Indicateur visuel de trajectoire d'approche <i>Precision Approach Path Indicator</i>
PF	Pilote en fonction <i>Pilot Flying</i>
PM	Pilote non en fonction <i>Pilot Monitoring</i>
POI	Inspecteur de la FAA <i>Principal Operations Inspector</i>
PSIA	Plan de Secours Interne d'Aérodrome

QRH	<i>Quick Reference Handbook</i>
RCO	Recueil de Consignes Opérationnelles (du service SSLIA)
RVDT	Capteur de position du bloc de direction <i>Rotary Variable Differential Transformer</i>
SAFA	Evaluation de la sécurité des aéronefs étrangers <i>Safety Assessment of Foreign Aircraft</i>
SGS	Système de Gestion de la Sécurité <i>Safety Management System</i>
SOP	Procédures d'exploitation normalisées <i>Standard Operating Procedures</i>
SOV	Vanne de coupure <i>Shut Off Valve</i>
SSLIA	Service de Sauvetage et de Lutte contre l'Incendie des Aéronefs <i>Aircraft Rescue and Firefighting Services</i>
TAF	Prévision d'aérodrome <i>Terminal Aerodrome Forecast</i>
UHF	Ultra Hautes Fréquences <i>Ultra High Frequencies</i>
UTC	temps universel coordonné <i>Coordinated UniversalTime</i>
VFR	Règles de vol à vue <i>Visual Flight Rules</i>
VIM	Véhicule d'Intervention Mousse
ZA	Zone d'Aérodrome
ZFW	<i>Zero Fuel Weight</i>
ZVA	Zone Voisine d'Aérodrome

Synopsis

Perte de contrôle en direction lors du roulement à l'atterrissage, sortie latérale de piste, collision avec des arbres, incendie

Aéronef	Avion Gulfstream G-IV immatriculé N823GA
Date et heure	13 juillet 2012 à 13 h 18 ⁽¹⁾
Exploitant	Universal Jet Aviation (UJT)
Lieu	Aérodrome Le Castellet (83)
Nature du vol	Transport public, vol de mise en place
Personnes à bord	Commandant de bord (PM), copilote (PF), une aide cabine
Conséquences et dommages	Pilotes et aide cabine décédés, avion détruit

⁽¹⁾Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné (UTC). Il convient d'y ajouter 2 heures pour obtenir l'heure en France métropolitaine le jour de l'événement.

Au cours d'une approche à vue pour atterrir en piste 13 sur l'aérodrome du Castellet, l'équipage omet d'armer les destructeurs de portance sol. Lors du toucher, ces derniers ne se déploient pas. L'équipage applique une action à piquer qui entraîne pendant une courte période, inférieure à une seconde, une charge inhabituellement importante sur le train avant. L'avion sort de piste par la gauche, heurte des arbres et prend feu.

La sortie latérale de piste est la conséquence d'une orientation à gauche du train avant et d'une incapacité de l'équipage à récupérer cette situation à laquelle il n'avait pas été formé. L'enquête a mis en évidence une préparation insuffisante du vol, des check-lists réalisées de façon incomplète et inappropriée. Le lien éventuel entre la forte charge sur le train avant et son orientation à gauche n'a pas été démontré.

Le rapport contient plusieurs recommandations de sécurité relatives :

- au système de direction du train avant du G-IV ;
- à la procédure de récupération associée à une action non commandée de ce système et à la formation associée ;
- à l'armement des destructeurs de portance sol ;
- à la réalisation des check-lists au sein de l'exploitant ;
- au Service de Sauvetage et de Lutte contre l'Incendie des Aéronefs (SSLIA) de l'aérodrome du Castellet.

ORGANISATION DE L'ENQUETE

Conformément à l'Annexe 13 de l'OACI 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 dès qu'il a été informé de l'accident, le 13 juillet 2012.

Une équipe composée de quatre enquêteurs du BEA et d'un enquêteur de première information a procédé aux premiers actes de l'enquête. Le NTSB, au titre de l'Etat de construction de l'avion, d'immatriculation et d'exploitation, a été associé à l'enquête et a envoyé une équipe de trois enquêteurs. Trois représentants du constructeur de l'avion, deux représentants de l'exploitant ainsi qu'un membre de la FAA se sont déplacés et ont participé à l'enquête. Le BFU, au titre de l'Etat de construction des moteurs, a été associé à l'enquête. Il a nommé un représentant accrédité qui ne s'est pas déplacé sur site. Trois représentants du constructeur du moteur se sont déplacés et ont participé à l'enquête.

Trois groupes de travail ont ensuite été constitués :

- le groupe Aéronef ;
- le groupe Systèmes et Performance ;
- le groupe Exploitation.

En application des dispositions internationales, le BEA a invité ses homologues étrangers à participer aux travaux de ces trois groupes.

Un pilote de l'Organisme du Contrôle en Vol (OCV) de la DGAC a également participé à l'enquête.

1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroutement du vol

Le vendredi 13 juillet 2012 l'équipage, constitué d'un commandant de bord et d'un copilote, décolle vers 6 h pour un vol entre Athènes (Grèce) et Istanbul Sabiha Gokcen (Turquie). Une aide cabine est également présente à bord de l'avion.

L'équipage effectue ensuite le trajet entre Istanbul et Nice (06) avec trois passagers. Après les avoir déposés à Nice, il décolle à 12 h 56 pour un vol à destination de l'aérodrome du Castellet afin d'y stationner l'avion pour plusieurs jours, le parking de Nice étant complet. Le commandant de bord, assis en place gauche, est PM (pilote non en fonction). Le copilote, assis en place droite, est PF (pilote en fonction).

Les vols sont exploités suivant la réglementation américaine 14 CFR Part 135 (règles particulières applicables pour l'exploitation des vols à la demande).

L'étape est courte et la croisière, réalisée au FL160, dure environ 5 minutes.



Figure 1 : trajectoire suivie par l'avion lors du vol entre Nice et Le Castellet

A destination, l'équipage est autorisé à réaliser une approche à vue pour la piste 13. Le pilote automatique et l'auto-manette sont désengagés, le train est sorti et les volets sont en position atterrissage. Le message d'information GND SPOILER UNARM, indiquant le non armement des destructeurs de portance sol, s'affiche en bleu sur l'EICAS et l'alarme sonore « *single chime* » associée est générée⁽²⁾. Ce message reste affiché à l'EICAS jusqu'à la fin du vol car l'équipage omet d'armer les destructeurs de portance sol au cours de l'approche.

A une hauteur de 25 ft, alors que l'avion survole le seuil de piste légèrement sous le plan théorique de descente, une alarme SINK RATE se déclenche. Le PF corrige la trajectoire et le toucher du train principal a lieu 15 mètres après la zone de toucher des roues - soit à 365 m du seuil - et légèrement à gauche de l'axe de la piste 13⁽³⁾. Les destructeurs de portance sol, non armés, ne se déploient pas automatiquement. L'équipage freine et commande le déploiement des inverseurs de poussée, qui ne se déploient pas complètement⁽⁴⁾. La pression hydraulique disponible au niveau des blocs de frein augmente légèrement. La décélération de l'avion est faible.

Quatre secondes après le toucher, une alarme MASTER WARNING se déclenche. Une seconde alarme MASTER WARNING⁽⁵⁾ est générée 5 secondes plus tard.

Le train d'atterrissage avant touche la piste une première fois à 785 m du seuil avant que l'assiette de l'avion n'augmente à nouveau entraînant une perte de contact du train avant avec le sol. L'avion traverse l'axe de piste vers la droite, l'équipage corrige par une légère action aux palonniers vers la gauche. Il applique une forte action à piquer et le train avant touche une seconde fois la piste à 1 050 m du seuil.

Les aérofreins sont alors commandés manuellement par l'équipage par une action sur la commande des aérofreins et se déploient. La poussée maximale des inverseurs de poussée est atteinte une seconde plus tard⁽⁶⁾. L'avion est à ce moment à 655 m de l'extrémité de piste et sa trajectoire commence à s'incurver vers la gauche. En réaction à cette déviation, l'équipage applique une action franche sur le palonnier droit en augmentation jusqu'à la butée ainsi qu'une action sur le frein droit mais ne parvient pas à corriger la trajectoire. L'avion, en dérapage à droite⁽⁷⁾, sort de piste par la gauche à 385 m de l'extrémité de piste à une vitesse sol d'environ 95 kt.

Il heurte une balise de bord de piste, le PAPI de la piste 31, une clôture métallique puis des arbres et prend feu instantanément.

Un pompier d'aérodrome intervient rapidement sur site mais ne réussit pas à maîtriser l'incendie.

Les occupants ne parviennent pas à évacuer l'avion.

⁽²⁾Le message d'information GND SPOILER UNARM et l'alarme sonore « *single chime* » sont systématiquement émis au cours de chaque approche en raison de la sortie des trains d'atterrissage avant l'armement des destructeurs de portance sol (cf. § 1.6.7). Le message d'information reste affiché sur l'EICAS tant que les destructeurs de portance sol ne sont pas armés tandis que l'alarme sonore n'est émise qu'une seule fois.

⁽³⁾Piste 13 :
1 750 x 30 m,
LDA 1 705m.

⁽⁴⁾L'absence de déploiement des destructeurs de portance sol a généré une faible charge des trains principaux entraînant une perte momentanée de la condition « *sol* ». Ceci a eu pour effet de rentrer les inverseurs de poussée.

⁽⁵⁾Ces MASTER WARNING correspondent à des alarmes L-R REV UNLOCK, générées par la perte momentanée de la condition « *sol* » d'un train principal alors que les inverseurs de poussée sont déverrouillés.

⁽⁶⁾Les inverseurs de poussée se sont totalement déployés sept secondes après leur commande.

⁽⁷⁾Le dérapage à droite est défini par un vecteur vitesse sol orienté à droite de l'axe longitudinal de l'avion.

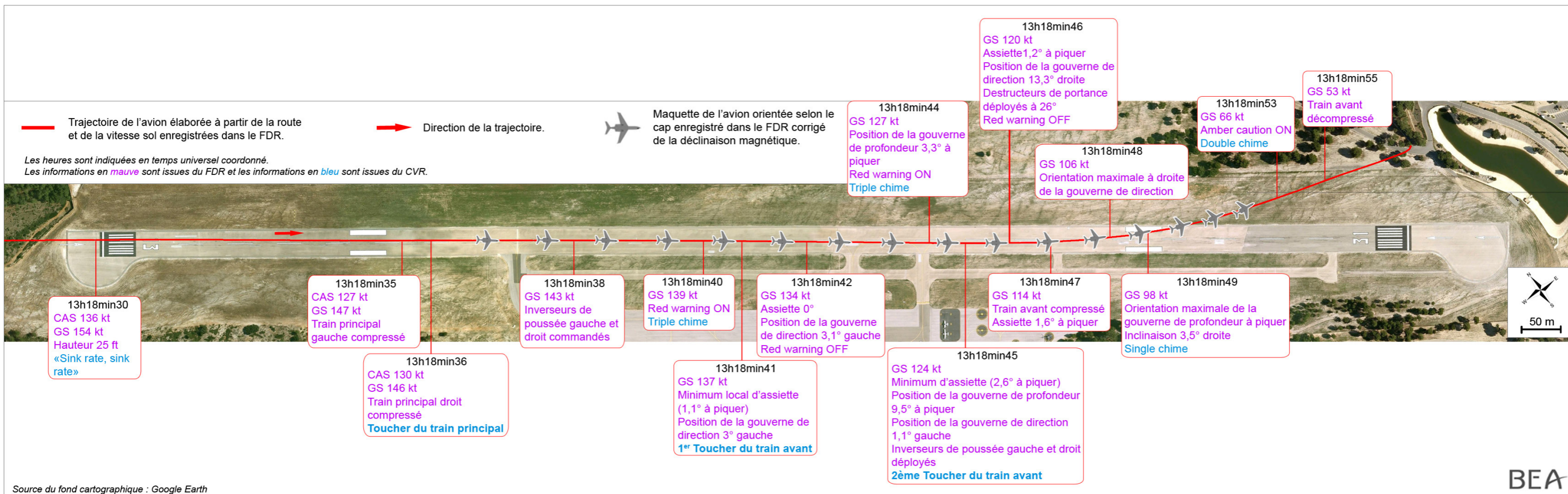


Figure 2 : Trajectoire de l'avion dans le plan horizontal

1.2 Tués et blessés

	Blessures		
	Mortelles	Graves	Légères/Aucune
Membres d'équipage	3	-	-
Passagers	-	-	-
Autres personnes	-	-	-

1.3 Dommages à l'aéronef

L'avion a été détruit.

1.4 Autres dommages

Lors de sa sortie de piste, le train avant est entré en collision avec un feu de balisage latéral de piste et un des feux du PAPI de la piste 31, qui ont été détruits. Le grillage d'enceinte de l'aérodrome a également été détruit sur une vingtaine de mètres. Des arbres ont été détruits et des rochers situés le long d'une route ont été déplacés par le choc.

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Equipage de conduite

1.5.1.1 Commandant de bord

Homme, 60 ans :

- licence de pilote de ligne avion ATP du 7 octobre 1974, délivrée par les autorités de l'aviation civile des Etats-Unis ;
- qualification de vol aux instruments avions multimoteurs IR/ME(L) en date du 6 août 1971, en cours de validité ;
- qualification de type Gulfstream G-IV en date du 23 novembre 2010, en cours de validité ;
- aptitude médicale de classe 1 du 8 mars 2012.

Le pilote possédait les qualifications de type sur les avions suivants : A310, B727, B757, B767, B777, DC10, DC6, DC7, DC9, MD11.

Le dernier Entraînement et Contrôle Périodique a été réalisé entre les 17 et 19 octobre 2011.

Les derniers contrôles hors ligne et entraînement sur simulateur sont en date du 25 avril 2012.

Le dernier contrôle en ligne a été réalisé le 28 décembre 2011.

Expérience :

- totale : 22 129 heures de vol dont 18 439 en tant que commandant de bord ;
- sur type : 690 heures de vol dont 572 en tant que commandant de bord ;
- dans les trois derniers mois : 99 heures de vol, toutes sur type ;
- dans les trente derniers jours : 37 heures de vol, toutes sur type ;
- dans les dernières vingt-quatre heures : 4 heures 30 de vol, toutes sur type.

Il a été employé par la compagnie American Airlines entre 1977 et 2008. Il était commandant de bord sur Boeing B777 depuis 2003. Retraité d'American Airlines, il a ensuite été embauché par la société UJT le 25 septembre 2010 à temps partiel comme pilote. Il y a suivi un stage d'adaptation aux procédures de l'exploitant (d'une durée de trois jours entre le 25 et le 29 octobre 2010) au sein d'UJT, puis a réalisé la qualification de type sur Gulfstream G-IV au sein de l'organisme de formation CAE Simuflite basé à Dallas (Texas) en novembre 2010. Il a participé financièrement à cette prestation.

Il a été nommé en tant que commandant de bord le 28 décembre 2010 à l'issue d'un contrôle en ligne⁽⁸⁾. Il a néanmoins volé sur G-IV comme copilote jusqu'en mars 2011, période pendant laquelle il a effectué 118 heures en 35 vols, 16 en qualité de PF, 19 en qualité de PM. Il a été embauché à temps complet par UJT le 1er juillet 2011 et y a effectué son premier vol en tant que commandant de bord le 19 juillet 2011.

Il avait suivi une formation CRM lors du stage d'adaptation aux procédures de l'exploitant et lors de la qualification de type.

La formation à l'évacuation d'urgence a été réalisée à l'occasion du stage d'adaptation aux procédures de l'exploitant (octobre 2010). Le dernier exercice d'évacuation d'urgence enregistré est en date du 19 octobre 2011.

Il avait précédemment réalisé un vol vers le Castellet en Gulfstream G-IV le 21 août 2011. Il était alors PM et avait atterri en piste 13.

Avant le jour de l'accident, l'équipage était en repos à Athènes depuis le 4 juillet.

1.5.1.2 Copilote

Homme, 24 ans :

- licence de pilote professionnel CPL(A) du 24 juin 2008 délivrée par les autorités de l'aviation civile des Etats-Unis ;
- qualification de vol aux instruments avions multimoteurs IR/ME(L) du 31 mai 2008 en cours de validité ;
- qualification de type Gulfstream G-IV du 2 novembre 2010 en cours de validité ;
- aptitude médicale de classe 1 du 8 décembre 2011 ;
- il possédait une qualification d'instructeur (FI/IRSE).

Expérience :

- totale : 1 350 heures de vol dont 556 sur type ;
- dans les trois derniers mois : 180 heures, toutes sur type ;
- dans les trente derniers jours : 61 heures ;
- dans les dernières vingt-quatre heures : 4 h 30.

Le dernier Entraînement et Contrôle Périodique (ECP) a été réalisés du 13 au 15 novembre 2011.

Les derniers contrôles hors ligne et entraînement sur simulateur sont en date du 2 novembre 2011.

Il a été employé en 2009 comme copilote par une société, propriétaire d'un Lockheed L-1329 JetStar et du Gulfstream G-IV N823GA, dont l'exploitation a été confiée à UJT à partir de février 2011. Embauché par UJT à temps partiel le 21 septembre 2010, il a suivi un stage d'adaptation aux procédures de l'exploitant du 21 au 24 septembre 2010 et obtenu la qualification de type sur G-IV chez CAE Simuflite le 2 novembre 2010. Il a été embauché à temps complet le 1er juillet 2011.

⁽⁸⁾En novembre et décembre 2010, il n'a réalisé aucun vol sur G-IV.

Il avait suivi une formation CRM lors du stage d'adaptation aux procédures de l'exploitant et lors de la qualification de type.

La formation à l'évacuation d'urgence a été réalisée à l'occasion du stage d'adaptation aux procédures de l'exploitant (septembre 2010). Le dernier exercice d'évacuation d'urgence enregistré est en date du 15 septembre 2011. Cet exercice avait été réalisé avec des générateurs de fumée en cabine et l'évacuation avait été effectuée par les issues de secours d'aile.

1.5.2 Aide cabine

Femme, 29 ans.

Une aide cabine assurait un service commercial. Elle avait suivi une formation à l'évacuation d'urgence le 25 mai 2011 dans le cadre de ses fonctions chez UJT.

La présence d'un personnel navigant commercial (inscrit comme membre d'équipage) n'est pas requise dans les avions exploités en Part 135.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

Le Gulfstream IV (G-IV) est un avion d'affaires exploité en multipilote, conçu par la compagnie Gulfstream Aerospace Corporation. Il est certifié selon le règlement FAR Part 25, incluant les amendements 25-1 à 25-56. Jet Star Aviation Services était propriétaire de l'avion, acquis le 30 juillet 2010. Il était loué à UJT depuis février 2011.

Le N823GA était configuré avec 16 sièges passagers.

1.6.1 Cellule

Constructeur	Gulfstream
Type	G-IV
Numéro de série	1005
Immatriculation	N823GA
Mise en service	29 juillet 1987
Certificat de navigabilité	n° DAR-39-AC-CE du 2 septembre 1993 délivré par la FAA
Utilisation depuis la dernière visite 150 h	37 heures et 14 cycles
Utilisation à la date de l'accident	12 210 heures et 5 393 cycles

1.6.2 Moteurs

Constructeur : Rolls Royce

Type : Tay 611-8

	Moteur n° 1	Moteur n° 2
Numéro de série	16117	16118
Date d'installation	Août 1987	Août 1987
Temps total de fonctionnement	11 840 heures et 5 271 cycles	11 840 heures et 5 271 cycles
Temps de fonctionnement depuis la révision générale	5 271 heures et 2 023 cycles	5 271 heures et 2 023 cycles

1.6.3 Entretien

L'avion était entretenu par plusieurs ateliers d'entretien, conformément au manuel d'entretien approuvé. Il était à jour dans son cycle d'entretien.

En raison de la déviation latérale de l'avion au cours du roulage à l'atterrissage, une attention particulière a été portée sur l'historique et l'entretien du train avant et de son système de direction.

La seule action d'entretien sur le système de direction du train avant avait été réalisée le 25 novembre 2008. Il s'agissait d'une révision qui avait été suivie d'essais fonctionnels qui n'ont pas révélé d'anomalie.

Seuls trois équipements constitutifs du système de direction (voir description détaillée du système au § 1.6.5) sont soumis à des révisions périodiques :

- le bloc de direction tous les 20 000 cycles ;
- les vannes de coupure (SOV #1 et 2) tous les 10 000 cycles.

Le nombre de cycles minimum n'ayant pas été atteint à la date de l'accident, ces pièces étaient celles d'origine sur l'avion.

La dernière action d'entretien effectuée sur le train avant est en date du 22 juin 2012 et concerne une lubrification et une remise en pression de l'amortisseur.

1.6.4 Masse et centrage

Masse de base : 19 888 kg	
Passager : 90 kg	
Bagages : 122 kg	
Masse sans carburant : 20 101 kg	Masse maximale sans carburant : 22 226 kg
Masse au décollage : 26 723 kg	Masse maximale au décollage : 33 837 kg
Masse de carburant : 6 804 kg	
Délestage : 1 134 kg	
Masse à l'atterrissage : 25 590 kg	Masse maximale à l'atterrissage : 29 937 kg
Position estimée du centre de gravité lors de l'atterrissage : 33.8 %	Positions limites du centre de gravité à la masse à l'atterrissage : entre 31.7 % et 38 %

1.6.5 Système de direction du train avant

Le système de direction du train avant est contrôlé électriquement, mis en fonctionnement hydrauliquement et commandé par l'équipage. Il est utilisé lors du roulage, du décollage et de l'atterrissage. L'orientation des roues s'effectue par l'intermédiaire du bloc de direction qui transmet les efforts de rotation par l'intermédiaire du compas. Les roues du train avant ne sont pas freinées.

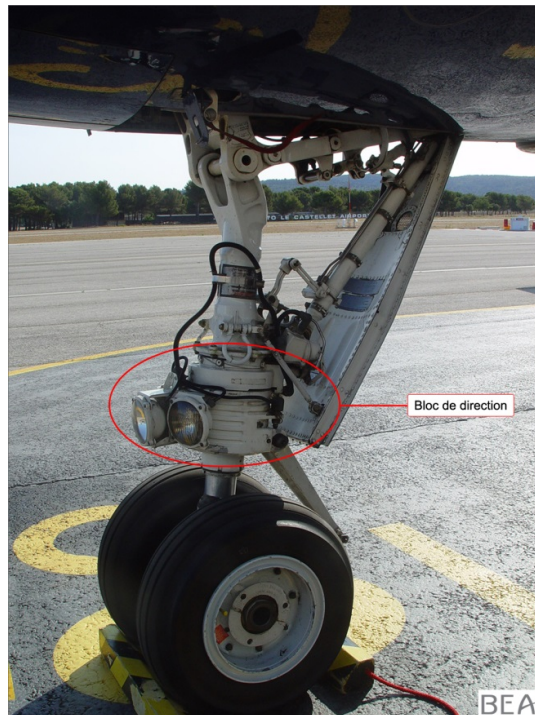


Figure 3 : système de direction du train avant d'un G-IV

L'équipage peut commander le système par l'intermédiaire :

- ❑ du volant de commande de direction et d'un interrupteur ON/OFF « PWR STEER » gardé⁽⁹⁾, situés sur la console de gauche. La chaîne de commande est composée d'un volant muni de ressorts de rappel le remettant en position neutre, d'amortisseurs visqueux et de potentiomètres. Le volant permet de commander l'orientation du train avant jusqu'à $80^\circ \pm 2^\circ$ à gauche ou à droite de l'axe central de l'avion⁽¹⁰⁾. L'interrupteur PWR STEER ainsi que le volant de direction ne sont accessibles que depuis la place gauche.

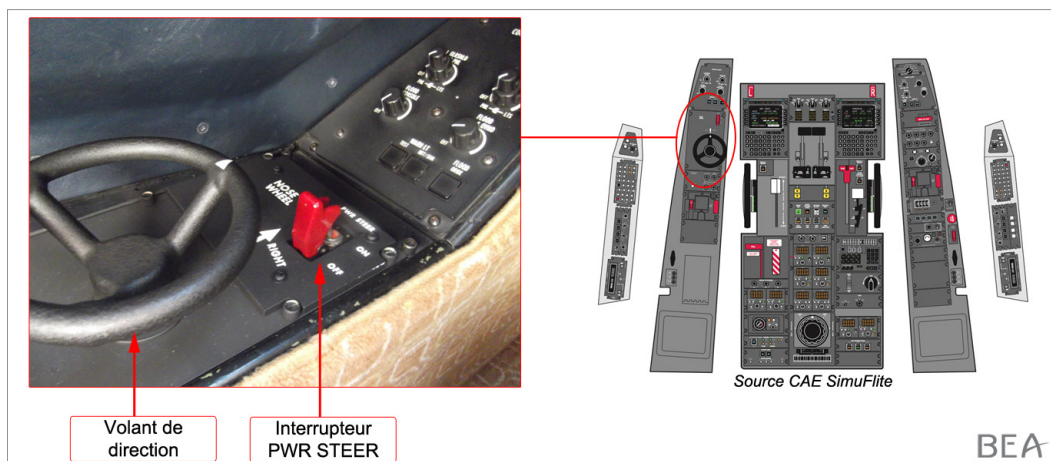


Figure 4 : volant de direction et interrupteur PWR STEER gardé

⁽⁹⁾En opération normale, la garde est abaissée sur l'interrupteur PWR STEER en position ON.

⁽¹⁰⁾Ce débattement est possible quelle que soit la vitesse de l'avion.

- ❑ des palonniers. Ils permettent de commander la direction du train avant jusqu'à $7^\circ \pm 1^\circ$ à gauche ou à droite.

Le positionnement sur OFF de l'interrupteur PWR STEER a pour effet de déconnecter le système de direction. Une action aux palonniers ou sur le volant de direction n'aura alors plus aucun effet sur l'orientation du train avant.

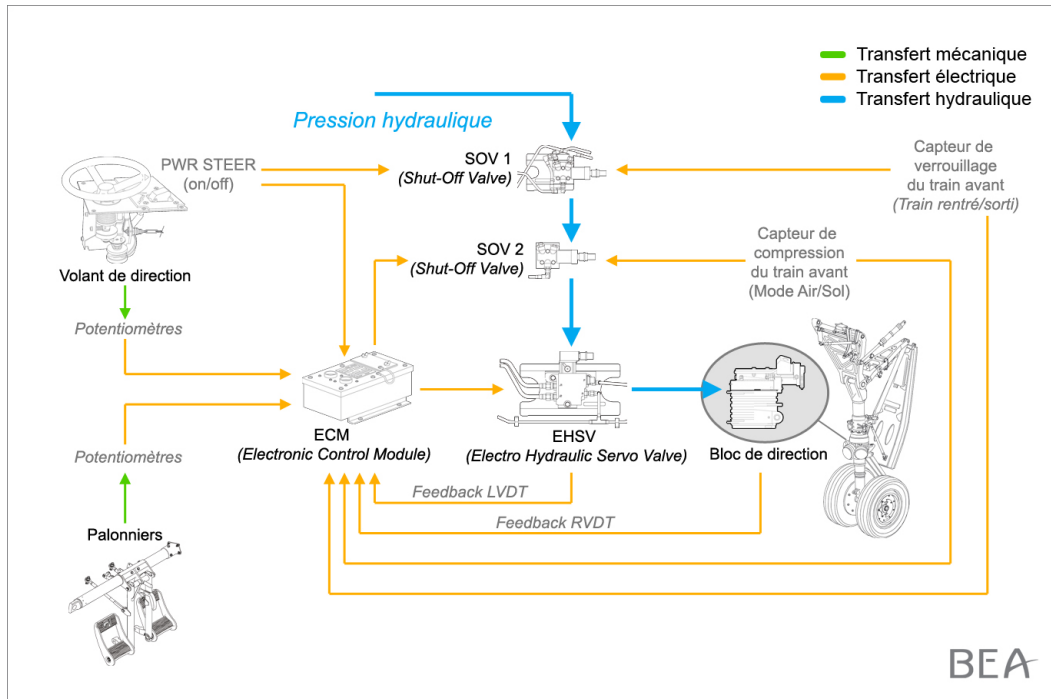


Figure 5 : chaîne de commande de direction du train avant

L'activation du système de direction commence 250 ms après l'enregistrement de la compression du train avant par le capteur de proximité. L'activation complète du système est effective 750 ms plus tard.

Une alarme STEER BY WIRE FAIL est générée par l'ECM lorsque l'interrupteur PWR STEER est positionné sur OFF et le train d'atterrissage est sorti ou en cas de défaillance d'un des équipements suivants :

- ❑ l'ECM (calculateur de gestion de la commande de direction du train avant) ;
- ❑ les vannes de coupure (SOV) ;
- ❑ l'EHSV (servovalve hydraulique) ;
- ❑ les potentiomètres du volant de direction ;
- ❑ le RVDT (capteur de position du bloc de direction) ;
- ❑ les potentiomètres des palonniers.

La description détaillée du système est fournie en **annexe 1**.

1.6.6 Pneumatiques

Les trains d'atterrissage de cet avion sont équipés de pneus Goodyear de technologie « diagonale » :

- ❑ trains principaux : Flight Eagle 34x9.25-16 ;
- ❑ train avant : Flight Eagle 21x7.25-10 DT.

1.6.7 Système d'augmentation de traînée et de destruction de portance (Spoilers)

L'avion est doté de trois panneaux destructeurs de portance actionnés par deux vérins sur la partie supérieure de chaque aile. Ils sont utilisés, en vol ou au sol, pour diminuer la portance et accroître la traînée de l'aile sur laquelle ils sont déployés.

Le déplacement de la commande des aérofreins hors de la position RETRACT a pour effet de déployer les trois panneaux de chaque aile proportionnellement à la position du levier jusqu'à une déflection maximale de 26° (position EXTEND). La manette de commande s'allume en bleu et un message d'information SPD BRAKE EXTENDED s'affiche à l'EICAS.

Un appui sur le bouton poussoir GND SPLR permet d'armer les destructeurs de portance sol. Le bouton poussoir s'allume en bleu. Les trois panneaux se déploient alors automatiquement selon un angle de 55° lorsque l'avion est au sol.

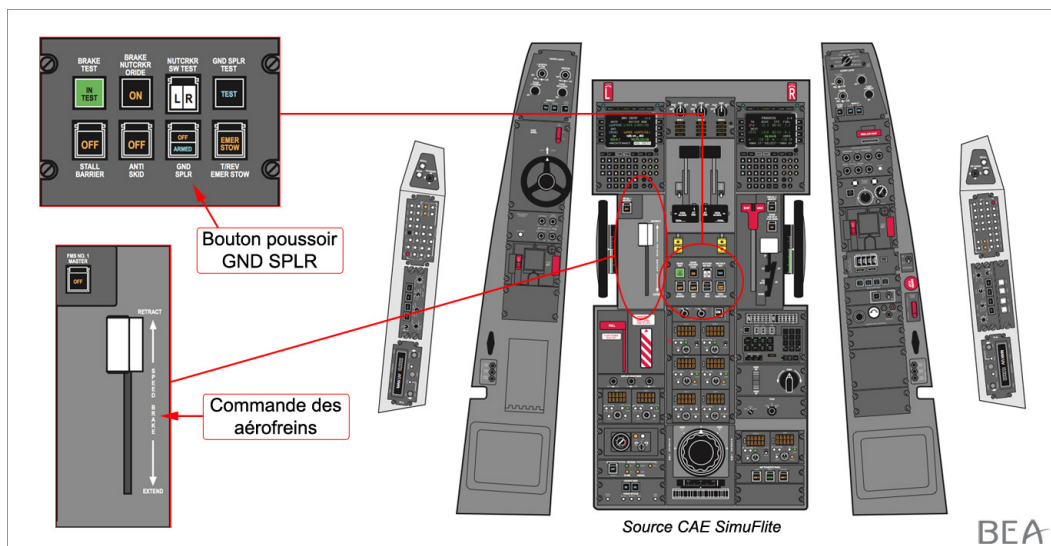


Figure 6 : bouton poussoir GND SPLR et commande des aérofreins

La position des destructeurs de portance sol n'est pas directement présentée à l'équipage dans le poste de pilotage. Seul un message GND SPOILER UNARM s'affiche en bleu sur l'EICAS et une alarme sonore « *single chime* » est générée lorsque ces derniers ne sont pas armés et que le train d'atterrissage est sorti et verrouillé.

Gulfstream indique que les destructeurs de portance sol doivent être armés en vol à la suite d'un test du capteur de compression des trains d'atterrissage (appelé « *nutcracker test* » dans la check-list). Ce test est effectué après la sortie des trains. Le message GND SPOILER UNARM et l'alarme sonore « *single chime* » sont donc systématiquement générés durant chaque vol. Gulfstream précise que leur armement peu avant l'atterrissage diminue le risque d'un déploiement non commandé des destructeurs de portance sol en vol.

Cas de dysfonctionnement

Au sol, en cas de non déploiement des destructeurs de portance sol si ceux-ci sont armés, le message NO GND SPLRS de couleur rouge s'allume sur la capsule située sur le panneau central. Il n'y a pas d'alarme sonore associée ni de message sur l'EICAS.

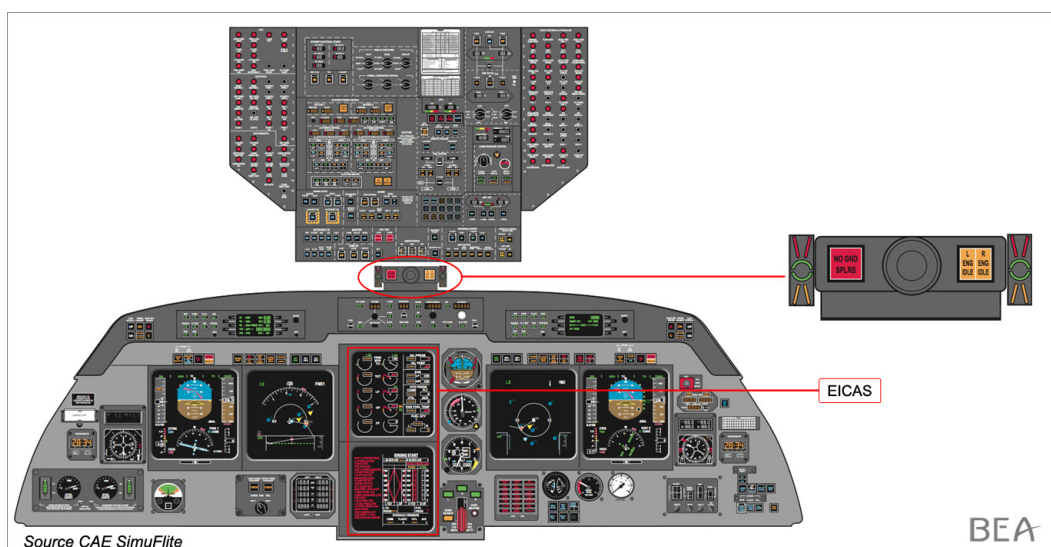


Figure 7 : capsule située sur le panneau central et EICAS

En vol, en cas de dysfonctionnement du système, le message GND SPOILER s'affiche à l'EICAS. Il est associé à une alarme sonore « *triple chime* ».

1.6.8 Distances d'atterrissage

En configuration atterrissage (volets à 39°), à la masse de 25 590 kg et dans les conditions du jour :

- la vitesse de référence (Vref) était de 138 kt et la vitesse d'approche recommandée (Vapp) de 148 kt⁽¹¹⁾ ;
- les distances d'atterrissage⁽¹²⁾ sont de 900 m sans vent et de 1 030 m avec une composante de 10 kt de vent arrière.

1.6.9 Issues de secours du G-IV

Le G-IV dispose de 6 issues de secours :

- la porte d'entrée principale ;
- quatre issues d'aile situées au niveau des deux derniers hublots arrière ;
- la porte du compartiment à bagages. Cette issue est considérée comme une voie secondaire d'évacuation.

⁽¹¹⁾La vitesse d'approche recommandée est Vref + 10 kt. Si des rafales de vent sont présentes, il est préconisé d'ajouter la moitié de la différence entre le vent maximum et le vent moyen, dans la limite de 10 kt. Au seuil, la vitesse retenue sera dans tous les cas Vref.

⁽¹²⁾La distance d'atterrissage est la distance horizontale entre le point de passage à 50 ft au-dessus du seuil de piste et l'arrêt complet de l'avion. C'est une distance certifiée qui est calculée en prenant en compte un freinage manuel et le déploiement automatique des destructeurs de portance sol.

