



RAPPORT D'ENQUÊTE

Incident grave survenu le 22 mai 2015
à Paris – Charles-de-Gaulle (95)
au Boeing 777-F
immatriculé **F-GUOC**
exploité par **Air France**

BEA

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

www.bea.aero



@BEA_Aero

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
SYNOPSIS	10
ORGANISATION DE L'ENQUETE	12
1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE	13
1.1 Déroulement du vol	13
1.2 Tués et blessés	14
1.3 Dommages à l'aéronef	15
1.4 Autres dommages	15
1.5 Renseignements sur le personnel	15
1.5.1 Équipage de conduite	15
1.6 Renseignements sur l'aéronef	16
1.6.1 Cellule	16
1.6.2 Procédure d'insertion de données sur Boeing 777 (Air France)	16
1.6.3 Outil de calcul des performances (OPT) et procédures associées	20
1.6.4 Vitesses de référence calculées par le FMS	21
1.6.5 Message V SPEEDS UNAVAILABLE affiché au CDU du FMS	22
1.6.6 Optimisation de la configuration des volets au décollage	24
1.6.7 Procédure TAIL STRIKE	26
1.7 Renseignements météorologiques	26
1.8 Aides à la navigation	26
1.9 Télécommunications	26
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	27
1.11 Enregistreurs de bord	27
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	30
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	30
1.14 Incendie	30
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	30
1.16 Essais et recherches	30
1.16.1 Simulations effectuées par Boeing	30
1.16.2 Séance de simulateur effectuée par le BEA	31
1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion	33
1.17.1 Prise en compte du risque par Air France	33
1.17.2 Surveillance des opérations aériennes	34
1.17.3 Prise en compte du sujet des erreurs d'insertion par les autorités de l'aviation civile	37

1.18 Renseignements supplémentaires	48
1.18.1 Témoignages	48
1.18.2 OFP, « carton décollage » et ECD utilisés pour la préparation du vol de l'événement	55
1.18.3 Paramètres au décollage calculés par l'OPT à partir de la masse correcte et de la masse erronée	57
1.18.4 Incidents similaires sur Boeing 777-300	57
1.18.5 Étude publiée par le BEA en 2008 et intitulée "Utilisation de paramètres erronés au décollage"	58
1.18.6 Autres études internationales	60
1.18.7 Système LINTOP de calcul de performance	61
1.18.8 Fonctionnalité EFB de comparaison de la masse sur Boeing 777	61
1.18.9 Systèmes TOS et TOM d'Airbus	62
1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces	62
2 - ANALYSE	63
2.1 Scénario	63
2.2 Analyse de l'événement	67
2.2.1 Performance des barrières opérationnelles dans l'événement	67
2.2.2 Mobilisation des ordres de grandeur	68
2.2.3 Compatibilité des procédures et interfaces avec l'environnement opérationnel	69
2.2.4 Vitesses de référence calculées par le FMS, message V SPEEDS UNAVAILABLE	71
2.2.5 Protection contre l'insertion de vitesses de décollage trop basses	73
2.2.6 Chronologie du décollage	73
2.2.7 Décision de poursuivre le vol	73
2.2.8 Conclusion sur l'événement	74
2.3 Gestion du risque par Air France	75
2.4 Prise en compte du risque par la DSAC	76
2.5 Gestion du risque par les autorités de l'aviation civile	77
3 - CONCLUSION	80
3.1 Faits établis par l'enquête	80
3.2 Causes et facteurs contributifs	81

4 - ACTIONS DE SÉCURITÉ ENTREPRISES ET RECOMMANDATIONS DE SECURITE	83
4.1 Actions de sécurité entreprises depuis l'incident grave	83
4.1.1 Actions prises par Air France	83
4.1.2 Actions prises par la DGAC	84
4.1.3 Actions prises par l'AESA	84
4.2 Recommandations de sécurité	91
4.2.1 Homogénéité des données de masses manipulées	91
4.2.2 Procédures opérationnelles	92
4.2.3 Poursuite du vol après la survenue d'un incident grave	92
4.2.4 Protections contre l'insertion de vitesses erronées sur Boeing 777	93
4.2.5 Gestion du risque par les autorités de l'aviation civile	93
ANNEXES	98

Glossaire

AESA	Agence Européenne de la Sécurité Aérienne
AFM	Aircraft Flight Manual (Manuel de vol)
AMC	Acceptable Means of Compliance (Moyens acceptables de mise en conformité)
AP	AutoPilot (Pilote automatique)
ARMS	Aviation Risk Management Solutions
ARO	Authority Requirement for Air Operations (Exigences applicables aux autorités en matière d'opérations aériennes)
ASDA	Acceleration Stop Distance Available (Longueur utilisable pour l'accélération arrêt)
ASR	Air Safety Report (Compte rendu de sécurité des vols)
ATSB	Australian Transport Safety Bureau (Organisme d'enquête de sécurité de l'Australie)
BST	Bureau de la Sécurité des Transports (Organisme d'enquête de sécurité du Canada)
CAP	Circulation Aérienne Publique
CAS	Calibrated Air Speed (Vitesse Conventionnelle)
CASIA	Civil Aviation Safety Investigation Authorities (Autorités d'enquête de sécurité de l'aviation civile)
CDB	Commandant de Bord
CDU	Control Display Unit (Tableaux de commande et d'affichage)
CRM	Crew Resource Management (Gestion des ressources de l'équipage)
CTA	Certificat de Transporteur Aérien
CVR	Cockpit Voice Recorder (Enregistreur phonique)
DAC	Directions de l'Aviation Civile
DCS	Direction du Contrôle de la Sécurité
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
DSAC	Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile
DSB	Dutch Safety Board (Organisme d'enquête des Pays-Bas)
DO	Direction des Opérations (Air France)
DOW	Dry Operating Weight (Masse à vide en ordre d'exploitation)
ECD	État de Charge Définitif

ECR	European Central Repository (Base de données européenne des événements de sécurité d'aviation civile)
EFB	Electronic Flight Bag (Système de documentation électronique)
EICAS	Engine Indication and Crew Alerting System (Système d'affichage des paramètres moteurs et des alarmes sur les deux écrans centraux du poste de pilotage)
EUROCAE	EUROpean Organisation for Civil Aviation Equipment (Organisation européenne pour l'équipement de l'aviation civile)
FAA	Federal Aviation Administration (Agence américaine en charge de l'aviation civile)
FCOM	Flight Crew Operations Manual (Manuel d'exploitation des équipages)
FCTM	Flight Crew Training Manual (Manuel de formation des équipages)
FDM	Flight Data Monitoring (Programme de collecte de données de vol)
FDR	Flight Data Recorder (Enregistreur de paramètres)
FL	Flight Level (Niveau de vol)
FMC	Flight Management Computer (Calculateur de gestion de vol)
FMS	Flight Management System (Système de gestion du vol)
FOB	Fuel On Board (Quantité de carburant embarqué)
FOI	Flight Operation Inspector (Inspecteur en vol)
FORDEC	Faits Options Risques Décision Exécution Contrôles
ft	Feet (Pieds)
GM	Guidance Material (Document d'orientation)
GPS	Global Positioning System (Système de positionnement par satellite)
GW / GR WT	Gross Weight (Masse brute totale au départ)
kt	Knot (Nœud)
LEF	Livret d'Entraînement et de Formation
LINTOP	Lido Integrated Takeoff Performance Tool (Système de calcul de performance au décollage de Lido)
LOSA	Line Operations Safety Audit (Audit de sécurité des opérations en ligne)
MCT	Manuel de Contrôle Technique
MEP	Mise en Place
MMS	Minimum Maneuvering Speed (Vitesse minimale de manœuvre)
MOPS	Minimum Operational Performance Standards (Spécifications de performances opérationnelles minimales)

MTOW	Maximum Take-Off Weight (Masse maximale au décollage)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Agence aéronautique et spatiale américaine)
NOTAM	Notice To AirMen (Avis aux navigants aériens)
NPA	Notice of Proposed Amendment (Avis de proposition de modification de règlement)
NTSB	National Transportation Safety Board (Organisme d'enquête de sécurité des USA)
OFP	Operational Flight Plan (Plan de vol exploitation)
OPL	Officier Pilote de Ligne
OPT	On-board Performance Tool (Outil de calcul des performances)
ORO	Organisation Requirement for Air Operators (Exigences applicables aux organismes pour les opérations aériennes)
OSV	Officier de Sécurité des Vols
OBWBS	On-Board Weight and Balance Systems (Systèmes de pesée autonomes)
PA	Pilote Automatique
PF	Pilot Flying (Pilote aux commandes)
PFD	Primary Flight Display (Écran de vol primaire)
PIA	Preliminary Impact Assessment (Analyse préliminaire d'impact)
PLD	PayLoad (Charge utile)
PLI	Pitch Limit Indicator (Indicateur de limite d'assiette)
PNS	Programme National de Sécurité
PNT	Personnel Navigant Technique
PM	Pilot Monitoring (Pilote non en fonction)
PPV	Préparation du Plan de Vol
QAR	Quick Access Recorder (Enregistreur de paramètres à déchargement rapide)
RMT	Rule Making Task (Tâche réglementaire)
QRH	Quick Reference Handbook
QT	Qualification de Type
SGS	Système de Gestion de la Sécurité
SIB	Safety Information Bulletin (Bulletin d'information de sécurité)
SRM	Safety Risk Management (Processus de gestion des risques de sécurité de l'AESA)

TAIC	Transport Accident Investigation Commission (Organisme d'enquête de sécurité de Nouvelle-Zélande)
TODA	Take-Off Distance Available (Distance utilisable au décollage)
TOGA	Take-Off Go-Around (Décollage / Remise des gaz)
TORA	Take-Off Runway Available (Longueur de roulement au décollage utilisable)
TOM	Take-Off Monitoring (Système de surveillance du décollage)
TOS	Take-Off Securing (Système de détection d'erreurs d'insertion au décollage)
TOW	Take-Off Weight (Masse au décollage)
TOPMS	Take-Off Performance Monitoring System (Système de surveillance des performances au décollage)
TRE	Type Rating Examiner (Examineur de qualification de type)
TSP	Tail Strike Protection (Protection contre le toucher de queue)
UTC	Coordinated Universal Time (Temps universel coordonné)
VR	Vitesse de Rotation
WG	Working Group (Groupe de travail)
ZFW	Zero Fuel Weight (Masse sans carburant)

Synopsis

Heure	À 10 h 25 ⁽¹⁾
Exploitant	Air France
Nature du vol	Vol cargo
Personnes à bord	CDB (PM) ; OPL (PF) ; Deux OPL de renfort
Conséquences et dommages	Aucun

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

Calcul des paramètres de décollage avec une masse erronée, décollage à faible vitesse, passage à faible hauteur du seuil opposé

Le décollage du Boeing 777-F s'effectue à faible vitesse et la protection *tailstrike* (TSP) de l'avion s'active. L'avion ne prend pas de hauteur. L'équipage applique alors la pleine poussée. L'avion survole le seuil opposé à une hauteur d'environ 170 ft et poursuit le décollage. Au cours de la montée, l'équipage s'interroge sur les causes de l'incident et s'aperçoit qu'il a commis une erreur de 100 tonnes dans la masse utilisée pour le calcul des performances au décollage. L'équipage poursuit le vol à destination sans autre incident.