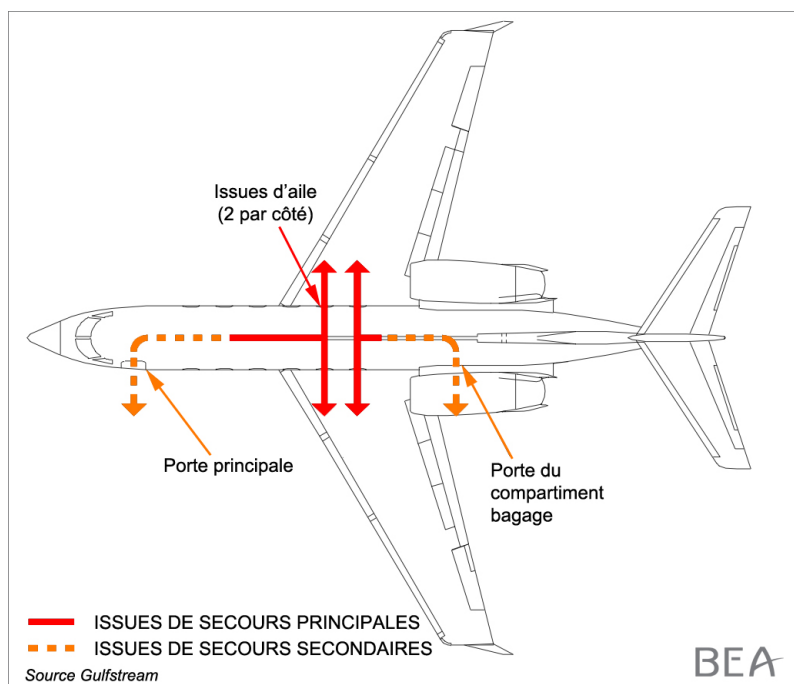


Figure 8 : issues de secours

1.7 Renseignements météorologiques

Situation sur l'aérodrome du Castellet et les aérodromes environnants

Le ciel était clair et la visibilité horizontale supérieure à 10 km. De la turbulence faible à modérée, d'origine thermique était observée.

A 13 h, la température enregistrée était de 25 °C et le QNH était de 1012 hPa.

Vent au sol⁽¹³⁾:

	Vent moyen 10 minutes		Vent instantané maximum dans les 10 minutes écoulées		Vent moyen 2 minutes		Vent instantané maximum dans la minute écoulée	
	Direction	Vitesse (kt)	Direction	Vitesse (kt)	Direction	Vitesse (kt)	Direction	Vitesse (kt)
13h16	200°	5	180°	12	220°	4	260°	6
13h17	200°	4	190°	10	250°	4	250°	5
13h18	210°	4	190°	10	260°	4	300°	10
13h19	220°	5	210°	13	270°	6	210°	13
13h20	220°	5	210°	13	240°	7	240°	11

Au moment de l'atterrissage à 13 h 18, le vent maximum instantané dans la minute était du 300° pour 10 kt.

⁽¹³⁾Information provenant de la station météorologique du Castellet.

Lors de l'approche, l'agent AFIS a fourni aux pilotes les informations de vent suivantes :

- à 13 h 16, vent du 200° pour 6 kt ;
- à 13 h 17, vent du 200° pour 4 kt.

Remarque : l'agent AFIS a à sa disposition :

- la force et la direction du vent moyennées sur 10 minutes ;
- les valeurs minimales et maximales de la force et de la direction du vent sur 10 minutes ; il a indiqué qu'il n'avait pas l'habitude de fournir ces valeurs aux équipages.

Les observations, réalisées entre 13 h et 13 h 30, sur les aérodromes voisins sont les suivantes :

- Toulon - Hyères : vent variant du 230° au 240° pour 16 kt à 19 kt ;
- Marseille : vent variant du 250° au 260° pour 8 kt à 12 kt ;
- Le Luc : vent variant du 260° au 270° pour 15 kt.

Vent en altitude à 13 h⁽¹⁴⁾ :

Hauteur en m	Direction	Vitesse en kt
3000	277°	42
2500	279°	37
2000	280°	32
1500	279°	25
1000	285°	21
750	275°	15
500	262°	15
250	248°	15
100	239°	15
50	235°	14
20	233°	13
10	232°	12

⁽¹⁴⁾Information provenant du modèle AROME de Météo France.

Prévisions disponibles

Les prévisions disponibles à 11 h et valides à partir de 12 h indiquent pour les aérodromes concernés les informations de vent suivantes :

- Toulon - Hyères : 250° pour 15 kt avec des rafales à 25 kt ; temporairement 25 kt avec des rafales à 35 kt ;
- Marseille : 280° pour 10 kt ; venant temporairement du 200°.

1.8 Aides à la navigation

Les procédures d'approche aux instruments publiées sont basées sur les moyens radioélectriques suivants : un NDB (indicatif ADC) et un DME (indicatif ADC). Ils étaient en fonctionnement.

Le PAPI de la piste 13 est calibré sur un plan de 3,4 °. Il était en fonctionnement au moment de l'accident.

1.9 Télécommunications

Au cours de l'approche l'équipage a successivement été en contact avec un contrôleur d'approche de l'aérodrome de Marseille Provence puis l'agent AFIS du Castellet. Les échanges radio ainsi que les conversations téléphoniques de l'agent AFIS ont fait l'objet de travaux de transcription.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

Le Castellet est un aérodrome AFIS ouvert à la circulation aérienne publique et au trafic international. Il est situé en espace aérien non contrôlé de classe G en-dessous de 4 500 ft QNH. Son altitude de référence est de 1 391 ft. L'aérodrome, qui accueille principalement de l'aviation de tourisme et d'affaires, est situé à proximité immédiate du circuit automobile Paul Ricard. Il est agréé VFR de jour et IFR de jour et de nuit.

Il dispose d'une piste 13/31 revêtue de 1 750 x 30 m.

La piste 13 est orientée au QFU 127° et l'altitude à son seuil est de 1 372 ft. Sa Longueur Disponible à l'Atterrissage (LDA) est de 1 705 m.

L'aérodrome dispose de procédures aux instruments Locator (axe d'approche finale orienté au 093°) devant être suivies d'une manœuvre à vue libre (MVL) ou imposée (MVI) autorisée uniquement en présence de l'agent AFIS.

Obstacles et bande aménagée

La piste 13 de l'aérodrome est de catégorie 3C selon la classification de l'OACI, reprise par la réglementation française. Cette dernière prévoit, pour ce type de piste, qu'une bande aménagée de 150 mètres de large et centrée sur l'axe de piste (75 mètres de part et d'autre) soit dépourvue d'obstacle pouvant constituer un danger pour les aéronefs.

Les arbres qui ont été heurtés par le N823GA sont situés à 95 mètres ou plus de l'axe de la piste. Les rochers sont situés à 105 mètres. Ces obstacles sont donc à l'extérieur de la bande aménagée.

NOTAM

Deux NOTAM étaient publiés et mentionnaient :

- la présence d'un « *obstacle massif temporaire constitué d'une ligne d'arbres hors bande de piste* » situé au nord de la piste⁽¹⁵⁾ ;
- que les atterrissages étaient interdits si la composante de vent traversier était supérieure à 15 kt.

1.11 Enregistreurs de bord

L'avion était équipé de deux enregistreurs de vol. Ils ont été lus au BEA le 15 juillet 2012.

⁽¹⁵⁾Ces obstacles ne sont pas ceux qui ont été heurtés par le N823GA.

Enregistreur de paramètres (FDR)

Il s'agit d'un enregistreur statique (SSFDR) d'une capacité d'enregistrement d'au moins 25 heures.

- ❑ Constructeur : Fairchild
- ❑ Modèle : F1000
- ❑ Numéro de type : S800-2000-00
- ❑ Numéro de série : 01399

Enregistreur phonique (CVR)

Il s'agit d'un enregistreur à bande magnétique d'une capacité d'enregistrement d'au moins 30 minutes.

- ❑ Constructeur : Fairchild
- ❑ Modèle : A100
- ❑ Numéro de type : A100-30
- ❑ Numéro de série : 51240

Les informations relatives au vol de l'accident sont enregistrées sur le FDR et le CVR.

1.11.1 Exploitation des données du FDR

Des courbes représentant l'évolution de certains paramètres sont jointes en **annexe 2**.

1.11.1.1 Trajectoire de l'avion

- dans le plan vertical

La trajectoire verticale montre que l'équipage intercepte en finale le plan d'approche matérialisé par le PAPI (6 %) à une hauteur d'environ 430 ft. Ce plan d'approche est maintenu avec une vitesse indiquée de 150 kt, proche de la Vapp théorique (148 kt). Une composante de vent arrière d'une dizaine de nœuds est présente en approche finale. A l'approche du seuil la vitesse indiquée diminue vers la Vref de 138 kt.

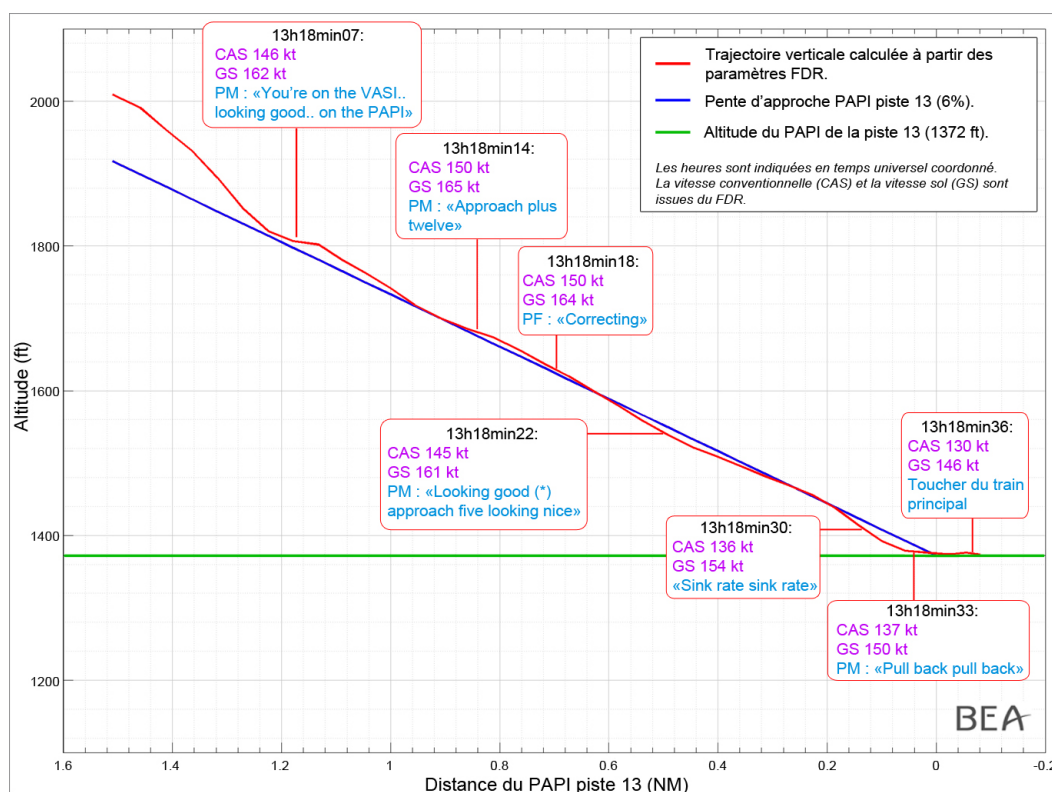


Figure 9 : trajectoire dans le plan vertical
N823GA - 13 juillet 2012

- dans le plan horizontal

La trajectoire horizontale fait apparaître les éléments suivants :

- le toucher des roues du train principal a lieu environ 15 mètres derrière la zone de toucher des roues, décalé à 2,5 mètres à gauche de l'axe de piste, à une vitesse indiquée de 130 kt et une vitesse sol de 146 kt ;
- le premier toucher du train avant a lieu à une distance de 785 mètres du seuil ; l'avion se trouve à ce moment-là sur l'axe de piste qu'il est en train de traverser de la gauche vers la droite ;
- le second toucher du train avant a lieu à 1 050 mètres du seuil ;
- à 1 100 mètres du seuil, la trajectoire de l'avion commence à s'incurver vers la gauche ;
- la sortie latérale de piste a lieu à 1 320 mètres du seuil à une vitesse indiquée de 95 kt et une vitesse sol de 93 kt ; l'avion parcourt ensuite 300 mètres avant de s'immobiliser.

La trajectoire horizontale est présentée dans le chapitre « 1.1 Déroulement du vol ».

1.11.1.2 Exploitation de l'enregistrement des vols précédents

L'exploitation de l'enregistrement des vols précédents permet de noter les points suivants :

- aucune action à piquer n'a été enregistrée lors de la diminution de l'assiette de l'avion à l'atterrissage conduisant au toucher du train avant (dé-rotation) ;
- ce même équipage n'avait pas armé les destructeurs de portance sol le 4 juillet (trois vols avant celui de l'accident) au cours d'un vol entre Milan Linate et Athènes réalisé avec quatre passagers. L'armement a été effectué 3 à 4 secondes après le toucher des trains principaux par un appui sur le bouton GND SPLRS et les destructeurs de portance sol se sont déployés à leur déflection maximale ;
- les pressions de freinage sont généralement de faible intensité lors des atterrissages.

1.11.1.3 Qualité des paramètres enregistrés

Parmi l'ensemble des paramètres FDR décodés au BEA, une partie seulement a pu être validée. Les autres sont apparus non valides ou présentant une évolution cohérente mais avec des valeurs décodées erronées. Le tableau ci-dessous présente l'ensemble des paramètres non validés :

Paramètres non valides	Paramètres ayant une évolution cohérente malgré des valeurs décodées erronées
Accélération verticale	Position de la gouverne de profondeur
Accélération longitudinale	Position de la gouverne de direction
Accélération latérale	Position des destructeurs de portance côté gauche (panneau intérieur)
Position de l'aile gauche	Position des aérofreins côté gauche
Position de l'aile droite	Position des destructeurs de portance côté droit (panneau intérieur)
Position du compensateur de profondeur	Position des aérofreins côté droit
Inverseur de poussée côté gauche rétracté/en transit	
Inverseur de poussée côté droit rétracté/en transit	

Tableau 1: liste des paramètres défectueux

1.11.1.4 Maintenance du FDR

La documentation de maintenance du N823GA indique que le dernier test fonctionnel du FDR a été réalisé le 15 novembre 2010⁽¹⁶⁾.

Aucune trace des données, de l'envoi des données et de leur réception chez Gulfstream n'a pu être retrouvée.

Le dernier rapport d'analyse de Gulfstream sur les données extraites du FDR, à la disposition de l'équipe d'enquête, date de 2008. Il fait état de problèmes d'enregistrement sur les paramètres suivants :

- inverseurs de poussée ;
- ailerons ;
- compensateur de profondeur.

D'autre part, les valeurs de certains paramètres mentionnées dans le rapport d'analyse de Gulfstream indiquent également qu'il existait des problèmes d'enregistrement sur les paramètres suivants sans que cela ait été signalé par Gulfstream :

- accélérations latérale, longitudinale et verticale ;
- position des destructeurs de portance.

Tous ces problèmes d'enregistrement, déjà présents en 2008, ont également été retrouvés lors de la lecture et le décodage des données du FDR à la suite de l'accident.

1.11.2 Exploitation des données du CVR

L'enregistrement débute lors du roulage à Nice. Il a permis de noter les éléments suivants au cours du vol :

- l'atmosphère entre les pilotes était bonne et le niveau de stress observable faible ;
- le copilote a lu au cours de la croisière la carte d'approche du Castellet ; il informe le commandant de bord qu'il n'a pas pris connaissance de la carte d'approche avant le vol ;
- l'équipage a évoqué la proximité du relief, la nécessité de réduire la vitesse et d'anticiper la configuration et la longueur de piste courte ;
- de nombreuses check-lists n'ont pas été réalisées ou demandées ;
- la check-list « *avant atterrissage* » a été réalisée de façon incomplète : le PF demande la sortie des trains, appelle la check-list, puis demande la sortie des volets atterrissage. Le PM effectue ces actions puis annonce : « *ok, gear down, three green, check list is complete* » (voir §1.17.5.2 pour la description complète de la check-list « *avant atterrissage* ») ;
- le niveau sonore du premier toucher du train avant était anormalement élevé ;
- l'analyse spectrale permet d'indiquer qu'à l'issue de ce premier toucher, la vitesse des roues du train avant qui n'étaient plus en contact avec le sol était proche de celle de l'avion à cet instant ; elle était ensuite en diminution progressive, du même ordre de grandeur que ce qui a pu être observé au cours du décollage de Nice par exemple ;
- il n'y a eu aucun échange verbal entre les membres d'équipage au cours du roulement à l'atterrissage de l'avion.

⁽¹⁶⁾Le programme de maintenance d'UJT pour cet avion prévoit un test fonctionnel du FDR tous les deux ans.

1.11.3 Identification des messages d'alarme, d'avertissement, d'information et détermination de la position de l'interrupteur PWR STEER

Les alarmes MASTER WARNING générées lorsque l'avion est sur la piste correspondent à l'alarme L-R REV UNLOCK. Un tableau récapitulatif de l'identification des alarmes entendues dans le poste de pilotage pendant le vol est fourni en **annexe 3**.

Le BEA a également tenté de déterminer le moment où l'interrupteur PWR STEER a été positionné sur OFF⁽¹⁷⁾. Il était sur ON lors du décollage, car l'équipage a pu diriger l'avion lors du roulage à Nice. Le positionnement sur OFF et son maintien dans cette position aurait généré un message d'avertissement lors de la sortie des trains, ce qui n'est pas entendu au CVR ni enregistré au FDR. Il n'y a eu ensuite aucun message d'avertissement jusqu'à 13 h 18 m 53 s, soit trois secondes après la sortie de piste.

L'interrupteur PWR STEER était donc sur ON avant la sortie de piste, et est resté dans cette position au moins jusqu'à 13 h 18 m 53 s⁽¹⁸⁾.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.12.1 Examen du site et de l'épave

L'épave de l'avion est localisée à l'extérieur de l'enceinte de l'aérodrome.



Figure 10 : localisation de l'épave

De nombreux débris de l'avion sont retrouvés à proximité de l'épave. Ils sont la conséquence du contact de l'aéronef avec le grillage délimitant l'enceinte de l'aérodrome, les rochers et les arbres. La majeure partie de l'avion a été détruite par l'incendie (figure 11).

Aucun débris de l'avion n'a été retrouvé dans l'enceinte de l'aérodrome. Le premier élément (pièce du train d'atterrissage avant) a été localisé juste derrière le grillage traversé par l'avion.

⁽¹⁷⁾Cet interrupteur a été retrouvé sur OFF, cf. § 1.12.

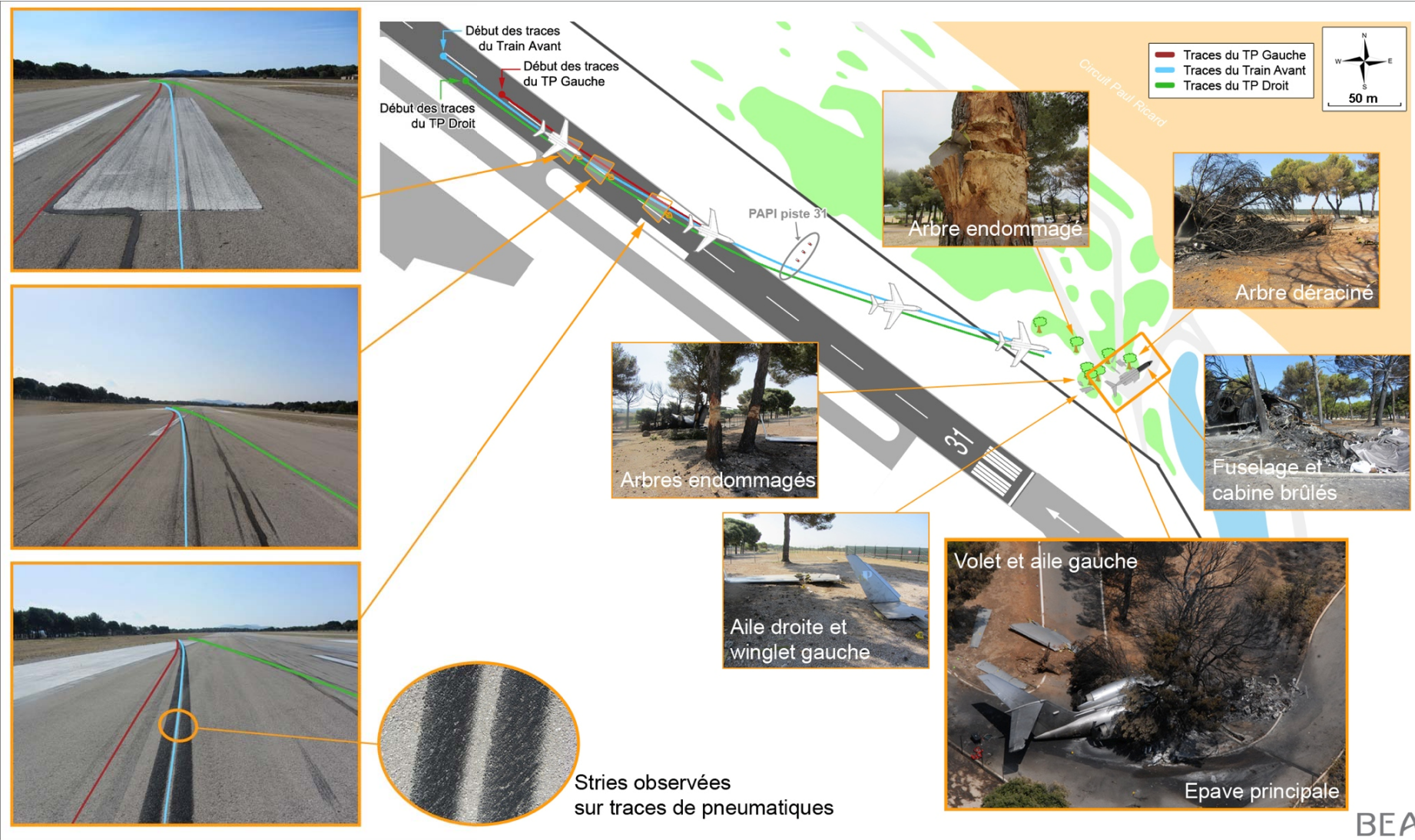
⁽¹⁸⁾A cet instant, l'avion se situe hors de la piste mais n'a pas encore quitté l'enceinte de l'aérodrome.



Figure 11 : zone touchée par l'incendie

L'examen du site et de l'épave permet de dire que :

- l'avion était en configuration atterrissage. Les inverseurs de poussée étaient déployés de manière symétrique ;
- l'avion était en dérapage à droite lors du virage et de la sortie de piste ;
- les multiples chocs de l'avion avec la végétation ont entraîné des ruptures de la voilure et ralenti la course de l'aéronef ;
- les rochers positionnés en bordure de route ont été heurtés par le train avant et le train principal droit ;
- le fuselage n'est pas rentré en contact frontal avec les arbres et ne s'est pas rompu ;
- l'incendie est consécutif à la rupture des ailes contenant du carburant ;
- l'ensemble des portes et issues de secours ont été retrouvées fermées et verrouillées ;
- les roues des trains principaux ne présentent pas de trace d'éclatement ou d'usure anormale.



1.12.2 Traces de pneumatiques sur la piste

Les premières traces de pneumatiques observées sur la piste et attribuées au N823GA ont été laissées par le train avant⁽¹⁹⁾. Elles sont continues jusqu'au bord de piste sur une distance longitudinale (selon l'axe de piste) de 270 mètres. Les traces du train principal droit débutent 30 mètres après celles du train avant, celles du train principal gauche débutent 25 mètres après celles du train droit (*cf. schéma et photographies ci-après*).

Les traces sont plus marquées sur leur partie droite, à l'extérieur du virage, et leur intensité augmente en se rapprochant du bord de piste.

Un regard particulier a été apporté sur les traces du train avant. Les rainures du pneu sont initialement visibles (*photos 1 à 3 de la figure 12*) et les traces sont peu marquées. Elles deviennent ensuite plus foncées et les rainures du pneu disparaissent. La largeur des traces laissées par chaque pneu augmente au fil du déplacement et l'écart entre les deux traces diminue, jusqu'à disparaître.

⁽¹⁹⁾Ces traces correspondent au « second » toucher du train avant.

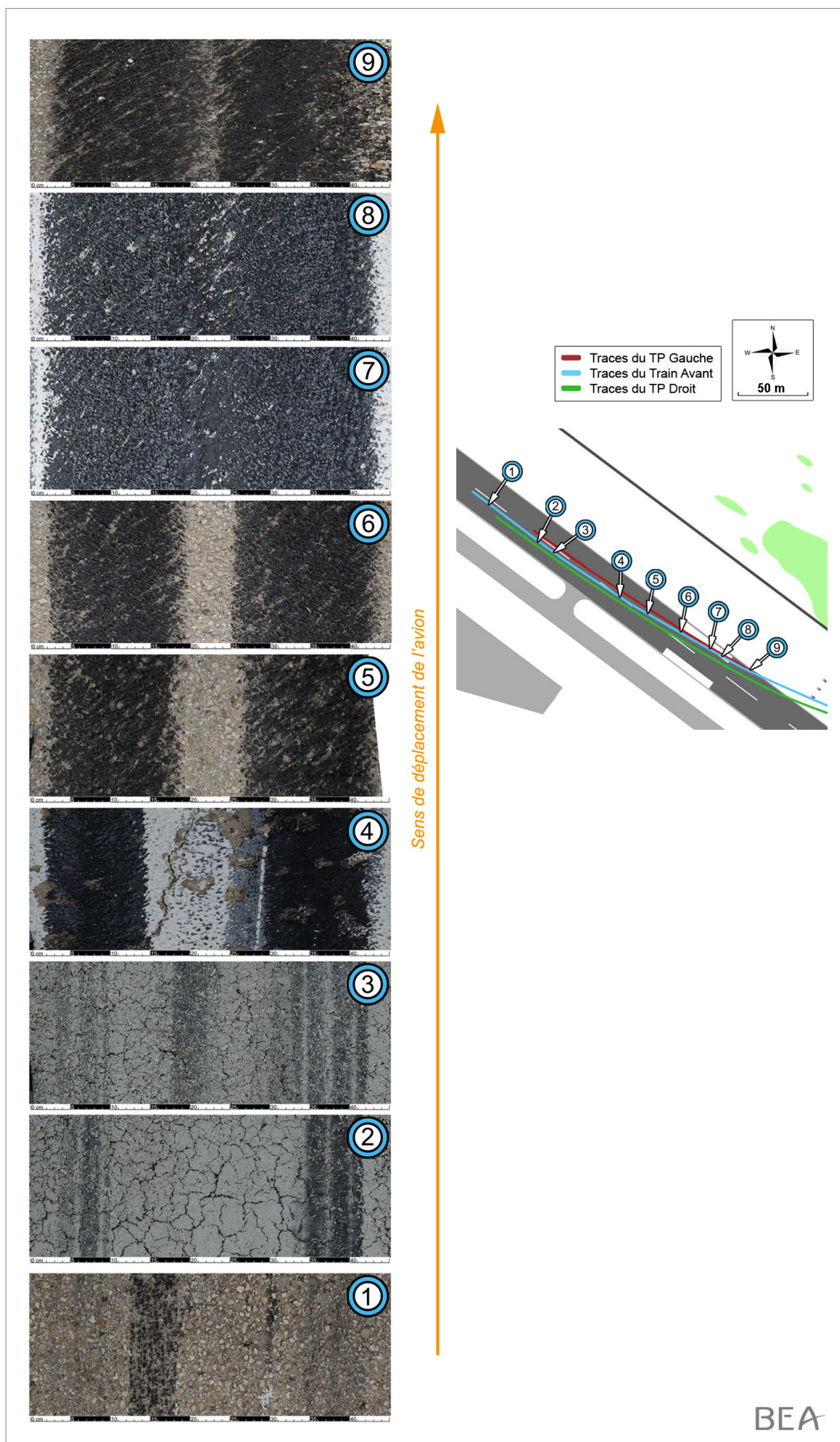


Figure 12 : photos des traces de pneumatiques du train avant

BEA

Peu avant l'axe de piste (entre les points 3 et 4 du schéma ci-avant) et jusqu'au bord de piste ces traces présentent des stries orientées vers la droite dans le sens du déplacement de l'avion. Leur angle, mesuré entre le bord de la trace et la strie, évolue le long des traces (voir mesures ci-après).

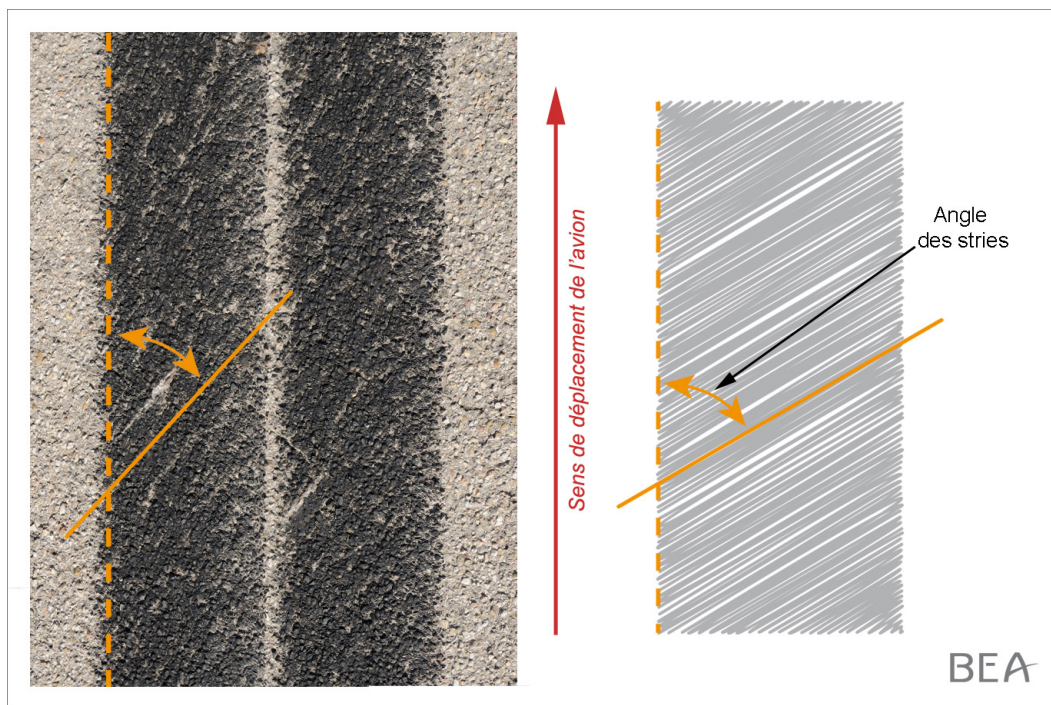


Figure 13 : stries observées sur les traces du train avant et méthode de mesure de l'angle

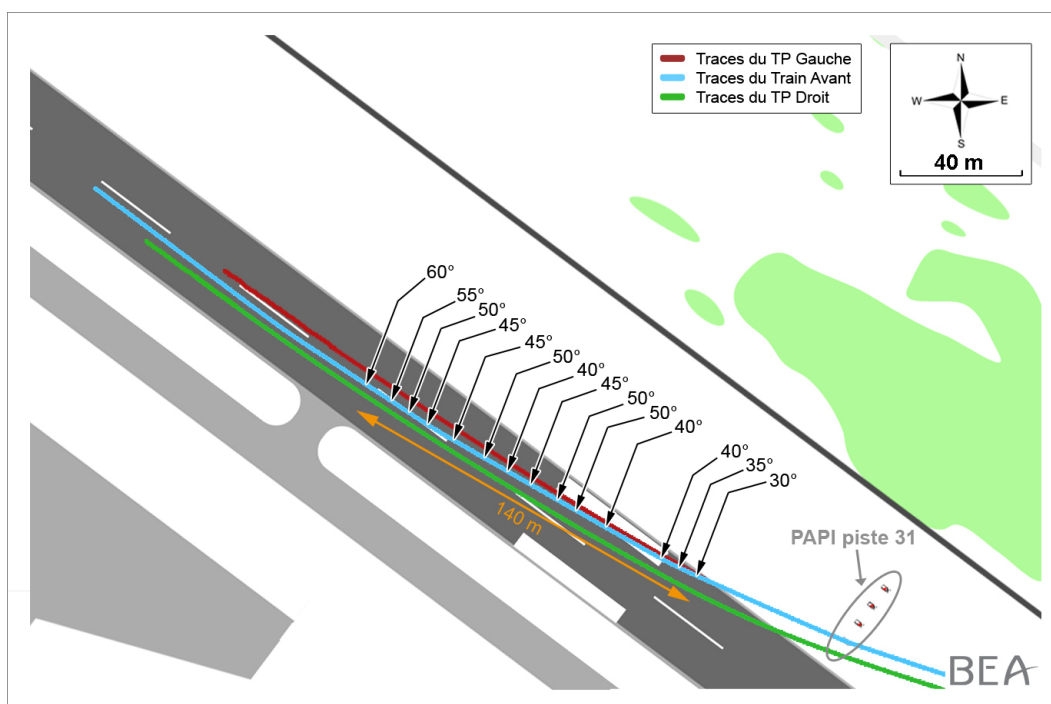


Figure 14 : valeurs des angles de stries le long des traces du train avant

L'interprétation de ces stries a fait l'objet d'une étude qui est présentée en 1.16.7.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Les autopsies pratiquées sur les corps des membres d'équipage n'ont pas mis en évidence d'éléments susceptibles d'expliquer l'accident. Les occupants sont décédés par asphyxie dans le foyer d'incendie.

1.14 Incendie

Un incendie consécutif aux chocs de la structure sur des rochers et des arbres s'est déclenché. Les réservoirs d'aile ont été éventrés et le carburant s'est immédiatement enflammé. Le feu s'est propagé à quelques arbres environnants.

L'avant de l'avion a été totalement détruit par l'incendie. La partie située à l'arrière de la soute à bagages présente des signes d'échauffement mais a été relativement préservée.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

1.15.1 Survie des occupants

Le commandant de bord a été retrouvé dans une zone de l'avion correspondant au milieu de l'allée de la cabine. Il a probablement tenté d'évacuer l'avion.

Le copilote, situé en place droite, a été retrouvé sur la droite du poste de pilotage dans une zone correspondant à la position de son siège. La boucle de bretelle gauche de son harnais est retrouvée au niveau de son épaule gauche, en dehors de son attache. Il est possible que le copilote ait également tenté d'évacuer l'avion.

L'aide cabine a été retrouvée entre les deux pilotes, au niveau de l'office de bord situé à l'avant.

1.15.2 Intervention des secours

La présence de deux pompiers est nécessaire pour assurer un service SSLIA de niveau 5. Lors de l'événement, seul un pompier était présent sur l'aérodrome.

Il a été prévenu immédiatement après la sortie de piste par l'agent AFIS et est intervenu sur site environ 3 minutes après le déclenchement de l'alerte. Il a réalisé la première intervention en statique à environ 30 mètres de l'épave à l'aide du canon du véhicule d'intervention mousse (VIM), à plein débit, pendant environ 30 secondes. Gêné par des arbres situés entre lui et l'avion, il a changé de stratégie et a décidé de contourner l'épave par le sud. La deuxième intervention a été réalisée environ 6 minutes après la première intervention, également en statique à environ 30 mètres de l'épave, d'abord sur l'étendue d'eau sur laquelle brûlait du carburant⁽²⁰⁾, puis sur l'épave. Le canon a été utilisé à demi-débit jusqu'à épuisement de l'eau. La chronologie détaillée de l'intervention est disponible en **annexe 4**.

⁽²⁰⁾Le pompier a indiqué dans son témoignage qu'il pensait initialement que le poste de pilotage se situait à cet endroit.

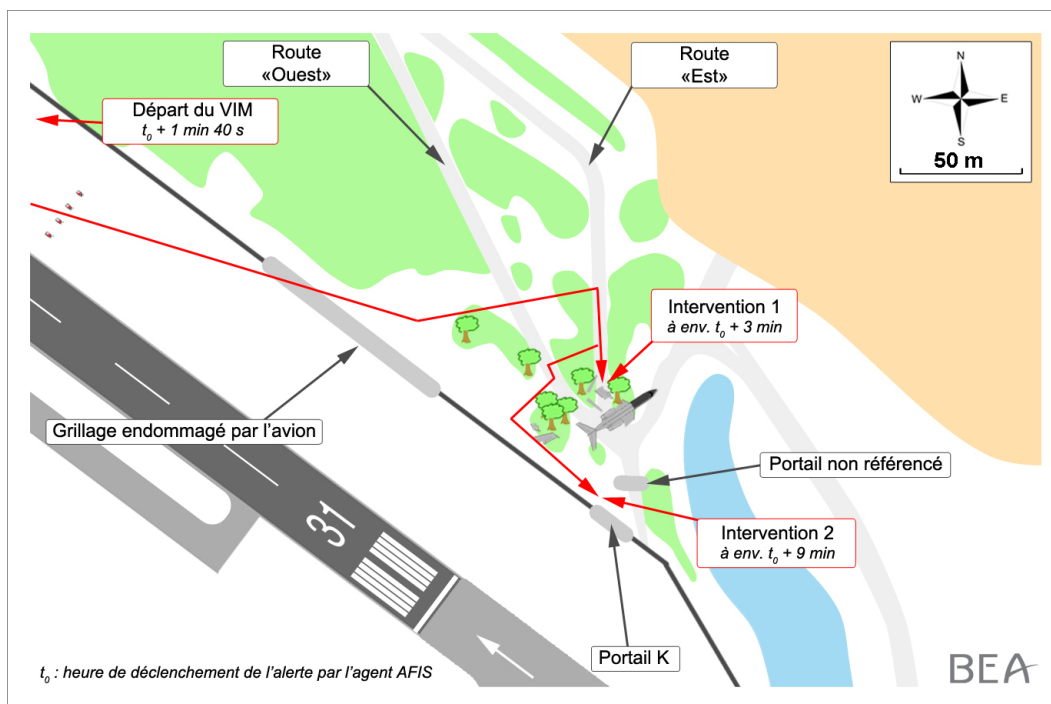


Figure 15 : cheminement et positions d'intervention estimés du pompier, selon son témoignage

Des pompiers à bord de plusieurs véhicules, extérieurs à l'aérodrome, sont intervenus en renfort ultérieurement.

1.16 Essais et recherches

De façon à comprendre les raisons de la déviation à gauche de l'avion, des essais et recherches ont été entrepris sur :

- l'étude du comportement de l'avion au sol : sa décélération, les charges exercées sur les trains d'atterrissage, l'influence de l'absence des destructeurs de portance sol sur les performances et le freinage de l'avion, la déviation latérale ;
- les examens techniques du système de direction du train avant et du système de freinage ;
- l'étude des traces des pneumatiques ;
- l'étude des modes de défaillance possibles du système de direction du train avant ;
- l'étude d'une possibilité de blocage du volant de direction par un objet extérieur.

1.16.1 Non armement par l'équipage des destructeurs de portance sol

Au cours de l'approche, le PM a omis d'armer les destructeurs de portance sol. En effet, ils ne se sont pas déployés immédiatement après le toucher des roues alors que le système d'augmentation de traînée et de destruction de portance était fonctionnel. Ce dernier point est confirmé par les éléments suivants :

- les capteurs de compression des trains principaux fonctionnaient au sol puisque les inverseurs de poussée se sont déployés ;
- manuellement activés, les panneaux du système sont sortis. Le mécanisme n'était donc pas bloqué ;

- ❑ le message rouge NO GND SPLRS ne s'est pas allumé sur la capsule située sur le panneau central du poste de pilotage. En effet, si cela avait été le cas, l'équipage aurait probablement déployé les aérofreins dans un délai plus court⁽²¹⁾.

De plus, les termes « *ground spoilers* » ne sont pas entendus dans le CVR, en particulier lors de la check-list « *avant atterrissage* ».

1.16.2 Décélération de l'avion sur la piste

Afin de mener à bien cette étude, le BEA a développé un modèle longitudinal du G-IV à partir des données fournies par Gulfstream⁽²²⁾. Ce modèle a été validé avec le NTSB et Gulfstream en comparant les distances d'atterrissage calculées à l'aide de ce modèle et celles fournies dans l'AFM.

Les principales forces qui participent à la décélération de l'avion au cours d'un atterrissage sont :

- ❑ la force de freinage exercée par les roues du train principal. Cette force dépend notamment du poids apparent (différence entre le poids et la portance) de l'avion ;
- ❑ la force de poussée inverse ;
- ❑ la force de traînée aérodynamique qui dépend de la vitesse air et de la configuration avion, en particulier de la position des destructeurs de portance sol.

La décélération du vol de l'accident peut être décomposée en deux phases :

- ❑ une première phase correspondant aux 10 premières secondes du roulage à l'atterrissage (entre 365 m et 1 050 m du seuil de piste 13), où elle a été relativement faible (entre 0,1 et 0,2 g) ;
- ❑ une seconde phase correspondant aux 5 secondes suivantes (entre 1 050 m et la sortie latérale de piste) où elle a été plus importante (0,45 g).

Cette décélération a été comparée à celle de quatre autres atterrissages du N823GA enregistrés dans le FDR, et dont la technique de réalisation a été jugée similaire à celle de l'accident jusqu'au premier toucher des roues du train avant.

Les atterrissages des vols précédents ont été réalisés sur des pistes plus longues, avec une vitesse sol au toucher des roues légèrement inférieure. On observe lors de la phase initiale de ces atterrissages une pression de freinage relativement faible, signe probable d'une demande de décélération modérée, la piste n'étant pas limitative.

⁽²¹⁾Lors de l'évènement, les aérofreins ont été déployés 10 secondes après le toucher des roues (cf. Figure 2).

⁽²²⁾A la date de l'accident, Gulfstream ne possédait ni modèle aérodynamique ni moyen de simulation du G-IV. Ces derniers avaient été construits et validés par la société Flight Safety International (FSI) à partir de données de vols d'essais menés par FSI dans le cadre de la mise au point et de la certification d'un simulateur d'entraînement des équipages.

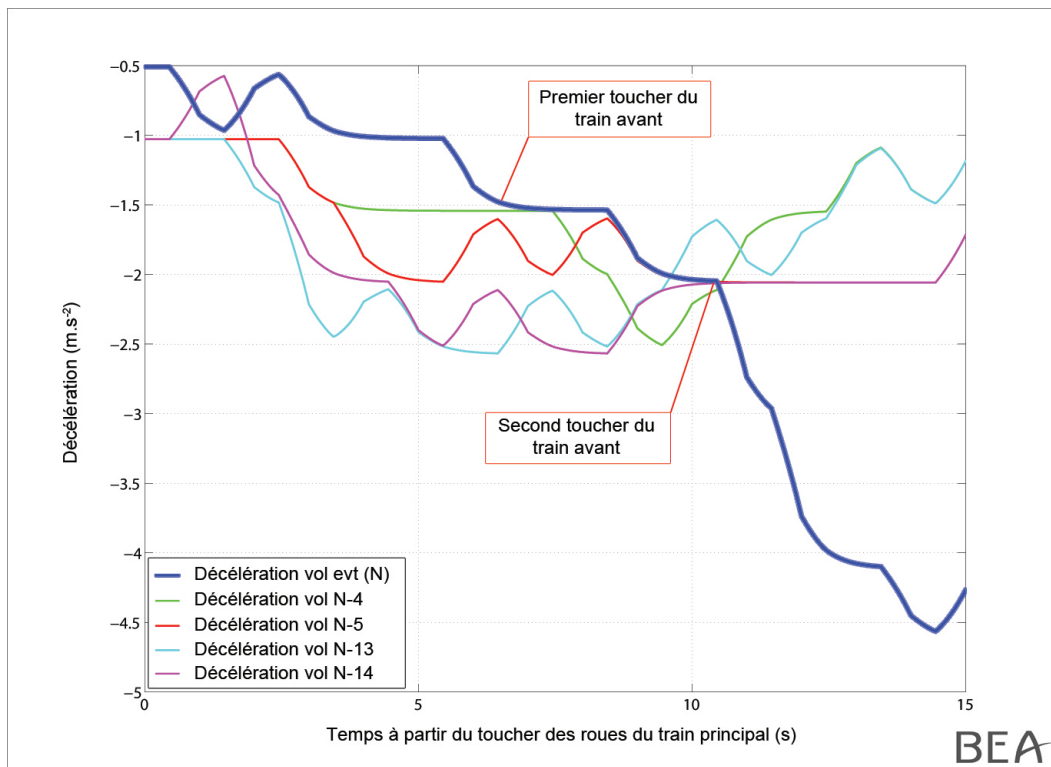


Figure 16 : décélération

Etude de la phase 1

En l'absence du déploiement des destructeurs de portance sol, le poids apparent est resté faible, ce qui a eu pour conséquences :

- ❑ d'inhiber la sortie des inverseurs de poussée en raison de la perte intempestive de la condition sol ;
- ❑ de réduire significativement l'efficacité de l'action de freinage⁽²³⁾.

Au cours de cette première phase, la vitesse sol a diminué de 22 kt.

Etude de la phase 2

Les aérofreins ont été sortis manuellement jusqu'à 26° et les inverseurs de poussée se sont déployés et ont été utilisés à la poussée MAX REVERSE. L'augmentation des forces de traînée et de poussée inverse qui en ont résulté, ainsi que l'augmentation du poids apparent, associée à une augmentation de la pression hydraulique appliquée au niveau des blocs de frein, ont eu pour effet d'accroître la décélération de l'avion. La force de freinage exercée sur l'avion a rapidement augmenté et a atteint des valeurs 5 à 6 fois supérieures à celle des autres atterrissages. Cette augmentation s'explique en partie par celle de l'intensité du freinage que l'on constate au travers de l'augmentation des pressions de freinage, mais également par la mise en dérapage de l'avion et une possible orientation du train avant qui ont créé des forces de frottement supplémentaires sur les pneus des trois trains d'atterrissage.

⁽²³⁾ Une forte action de freinage sur un train faiblement chargé aura pour conséquence un déclenchement de l'anti-patinage. Ceci peut expliquer la faible augmentation des pressions de freinage même en présence d'une action de freinage significative, car la pression est mesurée en aval du système d'anti-patinage.

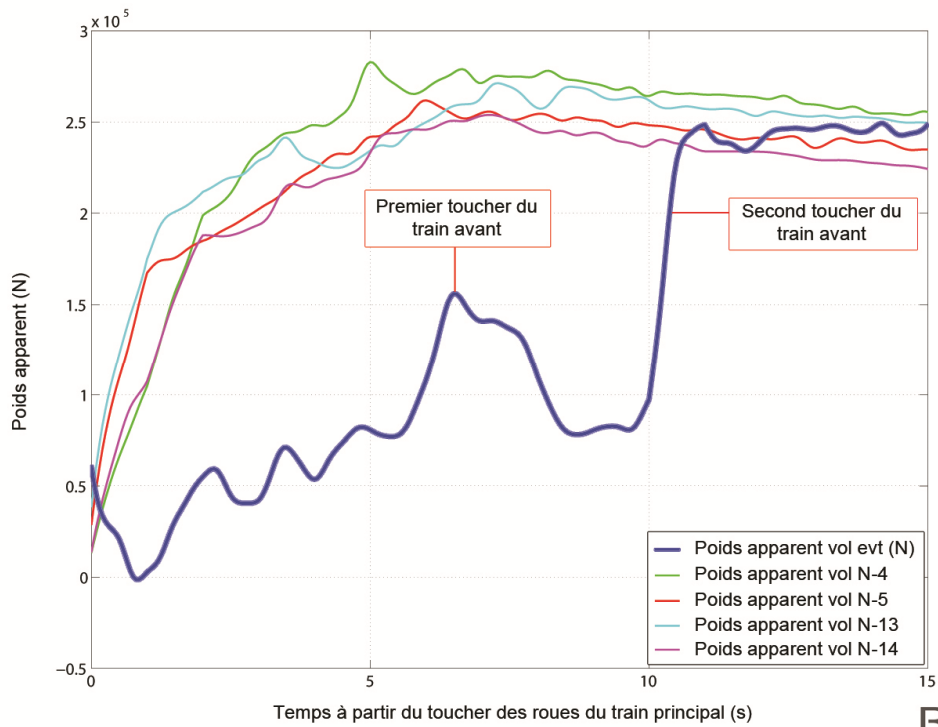


Figure 17 : comparaison du poids apparent

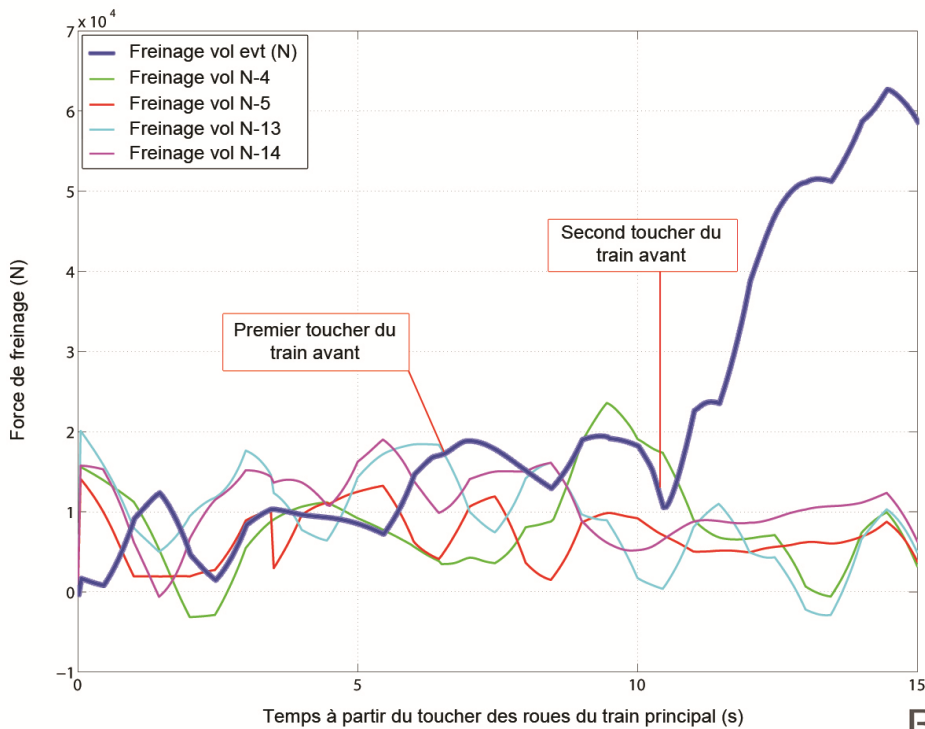


Figure 18 : comparaison de la force de freinage⁽²⁴⁾

Au cours de cette seconde phase, relativement courte (270 m), la vitesse sol de l'avion a diminué de 31 kt.

⁽²⁴⁾La force de freinage calculée prend en compte l'ensemble des forces exercées sur les pneumatiques des trains d'atterrissage principaux et du train d'atterrissage avant. Il s'agit des forces obtenues par le freinage des roues des trains principaux et par le roulement des pneumatiques du train avant, mais également des forces engendrées par la mise en virage de l'avion sur les pneumatiques des trois trains d'atterrissage.

Une simulation a permis de montrer que l'avion aurait pu s'arrêter sur la piste après avoir parcouru une distance d'environ 400 m après le deuxième toucher de train avant, en l'absence de déviation latérale de l'avion avec le train avant non orienté, sans dérapage et en utilisant au maximum les dispositifs de freinage.

1.16.3 Estimation des charges verticales sur les trains d'atterrissage

Rapidement après l'accident, l'hypothèse d'un phénomène de « *wheelbarrowing* », instabilité provoquée par la conjonction entre une forte charge présente sur le train avant et des trains principaux faiblement chargés, a été avancée. Pour vérifier cette hypothèse il a donc été nécessaire de déterminer les forces verticales exercées sur les trains d'atterrissage au cours de l'événement. Pour cela le modèle utilisé pour l'étude de la décélération de l'avion (cf. § 1.16.2) a été utilisé et complété en y intégrant la modélisation des trains d'atterrissage par des ressorts amortis.

Les calculs ont été réalisés également sur les atterrissages des vols précédents identifiés au § 1.16.2 à des fins de comparaison sachant que ces atterrissages ont eu lieu dans des conditions normales en ce qui concerne notamment les charges exercées sur les trains d'atterrissage.

Les résultats montrent que la charge verticale exercée sur le train d'atterrissage avant lors du premier toucher était de faible valeur, inférieure à celle observée lors des vols précédents. Lors du second toucher, la charge a atteint la valeur de 85 000 N⁽²⁵⁾(valeur 3 fois supérieure à la valeur moyenne calculée pour les autres atterrissages), proche de la charge limite admissible sur le train avant. En raison de la précision des calculs, il n'est cependant pas possible d'affirmer que la charge limite n'a pas été dépassée. Il s'en est suivi, par un effet de rebond, une décompression du train avant caractérisée par une charge 2 à 3 fois inférieure à celle des autres atterrissages. Le train s'est ensuite à nouveau compressé et les charges étaient similaires à celles des autres atterrissages, tant au niveau de leur valeur moyenne que de l'amplitude et de la fréquence des oscillations.

⁽²⁵⁾Le train avant du G-IV a été certifié pour une charge limite de 98 000 N (la charge ultime est de 147 000 N).

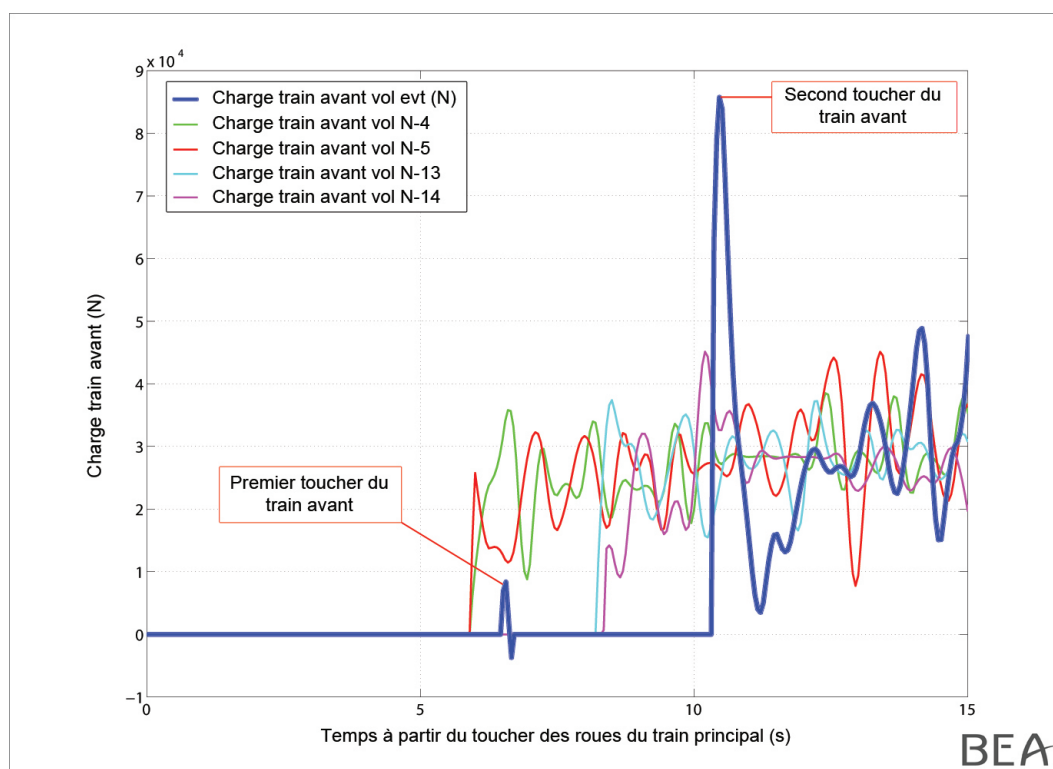


Figure 19 : comparaison des charges verticales exercées sur le train avant

La charge calculée sur les trains principaux lors de l'atterrissage du vol de l'accident est environ 2 à 3 fois inférieure à celle des autres atterrissages pendant les dix premières secondes du roulage, puis atteint des valeurs similaires à celles des autres atterrissages.

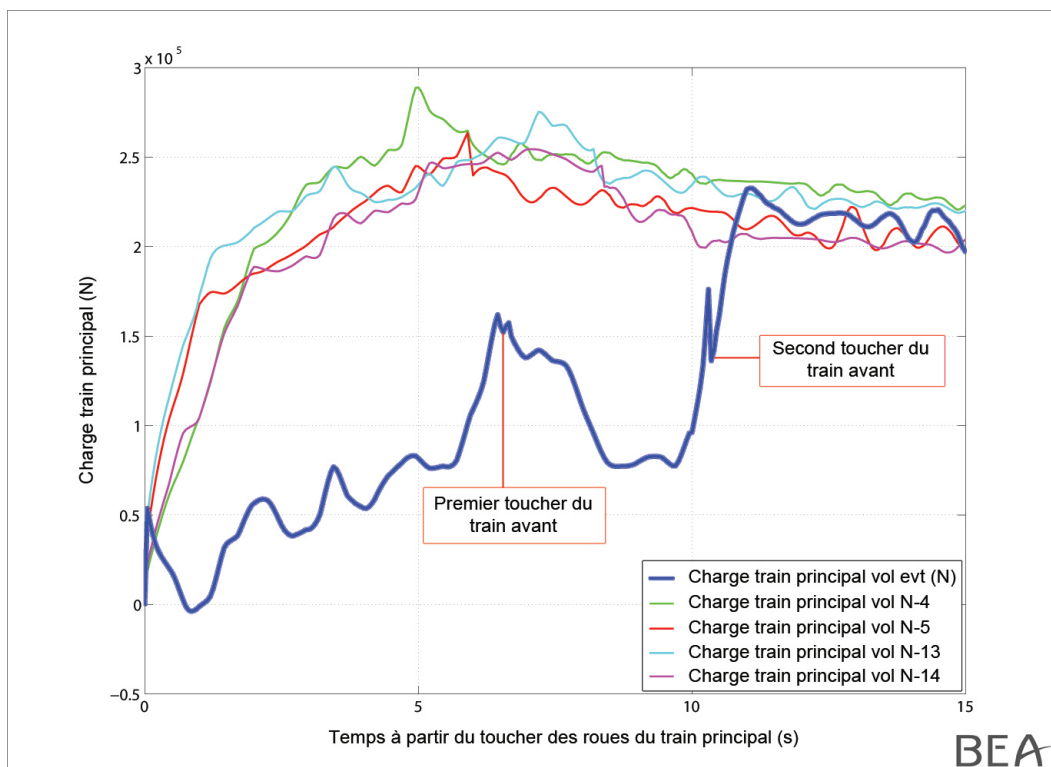


Figure 20 : comparaison des charges verticales exercées sur les trains principaux

Les différents calculs et simulations réalisés dans le cadre de cette enquête n'ont donc pas mis en évidence de fortes charges sur le train avant en dehors de la valeur maximale atteinte immédiatement après le second toucher (cf. figure 19). Les valeurs des charges calculées sur le train avant et sur les trains principaux lors de l'atterrissage de l'avion accidenté sont du même ordre de grandeur que celles calculées lors des atterrissages précédents. Le phénomène de « *wheelbarrowing* » ne peut donc pas expliquer la déviation latérale à gauche de l'avion.

1.16.4 Etude de la déviation latérale sur la piste

Afin d'étudier la dynamique de l'avion sur la piste et les différentes possibilités pouvant expliquer la déviation latérale vers la gauche et la sortie de piste, Gulfstream, le NTSB et le BEA ont réalisé de façon indépendante plusieurs simulations de la trajectoire de l'avion.

Les simulations réalisées par Gulfstream n'ont pas permis de reproduire la trajectoire du N823GA.

Le NTSB a utilisé le logiciel TruckSim⁽²⁶⁾ qui permet de simuler et d'analyser le comportement dynamique des véhicules lourds en contact avec le sol. Il contient de nombreux modèles de véhicules pouvant être personnalisés, ce qui a permis au NTSB de modéliser le Gulfstream G-IV équipé de différents types de pneumatiques. Ce logiciel permet également d'appliquer sur le véhicule, aux endroits souhaités par l'utilisateur, des forces et moments connus. Le NTSB a ainsi calculé les forces et moments aérodynamiques exercés sur le N823GA, ainsi que les forces de poussée, à partir des paramètres FDR et des données fournies par Gulfstream, et les a déclarés comme variables d'entrée pour TruckSim. En sortie, le logiciel peut calculer de nombreux paramètres, en particulier la trajectoire de l'avion. Les simulations ont été réalisées sur une durée de 4,75 secondes, entre le moment du second toucher du train d'atterrissage avant et le moment de la sortie de piste. Les résultats obtenus montrent que seule une orientation à gauche des roues du train d'atterrissage avant permet de reproduire la trajectoire du N823GA. Si elles restent alignées avec l'axe avion, et a fortiori si elles sont orientées vers la droite, la trajectoire simulée aboutit à une sortie de piste par la droite en raison de la déflexion maximale vers la droite de la gouverne de direction et donc de la prédominance du moment de lacet aérodynamique. Le NTSB a également déterminé que les résultats sont très peu sensibles au centrage de l'avion, aux charges appliquées sur les trains d'atterrissage, et au freinage différentiel. Plusieurs solutions d'orientation à gauche des roues du train d'atterrissage avant permettent de reproduire la trajectoire du N823GA :

- ❑ des solutions de faible orientation à gauche avec des angles variant entre 3° et 8° en fonction du type de pneumatiques utilisé ;
- ❑ des solutions de forte orientation à gauche avec des angles pouvant atteindre 50°. Ceci s'explique par le fait qu'au-delà d'un angle de dérapage d'environ 10°, la force latérale exercée sur un pneumatique n'augmente plus et a même tendance à diminuer.

Le BEA a de son côté complété le modèle utilisé pour le calcul des charges verticales sur les trains d'atterrissage (cf. § 1.16.3) en y intégrant les forces latérales et les moments associés s'appliquant sur l'avion. Les forces et moments aérodynamiques exercés sur le N823GA, ainsi que les forces de poussée, ont été calculées à partir des paramètres FDR et des données fournies par Gulfstream. Les forces latérales s'exerçant sur les pneumatiques des trains d'atterrissage ont été déterminées à partir des charges verticales calculées au § 1.16.3 et d'un coefficient de friction latéral estimé à partir des données mesurées au cours des essais de pneumatiques de G-IV réalisés sur l'aérodrome du Castellet (cf. 1.16.7). Les résultats obtenus amènent à des conclusions similaires à celles du NTSB, à savoir :

- ❑ seule une orientation à gauche des roues du train d'atterrissage avant permet de reproduire la trajectoire du N823GA en utilisant les charges verticales calculées au § 1.16.3 ;
- ❑ il existe de multiples solutions d'orientation à gauche avec des faibles ou grands angles.

⁽²⁶⁾Le logiciel TruckSim est développé par la société américaine Mechanical Simulation Corporation et est utilisé par de nombreux constructeurs et équipementiers de véhicules lourds à travers le monde. Il est issu de travaux de recherches menés aux Etats-Unis par l'Université du Michigan depuis les années 60 pour modéliser et reproduire le comportement des véhicules en contact avec le sol.

Le BEA a également étudié la sensibilité des résultats par rapport aux charges verticales exercées sur les trains d'atterrissage. Les calculs ont montré qu'il était possible de reproduire la trajectoire du N823GA en orientant les roues du train d'atterrissage avant vers la droite, en diminuant fortement les charges appliquées sur les trains principaux et en augmentant d'autant celles appliquées sur le train avant. Cependant, les variations de charges nécessaires dépassent l'erreur maximale estimée pour les calculs de charges verticales.

Ces simulations démontrent que seule une situation d'orientation à gauche est compatible avec les paramètres enregistrés. En raison des incertitudes liées aux imprécisions des paramètres FDR et des caractéristiques des pneumatiques du N823GA, il n'est pas possible de déterminer, à partir de ces simulations, si les roues du train d'atterrissage avant étaient orientées faiblement ou fortement à gauche.

1.16.5 Efficacité du freinage de l'avion en dérapage latéral

Au cours de la déviation vers la gauche, le dérapage latéral à droite de l'avion a progressivement augmenté pour atteindre 8° lors de la sortie de piste. Le dérapage latéral a pour conséquence de diminuer l'efficacité du freinage.

La manœuvre de récupération prévue par Gulfstream étant notamment basée sur l'efficacité du freinage différentiel, le BEA a demandé à Gulfstream d'évaluer l'efficacité du freinage différentiel dans le cas d'un G-IV en dérapage latéral.

Gulfstream a indiqué qu'il n'avait plus les outils ou logiciels nécessaires à sa disposition pour mener à bien ce type d'analyse.

1.16.6 Examens techniques du système de direction du train avant et du système de freinage

Concernant le système de direction du train avant, les potentiomètres des palonniers, l'ECM, le compas⁽²⁷⁾, les deux régulateurs du système hydraulique et le capteur de position du bloc de direction (RVDT) n'ont pas été retrouvés en raison des dommages liés à l'incendie. Ils n'ont donc pas pu faire l'objet d'examens techniques.

Les examens entrepris sur les autres pièces de ce système n'ont pas mis en évidence de dommage préalable à la sortie de piste. Ils permettent de dire qu'au moment de l'arrêt de l'avion :

- le volant de direction était dans une position neutre ;
- l'interrupteur PWR STEER était sur la position OFF ;
- le bloc de direction présentait des déformations qui ont figé sa position dans un angle compris entre 7 et 9° vers la gauche, probablement à la suite d'un choc survenu après la sortie de piste ;
- les composants internes de l'EHSV ont été retrouvés dans une position correspondant à un ordre de rotation du train avant vers la droite ;
- les SOV ont été retrouvées fermées, ce qui signifie que le fluide hydraulique ne circulait pas dans le circuit ; ceci est cohérent avec un positionnement sur OFF de l'interrupteur PWR STEER ainsi qu'avec la perte de la condition sol à la suite de la rupture du train avant.

⁽²⁷⁾Seules les attaches supérieures du compas étaient présentes sur le train avant.

Les examens permettent également de dire que les roulements du train avant, bien qu'endommagés, ne présentent pas de dommage antérieur à la sortie de piste. Sur le bloc de direction, aucun signe d'interférence avec les pneumatiques du train n'est visible.

Concernant le système de freinage, les servovalves de gestion de la pression hydraulique et les fusibles⁽²⁸⁾ associés ont été examinés :

- ❑ les servovalves ont été retrouvées dans une position permettant au fluide hydraulique de circuler vers les freins ;
- ❑ les fusibles ont été retrouvés dans une position laissant circuler le fluide hydraulique.

Les témoins d'usure des blocs de freins étaient dans les normes admissibles.

Les pneumatiques étaient trop endommagés par l'incendie pour permettre l'observation des signes de freinage ou de blocage des roues.

Les autres pièces du système (capteurs de déflexion des pédales de freins, calculateur de contrôle du freinage) n'ont pas été retrouvées en raison des dommages liés à l'incendie.

1.16.7 Etude de traces de pneumatiques

L'examen des traces de pneumatiques laissées par le N823GA sur la piste a mis en évidence la présence de stries rectilignes orientées vers la droite, dans le sens du déplacement de l'avion.

Une recherche bibliographique a permis de constater que des études avaient été menées sur des pneumatiques de voitures afin de déterminer l'orientation des roues à partir des stries observées sur les traces laissées par le véhicule⁽²⁹⁾.

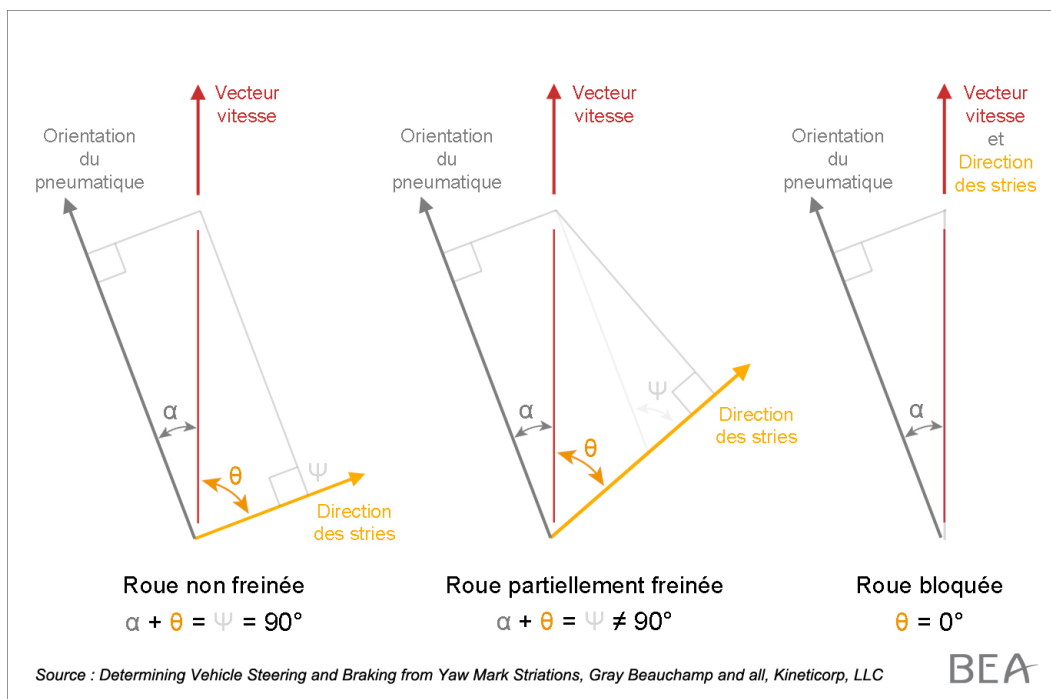


Figure 21 : orientation des stries pour une roue freinée et non freinée, schéma de principe

⁽²⁸⁾La fonction des fusibles est de couper le circuit hydraulique en cas de fuite détectée entre les servovalves et les blocs de frein.

⁽²⁹⁾Determining Vehicle Steering and Braking from Yaw Mark Striations, Gray Beauchamp and all, Kineticorp, LLC.

L'étude contient des essais qui montrent que, pour une roue non freinée, les stries sont orientées sensiblement à 90° du plan de la roue (parallèlement à son axe de rotation). Leur orientation se rapproche du sens du déplacement de la roue si celle-ci est partiellement freinée.

La recherche bibliographique n'ayant pas permis de trouver d'étude concernant les pneumatiques d'avion, qui présentent des sculptures différentes d'un pneumatique de voiture, il a donc été décidé de réaliser des essais sur piste avec des pneumatiques de G-IV afin de déterminer si le résultat des études sur les pneumatiques de véhicules routiers pouvait être généralisé aux pneumatiques d'avions.

Des essais ont donc été entrepris sur la piste de l'aérodrome du Castellet, conjointement avec l'université de Cranfield (Royaume-Uni), en présence du BEA et de Gulfstream. Un camion a été aménagé afin d'accueillir une armature métallique à l'arrière, sur laquelle un système de deux roues orientables de manière symétrique a été installé. Ce banc d'essai a permis de générer des traces de pneumatiques sur la piste, pour différents angles d'orientation de roues, différentes charges et différentes vitesses d'avancement.

Une description détaillée de ces essais est disponible en **annexe 5**.

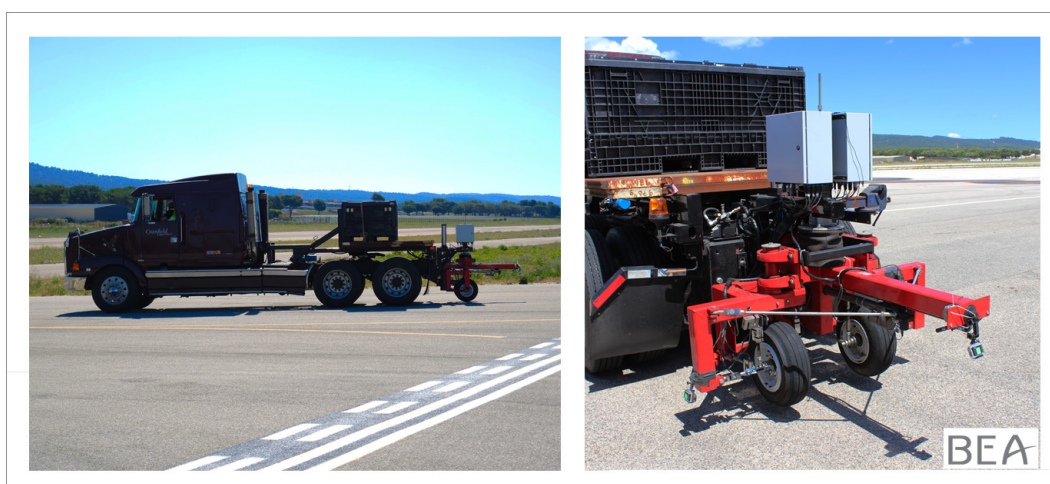


Figure 22 : banc d'essai pneumatique (université de Cranfield, Royaume-Uni)

Les points suivants ont été observés au cours des essais :

- une orientation de la roue vers la gauche crée des stries orientées vers la droite et vice versa ;
- l'orientation des stries est sensiblement perpendiculaire à l'orientation de la roue ;
- il n'a pas été possible de visualiser des stries pour des valeurs d'orientation des roues inférieures ou égales à 10°.