L'enquête a montré le manque de robustesse des procédures de l'exploitant et l'hétérogénéité des données de masses manipulées. Ces éléments ont contribué à l'erreur de 100 tonnes et à l'inefficacité des contrôles des valeurs de masse utilisées, en particulier ils n'ont pas conduit l'équipage à utiliser des ordres de grandeur connus.

L'équipage n'a pas été averti par les systèmes de l'aéronef d'une différence manifeste de 100 tonnes entre la masse insérée pour le calcul des performances dans l'EFB et celle calculée par le FMS. L'équipage n'a pas été averti non plus de la perte de la protection contre l'insertion de vitesses trop basses. Un message FMS s'est affiché pour informer l'équipage que le FMS ne pouvait pas calculer les vitesses de référence, mais cela n'a pas permis à l'équipage de détecter des incohérences dans les données saisies.

Plusieurs études internationales et de nombreux rapports d'enquête ont étudié depuis plus de 15 ans la problématique des erreurs d'insertion de paramètres au décollage. Les conclusions de ces travaux convergent pour souligner les limites des barrières opérationnelles et pour promouvoir des solutions techniques telles que les systèmes de pesée autonomes (OBWBS), les systèmes de détection et d'alerte d'incohérence de données lors des insertions et les systèmes de surveillance de l'accélération au décollage (TOPMS).

Les principales autorités de l'aviation civile à travers le monde ont pris en considération différemment ces pistes d'amélioration. La FAA, l'AESA ou encore Transports Canada⁽²⁾ ont initié différents groupes de travail pour étudier les bénéfices, la faisabilité ou encore la possible standardisation de ces systèmes. Toutefois, jusqu'à la publication de ce rapport, les autorités de l'aviation civile n'ont pas réussi à influencer significativement sur la disponibilité des solutions techniques les plus performantes. Sur la base des bénéfices en termes de sécurité supposés atteignables à court terme, l'AESA par exemple, jusqu'à l'incident grave du F-GUOC puis encore par la suite, a agi en priorité sur le renforcement des barrières opérationnelles, ciblant ainsi les autorités compétentes, les exploitants et les organismes de formation. Il était attendu par l'AESA que ces actions soient complétées par les progrès techniques réalisés par l'industrie. Pour autant, l'AESA n'a pas encore achevé l'examen des nouveaux systèmes techniques effectivement développés par l'industrie et n'a donc pas été en mesure d'encourager leur déploiement, au moins sur les types d'avions les plus exposés.

C'est pourquoi, comme la plupart des avions utilisés pour le transport aérien commercial, le Boeing 777 immatriculé F-GUOC n'était pas, et n'est toujours pas, équipé de systèmes efficaces pour empêcher l'utilisation de paramètres erronés au décollage.

En conséquence le BEA a émis plusieurs recommandations de sécurité à l'attention d'Air France, de la DGAC, de Boeing et de l'AESA. Celles-ci concernent en particulier :

- ❑ les procédures d'insertion et les supports de données de masse associés ;
- ❑ les alertes et les protections liées à l'insertion de vitesses erronées sur Boeing 777 ;
- ❑ plus généralement, les systèmes techniques devant être développés et/ou déployés sur les types d'avions les plus exposés.

ORGANISATION DE L'ENQUETE

Le BEA a été notifié de l'incident le jour même et a déclenché une enquête de sécurité.

L'équipe d'enquête s'est entretenue avec l'équipage. Elle a travaillé avec Air France, la DSAC, le DSB, l'AESA, Boeing et le NTSB.

Le présent rapport contient 10 recommandations de sécurité.

1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

Note : les éléments suivants sont issus de données extraites de l'enregistreur de paramètres (QAR), des témoignages de l'équipage et de réunions de travail avec l'exploitant et le constructeur. L'enregistrement de l'incident sur le CVR était effacé en raison de la durée du vol supérieure à 2 heures.

Le Commandant de Bord (CDB) et trois Officiers Pilote de Ligne (OPL) préparent un vol cargo au départ de Paris - Charles-de-Gaulle à destination de Mexico. Pendant que les deux OPL de renfort s'occupent du tour avion et de la sécurité du chargement, le CDB (PM) et l'OPL (PF) effectuent la préparation du vol en poste.

L'OPL additionne de tête les différentes masses prévues et établit une masse au décollage (TOW) préliminaire de 243 t au lieu de 343 t. Il rentre cette valeur erronée dans son logiciel de calcul de performances (OPT)⁽³⁾. Le CDB majore la masse au décollage retenue pour le plan de vol d'exploitation (OFP) par l'augmentation de carburant décidée par l'équipage et aboutit à une masse correcte de 343 t. Le CDB rentre dans son OPT la même valeur erronée (243 t) de masse TOW que celle calculée par l'OPL. Le CDB et l'OPL effectuent ensuite une vérification croisée des paramètres de décollage calculés par leurs OPT respectifs et obtiennent les mêmes résultats.

L'équipage commence à renseigner le FMS avec les résultats de l'OPT obtenus à partir d'une masse TOW erronée de 100 t. L'OPL PF insère notamment le centrage, la température réduite de 37°, une configuration des volets de 5°, et la V1 de 143 kt calculée par l'OPT⁽⁴⁾. Le CDB s'étonne que les vitesses de décollage calculées soient inférieures d'environ 20 kt aux vitesses de référence calculées par le FMS.

L'équipage décide de suspendre les insertions tant que le remplissage carburant n'est pas terminé. Ils effectuent alors d'autres tâches.

Les OPL de renfort reviennent dans le cockpit. L'OPL PF effectue le briefing décollage et rappelle notamment « *on est lourd* ».

Le CDB reçoit l'état de charge définitif (ECD) et annonce la charge définitive à l'OPL PF. Celui-ci refait le calcul sur papier de la masse au décollage (TOW) à partir de la masse à vide, de la charge et du carburant définitif. Il effectue une erreur de retenue et trouve 241,5 t au lieu de 341,5 t. Il compare la nouvelle valeur calculée (241,5 t) à celle rentrée auparavant dans son OPT (243 t) et annonce « *c'est conforme* ».

Le CDB compare la masse au décollage (TOW) de l'ECD avec la masse totale au départ affichée au FMS (GR WT)⁽⁵⁾ et trouve qu'elles sont cohérentes. Cette dernière est correcte car elle est elle-même calculée à partir de la masse sans carburant (ZFW) - qui a été correctement insérée dans le FMS par l'équipage - et de la masse du carburant automatiquement calculée par l'aéronef.

Une fois le plein de carburant terminé, les deux membres d'équipage reprennent les insertions des vitesses. Cette fois-ci, les vitesses de référence ne sont plus affichées et l'équipage essaie de les faire apparaître sans succès en appuyant plusieurs fois sur REF SPDS ON/OFF. Aucun des membres d'équipage ne comprend pourquoi les vitesses de référence ont disparu.

Le CDB et l'OPL PF réinsèrent toutes les données dans le FMS en commençant par la ZFW. Les vitesses de référence calculées par le FMS n'apparaissent toujours pas.

⁽³⁾ L'OPT est une fonction de l'EFB sur Boeing 777.

⁽⁴⁾ Dans les conditions du jour et avec une TOW correcte de 343 t, l'OPT aurait donné comme résultats une configuration des volets de 15°, une température réduite de 58° et une vitesse V1 de 167 kt.

⁽⁵⁾ « Gross Weight » désigne la masse totale au départ, y compris le carburant avant roulage, elle a une valeur similaire à la TOW.

L'équipage insère finalement dans le FMS les vitesses de décollage calculées par les OPT (V1=143 kt, VR=152 kt et V2=156 kt) en vue du décollage. La configuration des volets est 5°. Cette configuration surprend l'un des OPL de renfort, il n'exprime pas ses doutes.

L'avion s'aligne en piste 26R à partir de la bretelle T12 et décolle à 10 h 25.

La rotation est initiée lorsque la vitesse conventionnelle (CAS) atteint 154 kt. Juste après la rotation, le PF et les trois autres membres d'équipage sentent que l'avion s'enfonce. Cinq secondes après que la rotation a débuté, la protection *tailstrike* s'active⁽⁶⁾ avec autorité maximale. Les roues sont toujours en contact avec le sol et l'assiette se stabilise à 9°, en dessous de l'assiette de toucher de queue. Dès le début de la rotation, le CDB porte son regard à l'extérieur.

Huit secondes après l'activation de la protection *tailstrike*, la pleine poussée est appliquée, en réponse à l'annonce « *TOGA!* » faite par un des pilotes de renfort. L'avion est alors à une hauteur de 16 ft, l'assiette est de 13°, la CAS de 189 kt. L'avion accélère franchement. Le CDB est préoccupé par la hauteur et la vitesse verticale. Il commande la rentrée du train lorsque la vitesse verticale est de +1500 ft/min environ. L'assiette augmente vers 16° et l'avion passe le seuil opposé 08L à une hauteur radiosonde de 172 ft.

L'autre pilote de renfort surveille la vitesse et aide le PF à maintenir la vitesse au-dessus de la MMS⁽⁷⁾ et l'assiette sous celle du PLI⁽⁸⁾.

Il n'y a pas de déclenchement d'alarme d'approche du décrochage (Stick Shaker) au cours du décollage et de la montée.

Par la suite, l'équipage évoque plusieurs hypothèses sur les causes de l'événement. L'erreur de 100 t dans la masse utilisée est découverte lorsque le PF reprend son OPT. Le PF est relevé vers le FL200.