La largeur des traces augmente avec :

- une augmentation de l'angle de braquage ;
- une augmentation de la charge verticale ;
- une diminution de la pression de gonflage des pneumatiques.

La vitesse d'avancement ainsi que l'inclinaison latérale du train ne semblent pas avoir eu une influence importante sur la largeur des traces lors de ces essais.

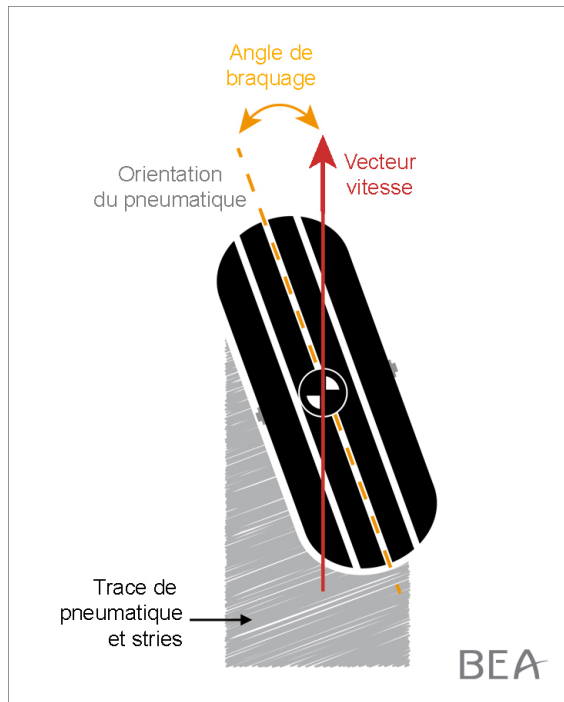


Figure 23 : orientation des stries lors des essais, schéma de principe

Enfin, une étude théorique du principe de génération des stries a été entreprise par le BEA. Cette étude, basée sur la composition des vitesses au niveau du point de contact avec le sol d'une roue en rotation et en dérapage latéral, confirme qu'une roue orientée à gauche de la trajectoire va générer des stries vers la droite.

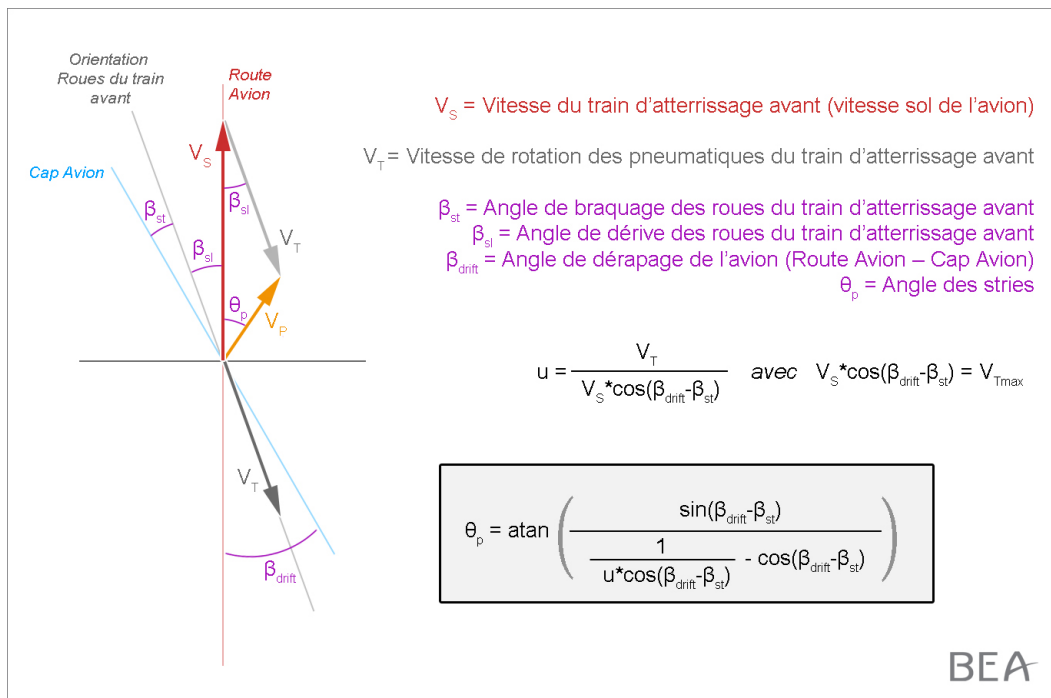


Figure 24 : schéma de composition des vitesses

L'étude prend en compte différentes vitesses de rotation de la roue, comprises entre zéro et sa valeur théorique maximale⁽³⁰⁾. Les calculs théoriques indiquent que, lorsque la roue tourne à une valeur inférieure à sa valeur théorique maximale, il existe deux solutions d'orientation de roue pour une valeur d'angle de strie donnée : une solution « *grand angle* » et une solution « *petit angle* » (cf. schéma ci-après). Lorsque la rotation des roues est proche de la valeur théorique maximale, la solution « *grand angle* » correspond à une strie sensiblement perpendiculaire à l'orientation de la roue, ce qui rejoint à nouveau le résultat des essais⁽³¹⁾.

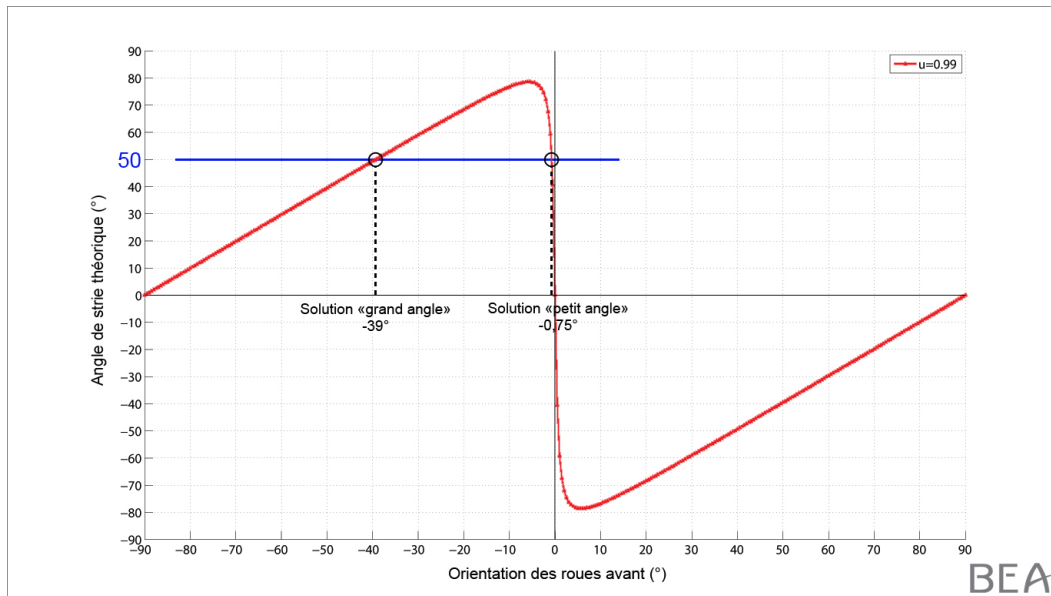


Figure 25 : exemple de valeur d'angle de strie en fonction de l'orientation des roues, pour des valeurs de rotation des roues proches de leur valeur théorique maximale ($u = 0,99$)

L'étude théorique de génération de stries faisant apparaître, pour un même angle de strie, deux orientations possibles de la roue (« *fortement* » et « *faiblement* » orientée), la présence, dans le cas de l'accident, d'un dérapage de l'avion à droite laisse la possibilité d'avoir un train orienté à droite de l'axe avion tout en étant orienté à gauche de la trajectoire (solution « *petit angle* », cf. figure 25). Cette solution a été écartée car :

- ❑ la noirceur des traces du train avant, en comparaison de celles laissées par les trains principaux pourtant freinés et plus fortement chargés, ne peut être expliquée par une roue faiblement orientée et non freinée ;
- ❑ elle n'a pas été mise en évidence lors des essais réalisés au Castellet ;
- ❑ les simulations ont montré que seule une orientation à gauche de l'axe avion permet de reproduire la trajectoire du N823GA.

⁽³⁰⁾La valeur théorique maximale de vitesse de rotation de la roue est la projection de la vitesse d'avancement de l'avion sur l'axe longitudinal de la roue.

⁽³¹⁾Les enregistrements de vitesse de rotation des roues réalisés au cours des essais ont montré qu'elles tournaient à la vitesse théorique maximale.

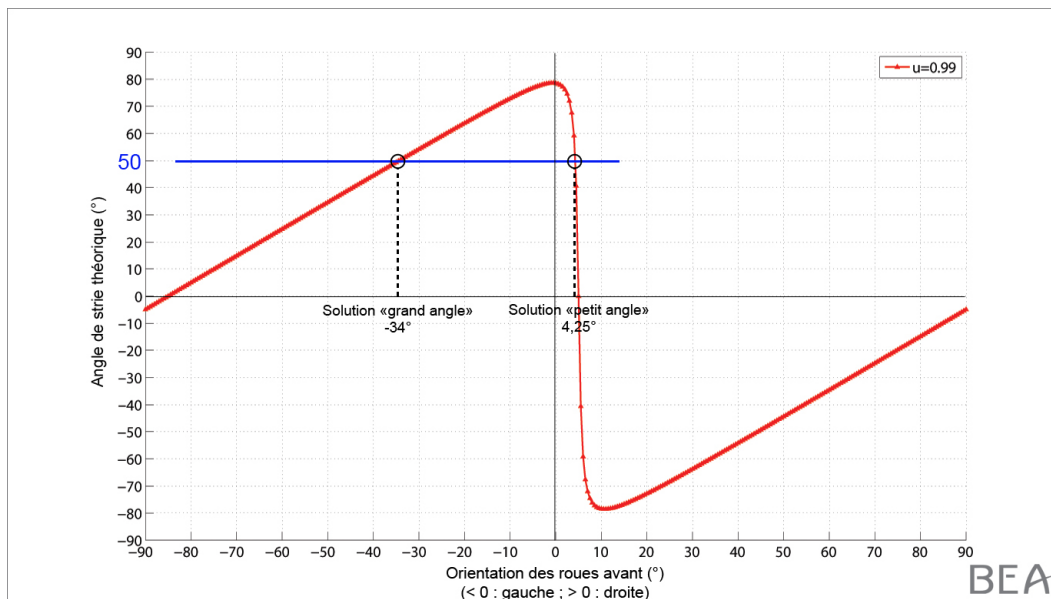


Figure 26 : exemple de valeur d'angle de strie en fonction de l'orientation des roues, pour des valeurs de rotation des roues proches de leur valeur théorique maximale ($u = 0,99$) avec un dérapage à droite de 5°

L'hypothèse d'un endommagement des roues du train avant provoquant un freinage de ces dernières a été envisagée, notamment parce que les premières traces du train avant, après son second toucher, ont précédé celles des trains principaux. Un endommagement du train, notamment du système de roulement, pourrait provoquer un freinage des roues et ainsi générer des traces. On peut noter que :

- ❑ les examens techniques n'ont pas mis en évidence de dommages au niveau des roulements ou d'interaction des pneumatiques avec le bloc de direction ;
- ❑ les stries laissées par les roues gauche et droite du train avant, à un endroit donné des traces, sont toutes orientées avec le même angle. Un endommagement provoquant un freinage des roues générerait très probablement des vitesses de rotation différentes des roues droite et gauche, les deux roues étant indépendantes. Des stries d'orientation différentes sur une zone donnée seraient présentes, ce qui n'a pas été observé.

Ce scénario a donc été écarté et la présence initiale des traces a été attribuée à des roues en léger dérapage sous une forte charge.

Conclusion

Les résultats des essais réalisés avec des pneumatiques d'avion rejoignent ceux des essais réalisés avec des pneumatiques de voiture de l'étude bibliographique. Ils n'ont pas mis en évidence l'existence physique de la solution « *petit angle* » de l'étude théorique.

Cette étude met en évidence qu'entre le moment du second toucher du train avant et le moment de la sortie de piste, le train avant s'est fortement orienté vers la gauche, générant des traces marquées et des stries rectilignes.

1.16.8 Etude des modes de défaillance du système de direction du train avant

Les résultats de l'analyse des modes de défaillance du système de direction du train avant réalisée par Gulfstream au moment de la certification de l'avion sont consignés dans le document FAILURE MODE & EFFECTS ANALYSIS (FMEA⁽³²⁾) G-IV STEERING SYSTEM référencé RM-GIV-054. Il est basé sur des documents produits par Dowty Canada Ltd, constructeur du système, ainsi que sur l'étude FMEA du Canadair « *Challenger* » CL-601 sur lequel est installé le même système de direction. La FMEA liste les modes de défaillance du système (par équipement), les effets de ces défaillances, leurs criticités et les actions correctrices à réaliser par l'équipage.

⁽³²⁾La FMEA n'est pas un document systématiquement vérifié par les autorités de certification.

Dans le cadre de l'enquête, le BEA a étudié ce document. Pour l'ensemble des défaillances envisagées, dix effets sont référencés dans le document. Seuls les cinq listés ci-dessous peuvent créer une perturbation latérale sur l'avion susceptible de générer une sortie de piste :

- 1. une rotation du train avant supérieure à la commande et non contrôlée ;
- 2. un jeu mécanique dans la commande de direction ;
- 3. une perte de commande de direction dans une direction (le train avant ne peut pas être remis dans l'axe et ne tourne que dans une direction) ;
- 4. une commande de direction non fonctionnelle (le train avant est bloqué) ;
- 5. une mise en rotation transitoire non commandée, suivie d'une commande de direction non fonctionnelle (le train avant se retrouve dans un mode « *oscillations amorties* »).

L'effet n° 5 peut être causé par une défaillance au niveau de l'EHSV (rupture du système d'asservissement de l'EHSV (feedback LVDT, cf. figure 5), position anormale des tiroirs dans la servovalve ou perte de connexion électrique avec l'EHSV). Cet effet ne peut pas avoir été rencontré dans le cas de l'accident car il génère un message d'avertissement sonore et visuel, ce qui n'a pas été le cas lorsque l'avion était sur la piste.

Les effets 1 et 2 peuvent également être écartés : l'équipage ayant agi à droite aux palonniers, le train avant s'orienterait à droite malgré ces défaillances.

Les effets 3 et 4 pourraient s'être produits lors de l'accident car ils ne génèrent pas d'alarme et impliquent une défaillance de pièces qui n'ont pas pu être examinées dans le cadre de l'enquête :

- l'effet n° 3 pouvant être créé par un blocage d'un régulateur du système hydraulique ;
- l'effet n° 4 pouvant provenir :
 - d'un blocage de la boucle d'asservissement du bloc de direction (feedback RVDT cf. figure 5) ;
 - d'un blocage du volant de direction ou une déconnexion interne de ses potentiomètres.

Cependant ces effets doivent être combinés avec une commande à gauche de grande amplitude du train avant de la part de l'équipage pour être compatibles avec l'évènement.

Gulfstream a également procédé dans le cadre de l'enquête à une nouvelle revue de ce document et a déterminé que d'autres modes de défaillances, propres au G-IV, étaient non listés dans la FMEA.

Parmi eux, deux scénarii impliquant la boucle d'asservissement du bloc de direction (feedback RVDT) pourraient créer une perturbation latérale sur l'avion compatible avec l'évènement :

- ❑ une déconnection et un décalage de la boucle d'asservissement du bloc de direction (feedback RVDT) fournissant une valeur fixe de la position d'orientation des roues. Par exemple, si le capteur RVDT est déconnecté et figé à une position supérieure à 7° droite, les roues vont s'orienter à gauche quelle que soit la commande de l'équipage aux palonniers ;
- ❑ un biais dans la mesure de la position du bloc de direction. Par exemple, un biais à droite entraîne une orientation des roues à gauche sans aucune commande de l'équipage.

Ces scénarii ne génèrent pas d'alarme. Ils peuvent être la conséquence de circonstances anormales telles qu'une charge excessive appliquée sur le train avant.

Dans la FMEA, la conséquence la plus grave parmi ces défaillances est classée « majeure » au sens de la certification. L'évaluation des conséquences des modes de défaillance présents dans la FMEA se basent sur les postulats suivants :

- ❑ les grands angles d'orientation du train ne sont appliqués qu'à basse vitesse ;
- ❑ à grande vitesse seuls des petits angles d'orientation du train sont appliqués. Si une défaillance survient elle pourra être contrée par une action aux palonniers et un freinage différentiel.

En conclusion, sur la base des informations contenues dans la FMEA et de celles fournies par Gulfstream au cours de l'enquête, le scénario de défaillance le plus probable, parmi ceux susceptibles de s'être produits au cours de l'accident, est celui de la boucle d'asservissement du bloc de direction (feedback RVDT) introduisant un signal erroné sur la position des roues du train avant. Il n'est cependant pas possible de dire, sur la base du document FMEA fourni et de l'analyse complémentaire de Gulfstream, que tous les cas de défaillance du système ont été identifiés.

1.16.9 Etude d'une possibilité de blocage du volant de direction par un objet extérieur

Un poste de pilotage de G-IV a été visité de façon à estimer si un blocage éventuel du volant de direction par un objet extérieur pouvait se produire.

Une force relativement importante est nécessaire pour faire tourner le volant car les ressorts de rappel exercent une force significative. Il est possible de poser sur le volant un objet de petite taille (classeur Jeppesen par exemple) mais le plan du volant est relativement horizontal et cet objet ne semble pas pouvoir exercer une force permettant de faire tourner le volant. L'espace est trop petit, notamment en hauteur, pour y poser un objet plus volumineux (valise par exemple).

En conclusion, un blocage du volant de direction par un objet extérieur semble peu probable.

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

1.17.1 L'exploitant UJT

Organisation et responsabilités

UJT possède le Certificat de Transporteur Aérien n° UJ8A869H, délivré par la FAA le 29 juin 1999, l'autorisant à effectuer du transport à la demande de fret et de passagers selon les règles d'exploitation 14 CFR Part 135. Dix aéronefs sont inscrits en liste de flotte, dont 4 G-III et 2 G-IV. UJT exploite des G-IV depuis le 1er décembre 2008.

Le service sécurité des vols

Le service sécurité des vols a pour mission de développer une culture de sécurité au sein de la compagnie. Un Système de Gestion de la Sécurité (SGS) incluant un système confidentiel de recueil d'incident a été mis en place environ deux ans avant l'accident. UJT ne pratique pas d'analyse systématique des vols⁽³³⁾.

Les informations mises à la disposition de l'équipe d'enquête ont montré que le système confidentiel de report d'incident est peu, voire pas utilisé par les équipages. Les informations diffusées aux équipages par ce service, qui ont été portées à la connaissance de l'équipe d'enquête, sont du domaine de l'information aéronautique et non de la sécurité des vols.

1.17.2 Contexte réglementaire du vol

Les spécifications d'exploitation d'UJT prévoyaient la possibilité de réaliser les vols de mise en place selon les règles d'exploitation 14 CFR Part 91 (règles applicables à l'aviation générale⁽³⁴⁾) si ces vols n'ont pas de caractère commercial.

L'équipage a reçu d'UJT l'information selon laquelle les vols du 13 juillet devaient être réalisés suivant les règles d'exploitation Part 135.

Remarque : un exploitant américain peut continuer à suivre les règles d'exploitation 14 CFR Part 135 sur le territoire français.

Sur les plans de vols déposés pour la journée du 13 juillet, la case type de vol mentionnait un « G », correspondant à un vol réalisé en aviation générale. Cette case aurait dû être renseignée avec la lettre « N », correspondant à un vol de transport aérien non régulier (vol commercial occasionnel).

1.17.3 Autorisation d'exploitation sur le territoire français et contrôles SAFA

Les spécifications d'exploitation d'UJT prévoyaient la desserte du territoire français dans le cadre de ses opérations.

⁽³³⁾La réglementation Part 135 ne requiert chez l'exploitant, ni SGS, ni système confidentiel de recueil d'incident, ni analyse systématique des vols.

⁽³⁴⁾Ces règles s'appliquent seulement sur le territoire des Etats-Unis et le § 91.703 prévoit que les vols en dehors des Etats-Unis soient réalisés en conformité à l'Annexe 2 de l'OACI. Un vol d'aviation générale réalisé sur le territoire français doit se conformer à l'arrêté du 24 juillet 1991 relatif aux conditions d'utilisation des aéronefs civils en aviation générale.

L'arrêté du 3 juin 2008 relatif à l'autorisation d'exploitation de services aériens par des transporteurs aériens extra-communautaires et à l'autorisation d'exploitation de services non réguliers par les transporteurs aériens communautaires, stipule dans son article 6 que « *tout transporteur étranger dépose auprès de l'autorité compétente le programme d'exploitation en application de l'article 330-8-I du code de l'aviation civile* ». Cet arrêté stipule dans son article 3 que « *le programme d'exploitation de services non réguliers sont déposés.....au moins 2 jours ouvrés avant le début de leur mise en œuvre* ». La desserte d'aérodromes situés sur le territoire français dans le cadre d'un transport de passager à titre payant est donc soumise à une autorisation de la DTA (Direction du Transport Aérien) de la DGAC. Ces autorisations nécessitent au préalable le renseignement d'un questionnaire technique qui porte principalement sur des questions d'équipement, d'exploitation et de maintenance de l'avion.

UJT n'avait pas adressé de demande d'autorisation d'exploitation de services aériens non réguliers pour les vols des 13 et 15 juillet 2012 réalisés ou prévus d'être réalisés dans l'espace aérien français. La dernière autorisation d'exploitation délivrée à UJT par la DGAC date de juillet 2006.

UJT avait été contrôlé en France à deux reprises par la DSAC dans le cadre des contrôles SAFA :

- ❑ le contrôle du 18 mai 2010 réalisé à Bergerac faisait état de plusieurs écarts dont une absence de demande d'autorisation d'exploitation de services aériens non réguliers, une MEL qui n'était pas mise à jour des dernières révisions du constructeur, une absence de document de masse et centrage ainsi qu'une difficulté pour obtenir rapidement les résultats de ce calcul par l'équipage. Les écarts avaient été notifiés au commandant de bord, à l'exploitant et à l'autorité (FAA) ;
- ❑ le contrôle du 13 février 2012 réalisé au Bourget faisait état de plusieurs écarts qui n'avaient été notifiés qu'au commandant de bord. Il s'agissait d'un vol déclaré en aviation générale, qui ne nécessite pas de demande d'autorisation de trafic.

La FAA est tenue de répondre et d'assurer un suivi lorsqu'elle est notifiée de ces écarts. Il n'a pas été possible de savoir, auprès de la FAA ou de la DSAC, si la FAA avait répondu au contrôle du 18 mai 2010 et quelle a été la teneur de la réponse.

1.17.4 Planification et préparation du vol, distances d'atterrissage

Un plan de vol IFR avait été transmis aux services de la navigation aérienne. Il prévoyait un décollage de Nice le 13 juillet à 12 h 30 et un vol de 25 minutes vers le Castellet en aviation générale. Aucun aérodrome de dégagement n'y était renseigné.

Le dossier de vol transmis au pilote contenait les informations météorologiques ainsi que les NOTAM des aérodromes de Toulon-Hyères et Marseille-Provence. Il contenait des calculs de consommation de carburant, les METAR et TAF des aérodromes de Nice, Toulon et Marseille⁽³⁵⁾. L'équipage avait été informé le 12 juillet, veille de l'accident, qu'il devait positionner l'avion au Castellet après avoir déposé les passagers à Nice.

UJT demande aux équipages de réévaluer en vol les distances d'atterrissage pour chaque vol réalisé en Part 135. L'enregistrement CVR indique que l'équipage a découvert en vol les longueurs de piste de l'aérodrome du Castellet et a indiqué que « *c'était court* ». Le calcul des distances d'atterrissage n'a pas été réalisé avant ou au cours du vol.

⁽³⁵⁾ Il n'y a pas de METAR et de TAF disponibles sur l'aérodrome du Castellet.

Les longueurs de piste nécessaires à la masse du vol de l'accident, selon le type d'exploitation, sont données dans le tableau :

	Aviation générale avion lourd exploitant étranger (pas de majoration de longueur de piste)	Part 135 cas du vol (80 %) ⁽³⁶⁾	Transport aérien (60 %) ⁽³⁷⁾
Longueur de piste nécessaire	900 m	1 125 m	1 500 m
Longueur de piste nécessaire avec 10 kt de vent arrière	1 030 m	1 285 m	1 715 m

⁽³⁶⁾La distance d'atterrissage doit être inférieure à 80% de la longueur de piste disponible.

⁽³⁷⁾La distance d'atterrissage doit être inférieure à 60% de la longueur de piste disponible.

A la masse maximale à l'atterrissage, la longueur de piste nécessaire dans les conditions du jour, sans vent et pour une exploitation de l'avion en Part 135 est de 1 255 m (rappel : la LDA de la piste 13 était de 1 705 m).

1.17.5 Procédures d'exploitation à destination des équipages

Les paragraphes suivants se basent sur :

- L'AFM, produit par Gulfstream, révision du 5 octobre 2011 ;
- Le QRH, produit par Gulfstream, révision du 5 octobre 2011 ;
- L'AOM, produit par Gulfstream, révision du 10 juillet 2010 ;
- Le GOM, manuel d'exploitation d'UJT, révision du 8 janvier 2011 ;
- Le CRH, manuel de formation, produit par CAE Simuflite, révision d'août 2010 ;
- L'IPTM, manuel de formation, produit par CAE Simuflite, révision d'août 2010.

1.17.5.1 Assignment des places

Chez UJT, les vols sur G-IV peuvent être conduits indifféremment de la place droite ou de la place gauche. Le commandant de bord est généralement assis en place gauche et le copilote en place droite.

D'après le témoignage de cadres de la compagnie, les commandants de bord sont généralement PF pour les vols avec passagers et PM pour les vols sans passager. Le GOM ne mentionne pas cette information.

1.17.5.2 Réalisation des check-lists

Le GOM indique que les check-lists doivent être effectuées en « *Challenge and Response* » :

- le PF demande la check-list ; le PM lit chaque item à haute voix et le PF vérifie puis confirme oralement. Le PM termine la check-list en annonçant « *xx check-list is complete* ». Si le PF oublie de demander une check-list, le PM doit la suggérer au PF ;
- le GOM stipule que les membres d'équipage doivent utiliser les check-lists de façon à vérifier les actions qu'ils ont préalablement effectuées. Le CRH de CAE Simuflite rappelle cette philosophie : « *use normal check-lists as « done lists » instead of « do lists »* ».

Les cadres de la compagnie interrogés ont expliqué que la vérification par le PF des actions du PM n'est pas systématique car le PF est concentré sur le pilotage (notamment en finale).

Des vidéos de vols réalisés avant l'accident par des pilotes de G-IV d'UJT ont été mises à la disposition de l'équipe d'enquête. Elles font apparaître que les check-lists sont réalisées de mémoire sans vérification et confirmation orale par l'autre membre d'équipage.

Remarque : sur G-IV, l'équipage a la possibilité d'afficher les check-lists sur l'EICAS (check-lists électroniques). Les lignes apparaissent en bleu et passent en vert au fur et à mesure de la lecture en utilisant le basculeur situé en extrémité de la casquette. L'exploitant a indiqué que les pilotes utilisaient les check-lists sous format papier.

1.17.5.3 Actions et check-list « avant atterrissage »

Avant l'atterrissage, le PM sort le train d'atterrissage à la demande du PF et annonce l'allumage des lampes vertes associées. Le PM vérifie alors les messages au CAS. Il teste ensuite l'absence de problème au niveau du capteur de compression des trains d'atterrissage (« *nutcracker test* ») avant d'armer les destructeurs de portance sol. A la demande du PF, il configure également les volets de courbure. Les dernières actions consistent à positionner l'interrupteur WARN INHIBIT sur ON et à sélectionner, le cas échéant, l'interrupteur L/R AIR START IGN.

Lorsque ces actions sont effectuées, le PF demande au PM la check-list « *avant atterrissage* » suivante :

BEFORE LANDING	
Landing Gear	DOWN / 3 GREEN
Crew Alerting System	CHECK
Nutcracker	TEST
GND SPLR Switch	ARMED
Flaps	SET FOR LANDING
WARN INHIBIT Switch	INHIBIT
Air Start Ignition	AS REQ'D

Elle inclut - entre autres - la vérification de l'EICAS et la vérification de l'armement des destructeurs de portance sol, ce qui n'a pas été réalisé par l'équipage lors du vol de l'accident.

Chez UJT, la sélection des volets atterrissage est réalisée après la check-list « *avant atterrissage* ».

Les procédures normales prévoient en outre, lorsque l'équipage a la piste en vue, que le PF annonce « *Landing Assured* » et que le PM vérifie la vitesse, la vitesse verticale, les trains et les volets, puis qu'il annonce « *final gear and flaps recheck. Before landing check list complete* ». Cette ultime vérification de certains items, et notamment de la configuration de l'avion, juste avant l'atterrissage ne contient pas la vérification de l'armement des destructeurs de portance sol.

1.17.5.4 Séquence d'actions et d'annonces à l'atterrissage⁽³⁸⁾

L'AOM indique :

- ❑ Le passage du seuil de piste se fait à Vref. Les manettes de poussée doivent être laissées en position IDLE après le toucher du train d'atterrissage principal. Le PF doit abaisser les roues du train d'atterrissage avant jusqu'au sol de manière progressive, et si besoin, freiner et utiliser les inverseurs de poussée. Le PM doit confirmer le déploiement des destructeurs de portance sol. S'ils ne sont pas déployés, le PM annonce « *No ground spoilers* » et vérifie que le PF actionne la manette des aérofreins. Lorsque la vitesse approche 70 kt, le PF commence à diminuer la poussée inverse pour atteindre la position « *ralenti* » à 60 kt.

Le manuel précise que la gouverne de direction et les palonniers sont les moyens primaires pour diriger l'avion lors du roulement à l'atterrissage. Lorsque la vitesse diminue, le commandant de bord⁽³⁹⁾ peut diriger l'avion au sol au moyen du volant de direction pendant que le copilote maintient les ailes à l'horizontale à l'aide du manche.

Les SOP incluses dans l'IPTM indiquent :

- ❑ A l'atterrissage, au déploiement des inverseurs de poussée, le PM doit annoncer successivement « *four lights, six lights* » en réponse à l'allumage de voyants indiquant que les inverseurs de poussée sont respectivement armés et déverrouillés, puis déployés. Les SOP ne contiennent pas d'annonce relative aux destructeurs de portance sol.

1.17.5.5 Orientation non commandée du système de direction - *uncommanded nose wheel steering*

Une procédure anormale présente dans l'AFM et l'AOM décrit les actions à effectuer en cas d'action non commandée du système de direction du train avant. Elle consiste :

- ❑ 1. à utiliser la gouverne de direction et le freinage différentiel afin de contrôler et corriger la trajectoire ;
- ❑ 2. à positionner l'interrupteur PWR STEER sur OFF afin de désactiver le système de direction.

Cette procédure, qui a été rajoutée par Gulfstream dans l'AFM et l'AOM à la suite de l'accident d'Eagle (Colorado, Etats-Unis) en 2004 (voir chapitre 1.18.1), ne figure pas dans le reste de la documentation opérationnelle : QRH (édité par le constructeur, qui reprend notamment l'ensemble des procédures anormales de l'AFM), le CRH ou l'IPTM.

⁽³⁸⁾Selon Gulfstream Aircraft Operating Manual, Section 06-05-10 page 1107/1922.

⁽³⁹⁾Le manuel utilise les termes PF et PNF (PM) pour cette phase de transition, ce qui n'est, dans la pratique, pas réalisable si le PF est assis en place droite.

Information aux exploitants - *Maintenance and Operations Letter (MOL)*

A la suite de l'accident d'Eagle, Gulfstream avait envoyé un courrier⁽⁴⁰⁾ le 14 décembre 2004 à l'ensemble des exploitants de G-IV pour attirer leur attention sur le fait que des problèmes de contrôle de direction peuvent apparaître lors de l'atterrissage et être indétectables ou non détectés jusqu'au moment de leur survenue. La lettre introduit la nouvelle procédure « *Uncommanded Nose Wheel Steering* » (décrite ci-avant). Elle précise qu'elle sera introduite dans la prochaine mise à jour de l'AFM et indique que la vigilance des équipages doit être accrue pour qu'ils puissent réagir de façon appropriée en cas de survenue de cet événement : ils doivent être en mesure d'appliquer une pleine déflexion sur les palonniers et une action maximale sur la pédale de frein. Gulfstream attire l'attention sur le réglage des sièges et la position des pieds au moment de l'atterrissage.

Cette lettre n'avait pas été envoyée à tous les organismes de formation, notamment à CAE Simuflite⁽⁴¹⁾. UJT indique ne pas avoir eu connaissance de ce courrier.

Les modifications de l'AFM du G-IV sont soumises à l'approbation d'un service de la FAA (ACO), basé à Atlanta. Ce service consulte un autre service de la FAA (AEG) qui évalue les modifications de l'AFM et fournit des recommandations à l'ACO en vue de leur approbation. Au moment de son introduction, la procédure « *Uncommanded Nose Wheel Steering* » avait été approuvée sans évaluation par l'AEG.

1.17.6 Éléments de certification relatifs à l'information sur la position des destructeurs de portance

La section 25-699 (amendement 25-23 du 8 mai 1970) du règlement de certification FAR Part 25 stipule qu'il doit exister des moyens pour indiquer aux pilotes la position des dispositifs d'augmentation de portance et/ou de traînée, lorsque ceux-ci ont une commande spécifique pour ajuster leur position.

Le BEA a demandé à la FAA et l'AESA si les destructeurs de portance sol sont concernés par cette exigence.

Selon la FAA, les destructeurs de portance sol ne sont pas considérés comme ayant une commande spécifique permettant d'ajuster leur position (qui ne peut prendre que deux valeurs, déployé et rétracté) et ne sont donc pas concernés par cet article.

L'AESA ne s'est pas prononcée sur cette question, indiquant que la FAA était l'autorité primaire de certification.

Le G-IV n'est pas directement équipé d'un indicateur de position des destructeurs de portance sol. Il est toutefois possible de déduire la position des destructeurs de portance sol par le recoupement de plusieurs indications présentes en poste de pilotage :

- présence du message bleu GND SPLOILER UNARM à l'EICAS, indiquant qu'ils ne sont pas armés ;
- bouton d'armement des destructeurs de portance sol présentant la mention ARMED en bleu ;
- au sol, absence de message « rouge » NO GND SPLRS sur la capsule centrale si les destructeurs de portance sol sont armés.

⁽⁴⁰⁾Maintenance and Operations Letter référencée G-IV-MOL-04-0029, voir annexe 7.

⁽⁴¹⁾Gulfstream indique que les MOL sont systématiquement envoyées à l'organisme de formation FSI depuis 2007. Les MOL sont systématiquement envoyées à CAE Simuflite depuis septembre 2012.

1.17.7 Formation

Cadre général

La réglementation Part 135 définit le contenu des programmes de formation et d'entraînement des équipages et demande aux exploitants de les établir et de les maintenir. Elle prévoit la possibilité de sous-traiter, à une école de formation certifiée Part 142⁽⁴²⁾, le développement du programme, la conduite de cette formation, de l'entraînement des équipages et la réalisation des tests. CAE Simuflite réalise la formation et l'entraînement des équipages pour le compte d'UJT selon un programme qui a été établi par UJT et approuvé par la FAA⁽⁴³⁾ en 2008.

CAE Simuflite a développé, dans ce cadre et sur la base de l'AFM, de l'AOM et des recommandations fournies par Gulfstream, les procédures opérationnelles standards (SOP) et fourni à UJT la documentation correspondante de formation associée (IPTM, CRH). Cependant, lors des entraînements et contrôles périodiques, la documentation utilisée est le QRH.

Formation sur G-IV

Des exigences de formation pour la qualification de type sont établies par la FAA (AEG). Le résultat de cette évaluation est synthétisé dans un document nommé « *rapport du FSB⁽⁴⁴⁾* » et est ensuite utilisé pour l'élaboration du programme de formation initiale et des entraînements périodiques, en complément des exigences de formation liées à la réglementation Part 135. Ce document sert également de base aux inspecteurs de la FAA lors de leur processus d'agrément des programmes de formation des exploitants.

A la date de l'accident, la FAA n'avait pas établi de FSB pour le G-IV⁽⁴⁵⁾. Le FSB publié en août 2013 ne prévoyait pas la réalisation d'entraînement spécifique à la procédure anormale « *uncommanded nose wheel steering* ».

La qualification de type Gulfstream G-IV suivie par les deux membres d'équipage était du type INH-A (Initial New Hire) qui s'adresse aux pilotes sans expérience sur G-IV. Elle comportait 77 heures de cours théoriques et 28 heures de simulateur de vol.

Entraînement à la procédure anormale *Uncommanded Nose Wheel Steering*

Le programme de formation d'UJT prévoit l'entraînement aux procédures normales, anormales et d'urgences. La procédure anormale « *Uncommanded Nose Wheel Steering* » ne faisant pas partie des procédures répertoriées dans la documentation opérationnelle utilisée au cours de la formation initiale et des entraînements théoriques (CRH, IPTM et QRH), la formation et l'entraînement associés n'ont pas été réalisés par CAE Simuflite. L'équipage du N823GA n'a donc pas été entraîné à cette procédure, ni à manipuler, au cours du vol, l'interrupteur PWR STEER dont l'utilisation dépend de la place (droite ou gauche) utilisée, ce dernier étant uniquement accessible depuis la place gauche.

Entraînement à des tâches dépendantes de la place utilisée

Le programme de formation d'UJT qui contient un entraînement en vol aux procédures depuis les places gauche et droite ne mentionne pas l'existence d'entraînement spécifique relatif à des tâches dépendantes de la place utilisée.

⁽⁴²⁾Réglementation applicable aux centres de formation.

⁽⁴³⁾Ce programme a été approuvé par un POI de la FAA. Ce dernier doit notamment, dans ce cadre, évaluer les exigences de formation en termes d'entraînement à des tâches dont la réalisation dépend de la place utilisée (place gauche ou place droite). Le POI a indiqué que le programme était une copie exacte d'un programme approuvé plusieurs années auparavant par un service national de la FAA. Il n'a donc pas effectué une revue complète de ce programme.

⁽⁴⁴⁾Flight Standardization Board.

⁽⁴⁵⁾La FAA indique que ce document a été produit en 2013 en complément d'Operational Suitability Reports, précédemment établis pour le G-IV. Le rapport du FSB n'était pas un document exigé par la réglementation américaine au moment de l'accident.

Il est du ressort de l'exploitant d'évaluer, avec l'aide de la FAA, les tâches qui dépendent de la place occupée et de proposer un programme d'entraînement associé. Le POI de la FAA, doit évaluer au cas par cas les éventuelles propositions de l'exploitant et les parties du programme d'entraînement relatives à ces tâches, avant son approbation.

UJT n'avait pas fait part de proposition dans ce domaine et la manipulation de l'interrupteur PWR STEER n'avait pas été identifiée comme dépendant de la place utilisée dans les procédures anormales de l'AFM et dans le programme de formation. Le rapport du FSB ne contenait pas d'exigence d'entraînement spécifique à des tâches dépendantes de la place utilisée.

1.17.8 Mise à jour documentaire

Chez Gulfstream : l'AFM ainsi que l'AOM étaient les seuls documents contenant la mise à jour incluant l'ajout de la procédure « *Uncommanded Nose Wheel Steering* ». Elle n'était pas présente dans le QRH. Cette mise à jour de l'AFM n'avait pas été rendue obligatoire par la FAA par l'émission d'une consigne de navigabilité bien qu'elle vise à corriger une situation dangereuse détectée à la suite d'un accident.

Chez CAE Simuflite : les procédures anormales sont reprises par l'IPTM. Ce manuel ne contenait pas la procédure « *Uncommanded Nose Wheel Steering* ». L'IPTM avait été fourni à UJT par CAE Simuflite au début de la formation de ses pilotes de G-IV. L'IPTM et le CRH citent le « *Simuflite Operating Handbook* » comme document de référence répertoriant les procédures anormales. Ce document n'est plus ni mis à jour ni utilisé.

Une revue complète de l'AFM, du QRH et des manuels de formation est réalisée par la FAA au cours de la certification initiale de l'exploitant. Il n'y a pas de revue détaillée de cette documentation au cours des audits ultérieurs. En cas de modification de l'AFM par le constructeur, survenue après la certification initiale de l'exploitant, ce dernier en est informé alors que l'inspecteur de la FAA responsable de la surveillance de l'exploitant ne l'est pas.

1.17.9 Actions de surveillance de la FAA

La surveillance des opérations d'UJT est réalisée par un POI de la FAA. Huit audits ont été réalisés dans divers domaines par la FAA dans les six mois précédant l'accident. Ils ont tous été jugés comme « *satisfaisants* », à l'exception d'une inspection réalisée au sol où un document de masse et centrage était absent. Les deux derniers audits en vol avaient été réalisés par un POI le 28 février 2012.

1.17.10 Organisation du service de Sauvetage et de Lutte contre l'Incendie des Aéronefs (SSLIA)

L'arrêté du 18 janvier 2007, version consolidée au 19 décembre 2009, définit les normes techniques applicables au SSLIA sur les aérodromes ainsi que les classes d'avion en fonction de leur dimension⁽⁴⁶⁾, le niveau de protection et la quantité d'agent extincteur principal et complémentaire requise pour l'assurer. Il définit également la formation des pompiers d'aérodrome. Le SSLIA est agréé par le préfet. La DSAC, par délégation du préfet, délivre les agréments des personnels et réalise des audits de surveillance tous les deux ans⁽⁴⁷⁾.

⁽⁴⁶⁾Le G-IV est de classe 5 ou de classe 3 pour les vols de mise en place.

⁽⁴⁷⁾Le dernier audit du SSLIA du Castellet avait été réalisé par la DSAC SE le 13 octobre 2011.

L'exploitant d'aérodrome disposait d'un Plan de Secours Interne d'Aérodrome (PSIA) et d'un Recueil de Consignes Opérationnelles (RCO) du SSLIA. Ces documents contenaient l'ensemble des procédures applicables au SSLIA. Leur dernière mise à jour datait de 2006.

1.17.10.1 Niveau de protection de l'aérodrome du Castellet

Le SSLIA du Castellet bénéficie en permanence du niveau 1 de protection. Ce niveau peut être porté à 5 sur demande préalable⁽⁴⁸⁾. Le niveau 5 est assuré par la présence de deux pompiers et d'un véhicule d'intervention spécifique à la lutte contre les incendies des aéronefs sur les aérodromes⁽⁴⁹⁾. La réglementation ne fixe pas de délai pour le passage du niveau 1 au niveau 5. Le manuel d'exploitation de l'aérodrome du Castellet prévoit cependant un préavis de trois heures.

La société d'assistance ayant géré les vols du N823GA avait demandé une protection de niveau 5, ce qui avait été accepté par l'exploitant d'aérodrome plus de trois heures avant l'arrivée du N823GA. Le SSLIA en avait été informé.

Lors de l'arrivée du N823GA, seul un pompier était présent sur l'aérodrome. Le second pompier, prévu pour assurer le niveau 5 de protection, est arrivé en retard. L'agent AFIS n'a pas été informé de l'absence du deuxième pompier et donc de l'impossibilité pour le service SSLIA de pouvoir assurer un niveau 5 de protection.

1.17.10.2 Moyens et organisation du service SSLIA de l'aérodrome du Castellet

Le SSLIA du Castellet a un effectif de quatre agents titulaires de l'agrément de pompier d'aérodrome. Ces agents peuvent parallèlement assumer d'autres fonctions : agent avitailleur, agent de piste, agent d'assistance aux avions, etc. Les conditions d'exercice de ces activités sont décrites dans le § 1.17.10.4 ci-après.

Le SSLIA dispose d'un véhicule d'intervention et d'un véhicule non aéronautique⁽⁵⁰⁾.

1.17.10.3 Zone d'Aérodrome (ZA)

La ZA est définie comme étant la zone incluant les éléments de l'emprise domaniale de l'aérodrome ainsi que les aires d'approche finale jusqu'à une distance de 1 200 m au maximum du seuil de piste. Les fonctions imparties au SSLIA s'exercent dans la ZA. Celle de l'aérodrome du Castellet inclut le circuit automobile, adjacent à l'aérodrome, une route nationale au sud ainsi qu'une piste de karting située à l'est (voir plan de la ZA fourni en **annexe 6**).

Sur ce plan, ne figurent pas les issues et cheminements à utiliser par les moyens de secours, tels que demandés par la réglementation.

Le service SSLIA disposait des clés de la plupart des portails situés à l'intérieur de la ZA. Cependant, il ne disposait pas des clés de certains portails installés récemment et situés à l'intérieur de celle-ci. C'était notamment le cas du portail situé en dehors de l'enceinte de l'aérodrome mais à l'intérieur de la ZA, devant lequel le véhicule s'était arrêté au cours de la deuxième intervention.

⁽⁴⁸⁾Depuis le 12 avril 2014, l'aérodrome du Castellet bénéficie en permanence d'un niveau de protection 5.

⁽⁴⁹⁾Véhicule de type VIM 60.

⁽⁵⁰⁾Véhicule de type « Fourgon Pompe Tonne Léger ».

1.17.10.4 Gestion d'autres activités par les personnels

L'arrêté du 18 janvier 2007 stipule que, sur les aérodromes ayant un niveau de protection inférieur à 6 (cas de l'aérodrome du Castellet), des personnels peuvent exercer isolément ou simultanément une autre activité que celle afférente au service de sauvetage et de lutte contre l'incendie des aéronefs dès lors que les consignes opérationnelles de l'aérodrome déterminent les conditions de leur compatibilité avec le respect de l'objectif opérationnel⁽⁵¹⁾.

Le Recueil des Consignes Opérationnelles (RCO) du SSLIA traite de l'exécution de ces autres activités lors du service de garde des pompiers. La version du RCO fournie immédiatement après l'accident indique que les pompiers d'aérodrome doivent :

- être en tenue et demeurer dans les limites de la ZA ;
- être en liaison bilatérale permanente avec la tour ;
- disposer d'un véhicule de lutte contre l'incendie en état opérationnel, complètement équipé et rester à proximité immédiate de ce dernier ;
- pouvoir abandonner les tâches en cours sans aucun délai ;
- être en mesure de prendre place à bord du véhicule incendie, se préparer à une intervention et appliquer les procédures en cas de déclenchement d'un état de veille, d'alerte ou d'accident.

Dans une version modifiée après l'accident, il a été rajouté que :

- « lors d'un ravitaillement d'avion ou d'hélicoptère :
 1. VIM à son emplacement
 2. Tenue de feu dans le camion
 3. Pas de téléphone sur soi
 4. Poste radio UHF antidéflagrant
 5. Un VL à sa disposition pour rallier rapidement l'emplacement du VIM
 6. Tenue appropriée au ravitaillement

Au cas où surviendrait un état d'accident, les agents doivent immédiatement cesser l'exécution de ces tâches et appliquer la procédure d'intervention sur accident ».

Le PSIA indique que :

- dans la mesure du possible, l'agent AFIS doit signaler l'arrivée de tous les avions commerciaux de plus de dix places dès le premier contact avec l'équipage (5 minutes avant l'atterrissage) au SSLIA ;
- pendant une période allant de 30 minutes avant atterrissage prévu et jusqu'à 15 minutes après l'arrêt des moteurs, le personnel SSLIA doit se tenir à proximité immédiate des moyens incendie avec le véhicule d'intervention et paré à intervenir.

Remarque : l'arrêté du 18 janvier 2007 indique que l'équipe de permanence dûment composée doit être disponible, pour un atterrissage, au moins 10 minutes avant celui-ci et jusqu'à 15 minutes après l'arrêt des moteurs.

⁽⁵¹⁾L'objectif opérationnel du SSLIA consiste à pouvoir atteindre, dans des conditions optimales de roulement des véhicules (visibilité, état de surface de roulement), chaque extrémité de piste et être en mesure d'y projeter, sans discontinuité :
- dans un délai de 3 minutes après le déclenchement de l'alerte, un débit de mousse égal à 50 % au moins du débit prévu par l'annexe 1 pendant au moins une minute ;
- au plus tard 4 minutes après le déclenchement de l'alerte, la totalité des quantités de produits extincteurs prévues par l'annexe 1.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Événements précédents

Des événements présentant des pertes de contrôle en direction sur Gulfstream G-IV ont été recensés et étudiés. Certains sont consécutifs à un dysfonctionnement du système de contrôle de la direction du train avant. Un événement est lié à un oubli d'armement des destructeurs de portance sol.

Événement survenu le 1er mars 2002 sur l'aérodrome d'Anchorage (Alaska, E.U.) (source ASRS)

A l'atterrissage, lors du contact du train avant avec la piste, l'avion a brusquement dévié vers la droite. L'équipage a tenté de contrer la déviation par une action aux palonniers, sur le volant de direction et par un freinage différentiel ainsi que par un contrôle dissymétrique des inverseurs de poussée. Il déclare qu'il est parvenu à récupérer le contrôle de l'avion grâce à l'application du freinage différentiel. Il a noté qu'une alarme STEER BY WIRE FAIL était présente à l'EICAS. L'équipage est parvenu à immobiliser l'avion sur la piste.

Cet incident n'ayant pas fait l'objet d'une enquête, la cause n'a pas été identifiée.

Événement survenu le 29 novembre 2004 à Eagle (Colorado, E.U.) (source NTSB)

Peu après le toucher du train avant, l'avion a dévié vers la droite de façon non commandée. Le PF a appliqué une action en butée sur les palonniers, sans effet. Il indique qu'il a actionné le volant de direction vers la gauche puis fortement freiné à gauche (freinage différentiel avec une différence de pression de 200 psi enregistrée au FDR). Ces actions ont permis dans un premier temps de contrer le départ à droite, puis de ramener l'avion parallèlement à l'axe de piste. Le train droit est cependant entré en contact avec de la neige située en bordure de piste, ce qui a provoqué la sortie de piste par la droite.

Une alarme STEER BY WIRE FAIL a été générée environ deux secondes après le début de la déviation, déconnectant ainsi le système de direction du train avant. L'enquête a déterminé qu'une contamination par un objet étranger à l'intérieur de l'EHSV avait favorisé la présence d'eau qui, par des températures froides, avait gelé et provoqué un blocage de l'EHSV, générant ainsi un mouvement non commandé du train avant vers la droite.

Cet événement a amené Gulfstream à ajouter la procédure « *Uncommanded Nose Wheel Steering* » dans l'AFM et l'AOM et à envoyer un courrier aux exploitants de G-IV (cf. ci-avant §1.17.5.5 et **annexe 7**).

Événement survenu le 1^{er} août 2008 sur l'aérodrome d'Haikou (Chine) - non déploiement des destructeurs de portance sol (source Gulfstream)

A la suite du toucher des trains principaux sur une piste mouillée, les destructeurs de portance sol, non armés par l'équipage, ne se sont pas déployés automatiquement. L'équipage a appliqué une forte action sur le palonnier droit alors que l'avion est légèrement à gauche de l'axe de piste. Lors du toucher du train avant, l'avion dévie vers la droite. L'équipage applique une forte action sur le palonnier gauche pendant environ trois secondes. L'avion repart vers la gauche. L'équipage applique à nouveau une action sur le palonnier droit puis une action à piquer. L'avion continue son mouvement vers la gauche et s'immobilise après avoir effectué un demi-tour complet.

L'équipage indique qu'il n'a pas freiné pendant le roulage à l'atterrissage et qu'il a tenté de récupérer le contrôle de l'avion en tournant le volant de direction vers la droite.

Synthèse des événements précédents

Plusieurs points ressortent de l'étude des événements précédents :

- bien que cela ne soit pas prévu par les procédures, les équipages ont utilisé le volant de direction pour tenter de récupérer le contrôle de l'avion ;
- un événement a conduit à une sortie de piste malgré la déconnexion automatique du système de direction.

1.18.2 Témoignages

Témoignages relatifs au commandant de bord

Plusieurs pilotes d'UJT ayant volé avec le commandant de bord ont indiqué qu'il était peu habitué aux vols de courte durée. Ils s'accordent également à préciser qu'il était peu à l'aise avec la manipulation du FMS, la réalisation des check-lists et dans son rôle de PM en général. Il avait une personnalité affirmée et imposait parfois ses décisions. Deux copilotes ayant volé avec lui ont indiqué qu'il lui était déjà arrivé d'oublier d'armer les destructeurs de portance sol. L'un d'entre eux a précisé qu'au cours d'un atterrissage, le commandant de bord, bien que PM au cours du vol, avait poussé sur les commandes lors du roulage à l'atterrissage pour que « *le contrôle en direction soit plus efficace* ».

Témoignages relatifs au copilote

Le copilote était considéré comme un pilote rigoureux, notamment en ce qui concerne le respect des procédures. Il était plutôt discret.

Témoignages d'instructeurs de CAE Simuflite

Deux instructeurs de CAE Simuflite ont indiqué que les check-lists étaient enseignées en « *challenge and response* ». Il n'existe pas de scénario au simulateur au cours duquel la manipulation de l'interrupteur PWR STEER est prévue. Ils ne se rappelaient pas qu'un pilote ait manipulé cet interrupteur au cours d'un vol ou d'un entraînement.

L'un d'entre eux a indiqué que le pilote en place gauche devait toujours avoir la main sur le volant de direction lorsque l'avion était au sol, de façon à pouvoir réagir rapidement en cas de manœuvre non commandée du système de direction du train avant (le volant de direction a plus d'efficacité que la gouverne de direction). L'autre a indiqué que le pilote en place gauche ne devait pas avoir la main sur le volant de direction lors de l'atterrissage avant que la vitesse n'atteigne 60 à 80 kt.

Témoignage de deux commandants de bord de G-IV

Deux commandants de bord G-IV ont fait part des remarques suivantes :

- en cas de perte de contrôle en direction au sol lors d'un atterrissage, ils ont indiqué qu'ils auraient :
 - 1. agi sur le volant de direction ;
 - 2. agi sur les palonniers ;
 - 3. appliqué un freinage différentiel.

Remarque : ils n'ont pas fait mention d'action sur l'interrupteur PWR STEER.

- en cas d'oubli d'armement des destructeurs de portance sol, ils auraient agi au sol sur la commande des aérofreins.

Témoignage des POI

Le POI ayant réalisé la revue documentaire au début de l'exploitation des G-IV chez UJT a indiqué que le programme de formation était une copie d'un programme plus ancien, préalablement approuvé par la FAA. Il n'avait pas jugé nécessaire d'étudier en détail celui d'UJT.

Le POI d'UJT a indiqué qu'il a pris ses fonctions auprès d'UJT trois mois avant l'accident. Il a fait part des points suivants :

- la coopération d'UJT est bonne dans l'ensemble ;
- il avait demandé l'autorisation à sa hiérarchie de visiter CAE Simuflite pour observer la formation. Elle a répondu que cette tâche ne faisait pas partie des éléments de surveillance obligatoire.

Témoignage du premier pompier d'aérodrome

Il a indiqué qu'il cumulait les fonctions de pompier d'aérodrome, d'agent d'avitaillement et d'agent de piste. Cinq à dix minutes avant l'accident, il a fini de procéder à l'avitaillement d'un hélicoptère. Il a contacté l'agent AFIS lorsque l'avitaillement était terminé et lui a demandé l'heure d'arrivée du prochain trafic. L'agent lui a répondu qu'il allait arriver dans les 10 à 15 minutes. Il est retourné vers les hangars du SSLIA avec le camion d'avitaillement. Il a ensuite pris une voiture pour se rendre au terminal et donner les bons d'avitaillement aux opérations.

Alors qu'il était dans le terminal, il a vu passer l'avion mais n'y a pas prêté d'attention particulière. Il a reçu l'alerte par l'agent AFIS, est immédiatement sorti et s'est rendu en voiture au hangar SSLIA. Il a mis sa combinaison, puis est parti avec le véhicule d'intervention. Il s'est rendu sur les lieux en ligne droite, puis en suivant les traces laissées par l'avion.

Il a traversé la clôture de l'aérodrome, a roulé sur un des gros blocs de pierre situé en bordure de route, puis a décidé d'intervenir sur le côté gauche de l'avion. Il a actionné le canon et a projeté de la mousse sur l'épave pendant environ 30 secondes en statique. Il a entendu l'hélicoptère de lutte contre les incendies de forêt qui survolait le site.

La présence d'arbres a rendu son action peu efficace. Il a décidé de changer de position et de contourner l'avion par l'arrière. Il s'est positionné sur le côté droit de l'avion, devant un portail fermé, dont il n'avait pas la clé, après avoir roulé sur un grillage. Il a tenté d'éteindre l'incendie sur l'étendue d'eau à proximité car il pensait que le poste de pilotage s'y trouvait. Il est ensuite intervenu sur l'avion mais s'est rapidement retrouvé à court d'eau. Il a ensuite mis en œuvre la poudre qu'il a projetée sur l'avion.

Témoignage du second pompier d'aérodrome

Il était d'astreinte le jour de l'accident. Il a été prévenu vers 12 h 45 locale de l'arrivée de l'avion et de la nécessité de revenir vers l'aérodrome. Il a indiqué qu'il avait du retard. Il est arrivé effectivement sur les lieux après l'accident vers 15 h 45 locale.

Témoignage du responsable SSLIA

Il a indiqué qu'il avait souhaité inclure le circuit automobile dans la ZA car il souhaitait pouvoir disposer des moyens de lutte anti-incendie du circuit automobile. Selon lui, même si les moyens matériels de lutte n'étaient pas spécifiquement adaptés à l'aéronautique, les moyens humains (14 pompiers) pouvaient assurer un renfort appréciable en cas d'incendie d'aéronef.

2 - ANALYSE

2.1 Scénario

Gestion du vol, de l'approche, non armement des destructeurs de portance sol

Entre l'aéroport de Nice et l'aérodrome du Castellet, dont l'équipage n'était pas familier, le vol était court. La croisière, qui n'a duré que cinq minutes, a laissé à l'équipage peu de temps pour préparer son arrivée. Ce vol était le dernier de la journée et il était réalisé sans passager, avec le copilote assis en place droite comme PF. Ce contexte a pu favoriser une préparation et une gestion peu rigoureuses du vol par l'équipage avec une charge de travail importante en croisière et lors de l'approche. Bien qu'ayant été prévenu la veille de la nécessité de stationner l'avion au Castellet, le copilote a découvert en vol les caractéristiques de l'aérodrome. Peu de check-lists et de briefings ont été entendus au cours du vol. Pendant le vol, l'équipage a évoqué la proximité du relief, la nécessité de réduire la vitesse et d'anticiper la configuration et la longueur de piste courte. Il a néanmoins minoré l'impact d'un vol de courte durée sur la préparation de l'arrivée.

Lors de l'approche à vue, le PM a omis d'armer les destructeurs de portance sol, et l'équipage ne s'est pas aperçu de l'affichage à l'EICAS du message d'information GND SPOILER UNARM.

L'application de manière inadéquate et incomplète de la check-list « *avant atterrissage* » ainsi que l'absence probable de vérification des messages affichés à l'EICAS avant l'atterrissage n'ont pas permis de détecter cette omission avant le toucher des roues.

Toucher des trains principaux, freinage et sélection des inverseurs de poussée

Le toucher des trains principaux a eu lieu à proximité de la zone de toucher des roues. L'équipage a immédiatement appliqué une action sur les pédales de frein et sélectionné les inverseurs de poussée. Il n'a pas détecté initialement que les destructeurs de portance sol ne s'étaient pas déployés.

En raison de l'absence de leur déploiement, la charge sur les trains d'atterrissage est restée faible, ce qui a eu pour conséquences :

- de rendre le freinage inefficace ;

Note : l'absence d'enregistrement de l'action de l'équipage sur les pédales des freins ne permet pas de déterminer l'action exacte sur les pédales. Les équipages sont en général peu habitués à freiner fortement car les pistes sont souvent longues. Au Castellet, compte tenu de la faible décélération initiale de l'avion et de la piste relativement courte, il est probable que l'équipage a tenté, au cours de l'atterrissage, de freiner de façon significative ; les faibles valeurs de pression de freinage enregistrées peuvent être expliquées par le déclenchement de l'anti-patinage sur des trains faiblement chargés.

- de retarder significativement le déploiement des inverseurs de poussée en raison de la perte momentanée d'une condition sol des trains principaux. La concomitance de la perte de cette condition et du début de déploiement des inverseurs de poussée a généré des alarmes MASTER WARNING correspondant au message L-R REV UNLOCK, a interrompu le déploiement des inverseurs de poussée et a retardé leur sortie complète de sept secondes.

Faible décélération et dé-rotation de l'avion

Pendant cette première partie du roulement à l'atterrissage, l'attention de l'équipage a sans doute été perturbée par plusieurs facteurs :

- ❑ les inverseurs de poussée ne se sont pas déployés malgré leur sélection ;
- ❑ plusieurs alarmes MASTER WARNING se sont déclenchées.

Immédiatement après le premier toucher du train avant, celui-ci est remonté en raison d'actions à cabrer maintenues par le PF et de l'absence de déploiement des destructeurs de portance sol qui induisent, une fois sortis, un moment à piquer. La conscience du fait que la piste était « courte » (cf. 1.17.4) a amené l'équipage⁽⁵²⁾ à appliquer une forte action à piquer pour probablement plaquer l'avion au sol. L'interruption de l'atterrissage n'était plus une option à cet instant en raison de la sélection des inverseurs de poussée.

La valeur exacte de la charge appliquée sur le train avant lors du second toucher est difficile à évaluer mais les calculs issus des simulations indiquent qu'elle était anormalement forte - tout en restant probablement inférieure à la charge limite certifiée - pendant un temps très bref, inférieur à une seconde. Par la suite, cette charge était conforme à celle calculée au cours des atterrissages précédents.

Au moment où il a réalisé l'action à piquer, l'équipage a détecté que les destructeurs de portance sol n'étaient pas sortis et a alors agi sur la poignée de commande des aérofreins. Ce choix ne lui a pas permis de bénéficier d'une pleine déflexion des panneaux (55°) qui aurait pu être obtenue par un appui sur le bouton-poussoir GND SPLR de la console centrale.

Déviations vers la gauche et sortie de piste

Au moment où le train avant a touché la piste pour la seconde fois, l'avion était à droite de l'axe en légère correction vers la gauche. Le pic de charge sur le train avant associé à un taux de lacet à gauche a pu entraîner la mise en dérapage à droite de l'avion. La trajectoire s'est incurvée vers la gauche de la piste et l'équipage a débuté sa manœuvre correctrice en appliquant une action à droite aux palonniers. A cet instant le système de commande de direction n'était en théorie pas encore actif et les roues du train avant étaient alignées avec l'axe longitudinal de l'avion.

Peu avant la traversée de l'axe de piste, les traces laissées par le train avant sont très marquées et se recouvrent parfois. Elles présentent des stries à droite, signe d'un fort braquage à gauche. Le dérapage à droite a poursuivi son augmentation et l'avion a accentué sa déviation vers la gauche malgré :

- ❑ l'orientation en butée à droite de la gouverne de direction correspondant à une action maximale à droite aux palonniers, et
- ❑ le freinage différentiel à droite significatif.

L'équipage n'a ensuite pas été en mesure d'éviter la sortie latérale de piste à vitesse élevée, qui est survenue entre quatre et cinq secondes après le début de la déviation à gauche.

⁽⁵²⁾ Il n'a pas été possible de savoir si cette action a été réalisée par le copilote, le commandant de bord ou les deux.

Collision avec des obstacles et intervention des secours

L'avion a ensuite traversé le grillage d'enceinte de l'aérodrome puis a pris feu immédiatement après l'impact avec des arbres. Au moment de l'atterrissage du N823GA, un pompier avait fini de procéder à un avitaillement et était dans la salle d'accueil de l'aérogare. Il a rapidement accédé à son véhicule, rejoint le hangar SSLIA, mis sa combinaison de protection et est parti avec le véhicule d'intervention. Un second pompier était prévu afin d'assurer le niveau 5 de protection, mais il a pris du retard pour venir de son domicile et n'était pas arrivé sur l'aérodrome. Le premier pompier est donc intervenu seul sur l'incendie.

Voyant que sa première intervention était rendue inefficace par la présence des arbres, il a décidé de changer de stratégie, de contourner l'épave par le sud avant de tenter une seconde intervention. Il s'est arrêté devant un portail dont il n'avait pas la clé. Il est intervenu, depuis cette position, d'abord sur l'étendue d'eau estimant qu'une partie de l'avion s'y trouvait, puis sur l'épave. Il s'est écoulé plusieurs minutes entre la première et la seconde intervention.

Plusieurs facteurs ont pu gêner ou diminuer l'efficacité de l'intervention :

- ❑ l'absence du second pompier a pu rendre plus difficile les choix stratégiques d'intervention : le positionnement du véhicule, le choix du cheminement, ainsi que le maniement du matériel. Le pompier présent devait gérer seul et de manière simultanée la conduite du véhicule, la radio ainsi que la manipulation du canon ;
- ❑ la présence de plusieurs obstacles : des rochers situés le long d'une route, des arbres situés entre le véhicule d'intervention et l'épave lors de la première intervention, un portail dont il n'avait pas la clé pour la seconde. La présence des arbres a par ailleurs engendré la nécessité d'effectuer l'aspersion de mousse en deux fois, ce qui a diminué d'autant plus l'efficacité de l'intervention.

2.2 Déviation latérale de l'avion

Plusieurs hypothèses ont été émises au cours de l'enquête pour expliquer la déviation à gauche de l'avion sur la piste :

- ❑ L'hypothèse d'un phénomène de « *wheelbarrowing* » tout au long de la déviation à gauche jusqu'à la sortie de piste a été exclue. En effet, les calculs de charges sur les trains ont montré que le train avant n'avait subi une charge inhabituellement élevée que pendant une courte durée, inférieure à une seconde. Parallèlement, la charge sur les trains principaux, une fois les aéofreins déployés, était comparable à celle calculée lors des vols précédents ;
- ❑ Un blocage des roues des trains principaux a été exclu en raison de l'état des pneumatiques après l'accident et de l'examen des traces sur la piste ;

- ❑ L'étude des traces de pneumatiques a montré que les roues du train avant, initialement dans l'axe, se sont progressivement orientées à gauche à des valeurs d'angles supérieures à ce qui pouvait être commandé aux palonniers. Les résultats des simulations entreprises par le NTSB et le BEA pour étudier la dynamique de l'avion au cours du roulage à l'atterrissage ont tous montré que seule une orientation à gauche du train avant pouvait expliquer la déviation vers la gauche de l'avion, en présence des actions de récupération sur les freins et les palonniers entreprises par l'équipage. Ces simulations, réalisées pour des pneumatiques présentant des caractéristiques d'adhérences différentes, ont montré que des scénarii permettaient de reproduire des trajectoires identiques à celle suivie par le N823GA lorsque le train était orienté à gauche, au-delà des valeurs pouvant être commandées aux palonniers.

Ainsi, l'ensemble de ces éléments démontre que le train avant était orienté à gauche à des valeurs supérieures à ce qui peut être commandé aux palonniers. Cette orientation a provoqué la déviation latérale de l'avion et sa sortie de piste.

2.3 Orientation à gauche du système de direction du train avant

La position du volant de direction ne faisant pas partie des paramètres enregistrés, l'action sur le volant de direction par le commandant de bord n'a pas pu être connue. Etant donné que le système de direction du train avant ne prévoit pas d'inhibition à haute vitesse, il n'est pas exclu que la déviation à gauche de l'avion soit la conséquence d'une action à gauche sur le volant de direction.

La seconde hypothèse pour expliquer l'orientation à gauche du système de direction du train avant est la défaillance de ce dernier. Un lien entre la charge inhabituellement forte subie par le train à la suite de l'action à piquer de l'équipage et le dysfonctionnement possible du système de direction est envisageable mais n'a pas été formellement établi par l'enquête. Cette défaillance a eu lieu sans déclenchement d'alarme et sans désengagement du système de direction du train avant, qui est donc resté orienté à gauche sans basculer dans le mode « *oscillations amorties* ».

Parmi les cas de défaillances identifiés deux scénarii impliquant la boucle d'asservissement du bloc de direction (feedback RVDT) pourraient créer une perturbation latérale sur l'avion :

- ❑ une déconnexion et un décalage de la boucle d'asservissement du bloc de direction (feedback RVDT) fournissant une valeur fixe de la position d'orientation des roues ;
- ❑ un biais dans la mesure de la position du bloc de direction.

Ces scénarii ne génèrent pas d'alarme STEER BY WIRE FAIL et sont compatibles avec l'évènement et en particulier avec les traces de pneumatiques et les actions équipages. Ils n'ont cependant pas pu être confirmés par les examens techniques, ces éléments du système étant fortement endommagés ou n'ayant pas été retrouvés sur le site de l'accident.

L'enquête a également mis en évidence qu'une partie de la chaîne de commande du système de direction du train avant ne fait pas l'objet d'une surveillance et que de nombreux cas de dysfonctionnements ne conduisent pas à la génération d'une alarme STEER BY WIRE FAIL. Ils ne provoquent donc pas le désengagement du système de direction du train avant.

Les postulats de la FMEA selon lesquels à grande vitesse seuls des petits angles d'orientation du train sont appliqués et qu'une défaillance pourra être contrée par une action aux palonniers ainsi qu'un freinage différentiel ont été mis en défaut dans le cas de l'accident et lors d'un accident précédent (*cf. accident du Colorado, §1.18.1*). Ces moyens de réduction de risque ne sont donc pas aussi robustes que ce qui est indiqué dans la FMEA, d'autant plus que, même avec un système fonctionnel, il est possible de commander des grands angles d'orientation à l'aide du volant de direction, quelle que soit la vitesse.

Ces éléments n'avaient pas été mis en évidence par le constructeur ni par l'autorité de certification.

2.4 Introduction d'une nouvelle procédure, formation et mise à jour documentaire

L'introduction en 2005 de la procédure de récupération de la perte de contrôle en direction « *Uncommanded Nose Wheel Steering* », basée sur l'utilisation d'un freinage différentiel, l'utilisation de la gouverne de direction et la déconnexion du système de direction, s'était accompagnée d'une mise à jour par Gulfstream de l'AFM et l'AOM et avait fait l'objet d'une information au moyen d'une MOL envoyée aux exploitants de G-IV. Le QRH n'avait pas été mis à jour par Gulfstream, pour une raison qui n'a pas été identifiée par l'enquête.

L'étude d'événements similaires, ainsi que les témoignages recueillis au cours de l'enquête ont montré que cette procédure n'était pas appliquée dans sa totalité par certains équipages de G-IV. Par exemple, les actions réalisées ou mentionnées spontanément par les équipages n'incluaient pas l'action sur l'interrupteur PWR STEER. Bien qu'ayant suivi une formation initiale et un entraînement périodique conformes au programme de formation approuvé par la FAA, les pilotes d'UJT n'avaient jamais été formés à cette procédure.

Lors de son introduction, la procédure « *Uncommanded Nose Wheel Steering* », approuvée par la FAA, n'avait pas été testée en vol par les pilotes de la FAA ni par ceux de Gulfstream. Elle correspond à une réponse possible, sans que l'efficacité de la récupération de la trajectoire de l'avion en cas de défaillance du système de direction du train avant n'ait pu être démontrée. La faisabilité de sa réalisation, quelle que soit la place occupée par le PF, n'avait en outre pas fait l'objet d'étude particulière.

Les organismes de formation, notamment CAE Simuflite, ont eu accès aux dernières mises à jour de l'AFM et de l'AOM. En l'absence de consigne de navigabilité émise par la FAA imposant l'application de cette nouvelle procédure, ils n'avaient pas été sensibilisés à l'existence de cette nouvelle procédure lors de son introduction. Ils n'avaient pas été destinataires de la MOL et n'avaient pas identifié l'ajout de procédure. Par ailleurs, se basant sur le QRH (non mis à jour) pour l'entraînement aux procédures anormales, les séances de simulateur ne pouvaient pas contenir de scénario incluant cette procédure. Enfin, CAE Simuflite utilisait une documentation obsolète : l'IPTM et le CRH, notamment, se référaient au document « *Simuflite Operating Handbook* ». Ce dernier contenait l'ensemble des procédures anormales mais n'était plus mis à jour.