Les membres d'équipage discutent de la possibilité d'un demi-tour mais ne la retiennent pas car ils se sentent aptes à poursuivre le vol.

À l'arrivée, l'atterrissage se passe normalement. Les membres d'équipage effectuent un tour avion et confirment l'absence de toucher de queue. Ils informent la compagnie de l'événement et sont relevés après le vol.

1.2 Tués et blessés

	Blessures		
	Mortelles	Graves	Légères/Aucune
Membres d'équipage	-	-	4
Passagers	-	-	-
Autres personnes	-	-	-

⁽⁶⁾ Les activations de la protection *tailstrike* ont été déterminées par Boeing à partir des données QAR de l'événement (cf. §1.16.1.2).

⁽⁷⁾ Minimum Maneuvering Speed (Vitesse minimale de manœuvre).

⁽⁸⁾ Pitch Limit Indicator (Indicateur de limite d'assiette)

1.3 Dommages à l'aéronef

Il n'y a aucun dégât à l'aéronef.

1.4 Autres dommages

Sans objet.

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Équipage de conduite

1.5.1.1 CDB

☐ Homme, 63 ans

- Licence de pilote de ligne avion ATPL(A).
- Qualification de type Boeing 777/787 valide jusqu'au 30 novembre 2015.
- Aptitude médicale de classe 1 valide jusqu'au 7 novembre 2015.

Expérience

- totale : 21 331 heures de vol, dont 13 511 en qualité de CDB ;
- sur type : 5 272 heures de vol, toutes en qualité de CDB ;
- dans les trois derniers mois : 146 heures de vol ;
- dans les sept derniers jours : 0 heure.

1.5.1.2 OPL

☐ Homme, 45 ans

- Licence de pilote de ligne avion ATPL(A).
- Qualification de type Boeing 777/787 valide jusqu'au 31 mars 2016.
- Aptitude médicale de classe 1 valide jusqu'au 31 mai 2016.

Expérience

- totale : 9 717 heures de vol, dont 235 en qualité de CDB ;
- sur type : 1 328 heures de vol, aucune en qualité de CDB ;
- dans les trois derniers mois : 153 heures de vol ;
- dans les sept derniers jours : 0 heure.

1.5.1.3 Premier OPL de renfort

☐ Homme, 51 ans

- Licence de pilote de ligne avion ATPL(A).
- Qualification de type Boeing 777/787 valide jusqu'au 29 février 2016.
- Aptitude médicale de classe 1 valide jusqu'au 31 janvier 2016.

Expérience

- totale : 11 662 heures de vol, dont 2 861 en qualité de CDB ;
- sur type: 2 156 heures de vol, aucune en qualité de CDB.

1.5.1.4 Second OPL de renfort

☐ Homme, 39 ans.

- Licence de pilote de ligne avion ATPL(A).
- Qualification de type Boeing 777/787 valide jusqu'au 30 novembre 2015.
- Aptitude médicale de classe 1 valide jusqu'au 31 janvier 2016.

Expérience

- totale : 6 208 heures de vol, dont 120 en qualité de CDB ;
- sur type: 3 940 heures de vol, dont 12 en qualité de CDB.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

1.6.1 Cellule

Constructeur	BOEING
Type	B777F28
Numéro de série	32966
Immatriculation	F-GUOC
Mise en service	07/02/2009
Certificat de navigabilité	N° 119343 du 25/02/2009 délivré par DGAC
Certificat d'examen de navigabilité	N° 2014/119343 valable jusqu'au 07/12/2015
Utilisation depuis visite grand entretien	3 463 heures de vol et 676 cycles
Utilisation au 22 mai 2015	28 850 heures de vol et 4 729 cycles

1.6.2 Procédure d'insertion de données sur Boeing 777 (Air France)

Dans le FCOM d'Air France en vigueur le jour de l'événement, les insertions de données sont définies dans les procédures suivantes :

- ☐ FCOM-NP-AP-EFB-Procedure - Captain and First Officer ;
- ☐ FCOM-NP-AP-CDU-Preflight Procedure - Captain and First Officer ;
- ☐ FCOM-NP-AP-Before Start Procedure.

Les éléments pertinents pour l'analyse de l'événement sont reproduits et décrits ci-dessous :

- ❑ 1) FCOM-NP-AP-EFB Procedure - Captain and First Officer
- Voici des extraits de la procédure :

EFB Procedure - Captain and First Officer

To ensure EFB compliance with departure and arrival airport, the FMS route entries should be done prior to start the EFB procedure. Once the route is activated and executed, the EFB procedure may be started anytime during the preliminary preflight procedure.

[...]

Performance General

Each pilot enters separately coherent data in the EFB. At the most opportune moment, the entered data are compared and confirmed when both sides agree.

Once calculation is over for takeoff, reference speeds and data are compared and verified (at least Runway, TORA, Flaps, ATM, V2 and ZAC).

Once calculation is over for landing, Limit Weight or Landing Distance and Vref are compared.

[...]

Takeoff Performance Procedure

SHOW TAKEOFF Push if needed

PERFORMANCE - TAKEOFF Page:

[...]

Enter Takeoff Weight.

Note: Use W/B data from preliminary loadsheet. If the final weight is greater than the initial value or is lower of more than 5t, a new calculation is mandatory.

CALC Push

La procédure est exécutée par le CDB et l'OPL. Elle peut être débutée à n'importe quel moment pendant la « *Preliminary Preflight Procedure* ». Les routes doivent cependant être insérées dans le FMS en amont, ce qui est effectué pendant la « *CDU Preflight Procedure* ».

La procédure précise que chaque pilote insère les données de façon indépendante, les données insérées sont comparées puis les résultats des calculs sont comparés.

Il est demandé d'utiliser les données de masse (W/B) de l'état de charge préliminaire (le plan de vol dans ce cas) et il est indiqué qu'il est obligatoire de refaire les calculs de performance si la masse finale de l'ECD est supérieure à la masse préliminaire ou inférieure de plus de cinq tonnes.

❑ 2) FCOM NP-AP-CDU Preflight Procedure - Captain and First Officer

Voici des extraits de la procédure :

Normal Procedures -
Amplified Procedures

AIRFRANCE
777 Flight Crew Operations Manual

CDU Preflight Procedure - Captain and First Officer

Start the CDU Preflight Procedure anytime after the Preliminary Preflight Procedure. The Initial Data and Navigation Data entries must be complete before the flight instrument check during the Preflight Procedure. The Performance Data entries must be complete before the Before Start Checklist.

The Captain or First Officer may make CDU entries. The other pilot must verify the entries.

Enter data in all the boxed items on the following CDU pages.

Enter data in the dashed items or modify small font items that are listed in this procedure. Enter or modify other items at pilot's discretion.

Failure to enter enroute winds can result in flight plan time and fuel burn errors.

Initial Data Set

[...]

Navigation Data Set

RTE page:

Enter the route.

Method 1: route and winds uplink

[...]

Performance Data Set/Update

PERF INIT page:

Enter the ZFW.

Verify that the FUEL on the CDU, the dispatch papers, and EICAS agree.

Verify that the fuel is sufficient for flight.

Verify that the GR WT on the CDU and the dispatch papers agree.

THRUST LIM page:

Select an assumed temperature as needed.

La « *CDU Preflight Procedure* » débute après la « *Preliminary Preflight Procedure* ».

Elle est exécutée par le CDB et l'OPL, l'un fait les insertions, l'autre les vérifie⁽⁹⁾.

L'équipage insère la ZFW dans le FMS, vérifie la quantité de carburant (FOB) puis compare la GR WT du FMS avec celui des *Dispatch papers*. Sans que cela soit explicite, il s'agit d'une première saisie de la ZFW préliminaire par l'OFP.

❑ 3) FCOM-NP-AP-Before Start Procedure

Voici un extrait de la procédure :

Normal Procedures -
Amplified Procedures

AIRFRANCE
777 Flight Crew Operations Manual

Before Start Procedure

Start the Before Start Procedure after papers are on board.

Final loadsheet (ECD) Verified, Signed C, F/O
The Captain signs the final loadsheet.

Do the CDU Preflight Procedure – Performance Data steps: ZFW, CG.

Update, if necessary, EFB/PERFORMANCE/TAKEOFF parameters with final TOW and CG.

The Captain reads the takeoff parameters from the OPT:

- Flaps
- RWY/INTX
- TORA
- Reduced thrust temp
- N1
- TO Weight
- V1, VR and V2

The First Officer enters the takeoff parameters in the FMS: Flaps, Thrust and V Speeds.

The Captain checks the FMS takeoff parameters.

La « *Before Start Procedure* » ne commence qu'une fois l'état de charge définitif à bord.

L'état de charge définitif (ECD) est vérifié par les deux membres d'équipage. Au sein d'Air France, l'ECD est parfois gardé par le CDB. Dans ce cas, il annonce la charge à l'OPL qui recalcule la ZFW puis l'insère dans le FMS. Cette pratique est encore enseignée et décrite dans le Livret d'Entraînement et de Formation (LEF) de la manière suivante :

Le CDB annonce la charge.

Le F/O⁽¹⁰⁾ après calcul sur l'OFP confirme la valeur du ZFW qu'il insère en page PERF INIT en contrôle mutuel.

Le CDB annonce ensuite la valeur du MACTOW, le F/O l'insère en page PERF INIT et insère la valeur arrondie à l'entier inférieur en page TAKEOFF REF.

Après validation des paramètres de décollage, le F/O insère les vitesses V1, VR, V2 en page TAKEOFF REF sous la dictée du CDB, dictée qui rappelle également en lever de doute la masse, le braquage volets, la température fictive et le N1 (cf. FCOM NP > - Amplified procedures > - Before Start Procedure).

Dans la procédure « *Before Start Procedure* », il est demandé d'effectuer les étapes liées aux données de performance (ZFW et CG)⁽¹¹⁾ de la « *CDU Preflight Procedure* ». Ceci semble suggérer une saisie de la ZFW en deux temps, dans un premier temps à partir de l'OFP et dans un deuxième temps à partir de l'état de charge définitif mais sans que cela ne soit clairement écrit.

⁽⁹⁾En préambule, dans la partie **FCOM NP Control Display Unit (CDU) Procedures**, il est indiqué :
Before taxi, the Captain or First Officer may make CDU entries. The other pilot must verify the entries. Make CDU entries before taxi or when stopped, when possible. If CDU entries must be made during taxi, the PM makes the entries. The PF must verify the entries before they are executed.