La rapidité et l'ampleur de la déviation latérale de l'avion nécessitaient des actions immédiates et adéquates de la part de l'équipage. Ces actions, qui devaient être réalisées dans un temps très court, ne pouvaient être obtenues que par une formation et un entraînement appropriés dont l'équipage n'a pas pu bénéficier.

2.5 Surveillance par les autorités

Dans le cadre de la surveillance de l'exploitant et de la délivrance de ses agréments, la FAA est amenée à réaliser une revue documentaire de l'AFM, du QRH et du programme de formation. Le POI ayant réalisé cette revue a indiqué que le programme de formation était une copie d'un programme plus ancien, préalablement approuvé par la FAA et n'avait pas jugé nécessaire d'étudier en détail celui d'UJT. Il n'avait par ailleurs pas détecté le problème de mise à jour du QRH et les différences de procédures entre ce document et l'AFM.

La surveillance par la FAA des organismes de formation n'a pas été abordée au cours de l'enquête.

Enfin, l'équipe d'enquête n'a pas pu obtenir, à la fois de la DGAC et de la FAA, le résultat du suivi demandé à la suite du contrôle SAFA réalisé en France sur un vol exploité par UJT en 2010.

2.6 Utilisation des destructeurs de portance sol, conformité du G-IV aux exigences de certification

Le déploiement des destructeurs de portance sol est un élément essentiel pour garantir la décélération et les performances de l'avion à l'atterrissage. Un oubli de leur armement, resté non détecté jusqu'au roulage à l'atterrissage, a provoqué une situation dégradée.

L'utilisation incomplète de la check-list « *avant atterrissage* » comme une liste d'actions à effectuer, et non comme un moyen de vérification d'actions effectuées, est le principal contributeur à cet oubli conduisant à un déploiement tardif des aérofreins.

D'un point de vue des procédures opérationnelles, le PM a la possibilité d'avertir le PF en cas de déclenchement de l'alarme NO GND SPLRS, correspondant à un dysfonctionnement. En revanche, n'ayant pas à sa disposition d'information sur la position réelle des panneaux, il ne peut pas s'assurer de leur déploiement réel, tel qu'il est demandé par la procédure de l'AOM. Ceci est notamment critique en cas d'oubli d'armement. Dans ce cas, seul le message bleu GND SPLRS UNARM permettrait de détecter l'oubli.

L'enquête a amené le BEA à questionner la FAA et l'AESA sur la conformité du G-IV aux exigences de la section 25-699 du règlement de certification, relative à la fourniture aux pilotes de l'indication de position des dispositifs d'augmentation de portance et/ou de traînée lorsqu'une commande spécifique permet d'ajuster leur position. La FAA estime que les destructeurs de portance sol n'avaient pas de commande spécifique permettant d'ajuster leur position. Cette interprétation l'a amenée à les exclure des exigences de cette section.

L'AESA ne s'étant pas prononcé sur ce point, la conformité du G-IV sur ce critère reste questionnable. En tout état de cause, l'absence d'information de la position des panneaux rend plus difficile la prise de conscience de leur position réelle par l'équipage.

L'enquête a montré que l'oubli d'armement des destructeurs de portance sol n'était pas un cas isolé et s'était déjà produit au cours de vols précédents. Il a contribué à au moins une perte de contrôle lors d'un atterrissage d'un autre exploitant (*cf. incident survenu en Chine, § 1.18.1*).

2.7 Méthodes de l'exploitant et réalisation des procédures

Culture de sécurité de l'exploitant

L'exploitant disposait d'un système de gestion de la sécurité et d'un système de retour d'expérience confidentiel, ce qui n'était pas exigé par la réglementation américaine. L'enquête a montré que ces systèmes n'étaient pas parvenus, au jour de l'accident, à un degré de maturité permettant un retour efficace en termes d'amélioration de la sécurité : les retours effectués vers les équipages n'étaient pas à proprement parler des informations relatives à la sécurité des vols, le système de retour d'expérience n'était pas encore utilisé par les équipages.

L'évolution de la réglementation américaine va dans le sens d'une généralisation de ces systèmes.

Cadre des vols

Bien que la liste des vols du 13 juillet 2012 prévoyait la réalisation du vol selon les règles Part 135, la gestion réelle du vol par l'équipage se situait entre les règles de transport Part 135 et les règles d'aviation générale, telle que le suggèrent les témoignages des cadres de l'exploitant qui ont indiqué que ce vol était réalisé suivant les règles d'aviation générale. Par ailleurs, aucune attention particulière n'a été portée par l'équipage sur les marges de distance d'atterrissage à l'arrivée au Castellet.

Ceci peut être en partie la conséquence des changements de cadre d'exploitation de l'avion entre la réglementation Part 91 (aviation générale) et la réglementation Part 135. Ces changements imposent à l'équipage d'identifier à chaque vol les règles pratiques applicables. Il est possible qu'ils génèrent une certaine confusion sur les techniques de gestion du vol et altèrent la perception par l'équipage de l'utilité, du point de vue de la sécurité, des repères réglementaires de l'un ou l'autre cadre (réserves de carburant, longueurs de piste, par exemple).

De la même manière, les agents en charge de l'application du dispositif SAFA doivent prendre en compte le cadre des vols, ce qui complique probablement la perception et le suivi du niveau de sécurité de l'exploitant. Ainsi, l'exploitant n'avait pas demandé à la DGAC d'autorisation de desservir le territoire français en transport aérien depuis 2006, malgré une notification qui lui avait été faite à l'issue d'un contrôle SAFA réalisé en France. En l'absence de demande, la DGAC n'a pas pu vérifier que cet exploitant, l'avion, ainsi que l'équipage, se conformaient aux exigences de la réglementation française.

Les vols du 13 juillet 2012 ayant été déclarés en aviation générale, il est possible que ce soit le cas d'autres vols antérieurs. Pour ces vols, les contrôles SAFA sont moins contraignants que ceux effectués dans le cadre d'un vol en transport aérien.

Bien qu'on ne puisse pas affirmer de lien entre ces changements de cadre et l'accident, cette problématique mériterait d'être prise en compte dans les SGS.

Réalisation des check-lists

Au cours du vol, la check-list « *avant atterrissage* », qui a été ni verbalisée en totalité ni réalisée en « *challenge and response* », c'est-à-dire sans vérification et confirmation par l'autre pilote, n'a pas procuré à l'équipage d'étape de vérification. Il n'a ainsi pas détecté l'omission d'armement des destructeurs de portance sol lors de l'approche.

La façon dont CAE Simuflite entraîne les pilotes sur la réalisation des check-lists n'a pas été étudiée au cours de l'enquête. L'analyse du vol de l'accident, d'enregistrements vidéo de vols de pilotes d'UJT et de témoignages montre que la réalisation des check-lists en « *challenge and response* » n'était pas systématique au sein de l'exploitant. Cela n'avait pas été identifié comme un problème au cours des audits en vol réalisés par la FAA.

Les items contenus dans une check-list, particulièrement pour celle « *avant atterrissage* », sont ceux qui sont primordiaux pour garantir la sécurité. Un item oublié et qui n'est pas détecté au cours de la check-list compromet la sécurité du vol car il y a rarement d'autres filets de sauvegarde. L'utilisation d'une check-list comme une liste d'actions à effectuer, ne procure pas d'étape de vérification croisée des items et rend le vol plus sensible aux erreurs et aux oublis.

2.8 Procédures du constructeur - armement des destructeurs de portance sol

L'armement des destructeurs de portance sol est généralement réalisé par le PM après la sortie des trains d'atterrissage. La génération d'une alerte sonore de type « *single chime* » et l'affichage du message d'information GND SPOILER UNARM sur l'EICAS au moment de la sortie du train d'atterrissage sont donc systématiques, ce qui peut diminuer la perception d'une situation anormale par l'équipage lorsqu'elle demeure longtemps après la sortie du train.

En l'absence d'une check-list formellement réalisée en « *challenge and response* », le message EICAS GND SPOILER UNARM perd de son efficacité car il peut ne pas être détecté par l'équipage. Ceci est d'autant plus critique que l'ordre des items de la check-list « *avant atterrissage* », plaçant la vérification de l'EICAS avant l'armement des destructeurs de portance sol, peut habituer les équipages à la présence du message GND SPOILER UNARM au moment de la vérification de l'EICAS. De son côté, l'alerte sonore qui n'est générée qu'une seule fois immédiatement après la sortie des trains, ne permet pas à l'équipage de détecter un oubli d'armement.

2.9 Organisation du service SSLIA

La présence d'un seul pompier a pu diminuer l'efficacité de son intervention : seul, il a dû assumer simultanément la conduite du véhicule d'intervention, les communications par VHF, la manipulation du canon et des agents d'extinction complémentaires. Il n'a également pas été en mesure de partager la stratégie d'intervention sur l'incendie.

Le RCO ne contenait pas de procédure explicite demandant au service SSLIA de prévenir l'agent AFIS de l'indisponibilité d'un pompier, diminuant le niveau de protection assuré. N'ayant pas été informé de l'absence d'un pompier lors de l'arrivée de l'avion, l'agent AFIS n'a pas pu transmettre cette information à l'équipage avant l'atterrissage.

Le niveau de protection de l'aérodrome du Castellet autorisait l'exploitant d'aérodrome à confier des tâches annexes au personnel SSLIA. Des consignes définissaient les conditions d'exercice de ces activités mais étaient peu précises : la conduite à tenir selon le type d'activité n'y était, par exemple, pas précisée. Le RCO a fait l'objet après l'accident d'un complément précisant ces procédures. Les consignes précisaient également que les personnels devaient se tenir à proximité immédiate des véhicules d'intervention sur une période couvrant l'atterrissage de l'avion, ce qui n'était pas le cas dans la pratique et qui semble peu envisageable en cas de trafic régulier d'aéronefs (le véhicule d'intervention restait stationné dans le hangar SSLIA).

Enfin, la ZA, telle que définie au moment de l'accident, ne garantissait pas un accès à toute heure et en tout point par les pompiers d'aérodrome. Le pompier d'aérodrome s'est notamment retrouvé devant un portail dont il n'avait pas la clé, et a été restreint dans le positionnement du véhicule d'intervention lors de la seconde intervention.

3 - CONCLUSION

3.1 Faits établis par l'enquête

- la préparation du vol a été incomplète ;
- au cours du vol, de nombreuses check-lists n'ont pas été réalisées ou demandées. La check-list « *avant atterrissage* » a été réalisée de façon incomplète ;
- l'équipage a oublié d'armer les destructeurs de portance sol lors de l'approche et ne l'a pas détecté en vol ;
- la trajectoire et la vitesse étaient stabilisées et le toucher a été réalisé à proximité de la zone de toucher des roues ;
- n'ayant pas été armés, les destructeurs de portance sol ne se sont pas déployés lors du toucher des trains principaux et l'équipage ne s'en est pas aperçu ;
- ce non déploiement a généré une faible charge sur les trains provoquant une perte temporaire de la condition sol des trains principaux ;
- la perte temporaire de la condition sol a inhibé le déploiement des inverseurs de poussée pendant sept secondes et a été à l'origine du déclenchement d'alarmes MASTER WARNING ;
- la faible charge sur les trains n'a pas permis un freinage efficace ;
- la décélération a été relativement faible sur les deux premiers tiers de la piste ;
- l'équipage a appliqué une forte action à piquer qui a généré une charge inhabituellement élevée, de courte durée, sur le train avant ;
- à la suite du second toucher du train avant l'avion a dévié vers la gauche en raison d'une orientation à gauche du train avant ;
- l'orientation à gauche du train avant a pu être causée par une action à gauche sur le volant de direction ou par une défaillance du système de direction ;
- l'équipage a immédiatement réagi à la déviation latérale par une action aux palonniers et un freinage différentiel mais n'est pas parvenu à conserver le contrôle de l'avion ; il n'a pas positionné l'interrupteur PWR STEER sur OFF lorsque l'avion était sur la piste ;
- la sortie latérale de piste a eu lieu à une vitesse élevée ;
- l'avion a heurté des arbres et a immédiatement pris feu ;
- les occupants ne sont pas parvenus à évacuer l'avion ;
- un seul pompier était présent lors de l'intervention, il n'est pas parvenu à maîtriser l'incendie ;
- la protection SSLIA de niveau 5 n'était pas assurée en raison du retard d'un pompier et de son absence sur l'aérodrome au moment de l'arrivée de l'avion ;
- la réalisation des check-lists en « *challenge and response* », telle que préconisé par le manuel d'exploitation d'UJT, n'était pas systématique au sein de l'exploitant ;
- seuls l'AFM et l'AOM ont été mis à jour à la suite de l'ajout de la procédure « *Uncommanded Nose Wheel Steering* » en 2005 ; cette procédure n'était pas présente dans le programme de formation d'UJT ;
- les exploitants avaient été sensibilisés à l'ajout de cette procédure par l'intermédiaire d'une MOL qui n'avait pas été envoyée à tous les organismes de formation de pilotes de G-IV ;
- l'équipage n'avait pas été entraîné à la réalisation de cette procédure ;
- cette procédure n'est pas réalisable par le seul pilote en fonction lorsque ce dernier est assis en place droite ; cette spécificité n'avait pas été mise en évidence dans la documentation opérationnelle et n'avait pas été prise en compte dans le programme de formation ;

- ❑ la vérification documentaire réalisée par le POI de la FAA au moment de l'agrément du programme de formation n'a pas permis de détecter ce manque. Elle n'a pas permis de détecter l'absence de mise à jour de la documentation ;
- ❑ cette procédure n'avait pas été évaluée au cours de vols d'essais, ni par Gulfstream, ni par la FAA, avant son introduction ;
- ❑ le G-IV ne dispose pas d'indicateur de position des destructeurs de portance dans le poste de pilotage ;
- ❑ l'étude de la FMEA du système de direction du train avant a montré qu'au moins deux scénarii identifiés pourraient correspondre à celui de l'accident ; cette étude a mis en évidence que certains des postulats de la FMEA ont été mis en défaut dans le cas de l'accident et d'un accident antérieur ;
- ❑ plusieurs modes de défaillance du système de direction du train avant ne génèrent pas d'alarme STEER BY WIRE FAIL ; dans ces conditions, le système de direction ne se désengage pas automatiquement.

3.2 Causes de l'accident

L'oubli d'armement des destructeurs de portance sol a retardé le déploiement des inverseurs de poussée malgré leur sélection. Plusieurs alarmes MASTER WARNING se sont déclenchées et la décélération a été faible. L'équipage a ensuite réagi en appliquant une forte action à piquer de façon à plaquer l'avion au sol, engendrant une charge inhabituellement forte pendant un bref instant sur le train avant. Par la suite, les roues du train avant ont été orientées à gauche en raison d'une action à gauche sur le volant de direction ou d'un dysfonctionnement du système de direction. Un lien formel entre la forte charge sur le train avant et ce possible dysfonctionnement n'a pas pu être établi. L'équipage n'a ensuite pas pu éviter la sortie latérale de piste à une vitesse élevée et la collision avec des arbres.

Le pompier d'aérodrome, seul au moment de l'intervention, n'a pas été en mesure de maîtriser l'incendie post impact. Bien que situés à l'extérieur de la bande aménagée de part et d'autre de l'axe de piste prévue par la réglementation, la présence des rochers et des arbres à proximité de la piste a contribué aux conséquences de l'accident.

L'accident est dû à la combinaison des facteurs suivants :

- ❑ les destructeurs de portance sol n'ont pas été armés lors de l'approche ;
- ❑ une absence de vérification complète des items prévus par la check-list « *avant atterrissage* », et plus généralement la réalisation non systématique chez les équipages d'UJT des check-lists en « *challenge and response* » pour garantir la sécurité du vol ;
- ❑ des procédures et une ergonomie de l'avion qui n'ont pas favorisé la surveillance de la sortie des destructeurs de portance sol lors de l'atterrissage ;
- ❑ une possible action à gauche sur le volant de direction ou une possible défaillance du système de direction du train avant ayant provoqué son orientation à gauche à des valeurs supérieures à ce qui peut être commandé aux palonniers, sans qu'une alarme n'ait été générée ;
- ❑ une absence de formation des équipages à la procédure « *Uncommanded Nose Wheel Steering* », prévue pour faire face à des orientations non commandées du train avant ;

- ❑ une introduction de cette nouvelle procédure qui n'a pas fait l'objet d'une évaluation claire de la part de Gulfstream et de la FAA ;
- ❑ des défaillances dans la mise à jour de la documentation du constructeur et de l'exploitant ;
- ❑ une surveillance de la FAA qui n'a pas permis de détecter à la fois les absences de mise à jour de cette documentation et le mode opératoire de réalisation des check-lists chez l'exploitant.

4 - RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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.

4.1 Système de direction du train avant

Au cours du roulage à l'atterrissage, le train avant ne s'est pas orienté tel que commandé aux palonniers par l'équipage. L'enquête a montré qu'une action vers la gauche sur le volant de direction ou qu'un dysfonctionnement du système de direction du train avant pouvaient être à l'origine de la déviation latérale de l'avion.

Dans le cas possible du dysfonctionnement, celui-ci n'aurait pas été détecté par le calculateur de bord gérant le système de direction (ECM), aucune alarme STEER BY WIRE FAIL n'aurait été générée et le système de direction ne se serait pas automatiquement désengagé.

Le contrôle de l'avion n'a pas pu être récupéré malgré la manœuvre correctrice engagée par l'équipage sur les palonniers et le freinage différentiel. L'avion est ensuite sorti de piste à grande vitesse.

D'autre part, l'enquête a mis en évidence que :

- ❑ plusieurs modes de défaillances du système de direction du train avant ne sont pas détectés ; dans cette configuration il n'y a pas de génération d'alarme et le système de direction ne se désengage pas automatiquement ;
- ❑ les postulats de la FMEA selon lesquels à grande vitesse seuls des petits angles d'orientation du train sont présents et qu'une défaillance pourra être contrée par une action aux palonniers ainsi qu'un freinage différentiel ont été mis en défaut dans le cas de l'accident et lors d'un accident précédent.

L'enquête a également mis en évidence que les dysfonctionnements du système de direction du train avant n'étaient pas isolés.

En conséquence le BEA recommande que :

- **la FAA et l'AESA évaluent la pertinence de rendre obligatoire l'inhibition du système de direction du train avant à haute vitesse sur G-IV de façon à éviter qu'il ne s'oriente à de grands angles à vitesse élevée. [Recommandation 2015-031] et [Recommandation 2015-032]**
- **la FAA et l'AESA conduisent une étude afin de recenser les aéronefs pouvant être concernés par la recommandation précédente [Recommandation 2015-033] et [Recommandation 2015-034].**

4.2 Efficacité de la procédure Uncommanded Nose Wheel Steering

A la suite d'une sortie latérale de piste survenue en 2004 à un G-IV, Gulfstream a introduit la procédure anormale « *Uncommanded Nose Wheel Steering* » en 2005. Au moment de son introduction, cette procédure n'a pas été testée et n'a pas fait l'objet d'essais en vol. La FAA a validé l'introduction de cette procédure dans l'AFM sans que son efficacité réelle n'ait été vérifiée au cours de vols d'essais. Cette procédure est notamment basée sur l'efficacité du freinage différentiel. Dans le cadre de l'enquête, Gulfstream n'a pas été en mesure d'évaluer l'efficacité du freinage d'un G-IV en dérapage latéral.

En conséquence le BEA recommande que :

- **la FAA en coordination avec Gulfstream évalue l'efficacité de la procédure *Uncommanded Nose Wheel Steering* de façon à s'assurer que les actions proposées dans cette procédure permettent de récupérer efficacement le contrôle de l'avion en cas de déviation latérale due à un dysfonctionnement, dans le domaine de vitesse où cette procédure est nécessaire. [Recommandation 2015-035]**

4.3 Formation à la procédure Uncommanded Nose Wheel Steering

L'équipage n'a pas immédiatement positionné sur OFF l'interrupteur PWR STEER suite à la déviation latérale de l'avion tel que préconisé par la procédure « *Uncommanded Nose Wheel Steering* ». L'enquête a montré que :

- ❑ l'équipage du N823GA n'avait pas été entraîné à cette procédure et que de nombreux pilotes de G-IV ne la connaissaient pas ;
- ❑ le fait que celle-ci n'était pas complètement réalisable de la place droite n'avait pas été identifié par la FAA, Gulfstream ainsi que les organismes de formation ;
- ❑ la documentation utilisée au cours de la formation initiale et périodique par UJT n'était pas à jour et ne contenait pas cette procédure ;
- ❑ Gulfstream n'envoyait pas systématiquement les MOL (Maintenance and Operations Letter) à l'ensemble des organismes de formation sur G-IV ; il ne l'avait pas envoyé à CAE Simuflite, en charge de la formation des pilotes d'UJT.

En conséquence le BEA recommande que :

- **la FAA et l’AESA s’assurent que les exploitants de G-IV et organismes formant des pilotes de G-IV complètent leur formation en y ajoutant l’entraînement à la procédure anormale *Uncommanded Nose Wheel Steering* et s’assurent que cet entraînement soit effectivement suivi par les pilotes de G-IV et adapté à la place occupée dans le poste de pilotage. [Recommandation 2015-036] et [Recommandation 2015-037]**
- **la FAA et l’AESA s’assurent que les processus de mise à jour de la documentation des exploitants et des organismes de formation garantissent que les procédures et programmes de formation proposés aux équipages contiennent les dernières mises à jour des procédures du constructeur. [Recommandation 2015-038] et [Recommandation 2015-039]**
- **la FAA et l’AESA s’assurent que les organismes de formation soient systématiquement destinataires des informations et avertissements de sécurité publiés par les constructeurs. [Recommandation 2015-040] et [Recommandation 2015-0041]**

4.4 Destructeurs de portance sol

Cet accident a illustré l’importance des destructeurs de portance sol pour garantir une décélération et un freinage efficaces lorsque l’avion était au sol. Ils sont d’ailleurs pris en compte pour certifier les distances d’atterrissage. Cet accident a également montré qu’un oubli a été à l’origine d’une situation dégradée. Le déploiement tardif des aérofreins a été favorisé par plusieurs facteurs, notamment :

- ❑ une réalisation inappropriée de la check-list « *avant atterrissage* » ;
- ❑ une absence d’indication de la position des destructeurs de portance sol dans le poste de pilotage du G-IV ;
- ❑ une absence, dans les procédures normales, d’annonce relative à l’activation des destructeurs de portance sol lorsque l’avion était au sol ;
- ❑ une conception de l’avion qui ne prévoit pas le déploiement automatique des destructeurs de portance sol lorsque les inverseurs de poussée sont sélectionnés, comme cela peut être le cas sur d’autres avions de même génération.

L’enquête a également montré que l’oubli d’armement des destructeurs de portance sol n’est pas un cas isolé et a déjà contribué à une perte de contrôle en direction lors d’un atterrissage.

Dans le cadre de l’enquête, il n’a pas été possible d’obtenir une interprétation harmonisée entre la FAA et l’AESA en ce qui concerne l’applicabilité du § 25-699 du règlement de certification aux destructeurs de portance sol.

En conséquence le BEA recommande que:

- **La FAA et l'AESA s'assurent que les exploitants de G-IV ainsi que Gulfstream mettent en place des procédures favorisant la vérification de l'activation des destructeurs de portance sol lors de l'atterrissage, à l'instar de ce qui est réalisé pour les inverseurs de poussée. [Recommandation 2015-042] et [Recommandation 2015-043]**
- **L'AESA en coordination avec la FAA évalue la conformité du G-IV aux exigences de certification relatives à l'indication de la position des destructeurs de portance sol. [Recommandation 2015-044]**
- **L'AESA et la FAA s'assurent que les spécifications de certification (article 25-699 du règlement CS 25 / FAR 25) imposent que l'information sur la position des destructeurs de portance sol soient disponibles à l'atterrissage. [Recommandation 2015-045] et [Recommandation 2015-046]**

L'armement des destructeurs de portance sol est généralement réalisé par le PM après la sortie des trains d'atterrissage. La génération d'une alerte sonore de type « *single chime* » et l'affichage du message d'information GND SPOILER UNARM sur l'EICAS au moment de la sortie du train d'atterrissage sont donc systématiques, ce qui peut diminuer la perception d'une situation anormale par l'équipage lorsqu'elle demeure longtemps après la sortie du train.

En l'absence d'une check-list formellement réalisée en « *challenge and response* », le message EICAS GND SPOILER UNARM perd de son efficacité car il peut ne pas être détecté par l'équipage. De son côté, l'alerte sonore qui n'est générée qu'une seule fois, immédiatement après la sortie des trains, ne permet pas à l'équipage de détecter un oubli d'armement.

En conséquence le BEA recommande que:

- **La FAA s'assure que Gulfstream revoie la logique d'alarme de non armement des destructeurs de portance sol et la procédure d'armement de ces destructeurs de portance pour couvrir la situation d'oubli d'armement mise en évidence par cette enquête. [Recommandation 2015-047].**

4.5 Méthodes de l'exploitant et check-list « avant atterrissage »

L'enquête a mis en évidence que les check-lists n'ont pas été réalisées en « *challenge and response* » lors du vol de l'événement. L'enquête a également montré que cette pratique était parfois observée au sein de l'exploitant. Cette pratique ne procure pas aux équipages d'étape de vérification croisée et rend le vol plus vulnérable aux erreurs ou aux oublis. La FAA, au cours de sa supervision de l'exploitant, n'avait pas détecté cette dérive.

En conséquence le BEA recommande que :

- **La FAA s'assure que la réalisation des check-lists en « *challenge and response* » soit systématique chez UJT, [Recommandation 2015-048]**
- **UJT et CAE Simuflite rappellent aux équipages l'intérêt et l'importance de réalisation de check-lists en « *challenge and response* » [Recommandation 2015-049] et [Recommandation 2015-050]**

L'enquête a montré que l'ordre des items de la check-list « *avant atterrissage* », plaçant la vérification de l'EICAS avant l'armement des destructeurs de portance sol, pouvait habituer les équipages à la présence du message GND SPOILER UNARM au moment de la vérification de l'EICAS lorsque la check-list était effectuée comme une liste d'action.

En conséquence le BEA recommande que :

- **La FAA, en coordination avec Gulfstream, étudie la pertinence de modifier l'ordre des items de la check-list « *avant atterrissage* » de façon à placer la vérification de l'EICAS après l'armement des destructeurs de portance sol. [Recommandation 2015-051].**

4.6 Niveau de protection SSLIA effectivement fourni

Le second pompier, d'astreinte, prévu pour assurer le niveau 5 de protection, demandé par l'exploitant, est arrivé en retard et n'était pas présent au moment de l'accident. Depuis l'accident, l'exploitant de l'aérodrome du Castellet a ajouté dans le RCO du SSLIA une procédure demandant explicitement au service SSLIA de prévenir l'agent AFIS en cas de diminution du niveau de protection initialement garanti. Au moment de l'accident, l'agent AFIS n'ayant pas été informé de l'absence d'un pompier lors de l'arrivée de l'avion, il n'a pas pu transmettre cette information à l'équipage avant l'atterrissage.

Par ailleurs, le niveau de protection de l'aérodrome du Castellet autorisait l'exploitant d'aérodrome à confier des tâches annexes au personnel SSLIA. Des consignes définissaient les conditions d'exercice de ces activités mais étaient peu réalistes et peu précises : la conduite à tenir selon le type d'activité n'y était, par exemple, pas indiquée. Le RCO a fait l'objet après l'accident d'un complément précisant ces procédures.

En conséquence le BEA recommande que :

- **la DGAC s'assure que les exploitants d'aérodromes ont défini des procédures garantissant que le niveau de protection effectivement fourni correspond à celui qui est annoncé, y compris :**
 - **l'information du service du contrôle (ou l'agent AFIS) en cas de diminution non prévue du niveau de protection SSLIA initialement garanti ;**
 - **la définition de conditions d'exercice de chaque tâche annexe demandée aux pompiers d'aérodrome de façon à ce qu'elles ne compromettent pas la fourniture de l'objectif opérationnel. [Recommandation 2015-052]****et qu'elle s'assure que ces procédures sont effectivement appliquées. [Recommandation 2015-053]**

Enfin, la ZA, telle que définie par l'exploitant d'aérodrome au moment de l'accident, ne garantissait pas un accès à toute heure et en tout point par les pompiers d'aérodrome. Notamment, le pompier d'aérodrome s'est retrouvé devant un portail situé à proximité de la piste dont il n'avait pas la clé. Il a ainsi été restreint dans le positionnement du véhicule lors de la seconde intervention.

En conséquence le BEA recommande que :

- **l'exploitant de l'aérodrome du Castellet s'assure que le service SSLIA puisse accéder en tout point et à tout moment à la ZA [Recommandation 2015-054].**

Liste des annexes

annexe 1

Description du système de direction du train avant

annexe 2

Courbes de paramètres du FDR

annexe 3

Détermination des messages d'alarmes, d'avertissement et d'information générés en poste de pilotage

annexe 4

Chronologie de l'intervention des secours

annexe 5

Essais sur piste

annexe 6

Plan de la ZA de l'aérodrome du Castellet

annexe 7

Maintenance and Operations Letter

annexe 8

Cartes d'approche de l'aérodrome du Castellet

annexe 1

Description du système de direction du train avant

Le système de direction du train avant (NWS - Nose Wheel Steering) est contrôlé électriquement, mis en fonctionnement hydrauliquement et actionné mécaniquement.

Le NWS est utilisé lors du roulage, du décollage et de l'atterrissage et est activé automatiquement par le capteur de compression du train avant (capteur à deux positions (air/sol) situé sur le train avant).

Dans le poste de pilotage, il existe deux moyens de commander le système de direction du train avant :

- ❑ par l'ensemble **volant de commande**, situé sur la console de gauche. Il se compose d'un interrupteur ON/OFF « *PWR STEER* » gardé (en position ON), d'un volant de commande de direction (tiller) muni de ressorts de rappel afin de remettre le volant au neutre, d'amortisseur visqueux et de potentiomètres. L'orientation du train avant peut être commandée jusqu'à $80^\circ \pm 2^\circ$ à gauche ou à droite de l'axe central de l'avion en utilisant le volant de commande ;
- ❑ par les **palonniers** du pilote ou du copilote. L'orientation du train avant peut être commandée jusqu'à $7^\circ \pm 1^\circ$. Des potentiomètres sont montés sur un support sous le poste de pilotage et sont reliés mécaniquement au câble de commande de la gouverne de direction.

Les potentiomètres du volant de commande ou des palonniers transforment la commande mécanique en signal électrique qui est envoyé au module de commande électronique (ECM - Electronic Control Module). Ce dernier fournit un signal électrique de mise dans l'axe à la servovalve de commande (EHSV – Electro Hydraulic Servovalve) jusqu'à ce que le système passe en mode « *sol* » (compression du train avant). A ce moment-là, le signal est progressivement augmenté sur un intervalle de 750 ms jusqu'à atteindre la position commandée par les palonniers, ou par le volant, ou par une combinaison des deux. Cette progressivité permet d'éviter une mise en rotation brutale du bloc de direction lorsque le train avant rentre en contact avec le sol, notamment lors d'atterrissages par vent traversier.

L'EHSV est la servovalve hydraulique qui contrôle l'envoi du fluide hydraulique vers le bloc de direction afin de le mettre en rotation suivant la commande.

Le bloc de direction, localisé sur le train avant est composé de deux sous-blocs :

- ❑ le stator, élément cylindrique solidaire du caisson de train ;
- ❑ le rotor, élément cylindrique qui tourne autour du stator. Il est relié à l'axe des roues du train avant par le compas.

Ces sous-blocs (stator et rotor), en contact l'un sur l'autre, forment des cavités qui, remplies de fluide hydraulique, permettent une mise en rotation du bloc de direction.

Le bloc de direction dispose aussi d'un capteur de position localisé sur sa partie arrière extérieure (RVDT) dont le but est de convertir le signal mécanique de position en signal électrique. Ce signal est renvoyé à l'ECM où il est additionné algébriquement aux signaux d'entrée provenant des palonniers et/ou du volant de direction. Le signal résultant est envoyé à l'EHSV. Lorsque le train avant se rapproche de la position commandée, la somme des signaux envoyés à l'EHSV tend à devenir nulle. La servovalve maintient alors le train avant dans cette position. Une force extérieure qui tendrait à modifier l'orientation du train avant créerait un décalage sur la servovalve qui aurait tendance à contrer cette force.

Deux électrovannes (SOV – Shutoff Valves) qui maintiennent normalement le circuit hydraulique fermé sont utilisées pour contrôler la puissance hydraulique du système. Elles sont placées en série dans le circuit, mais sont commandées électriquement séparément. La SOV n° 1 est alimentée par l'interrupteur ON/OFF « *PWR STEER* » en cabine et le signal « *Train avant sorti et verrouillé* ». La SOV n° 2 est alimentée par l'ECM lorsque l'interrupteur de compression du train avant passe en mode « *sol* ». Pour éviter la mise sous tension du circuit hydraulique lorsque le train est rentré, une précaution supplémentaire a été ajoutée en alimentant la source d'énergie hydraulique à travers le circuit hydraulique de sortie du train d'atterrissage.

Les systèmes de direction utilisant un ECM de numéro de type 5250-1 (comme celui installé sur le N823GA) contiennent un circuit de test (BITE – Built-In Test Equipment) intégré avec dix codes d'erreur qui apparaissent sur un écran numérique à sept segments sur le dessus de l'ECM. Un bouton poussoir situé sur la face supérieure de l'ECM est utilisé pour initialiser le microprocesseur et effectuer un test de vérification du système. L'interrogation du BITE manuellement ne peut pas être lancée en vol, mais si le train d'atterrissage avant est sorti et verrouillé (Check avant atterrissage), le circuit de BITE vérifie passivement les défaillances dormantes et coupe automatiquement le système⁽¹⁾ par l'intermédiaire de la vanne d'arrêt SOV n° 2 en cas de détection d'une défaillance. Le message d'avertissement STEER BY WIRE FAIL s'affiche alors sur l'EICAS (Engine Instrument and Crew Advisory System) et une alarme sonore (double chime) est générée.

L'ECM intègre une minuterie « *chien de garde* » avec un intervalle d'environ 220 millisecondes. Cette minuterie est réinitialisée toutes les 82 millisecondes à condition qu'il n'y ait pas de défaillance détectée dans le système. Si des dysfonctionnements se produisent, la minuterie s'arrête après 220 millisecondes et coupe le système par activation de la vanne d'arrêt SOV n° 2. Le message d'avertissement STEER BY WIRE FAIL s'affiche alors sur l'EICAS et une alarme sonore (double chime) est générée. Si la panne est corrigée, mettre le système hors tension et le rallumer supprimera le message EICAS et le système sera de retour dans son état nominal.

Ce système inclut deux canaux afin de fournir un moyen de vérifier l'état du système. Un canal est nécessaire pour effectuer la tâche et le second canal est une image miroir utilisée comme comparateur du premier canal. Toute défaillance d'un composant dans l'un des canaux entraînera l'arrêt du système et activera le message STEER BY WIRE FAIL sur l'EICAS.

L'ECM décrit précédemment utilise un cadran LED à sept segments afin d'indiquer les emplacements des pannes. Les codes numériques du BITE indiquent les équipements remplaçables lors d'une maintenance en ligne (LRU).

⁽¹⁾Le système se retrouve en castoring mode.

CODES	LRU
0	No Fault
1	ECM Fault
2	Solenoid Valve Fault
3	EHSV Fault
4	Handwheel Potentiometer Fault
5	Feedback RVT Fault
6	Rudder Potentiometer Fault
7	Short Circuit
8	LED Check
9	Test Incomplete

Note :

□ Sur les avions MSN 1000-1242 avec l'ASC 176 et les avions MSN 1243 et suivants (ce qui n'est pas le cas du N823GA), un capteur de pression du circuit de direction du train avant (NWS pressure switch) et un circuit électrique sont disponibles pour fournir une alerte à l'équipage suite à un problème sur le système de direction du train avant, lors du décollage ou de l'atterrissage. Ces équipements supplémentaires permettent de surveiller des paramètres additionnels. Sur un avion équipé de cette modification, un message STEER BY WIRE FAIL est affiché sur l'EICAS lorsqu'une des conditions suivantes est rencontrée :

- le capteur de compression du train avant est bloqué en position « sol » alors que l'avion est en vol ;
- les électrovannes (SOV) sont bloquées en position ouverte alors que l'avion est en vol ;
- le système de direction du train avant est non fonctionnel suite à une perte de puissance hydraulique alors que l'avion est au sol ;
- mauvaise installation de l'ECM ou des connecteurs de l'ECM.