⁽¹⁰⁾First Officer (OPL).

⁽¹¹⁾Centre de gravité.

Ensuite, le CDB lit les données sur son OPT et l'OPL insère dans le FMS la configuration des volets, la poussée et les vitesses de décollage. Le CDB vérifie les paramètres de décollage du FMS.

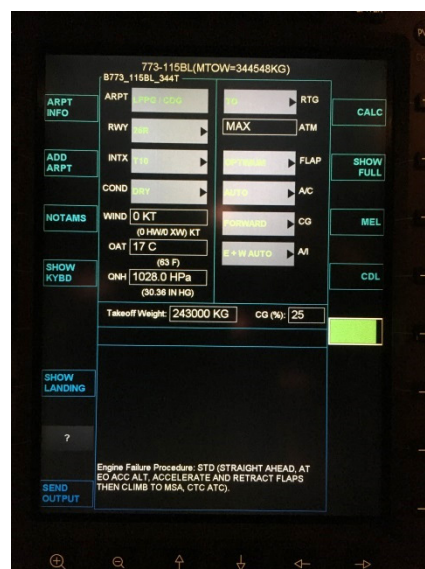
1.6.3 Outil de calcul des performances (OPT) et procédures associées

Air France a choisi d'équiper ses Boeing 777 de l'OPT proposé en option par Boeing.



Vue générale d'un cockpit de Boeing 777 avec les deux OPTs

Le constructeur fournit le manuel de paramétrage et l'exploitant doit configurer l'interface.



Exemple de paramétrage de l'OPT Air France

■ Procédure EFB/OPT du Boeing 777

Le constructeur Boeing ne fournit pas de procédure. Chez Air France, c'est l'administrateur OPT qui est en charge de cette procédure. Elle avait été créée dans l'ancien manuel d'exploitation de la compagnie, partie B (TU)⁽¹²⁾. Lors du passage au FCOM constructeur (cf. §1.17.2.3), elle a été reprise sans modification.

(12) Techniques d'utilisation.

À l'époque du TU, il n'était pas conduit d'études de sécurité et la réglementation alors en vigueur ne l'exigeait pas. Il n'y a pas eu non plus d'études de sécurité lors du passage au FCOM constructeur.

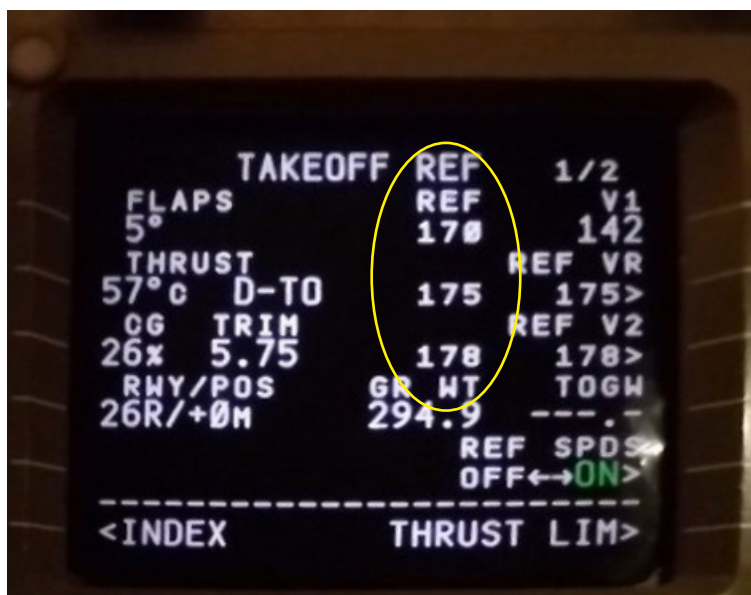
■ Procédures "Preliminary Preflight Procedure" et "Before Start Procedure"

Ces procédures avaient été adaptées par Air France afin de prendre en compte l'utilisation de l'ECD et de l'OPT.

1.6.4 Vitesses de référence calculées par le FMS

Sur le Boeing 777, le FMS n'a pas accès aux données calculées par l'OPT, notamment les vitesses optimisées. Le FMS calcule lui-même des vitesses de référence de décollage (V1, VR, V2) à partir de paramètres tels que la masse de l'avion, la température, la configuration de la poussée de décollage et la configuration des volets. Ces paramètres d'entrée sont soit mesurés par les systèmes (exemple : masse carburant) soit saisis par l'équipage dans le FMS (exemple : ZFW).

Comme décrit dans le FCOM d'Air France, lorsque toutes les données nécessaires ont été saisies, les vitesses de référence sont affichées en page TAKE OFF REF.



Exemple de vitesses de référence affichées sur le CDU du FMS

Les vitesses de référence sont affichées dans la colonne de droite avec les inscriptions REF V1, REF VR, REF V2. Lorsque l'équipage insère les vitesses de décollage, il vient remplacer les vitesses de référence et les inscriptions REF V1, REF VR et REF V2 deviennent respectivement V1, VR et V2.

Un bouton REF SPDS (ON/OFF) permet d'afficher, en position ON, les vitesses de référence dans la colonne centrale, ce qui permet de visualiser à la fois les vitesses de référence et les vitesses insérées pour les comparer.

D'après Boeing :

- ❑ certains exploitants utilisent ces vitesses de référence pour comparaison avec les vitesses calculées par le *Dispatch* au moment de la préparation du vol ;
- ❑ la plupart des exploitants n'utilisent pas les vitesses de référence ;
- ❑ certains exploitants ont des aéronefs qui n'affichent pas les vitesses de référence.

Boeing ne donne pas de seuil de tolérance à respecter lorsque l'équipage effectue la comparaison entre les vitesses de référence et les vitesses insérées. Boeing ne décrit pas non plus les actions à réaliser par l'équipage en cas de différence constatée. Air France ne donne pas non plus de consignes particulières à ses équipages.

Dans certains cas, le FMS peut calculer des vitesses de référence alors que l'OPT ne peut pas calculer de vitesses optimisées. C'est le cas par exemple si la longueur de piste disponible est limitative car le FMS ne prend pas en compte la longueur de piste. Inversement, il existe des cas où l'OPT peut calculer des vitesses de décollage optimisées pouvant être utilisées alors que le FMS ne peut pas calculer de vitesses de référence.

Lorsque certaines données (ZFW, configuration des volets, température, etc.) sont modifiées par l'utilisateur, le message TAKE OFF SPEEDS DELETED s'affiche sur le tableau de commande et d'affichage (CDU) du FMS. Les vitesses de référence et les vitesses de décollage qui étaient affichées sont supprimées et le FMS effectue un nouveau calcul des vitesses de référence.

Le message TAKE OFF SPEEDS DELETED peut être effacé par l'équipage et n'apparaît plus à moins que l'équipage ne refasse une saisie qui déclenche à nouveau le message.

1.6.5 Message V SPEEDS UNAVAILABLE affiché au CDU du FMS

Présentation générale

Si le FMS ne peut pas calculer les vitesses de référence, le message V SPEEDS UNAVAILABLE s'affiche en bas du CDU. Il s'affiche en blanc comme tous les messages affichés au CDU⁽¹³⁾.



Message V SPEEDS UNAVAILABLE

Le message V SPEEDS UNAVAILABLE fait partie des messages de la catégorie « *entry-error advisory messages* ». Il est associé au message ambre « *FMC message* » affiché à l'EICAS, de niveau d'alerte « *Advisory* »⁽¹⁴⁾. Aucune alarme audio n'est générée.

⁽¹³⁾ Il existe quatre catégories de messages FMC : « *alerting messages* », « *communication messages* », « *advisory messages* » et « *entry-error advisory messages* ».

⁽¹⁴⁾ Il existe trois niveaux d'alerte pour les messages affichés à l'EICAS : « *Memo* », « *Advisory* » et « *Caution* ». Certains messages de type « *Caution* » sont associés à une alarme audio « *Beeper* ».

Le message V SPEEDS UNAVAILABLE peut être effacé par l'équipage et n'apparaît plus à moins que l'équipage ne refasse une saisie qui déclenche à nouveau le message.

Expérience de l'exploitant

Air France précise :

- ☐ qu'en opération, il y a peu de messages qui apparaissent au CDU lors de la préparation du vol en poste ;
- ☐ qu'au simulateur, il est plus courant de voir des messages de ce type. Ceci est dû à un biais d'utilisation du simulateur (réinitialisation du simulateur par exemple) ;
- ☐ qu'avant l'incident, le message V SPEEDS UNAVAILABLE n'était pas vu en formation par les équipages.

Conditions d'apparition du message

D'après Boeing, les six conditions possibles de déclenchement du message V SPEEDS UNAVAILABLE sont les suivantes :

- ☐ 1. les vitesses minimales de contrôle au sol (VMCG) ou en vol (VMCA) ne peuvent pas être respectées (rapport poussée sur masse élevé) ;
- ☐ 2. la vitesse de décollage (VLOF) prévue excède la vitesse limite des pneus ;
- ☐ 3. la vitesse équivalente V1 prévue excède la vitesse limite d'énergie des freins (VMBE) ;
- ☐ 4. la pente minimale de montée requise ne peut pas être atteinte (ratio minimum V2/VR) ;
- ☐ 5. la longueur de piste équivalente calculée excède la limite de 16 000 ft de la base de données ;
- ☐ 6. l'altitude pression au décollage et/ou la température extérieure (OAT) excèdent les limites de la base de données.

Boeing a indiqué au BEA que la condition n° 4 avait probablement déclenché le message lors de l'événement.