Dans les avions équipés de l'ASC 302A (ce qui n'est pas le cas du N823GA), le pilote peut sélectionner un contrôle normal de la direction (volant de commande ou palonniers) ou un contrôle uniquement au volant de direction (découplage des commandes).

annexe 2

Courbes de paramètres du FDR

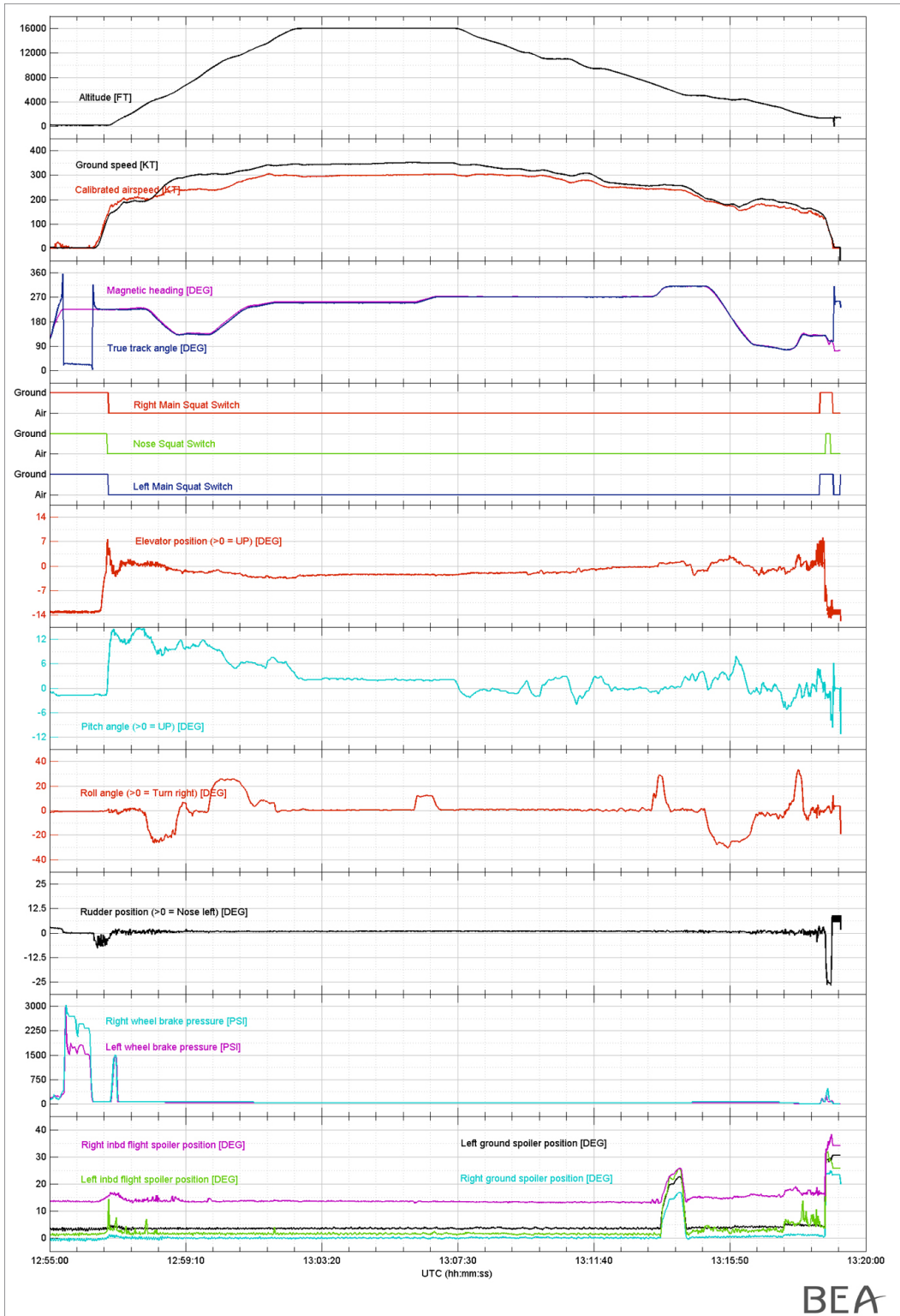


Figure 1: attitudes et position des gouvernes de l'avion (vol complet)

BEA

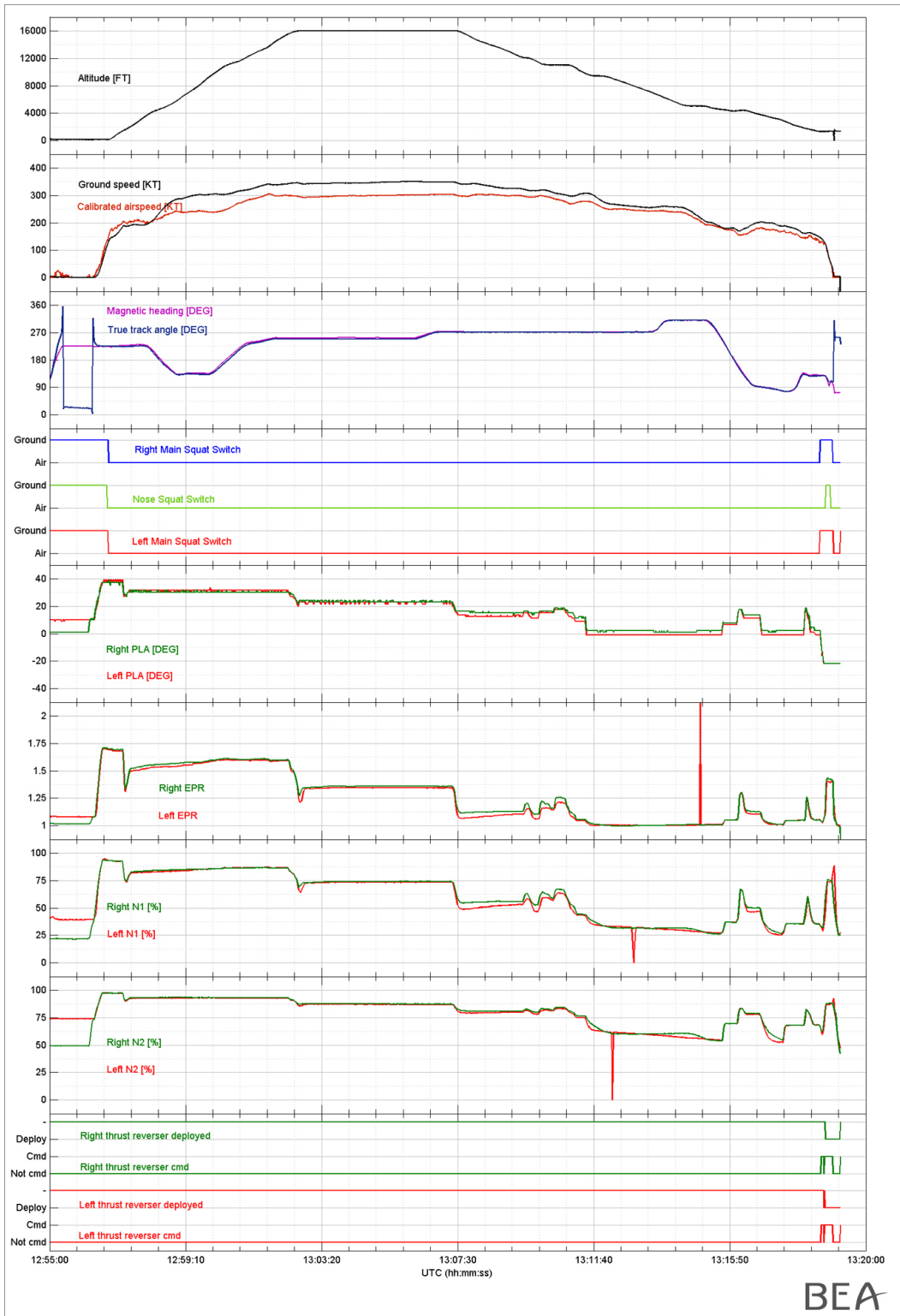


Figure 2 : paramètres moteurs (vol complet)

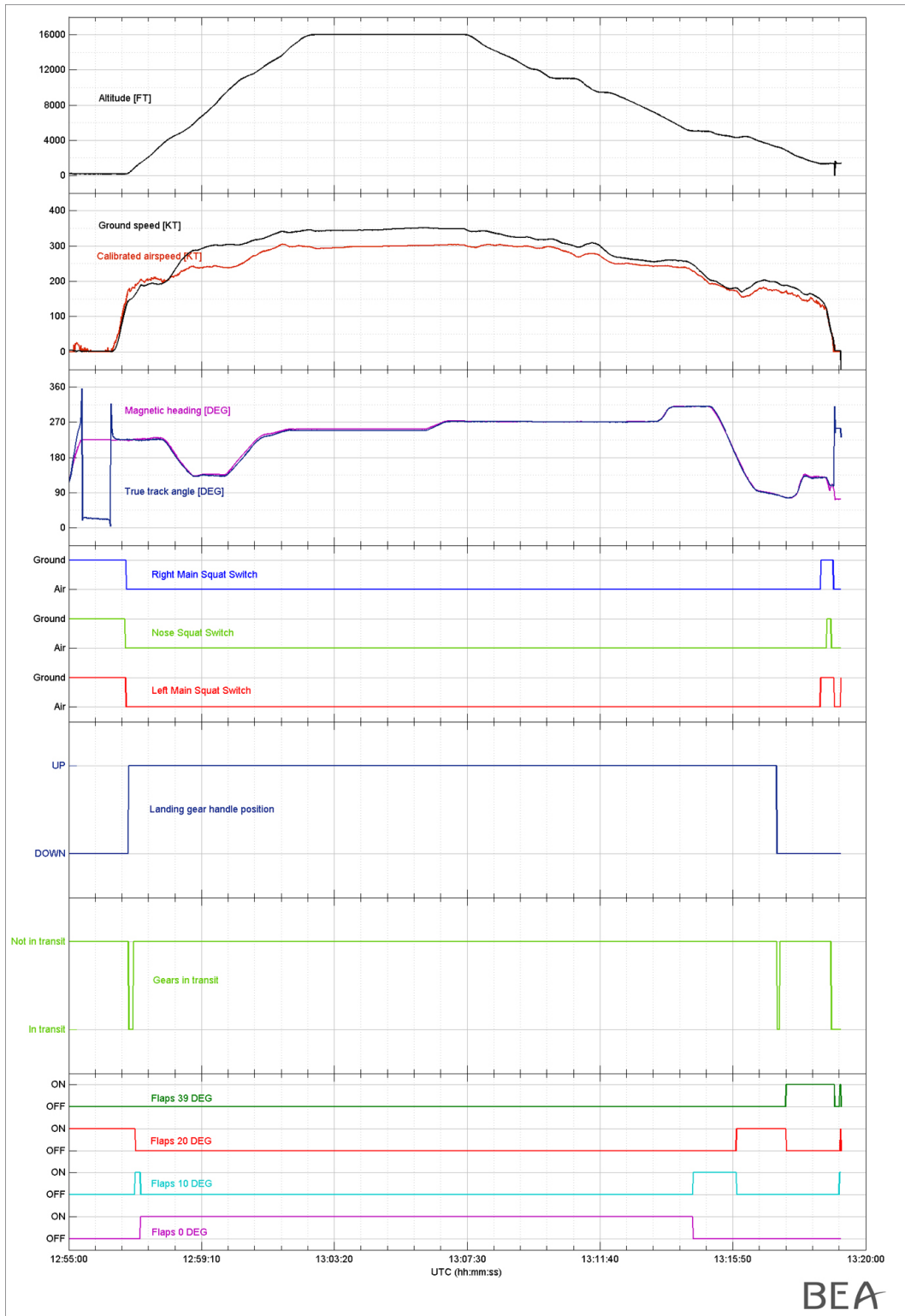


Figure 3: configuration des volets et trains d'atterrissage (vol complet)

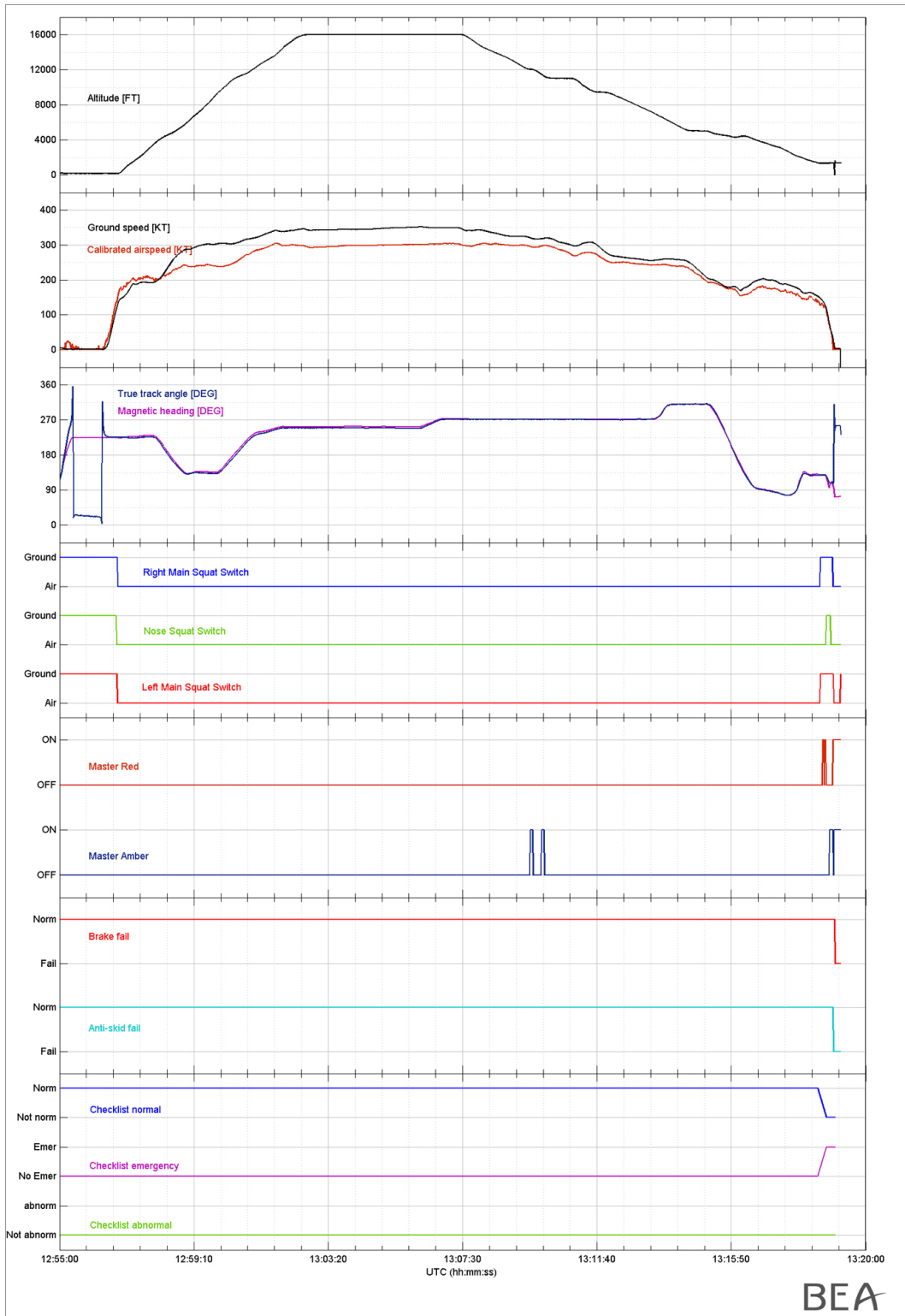


Figure 4: alarmes et avertissements (vol complet)

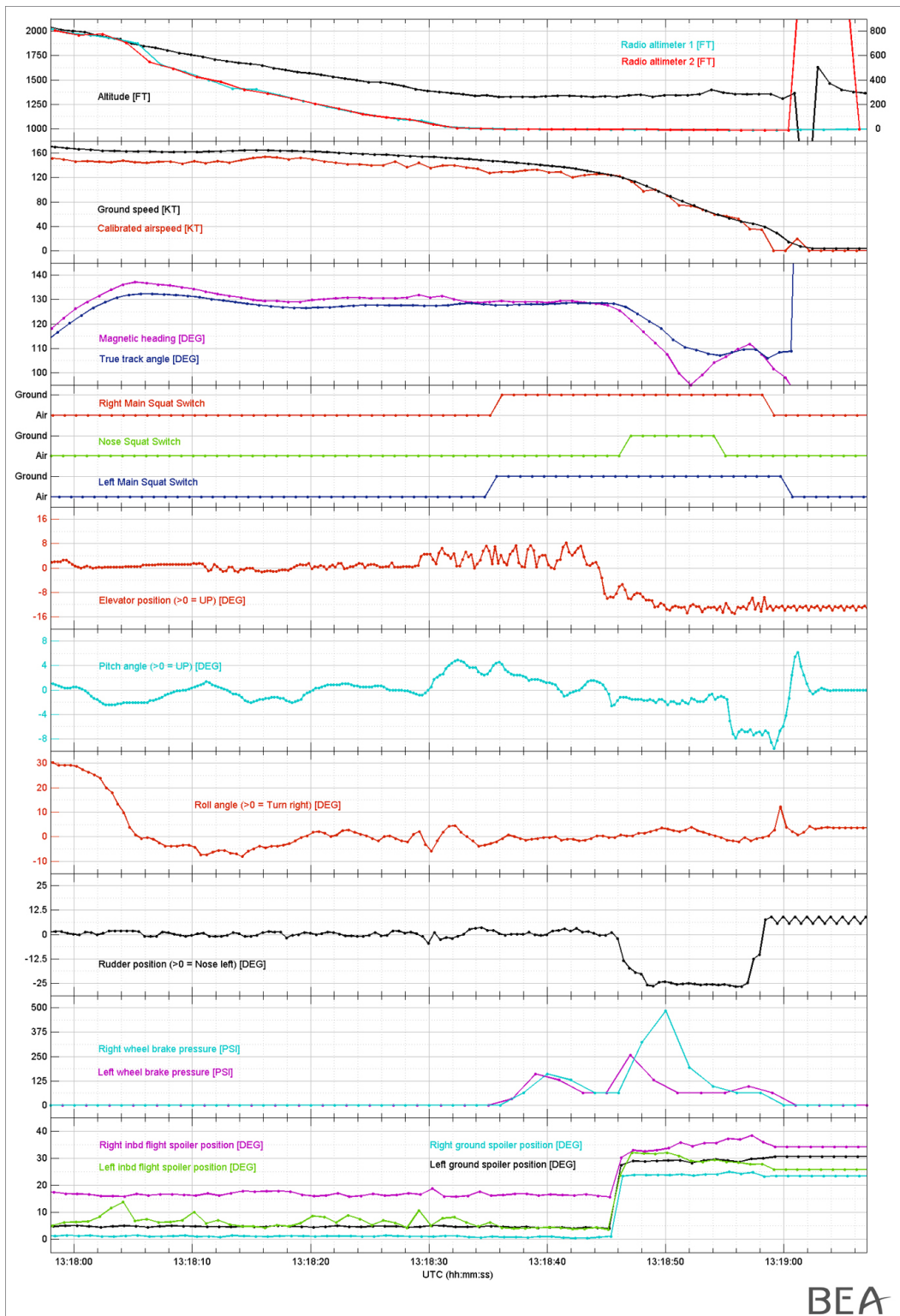


Figure 5: attitudes et position des gouvernes de l'avion (dernière minute)

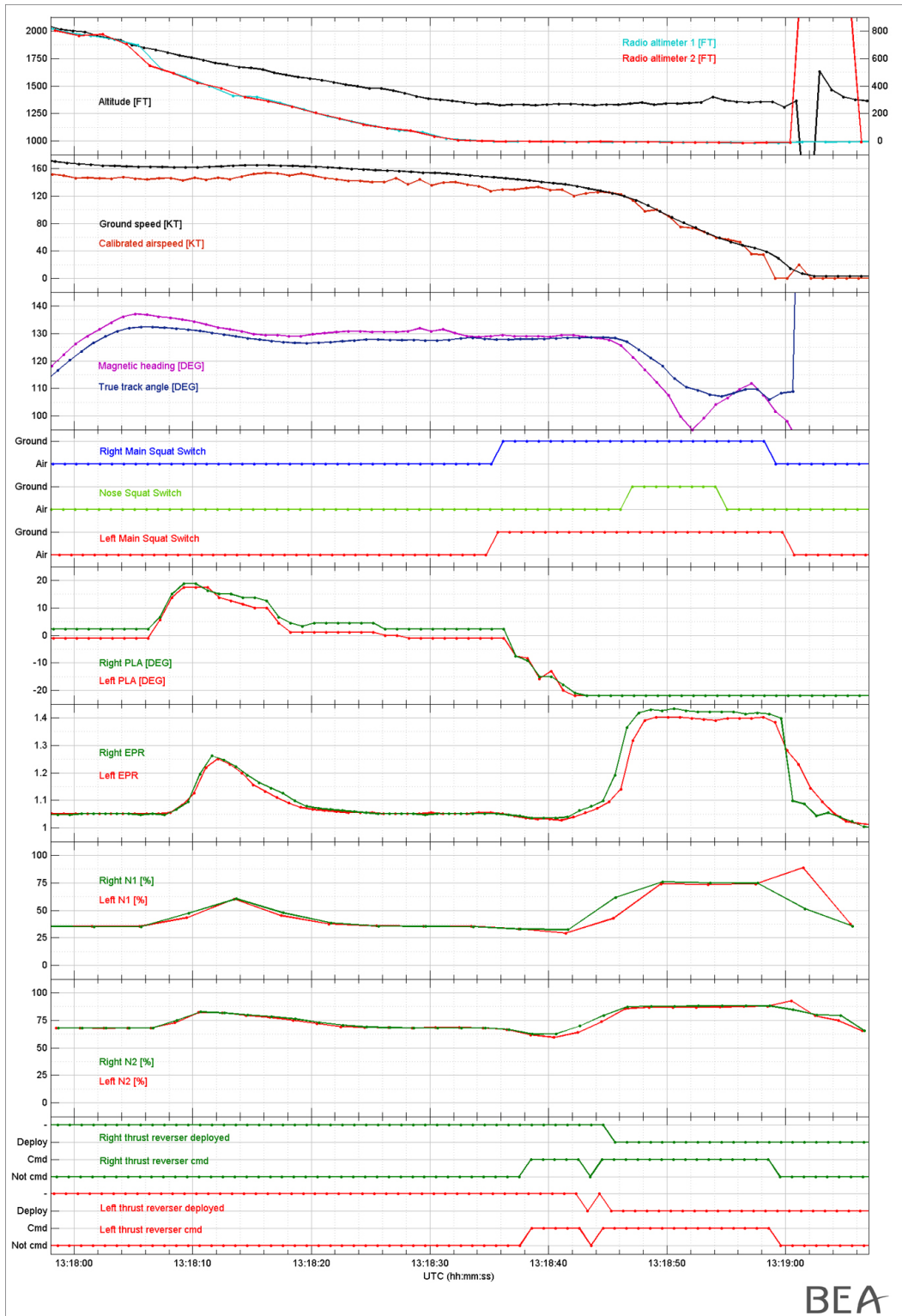


Figure 6: paramètres moteurs (dernière minute)

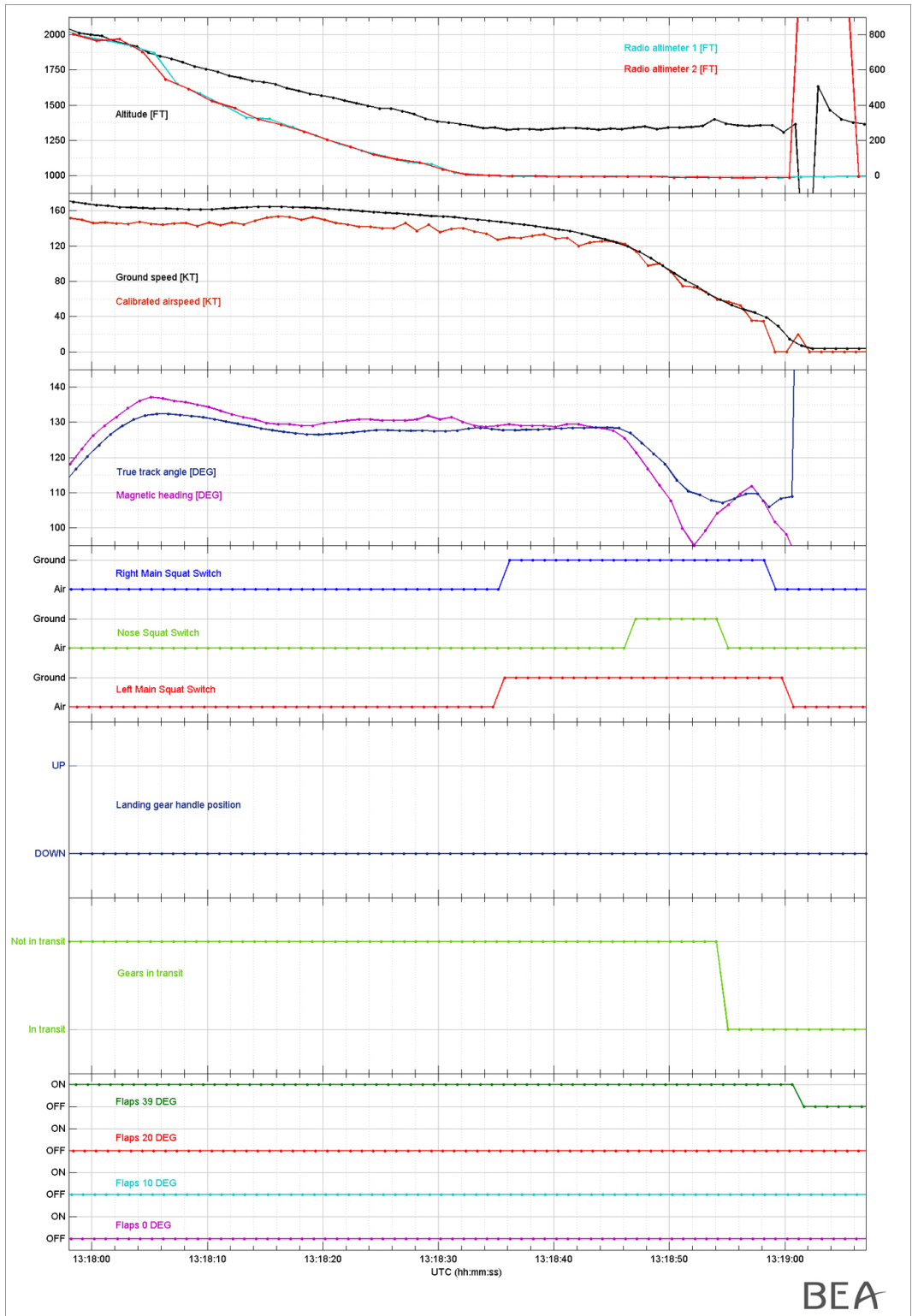


Figure 7: configuration des volets et trains d'atterrissage (dernière minute)

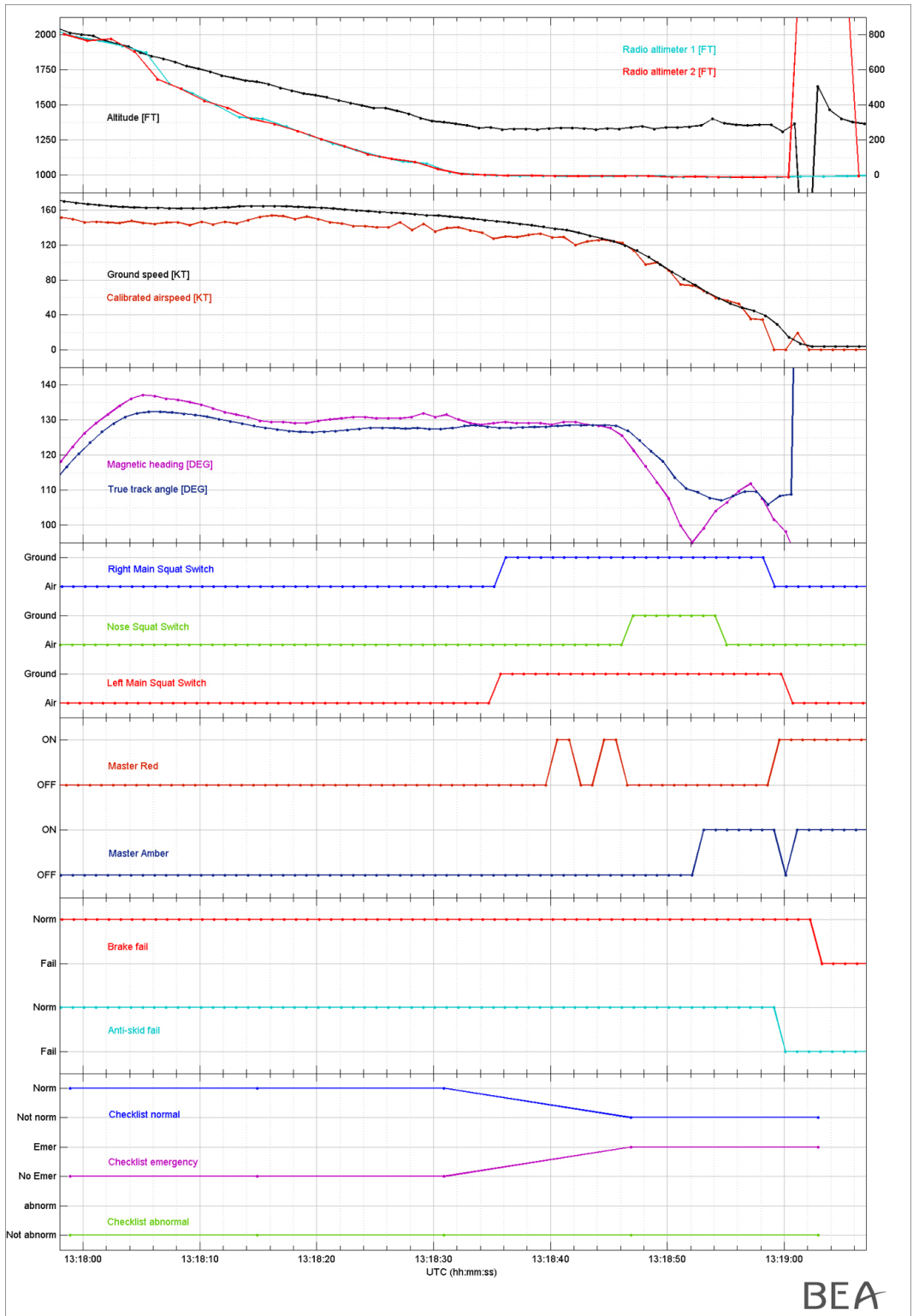


Figure 8: alarmes et avertissements (dernière minute)

annexe 3

Détermination des messages d'alarme, d'avertissement et d'information générés en poste de pilotage

Le tableau ci-dessous présente la chronologie des messages jusqu'à 13 h 18 min 53 ainsi que la raison probable de leur génération :

Numéro	Heure UTC	Type de message	Evènement probable
1	13 h 09 min 37	Message d'avertissement	ALT MODE OFF
2	13 h 09 min 58	Message d'avertissement	ALT MODE OFF
3	13 h 13 min 46	Message d'information	SPD BRAKE EXTNDED
4	13 h 17 min 20	Message d'information	GND SPOILER UNARM
5	13 h 18 min 41	Message d'alarme	L-R REV UNLOCK
6	13 h 18 min 45	Message d'alarme	L-R REV UNLOCK
7	13 h 18 min 49	Message d'information	SPD BRAKE EXTNDED
8	13 h 18 min 53	Message d'avertissement	Indéterminé (hors de la piste)

annexe 4

Chronologie de l'intervention des secours

Au moment de l'accident seul un pompier d'aérodrome est présent. Il est situé en salle d'accueil à l'intérieur de l'aérogare. Le responsable SSLIA n'est pas en service et n'est pas présent. Le second pompier n'est pas encore arrivé sur l'aérodrome.

L'agent AFIS déclenche l'alerte à 13 h 18 min 52 s, au moment de la sortie de piste. Il informe le pompier du type d'avion (M20) et du nombre de personnes à bord (3 passagers, nombre de membres d'équipage inconnu).

Remarque : ces données sont erronées et l'agent AFIS rectifiera ultérieurement sur la fréquence l'information du modèle d'aéronef et du nombre d'occupants.

Le pompier, présent dans l'aérogare, se rend immédiatement en voiture au hangar SSLIA.

A 13 h 20 min 32 s, il annonce le départ du VIM. Il se rapproche de l'épave en empruntant le trajet suivi par l'avion lors de sa sortie de piste.

Il effectue une première intervention en statique à l'aide du canon mousse à plein débit (à environ 30 mètres de l'épave) pendant environ 30 secondes. Gêné par des arbres situés entre lui et l'avion, il change de stratégie et décide de contourner l'épave par le sud.

L'heure estimée de la première intervention est située vers 13 h 22 min.

A 13 h 23 min, il demande sur la fréquence des renforts extérieurs.

Lors du trajet entre la première et la seconde intervention, il s'arrête au niveau de la route « ouest », probablement afin de discuter avec un agent de maintenance du circuit sur la stratégie à adopter.



Photo 1

Sur la photo 1, le VIM est arrêté (discussion avec du personnel du circuit). Il est en chemin vers le lieu de sa deuxième intervention.

A 13 h 26 min 06 s, l'hélicoptère de la sécurité civile annonce qu'il décolle.

A 13 h 27 min 07s, le pompier émet le message suivant : « *Sauf que l'avion est bloqué... il est coupé en deux et le reste de l'appareil c'est-à-dire le cockpit est dans l'eau* ».



Photo 2



Photo 3

Sur la photo 2 (prise par l'hélicoptère qui vient de décoller), le VIM est devant un portail non référencé, dans l'enceinte du circuit. Il n'a pas encore réalisé sa deuxième intervention.

Sur la photo 3, deux foyers d'incendie sont visibles (épave et nappe de kérosène dans l'étang). La trace d'eau sur la route « est » (cercle rouge) montre l'emplacement de la première intervention (flaque de vidange du système).



Photo 4



Photo 5

La deuxième intervention est réalisée probablement vers 13 h 28 min sur le lac puis sur l'épave ; il y a environ 6 minutes entre la photo 1, prise sur la route d'accès « ouest », et les photos 4 (la deuxième intervention n'a pas encore débuté) et 5 (la deuxième intervention est en cours).

Sur la photo 5, le véhicule est à 30 mètres environ de l'épave et le canon est utilisé avec le demi débit jusqu'à épuisement de l'eau.

A l'issue de l'intervention à l'aide de la mousse, il utilise l'agent poudre.

A 13 h 41 min 12s, il dit « *Ouais donc (*) pompiers (*) c'est eux qu'ont pris maintenant les opérations moi je reste à côté pour euh si jamais y ont besoin de quelque... de quelque chose* » (remarque : il s'agit des pompiers du Beusset).

A l'issue de l'intervention et de l'épuisement de l'eau contenue à bord, il restait 375 l d'émulseur dans le VIM60 et pas d'agent poudre.

annexe 5

Essais sur piste

Le banc d'essai

L'université de Cranfield (Royaume-Uni) dispose d'un banc d'essai capable de créer des traces de pneumatiques au sol, pour différents angles d'orientation de roues, différentes charges et différentes vitesses. Un camion a été aménagé pour accueillir une armature métallique sur laquelle est installé un système de deux roues non freinées, orientables de manière symétrique (voir photographie ci-après) et inclinables latéralement. La charge exercée sur ces roues est contrôlée par un vérin.



Figure 1 – Banc d'essai pneumatique

L'ensemble du système est équipé de caméras (dont une thermique) et de capteurs afin de mesurer les efforts, la vitesse de rotation des roues, la vitesse de déplacement du camion, l'angle de rotation des roues, la position GPS, etc. Tous ces paramètres sont enregistrés.

Description des essais

Les essais se sont déroulés les 8 et 9 juillet 2014 sur la piste 13 de l'aérodrome du Castellet en présence du BEA et de Gulfstream. Afin de se rapprocher au maximum des conditions de l'événement, les essais ont été réalisés avec des pneumatiques Goodyear Flight Eagle 21x7.25-10 DT, modèles identiques à ceux équipant le train avant du N823GA.