Documentation du FCOM

Le FCOM mentionne uniquement une des six conditions d'apparition du message V SPEEDS UNAVAILABLE :

- ☐ *"for certain high thrust/low gross weight takeoff conditions, FMS V-speeds are not calculated. Adjust gross weight and/or takeoff thrust limit to enable V-speed calculations".*

Pour ce cas seulement, le FCOM donne plus de détails et notamment que le décollage n'est pas autorisé :

- ☐ *"The FMS will protect for minimum control speeds by increasing V1, VR and V2 as required. However, the FMS will not compute takeoff speeds for weights where the required speed increase exceeds the maximum certified speed increase. This typically occurs at full rated thrust and light weights. In this case, the message "V SPEEDS UNAVAILABLE" will appear on the FMS scratchpad and the takeoff speed entries will be blank. Takeoff is not permitted in this condition as certified limits have been exceeded. The options are to select a smaller flap setting, select derate thrust and/or add weight (fuel). Selecting derate thrust is the preferred method as this will reduce the minimum control speeds. Note that the assumed temperature method may not help this condition as the minimum control speeds are determined at the actual temperature and therefore not reduced".*

Conduite à tenir en cas d'apparition du message

Boeing indique qu'il existe des situations pas forcément inusuelles pour lesquelles le message V SPEEDS UNAVAILABLE apparaît alors que les vitesses optimisées calculées par l'OPT peuvent être utilisées pour effectuer le décollage (par exemple lorsque les calculs du FMS prévoient des vitesses qui excèdent la vitesse maximale des pneus). Dans ces cas, le message V SPEEDS UNAVAILABLE apparaît, et l'équipage peut saisir dans le FMS les vitesses optimisées calculées par l'OPT pour effectuer le décollage.

Suite à l'incident, le BEA a demandé à Boeing quelle était la conduite à tenir par les équipages en cas d'apparition du message V SPEEDS UNAVAILABLE pour déterminer si le décollage était possible. Boeing a répondu au BEA que chaque exploitant pouvait avoir des méthodes et procédures différentes.

Perte de la protection contre l'insertion de vitesses minimales calculées par le FMS

En situation normale, lorsqu'une vitesse V1, VR, ou V2 inférieure à la vitesse minimale calculée par le FMS est insérée, le titre de la ligne correspondante est modifié en MINV1, MINVR ou MINV2, et la valeur minimale s'affiche en lieu et place de la vitesse.

Cette protection n'est plus disponible lorsque le FMS ne peut pas calculer les vitesses de référence (message V SPEEDS UNAVAILABLE). L'équipage n'est pas averti de la perte de cette protection. Dans ce cas, l'équipage peut insérer toutes valeurs de vitesses V1, VR ou V2 supérieures à 80 kt.

Messages similaires sur d'autres avions Boeing

Sur Boeing 737, le FCOM générique précise à propos du message V SPEEDS UNAVAILABLE : « *FMS cannot compute V speeds (as installed) due to unreasonable inputs on the RTE, PERF INIT, or TAKEOFF REF pages FMS* » et « *Correct inputs that affect V speed computation* ».

Sur Boeing 787, il existe un message MIN V SPEEDS UNAVAILABLE. Lorsque celui-ci s'affiche, une fenêtre d'aide affiche « *UNABLE TO COMPUTE TAKEOFF SPEEDS FOR CURRENT CONDITIONS* ». C'est l'EFB intégré qui est utilisé pour le calcul des vitesses de décollage. Le FMS ne calcule pas de vitesses de référence. Le FCOM indique que la condition de déclenchement est la suivante : « *The EFB cannot compute takeoff speeds for the current high thrust/low gross weight condition. Adjust gross weight and/or thrust limit to enable calculation of takeoff speeds* ». Dans le FCOM KLM du 787, il est indiqué que lorsque ce message apparaît, le décollage n'est pas permis car les limites de certification ont été dépassées.

1.6.6 Optimisation de la configuration des volets au décollage

Le déploiement de l'OPT chez Air France a débuté en 2007. Les Boeing 777-F (cargo) ont été concernés à partir de début 2009.

Le passage à l'optimisation de la configuration des volets (appelée volets OPTI) a eu lieu en juin 2014.

Avant l'optimisation des performances, le braquage préférentiel était volets 5° sur 777-200 et volets 15° sur les 777-300 et 777-F (cargo).

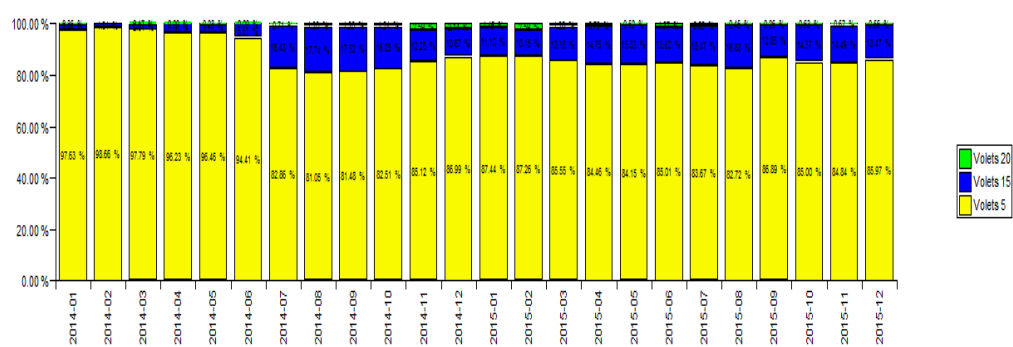
La réduction de braquage a un effet bénéfique sur les performances pour les avions à masse faible et/ou pour les pistes longues : lors du passage à l’optimisation, on note une nette augmentation des taux d’utilisation du braquage des volets à 5° au lieu de 15° pour les avions 777-F (cargo).

Air France a conduit une étude de sécurité qui donnait une projection des statistiques du réseau avec optimisation de la configuration des volets au décollage. Voici un extrait des résultats de cette étude réalisée par Air France :

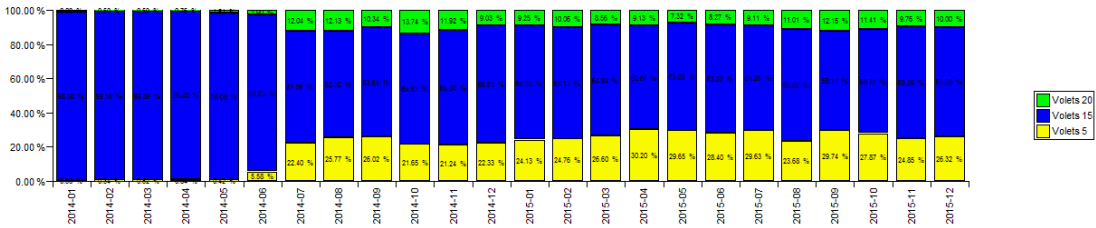
Type avion	Taux Volets 5°	Taux Volets 15°	Taux Volets 20°
Boeing 777-200	94,9 %	4,9 %	0,3 %
Boeing 777-300	27,8 %	63,4 %	8,8 %
Boeing 777-F (cargo)	91,6 %	8,4 %	0,0 %

Ces chiffres sont relativement cohérents avec le suivi réalisé ci-dessous :

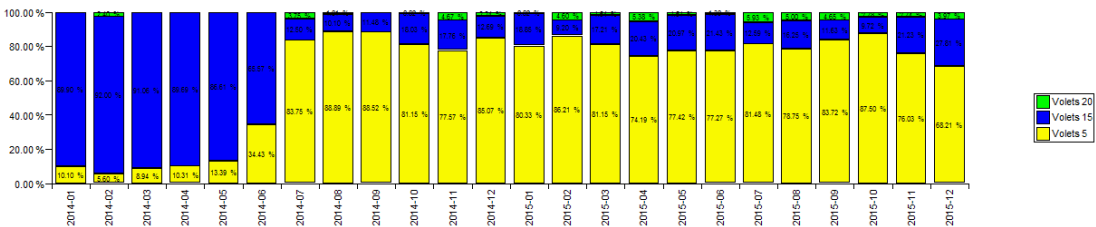
Boeing 777-200



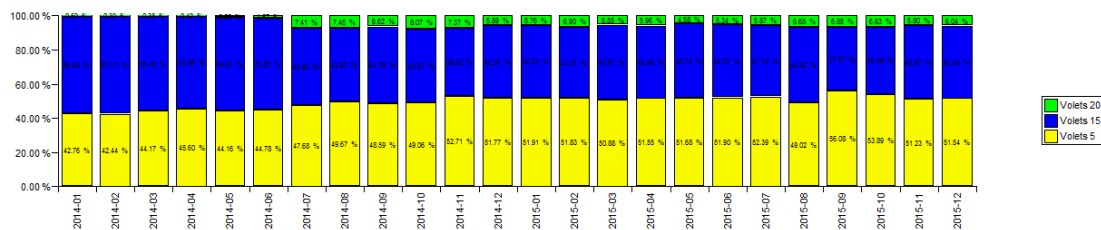
Boeing 777-300



Boeing 777-F



Global Boeing 777



Le calcul des performances sur l'OPT était déjà en vigueur lorsque la philosophie d'optimisation de la configuration des volets au décollage a été mise en place.

1.6.7 Procédure TAIL STRIKE

La procédure TAIL STRIKE du QRH d'Air France est la suivante :

[] TAIL STRIKE

Condition: The tail hits the runway.

**Caution! Do not pressurize the airplane.
Pressurizing the airplane may cause further structural damage.**

- 1 OUTFLOW VALVE switches (both)MAN
- 2 OUTFLOW VALVE MANUAL switches (both)Hold in OPEN until the outflow valve indications show fully open to depressurize the airplane
- 3 Plan to land at the nearest suitable airport.
- 4 Do **not** accomplish the following checklist:
CABIN ALTITUDE AUTO
■ ■ ■ ■

Les critères d'entrée dans cette procédure sont une suspicion de *tailstrike* ou un *tailstrike* avéré.

1.7 Renseignements météorologiques

Le METAR de 10 h 30 à LFPG indique les conditions suivantes :

☐ LFPG 221030Z VRB04KT 9999 SCT034 17/07 Q1027 NOSIG=

1.8 Aides à la navigation

Sans objet.

1.9 Télécommunications

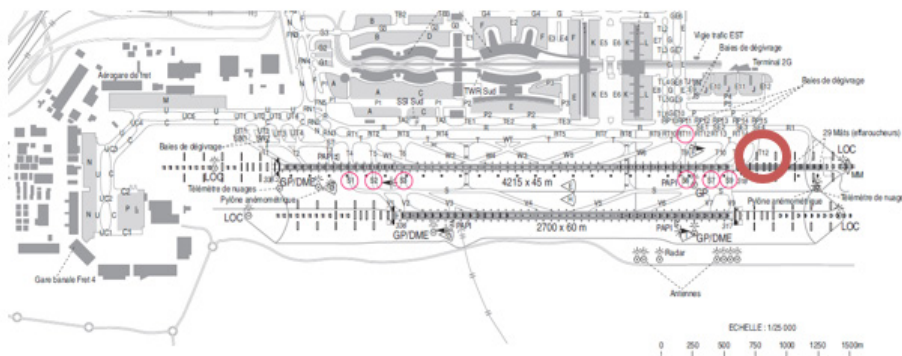
Sans objet.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

L'aéroport de Paris - Charles-de-Gaulle est ouvert à la CAP. Il comporte quatre pistes.

Le F-GUOC a décollé en piste 26R à partir du taxiway T12.

Les distances TORA et ASDA à partir de T12 sont de 3 735 m. La TODA est de 3 795 m.

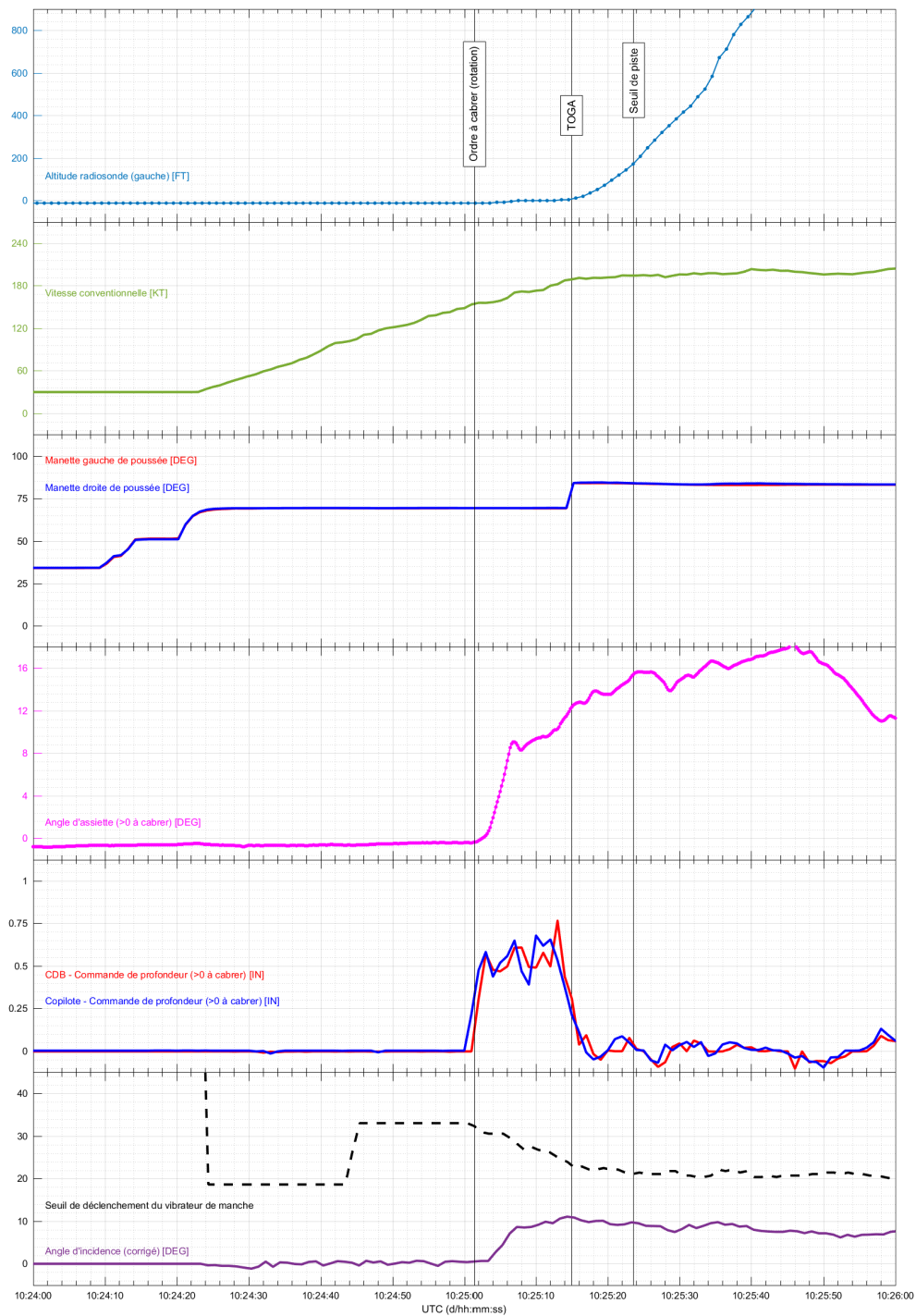


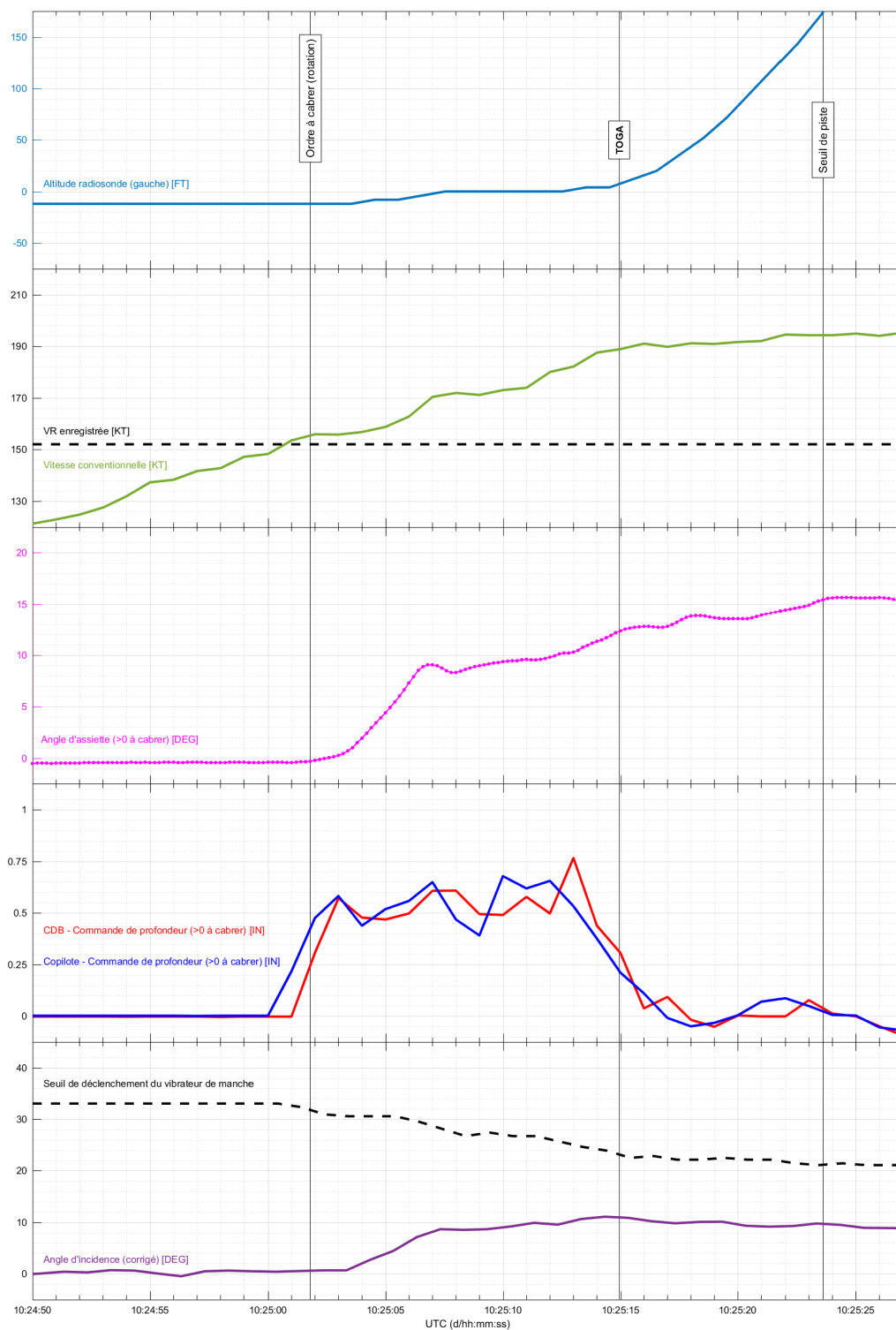
1.11 Enregistreurs de bord

L'avion était équipé d'un FDR et d'un CVR conformément à la réglementation en vigueur. L'avion était également équipé d'un QAR.

La capacité d'enregistrement de deux heures du CVR n'a pas permis de récupérer les données audio de l'événement.

L'exploitation des paramètres s'est faite à partir du QAR. Les paramètres extraits sont présentés ci-après.





1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

Sans objet.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Sans objet.

1.14 Incendie

Sans objet.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

Sans objet.

1.16 Essais et recherches

1.16.1 Simulations effectuées par Boeing

1.16.1.1 Vitesses de décollage, vitesses de référence

Boeing a confirmé que les vitesses de décollage utilisées par l'équipage correspondaient aux vitesses calculées avec les conditions du jour pour la masse erronée saisie par l'équipage dans l'EFB.

Par ailleurs, Boeing a déterminé qu'à partir d'une masse calculée par le FMS (ZFW + Masse carburant) de 330 t, d'une configuration volets 5 et dans les conditions du jour :

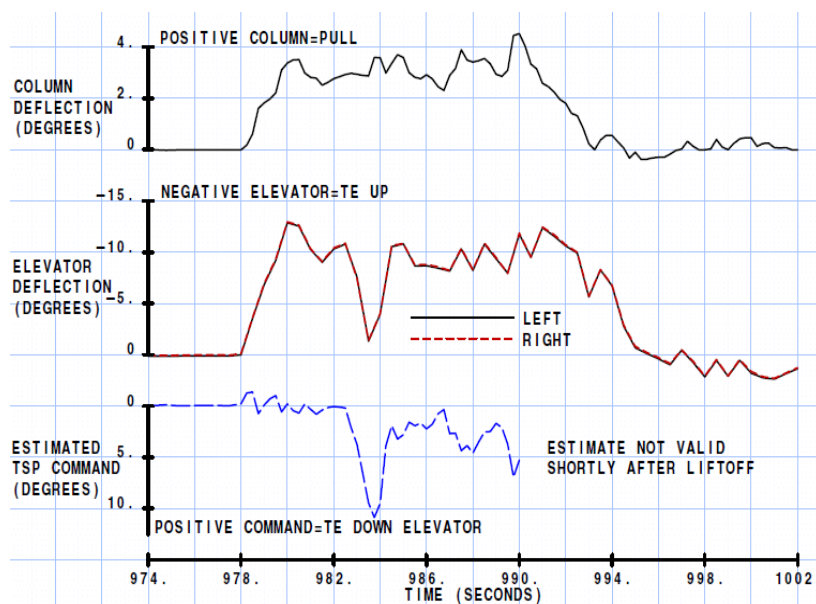
- ☐ le FMS n'est plus en mesure de calculer des vitesses de référence ;
- ☐ le message V SPEEDS UNAVAILABLE est généré.