Pour chaque essai, le camion a débuté son accélération depuis le seuil de la piste 13. Les roues du banc d'essai étaient initialement orientées dans l'axe puis elles ont été mises en rotation progressivement jusqu'à atteindre l'angle de braquage souhaité.

Pour chaque essai, cinq conditions ont été définies :

Conditions	Valeurs
Orientation	10°, 20°, 30° (Gauche et Droite)
Vitesse du véhicule	40 mph ⁽¹⁾ , 60 mph ⁽²⁾
Charge appliquée sur la roue	1 000 kg ⁽³⁾ , 1 200 kg ⁽⁴⁾
Pression des pneumatiques	93 psi, 116 psi
Inclinaison latérale de la roue	0°, 7°

⁽¹⁾Soit environ 35 kt.
⁽²⁾Soit environ 52 kt.
⁽³⁾Soit environ 9,8 kN.
⁽⁴⁾Soit environ 11,8 kN.

Suite au passage du camion, les traces ont été examinées. Leur largeur et l'angle entre le bord de la trace et la strie (lorsque celle-ci était visible) ont été mesurés.

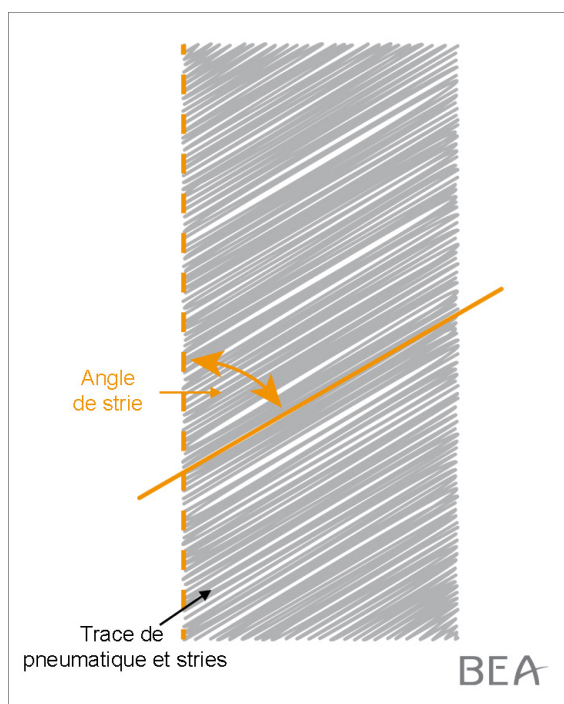


Figure 2 - convention de mesure de l'angle des stries

Les différents essais⁽⁵⁾ sont listés ci-dessous :

N° de l'essai	 Orientation (°)	 Vitesse du véhicule (mph)	 Charge sur la roue (x100 kg)	 Pression du pneu (psi)	 Inclinaison de la roue (°)
07	30	40	10	93	0
08	10	40	12	93	0
09	20	40	10	93	0
10	10	40	12	93	0
11	20	40	12	93	0
12	32	40	12	93	0
13	20	40	12	93	7
14	10	60	12	93	7
15	20	60	12	93	7
16	30	60	12	93	7
17	30	60	12	93	0
18	30	60	12	116	7

⁽⁵⁾Les essais commencent au numéro 7. Les essais 1 à 6 ont été réalisés dans le but de se familiariser avec la machine et l'environnement. Aucune mesure n'a été effectuée sur ces essais.

Seul le critère d'usure des pneumatiques n'a pas été pris en compte et a été hétérogène d'un essai à l'autre. En effet, le constructeur a fourni pour ces tests plusieurs pneumatiques présentant des niveaux d'usure différents. L'objectif étant de se rapprocher des conditions de l'événement, il n'était pas pertinent de disposer de pneumatiques neufs.

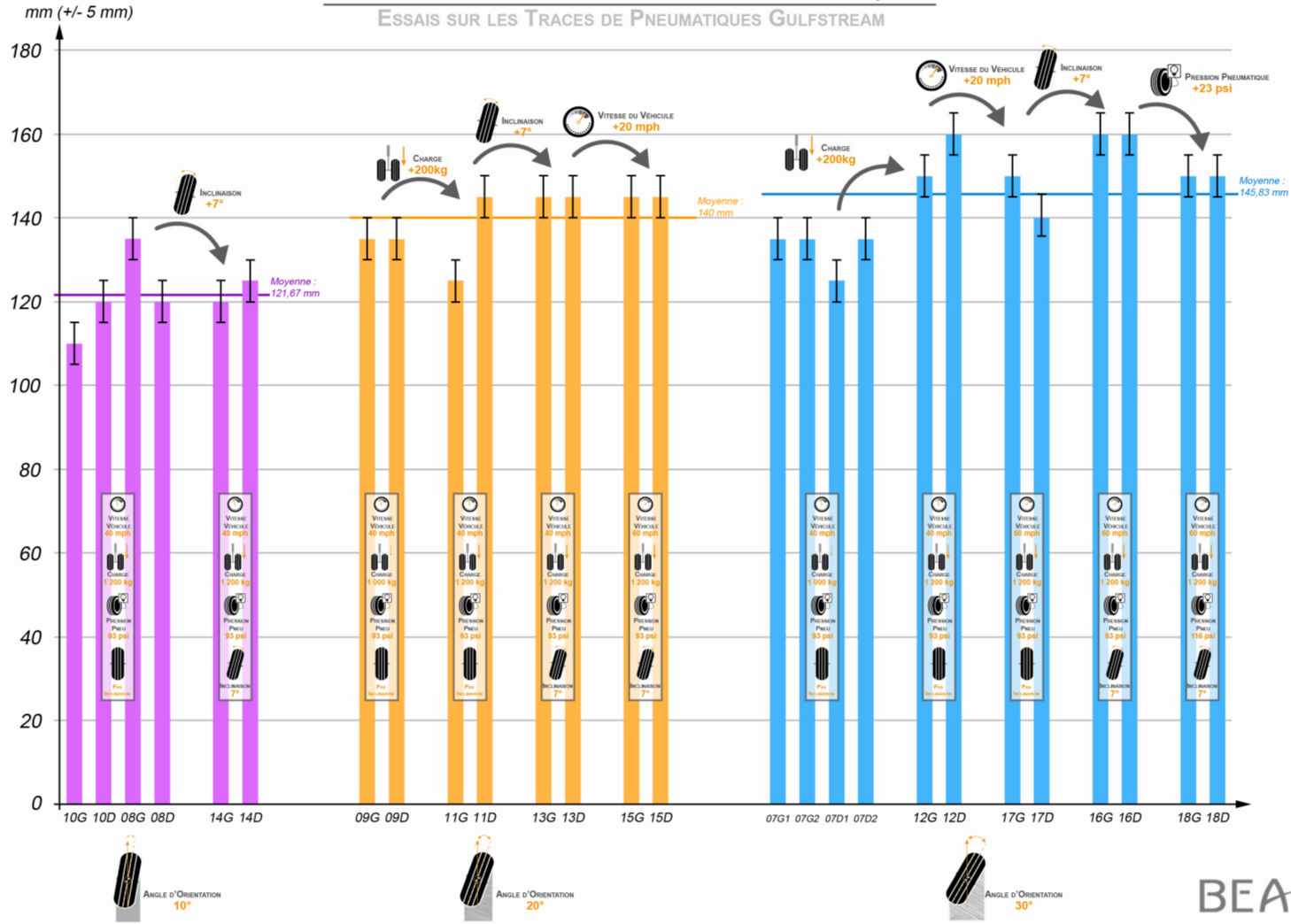
Mesures

Les illustrations suivantes présentent les différentes mesures réalisées. Pour faciliter leur lecture, les différents essais ont été regroupés par angle de braquage (10, 20 et 30°). Les mesures effectuées sur la trace laissée par le pneu orienté à gauche et celui orienté à droite sont différenciées (G et D) pour chaque essai, mais sont considérées en valeur absolue (sans prise en compte du sens des stries). Enfin, les différents essais sont présentés ici de telle sorte que, pour passer de l'un à l'autre sur le graphe, seul un des paramètres d'essai a été modifié. Les essais 8 et 10 ont été réalisés dans des conditions similaires et des mesures ont été réalisées en deux points distincts sur les traces de l'essai n° 7.

Une illustration de traces et mesures pour un des essais est disponible à la fin de cette annexe.

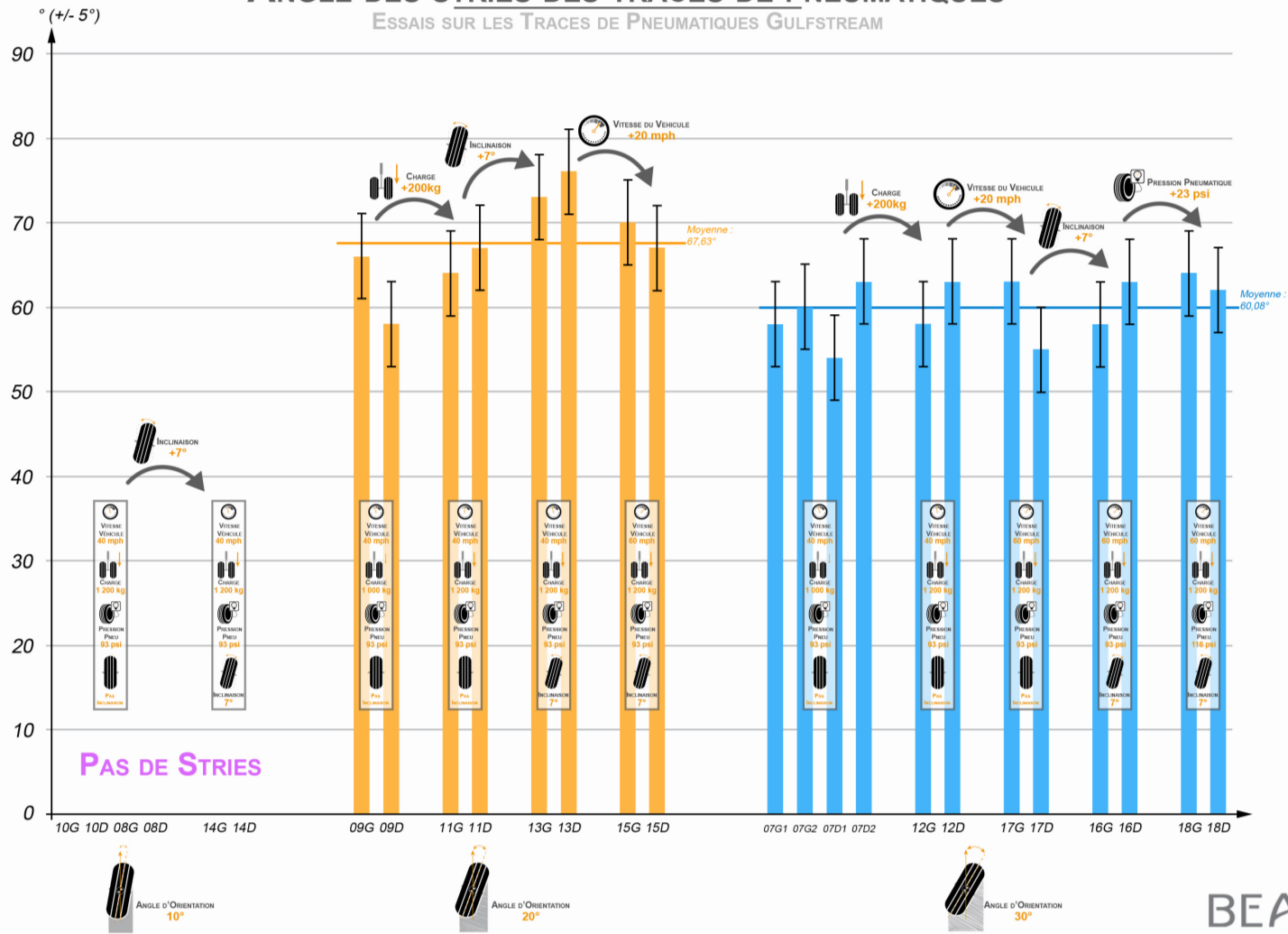
LARGEUR DES TRACES DE PNEUMATIQUES

ESSAIS SUR LES TRACES DE PNEUMATIQUES GULFSTREAM



ANGLE DES STRIES DES TRACES DE PNEUMATIQUES

ESSAIS SUR LES TRACES DE PNEUMATIQUES GULFSTREAM



Résultats des essais

Les essais réalisés ont permis de faire les constats suivants :

- ❑ l'orientation des stries est un paramètre directement lié à l'orientation des roues ;
- ❑ une roue orientée à gauche créera des stries orientées à droite (dans le sens de déplacement du véhicule) et inversement ;
- ❑ il n'a pas été possible d'observer des stries pour des orientations de roue de 10° ;
- ❑ l'angle des stries (quelle que soit leur direction) semble être dépendant principalement de l'orientation des roues. Les autres paramètres (charge, vitesse du véhicule, inclinaison de la roue, pression du pneumatique) ne semblent pas avoir d'influence significative sur l'angle des stries⁽⁶⁾ ;
- ❑ les stries semblent être plus ou moins perpendiculaires à l'orientation de la roue : un angle de braquage de 20° va créer des stries mesurées à 70° et des stries mesurées à 60° pour un angle de 30° ;
- ❑ la largeur des traces de pneumatiques dépend de tous les paramètres :
 - une augmentation de l'orientation de la roue augmente la largeur des traces ;
 - une augmentation de la charge augmente la largeur des traces ;
 - une augmentation de la pression des pneumatiques diminue la largeur des traces ;
 - une augmentation de la vitesse du véhicule n'a pas beaucoup d'influence sur la largeur des traces ;
 - une augmentation de l'inclinaison de la roue n'a pas beaucoup d'influence sur la largeur des traces. Cependant ces dernières semblent plus foncées.

⁽⁶⁾Ce phénomène est particulièrement visible dans nos essais à 30° de braquage.

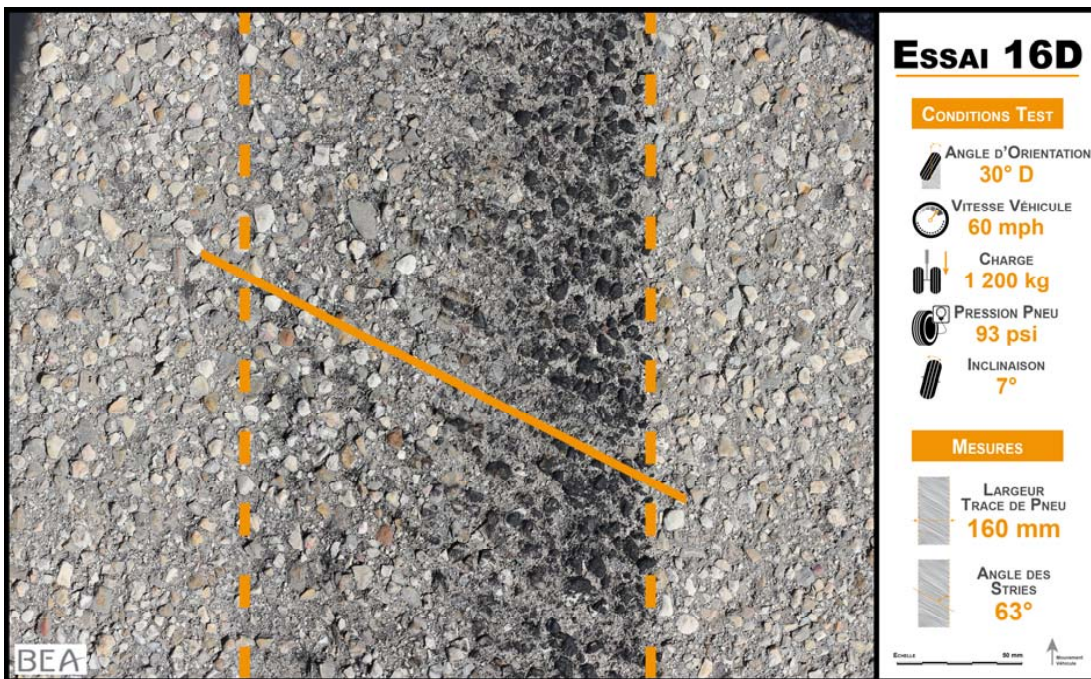
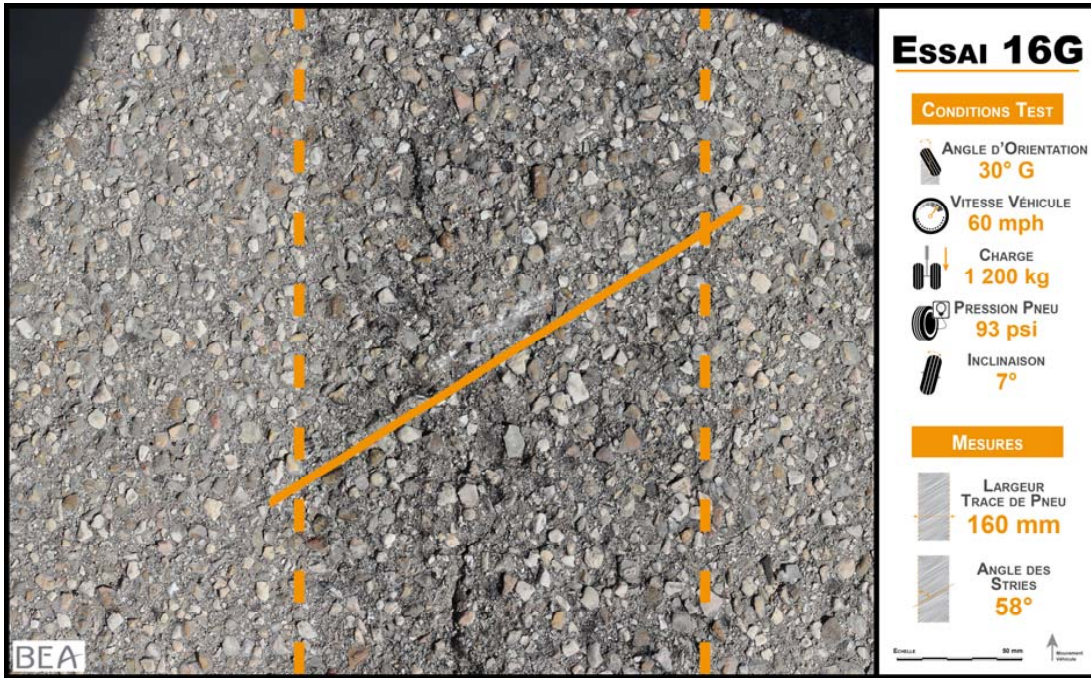
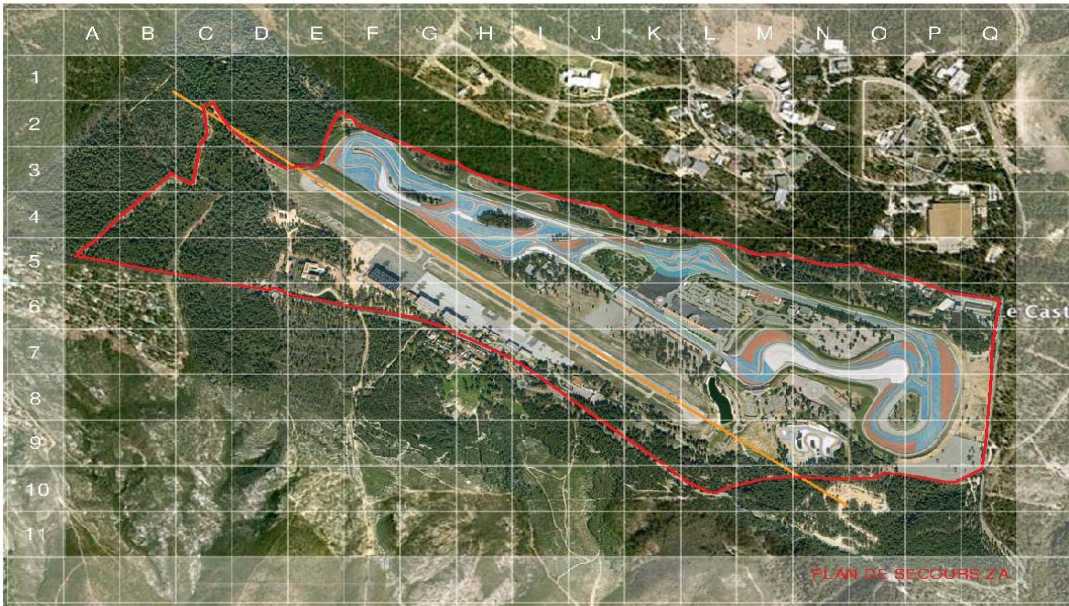


Figure 3 : photographies prises à l'issue d'un essai

annexe 6
Plan de la ZA du Castellet



Extrait du RCO du service SSLIA de l'aérodrome du Castellet

annexe 7

Maintenance and Operations Letter



MAINTENANCE AND OPERATIONS LETTER

December 14, 2004
GIV-MOL-04-0029

TO: All Gulfstream IV Operators

SUBJECT: Landing Gear (ATA 32) – Uncommanded Nose Wheel Steering Inputs Require Special Attention

A Gulfstream IV operator recently experienced a nose wheel steering control problem during landing. The cause of this event is currently under investigation.

There are several factors that can make nose wheel steering during landing very challenging; from environmental factors, such as runway conditions and the presence of crosswinds, to uncommanded nose wheel steering. Uncommanded nose wheel steering can go undetected, with no indication in the cockpit until the event has occurred. Vigilance is required on the part of the flight crew to prepare for an unlikely event of this nature.

Normal preparation for countermanding the potential of a nose wheel steering problem during landing requires the pilot to have the capability to apply both full rudder deflection and full brake pedal actuation. Typically flight crews land with their heels on the floor, actuating the rudder pedals for directional control and then slide their feet up the pedals to actuate the brake pedals. For crosswind landings, or potential steering failures, the habit of having your heels on the floor requires that crews assure that brake application is possible with simultaneous full rudder pedal deflection. Proper seat adjustment requires a position that allows for full rudder deflection with the feet located on the brake pedals, and free angular rotation of the ankle is available to command full braking. This usually requires there be a slight bend in the knee with full rudder pedal deflection.

In addition to proper seat positioning, the following steps will be added to the next available revision of the Airplane Flight Manual (AFM) to assist flight crews in the unlikely event an uncommanded steering input is encountered during landing:

Uncommanded Nose Wheel Steering

1. Use differential brakes and rudder for directional control.
2. Nose Wheel Steering Switch.....OFF

The information provided in this letter has been approved by Gulfstream Flight Operations. If you have questions or comments regarding this communication, please contact Gulfstream Customer Support at 800-810-GULF (4853) or 912-965-4178. A Flight Operations representative will be available to answer any questions you may have regarding this subject.

Sincerely,

Mark Burns
Vice President, Customer Support

annexe 8

Cartes d'approche de l'aérodrome du Castellet

AIP
FRANCE

AD2 LFMQ IAC 01
10 FEB 11

APPROCHE AUX INSTRUMENTS
Instrument approach
CAT A B C

LE CASTELLET

INA BORGOCALAN/DOLIV/AVN/MTG - L - MML

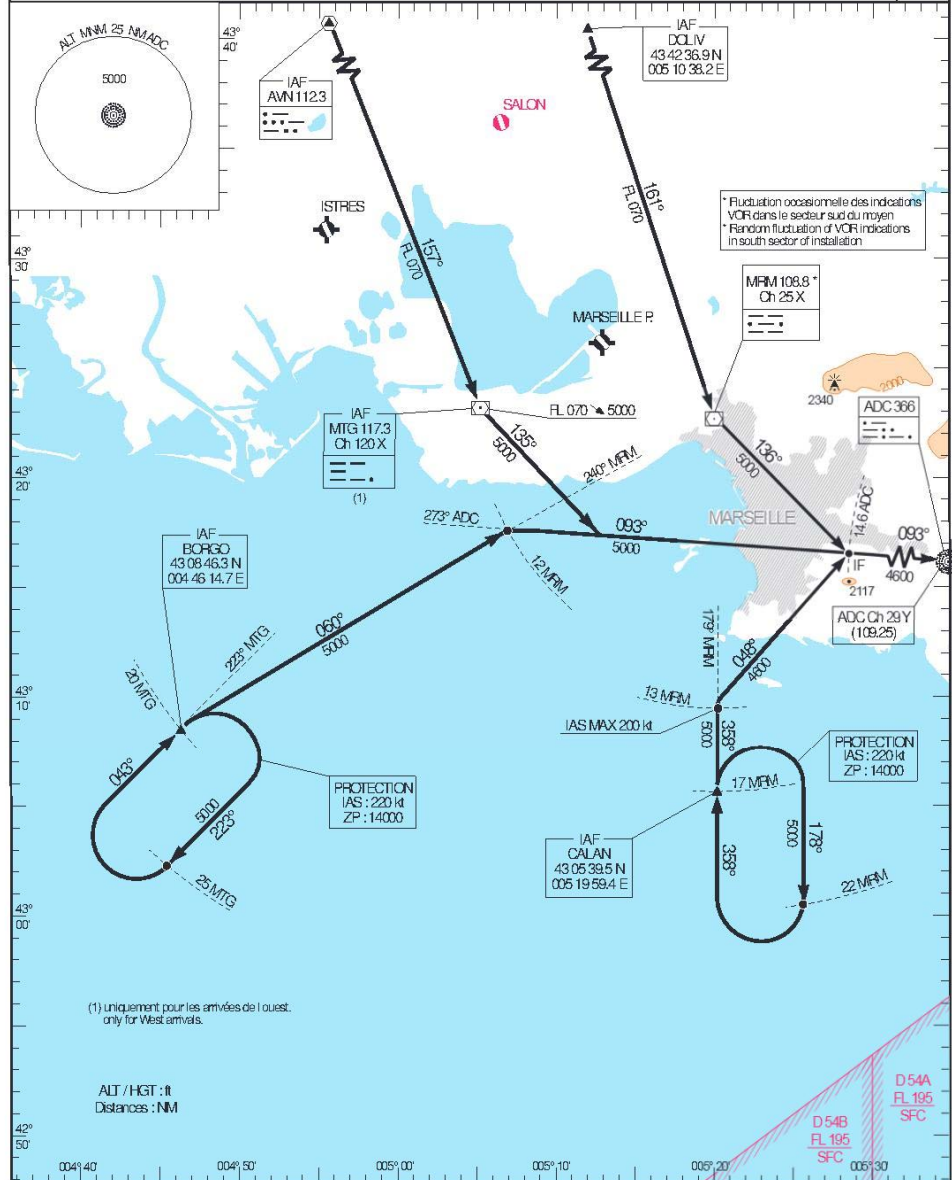
APP : PROVENCE Approche/Approach (1) 131.225 (2) 120.2 (3) 129.475 (s)
ARIS : LE CASTELLET Information 119.0

(1) Dans les limites de la TMA PROVENCE, des AWY G7 et G701 et de la CTA 2 TOULON au dessus de 4500 ft.
Within PROVENCE TMA, G7 and G701 AWY and TOULON CTA 2 limits above 4500 ft

Procédure interdite en dehors HORAIRIS.
Approach procedure forbidden without HORAIRIS.

(2) Secteur Nord/North sector
(3) Secteur Sud/South sector

VAR
1° E
(10)



SERVICE DE L'INFORMATION AERONAUTIQUE

IDENT

AMDT 02/11 CHG : VAR, orientations, IAF DOLIV, arrivée via DOLIV

© SIA

APPROCHE AUX INSTRUMENTS

LE CASTELLET

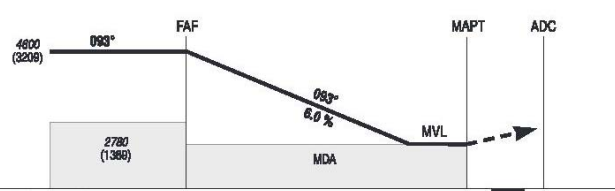
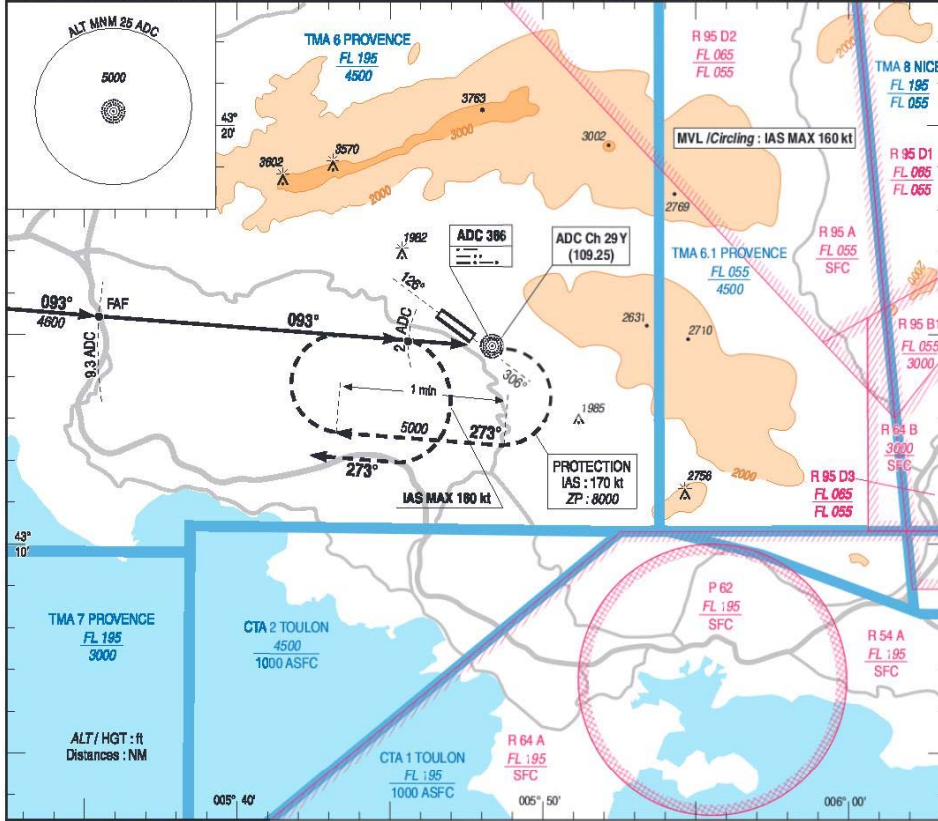
Instrument approach
CAT A B C
ALT AD : 1391 (50 hPa)

FNA BORGIO/CALAN/DOLIV/AVN/MTG - L - MVL

APP : PROVENCE Approche/Approach (1) 131.225 (2) 120.2 (3) 129.475 (s)
AFIS : LE CASTELLET Information 119.0
Procédure interdite en dehors HCR AFIS.
Approach procedure forbidden without AFIS.

(1) Dans les limites de la TMA PROVENCE, des AWY G7 et G701 et de la CTA 2 TOULON au dessus de 4500 ft.
Within PROVENCE TMA, G7 and G701 AWY and TOULON CTA 2 limits above 4500 ft.
CTA 2 limits above 4500 ft
(2) Secteur nord/North sector (3) Secteur sud/South sector

VAR
1° E
(10)



API : Au MAPT tourner à droite RM 273° (IAS MAX 160 kt) en montée. A 4600 (3209) tourner à droite vers ADC en montée vers 5000 (3609) pour intégrer l'attente ADC.

Missed APCH : At MAPT turn right MAG 273° (IAS MAX 160 kt) climbing. At 4600 (3209) turn right to ADC climbing to 5000 (3609) to enter holding pattern ADC.

→ ADC DME (NM) 9.3 2 0

MNM AD : distances verticales en pieds, VIS en mètres./Vertical distances in feet, VIS in meters. REF HGT : ALT AD

CAT	MVL / Circling HJ (1)		VIS
	MDA (ft)		
A	1500		1500
B	2700 (1300)		1600
C			2400

Observations /Remarks : (1) MVL interdites au Nord-Est de la piste. / (1) Circling prohibited NE of RWY.

APPROCHE AUX INSTRUMENTS

LE CASTELLET

Instrument approach
CAT A B C

ALT AD : 1391 (50 hPa)

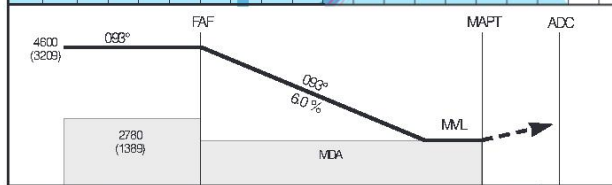
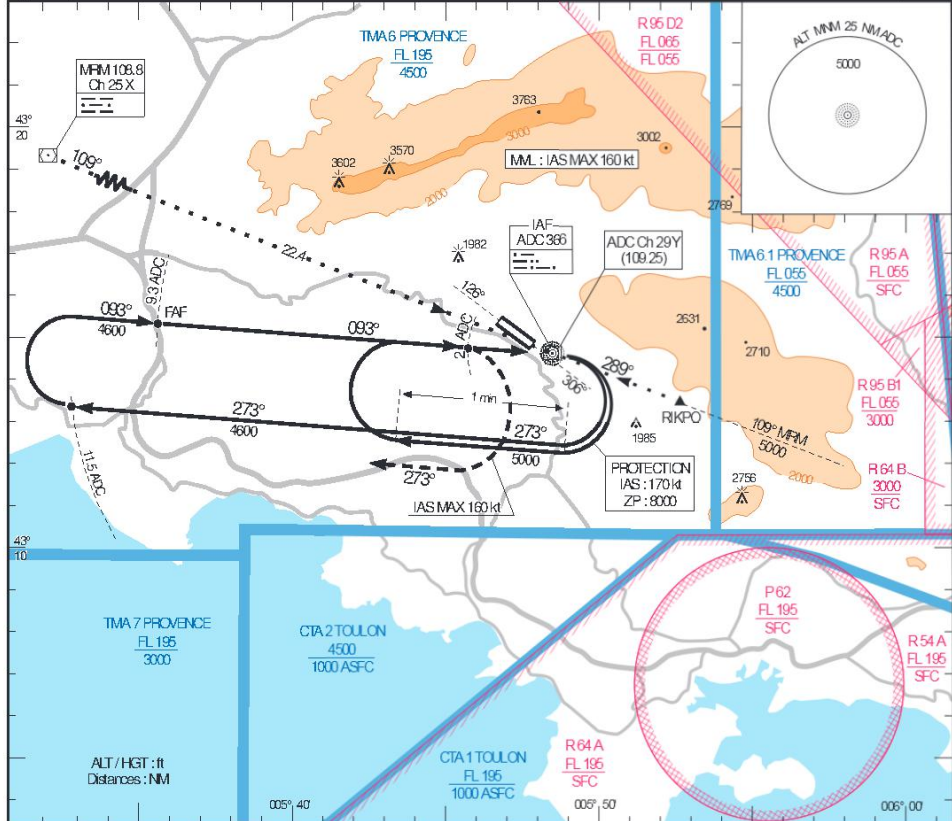
L - MML

APP : PROVENCE Approche/Approach (1) 131.225 (2) 120.2 (3) 129.475 (s)
AFIS : LE CASTELLET Information 119.0

(1) Dans les limites de la TMA PROVENCE, des AWY G7 et G701 et de la CTA 2 TOULON au dessus de 4500 ft.
Within PROVENCE TMA, G7 and G701 AWY and TOULON CTA 2 limits above 4500 ft.
(2) Secteur nord/North sector
(3) Secteur sud/South sector

VAR
1° E
(10)

Procédure interdite en dehors HDR AFIS.
Approach procedure forbidden without AFIS.



API : Au MAPT tourner à droite RM 273° (IAS MAX 160 kt) en montée. A 4600 (3209) tourner à droite vers ADC en montée vers 5000 (3609) pour intégrer l'attente ADC.
Missed APCH : At MAPT turn right MAG 273° (IAS MAX 160 kt) climbing. At 4600 (3209) turn right to ADC climbing to 5000 (3609) to enter holding pattern ADC.

→ ADC DME (NM) 9.3 2 0

MNMAAD : distances verticales en pieds, VIS en mètres / Vertical distances in feet, VIS in meters REF HGT : ALT AD

CAT	MML / Circling H (ft)	
	MDA (ft)	VIS
A	1500	
B	2700 (1300)	1600
C		2400

Observations / Remarks : (1) MML interdites au Nord-Est de la piste. / (1) Circling prohibited NE of RWY.



BEA

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile

10 rue de Paris
Zone Sud - Bâtiment 153
Aéroport du Bourget
93352 Le Bourget Cedex - France
T : +33 1 49 92 72 00 - F : +33 1 49 92 72 03
www.bea.aero