1.16.1.2 Protection tailstrike TSP

La protection *tailstrike* (TSP) agit automatiquement sur les gouvernes de profondeur pour éviter un toucher de queue dans les phases de décollage ou d'atterrissage. L'ordre de la TSP et l'ordre donné par l'équipage sont additionnés pour constituer l'ordre global de la commande. L'ordre TSP est limité à 10°, ce qui permet à l'équipage de contrer si nécessaire la protection par un ordre à cabrer. L'ordre TSP est déterminé par un taux excessif de rapprochement de la queue vers le sol et par la hauteur de la queue par rapport à la piste, calculés à partir de la hauteur radiosonde, de l'assiette, du taux d'assiette et de la vitesse verticale de l'avion.

Les données des enregistreurs de vol ne contiennent pas l'information d'activation de la TSP.

Toutefois, Boeing a pu estimer l'activation de cette protection en comparant les ordres équipage sur la commande de profondeur et la position des gouvernes de profondeur. Ce calcul est possible seulement pendant la phase sol et pendant la rotation. Il est alors possible de lier directement la commande de profondeur et la position des gouvernes. La différence entre la position attendue et la position réelle enregistrée est attribuée à l'activation de la TSP. Cette différence en degrés est le niveau d'activation de la protection (de 0 à 10).



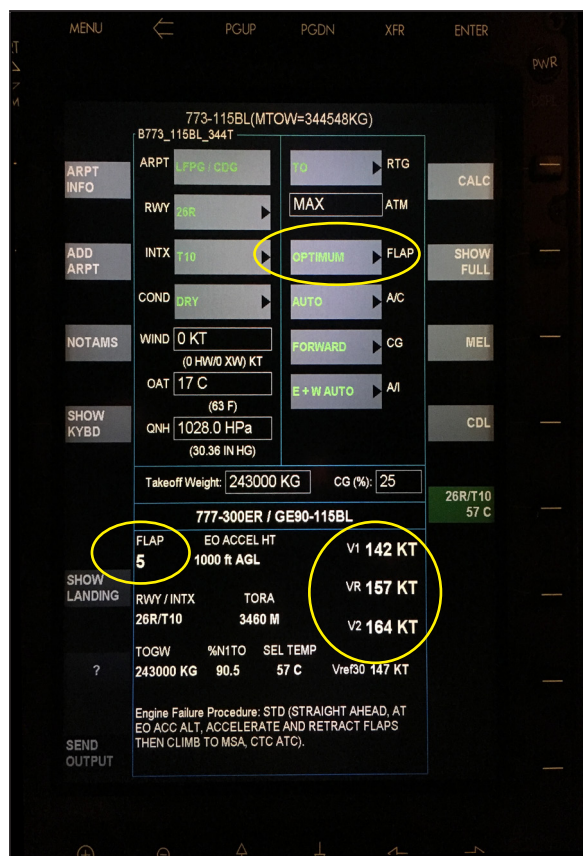
Estimation de l'ordre TSP (protection *tailstrike*) – Calculs Boeing

Boeing a conclu que la protection *tailstrike* s'était activée une première fois avec l'autorité maximale environ cinq secondes après le début de la rotation et une seconde fois avec une autorité plus faible juste après le décollage.

Boeing a estimé que sans la protection *tailstrike*, et en faisant l'hypothèse que l'ordre au manche serait resté le même, la queue de l'avion aurait touché le sol environ 1,1 secondes après le point d'activation de la protection *tailstrike*.

1.16.2 Séance de simulateur effectuée par le BEA

Le BEA a rejoué dans un simulateur d'Air France l'insertion des données dans l'OPT et le FMS telle qu'elle avait été réalisée par l'équipage pendant la préparation du vol de l'incident. Le simulateur utilisé correspond à un Boeing 777-300 ; les valeurs des calculs de performance ne correspondent donc pas exactement à celles de l'événement. Néanmoins, les données recueillies sont représentatives de l'incident.

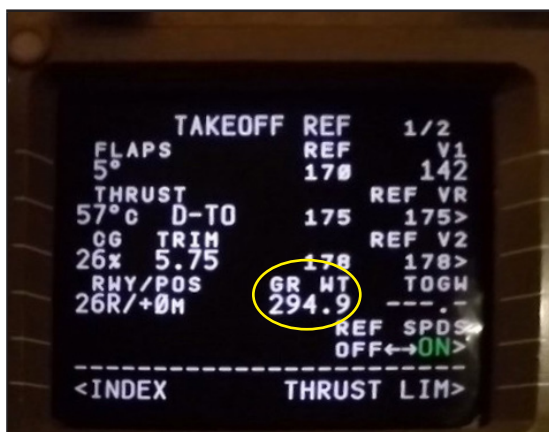


1.

La TOW insérée dans l'OPT est erronée : 243 t au lieu de 343 t.

Les résultats obtenus sont :

- ☐ Configuration volets = 5°
- ☐ Vitesses de décollage V1=142 kt, VR=157 kt, V2=164 kt



2.

Le plein est en cours.

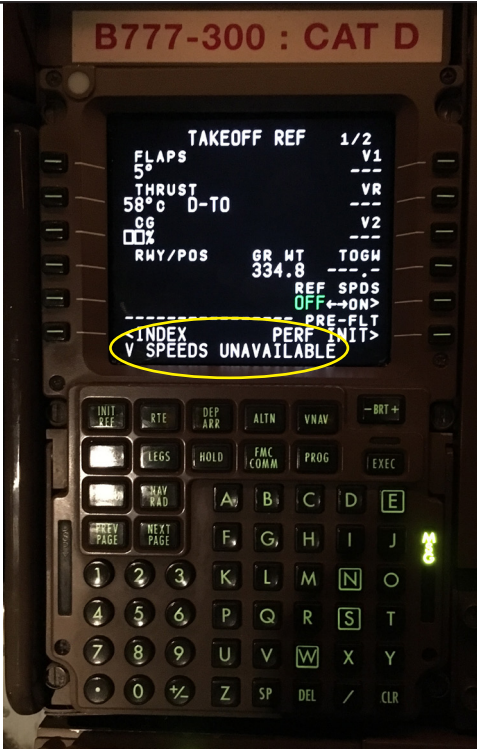

La GR WT est calculée par le FMS à partir du ZFW et du carburant mesuré.



3.

Les vitesses de référence sont affichées.

L'équipage entre V1. V1 REF est largement supérieure à V1 calculée pour une masse inférieure de 100 t.

	
<p>4.</p> <p>Le plein est toujours en cours.</p> <p>Lorsque la GR WT calculée atteint 334,8 t, le message TAKE OFF SPEEDS DELETED s'affiche. Ce message peut être effacé et dans ce cas le message V SPEEDS UNAVAILABLE est affiché. Ce message peut être effacé.</p> <p>Les vitesses de référence n'apparaissent plus.</p>	<p>5.</p> <p>Le plein est terminé.</p> <p>L'équipage entre les résultats des OPTs dans le FMS. (Si l'équipage refait une insertion complète des paramètres de décollage, le message V SPEEDS UNAVAILABLE s'affiche à nouveau).</p> <p>Le FMS permet la saisie des vitesses de décollage.</p>

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

1.17.1 Prise en compte du risque par Air France

À la suite d'un incident consécutif à une erreur d'insertion de 100 tonnes survenu en juillet 2004 sur un A340 de sa flotte, Air France a effectué une quinzaine d'actions correctrices. Parmi celles-ci :

- ☐ une analyse des erreurs d'insertion a été conduite, notamment sur la base des comptes rendus d'incidents faits par les équipages (ASR en particulier) ;
- ☐ une demande a été effectuée auprès d'Airbus et de Boeing afin que les systèmes soient dotés d'une protection qui interdise la saisie d'une vitesse V1 supérieure à VR et/ou à V2 ;
- ☐ une séance de simulateur a été dédiée au réajustement de la poussée et à l'application d'un nouveau briefing ;
- ☐ le « *carton décollage* »⁽¹⁵⁾ a été amélioré.

⁽¹⁵⁾Le carton décollage de l'événement est présenté au § 1.18.2.

En 2007, Air France a créé un groupe de travail pour élaborer des principes d'utilisation des outils de calcul de performance embarqués, afin de renforcer les protections contre les erreurs de calcul et d'insertion de paramètres de décollage. Les travaux de ce groupe ont pris fin en 2010 sans que l'ensemble des réflexions n'aient été menées à leur terme. Les aviateurs ont en effet fourni un ensemble de procédures et les EFB tandis qu'Air France travaillait sur son propre outil de calcul de performance embarqué. Air France a alors considéré que le groupe de travail n'était plus pertinent.

Parallèlement, Air France a participé à l'étude de sécurité publiée par le BEA en 2008 concernant les erreurs d'insertion de paramètres (cf. § 1.18.5).

En 2009, une information de sécurité des vols sur ce thème a été publiée, au sein du secteur Boeing 777.

Le thème des erreurs d'insertion a également été revu lors de la formation au sol et lors des contrôles en vol des équipages.

Les vols d'audit interne réalisés dans le cadre de la surveillance de la conformité constituent une autre opportunité pour Air France d'observer ses procédures en situation opérationnelle. Les pilotes auditeurs ne sont généralement pas qualifiés sur le même type avion. Ce principe est destiné à assurer l'indépendance du contrôle.

L'insertion des paramètres pour le décollage est un item qui a été observé lors des campagnes LOSA en 2012 et 2015⁽¹⁶⁾.

Par ailleurs, les premières démarches entreprises par Air France pour détecter des erreurs d'insertion par le biais de l'analyse des vols (FDM) ont débuté en août 2014. Deux pistes ont été étudiées à partir des données suivantes :

- ❑ l'angle d'incidence au décollage ;
- ❑ le rapport $V2/VS1g$ ⁽¹⁷⁾, qui doit être supérieur à 1,13.

Air France indique ne pas avoir obtenu l'assistance suffisante de la part des constructeurs pour exploiter convenablement le paramètre angle d'incidence.

La seconde solution est en cours d'exploitation. Il n'est pas toujours possible de détecter des erreurs d'insertion lorsque $V2$ est faible. Une trentaine de cas sur Airbus A320 a été détectée, un sur Boeing 777 (l'incident grave du F-GUOC) et un sur Airbus A330/A340. Sur A320, la majorité des cas détectés par ce test se sont révélés être des insertions de TOW au lieu de ZFW dans le FMS.

Air France suit les résultats du groupe de travail EOFDM⁽¹⁸⁾ qui recommande de surveiller les précurseurs FDM relatifs aux performances au décollage. Néanmoins, Air France indique que le travail de l'AESA est assez théorique et que la difficulté est de trouver l'information fiable dans les enregistrements.

1.17.2 Surveillance des opérations aériennes

1.17.2.1 Textes réglementaires européens relatifs aux opérations aériennes

Le règlement européen n° 965/2012 (dit Air OPS) s'applique depuis le 28 octobre 2012⁽¹⁹⁾. Les exigences de l'Air OPS communes à tous les types d'exploitation et applicables aux autorités sont décrites dans la partie ARO (Part-ARO), qui constitue l'annexe II du règlement. Celles applicables aux exploitants figurent dans la partie ORO (Part-ORO), qui constitue l'annexe III du règlement.

⁽¹⁶⁾Le BEA n'a pas pu prendre connaissance des résultats ou des enseignements issus des observations faites dans ce cadre, en raison de la confidentialité du dispositif.

⁽¹⁷⁾Vitesse de décrochage sous facteur de charge unitaire.

⁽¹⁸⁾European Operators Flight Data Monitoring.

⁽¹⁹⁾Règlement (UE) n° 965/2012 de la commission du 5 octobre 2012 déterminant les exigences techniques et les procédures administratives applicables aux opérations aériennes conformément au règlement (CE) n° 216/2008 du Parlement européen et du Conseil.

L’Air OPS précise les différents items qui requièrent une approbation préalable de la part de l’autorité compétente. C’est le cas, en particulier, pour l’utilisation d’une application de l’EFB intégrant un calcul de masse et de centrage pour élaborer les paramètres de décollage⁽²⁰⁾.

Afin de permettre à un exploitant d’effectuer les modifications des autres items sans demande d’approbation préalable conformément à l’ORO.GEN.130, l’autorité compétente doit approuver la procédure établie par l’exploitant, définissant le périmètre de ces modifications et décrivant comment ces modifications sont gérées et notifiées à l’autorité (voir alinéa (c) de l’ARO.GEN.310). Cette possibilité s’applique aux modifications du système de gestion (hormis les items relatifs à l’ORO.GEN.200 (a)(1) et (2)) et des procédures opérationnelles, à l’image de celles relatives au calcul et à l’insertion des paramètres de décollage.

Au titre de la surveillance continue, l’autorité doit vérifier tous les processus au cours d’un cycle allant de deux à quatre ans.

À terme, il est prévu que le règlement soit amendé pour étendre le périmètre des fonctionnalités des EFB requérant une approbation préalable. Cela inclura les applications dédiées au calcul de performance. Sans attendre cet amendement, la DSAC maintient l’exigence d’approbation qu’elle appliquait avant l’Air OPS. Pour cela, elle s’appuie notamment sur l’AMC 20-25 (cf. § 1.17.3.3).

Avant l’entrée en vigueur de l’Air OPS, les opérations aériennes étaient régies par le règlement européen n° 859/2008 (dit EU-OPS)⁽²¹⁾. L’EU-OPS ne précisait pas les modalités d’instruction par l’autorité, préalable à la délivrance d’un CTA ou à l’acceptation d’un changement. En ce qui concerne les approbations de changements de procédures, seuls les items approuvés dans le CTA de l’exploitant nécessitaient un accord de l’autorité. Pour les autres, l’esprit de l’EU-OPS était que la compagnie informe l’autorité et que cette dernière s’assure de la conformité des procédures.

1.17.2.2 Recommandations de sécurité adressées à la DGAC et réponses associées

La DGAC a été destinataire de deux recommandations de sécurité relatives aux erreurs d’insertion de paramètres pour le décollage. Elles ont été émises dans le cadre de l’étude publiée par le BEA en 2008⁽²²⁾, à laquelle la DGAC a été associée.

Recommandations	Synthèse des réponses de la DGAC
<p>BEA (FRAN-2008-014), adressée à la DGAC</p> <p>Étude de sécurité, 2008⁽²³⁾</p> <p><i>La DGAC se rapproche de l’AESA et de la FAA pour faire évoluer les normes de certification afin que les calculateurs de paramètres prévoient des systèmes de refus ou d’alerte de l’équipage en cas d’insertion de données incohérentes, manifestement erronées ou trop éloignées des valeurs usuelles.</i></p>	<p><input type="checkbox"/> En août 2008, la DGAC indique soutenir cette recommandation et avoir transmis à l’AESA l’étude du BEA et la recommandation associée.</p>

⁽²⁰⁾Cf. Annexe IV (Part-CAT) Section 3 – Chapitre 1 - CAT. POL.MAB.105(e).

⁽²¹⁾Règlement (CE) n° 859/2008 de la Commission du 20 août 2008 modifiant le règlement (CEE) n° 3922/91 du Conseil en ce qui concerne les règles techniques et procédures administratives communes applicables au transport commercial par avion.

⁽²²⁾Cf. § 1.18.5.

⁽²³⁾https://www.bea.aero/uploads/tx_scalaetudessecurite/utilisation_de_parametres_errones.au.decollage_01.pdf

<p>BEA (FRAN 2008-022) Étude de sécurité, 2008</p> <p><i>La DGAC s'assure que les exploitants français :</i></p> <p><i>1. sensibilisent leurs pilotes et le personnel au sol concerné sur les processus d'erreurs spécifiques au départ du vol, la dégradation des performances et les risques liés à l'utilisation de paramètres erronés pour le décollage,</i></p> <p><i>2. ont bien mis en place des procédures robustes d'élaboration et de validation par l'équipage de conduite des paramètres utilisés pour le décollage.</i></p>	<p>En septembre 2008, la DGAC répond aux deux items de la recommandation.</p> <p>Item 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> La DGAC a fait référence à l'étude dans une information de sécurité. <input type="checkbox"/> La DCS⁽²⁴⁾ donne des consignes aux entités chargées de la surveillance des exploitants sur la prise en compte de la recommandation, notamment au niveau CRM et sensibilisation des personnels au sol. <p>Item 2</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> La DCS donne des consignes aux entités chargées de la surveillance des exploitants pour vérifier que les procédures en place permettent de limiter la saisie de paramètres erronés. Notamment, elle demande de vérifier que la préparation des paramètres soit menée de façon indépendante, que la vérification de l'ordre de grandeur fasse l'objet d'une contre-vérification par l'autre pilote, que du temps soit laissé aux équipages pour faire cette vérification, de modifier les manuels si les dispositions précédentes ne sont pas mises en place, et d'encourager le retour volontaire des équipages sur des incidents.
---	--

(24) La DCS (Direction du Contrôle de la Sécurité) était, au sein de la DGAC, l'entité chargée de la surveillance des exploitants. Elle s'appuyait au niveau régional sur les DAC (Directions de l'Aviation Civile). La DSAC a été instituée le 1^{er} janvier 2009 comme service à compétence nationale chargé de la surveillance, remplaçant ainsi la DCS et les DAC.

1.17.2.3 Surveillance exercée par la DSAC

La DSAC est l'autorité chargée de la surveillance des exploitants aériens en France. La surveillance de la compagnie Air France est exercée par l'échelon central de la DSAC.

Depuis les réponses de la DGAC aux recommandations émises par le BEA en 2008, plusieurs évolutions ont impacté la surveillance des opérations d'Air France par la DSAC, notamment en ce qui concerne le risque lié à l'utilisation de paramètres erronés pour le décollage. En particulier :

- ☐ Fin 2008, l'arrêté relatif aux Systèmes de Gestion de la Sécurité (SGS) a été publié⁽²⁵⁾. Depuis lors, une partie de l'activité de surveillance exercée par la DSAC consiste à s'assurer que les exploitants disposent des processus leur permettant de gérer les risques auxquels ils sont exposés.
- ☐ La mise en service des EFB s'est poursuivie chez Air France, elle a débuté en 2009 pour la flotte Boeing 777-F.
- ☐ Après l'accident de l'Airbus A330 immatriculé F-GZCP survenu le 1^{er} juin 2009, la compagnie Air France a décidé de passer la partie B du manuel d'exploitation de toute sa flotte à une nouvelle documentation dénommée FCOM, directement basée sur la documentation du constructeur portant la même dénomination. La documentation précédemment utilisée était constituée de procédures que la compagnie avait choisi de personnaliser à partir des données des constructeurs, afin de se les approprier. En décidant de passer à la documentation FCOM du constructeur, Air France avait pour objectif de se conformer aux standards de celui-ci et de bénéficier de son retour d'expérience. Le changement a été opéré entre 2009 et 2012.
- ☐ En 2012, l'Air OPS a été publié (cf. § 1.17.2.1).

(25) Arrêté du 22 décembre 2008 relatif à la mise en œuvre des systèmes de gestion de la sécurité pour les entreprises de transport aérien public et les organismes de maintenance.

La DSAC a surveillé le processus mis en œuvre par Air France entre 2009 et 2012, conduisant au changement de son manuel d'exploitation. La DSAC n'a pas été amenée à approuver formellement le contenu du FCOM. Une approbation de cette nature n'était requise ni par l'EU-OPS, ni par l'Air OPS.

Dans le cadre de la surveillance des SGS, la DSAC a mis en place une « *démarche d'évaluation de la prise en compte des bonnes pratiques* ». Cela consiste notamment à vérifier comment les exploitants prennent en compte les publications pertinentes (SIB, info sécurité, etc.). Dans ce cadre, les procédures relatives au calcul et à l'insertion des paramètres de décollage de toutes les flottes d'Air France ont été considérées comme satisfaisantes.

La DSAC détaille sa politique et ses procédures de surveillance dans le Manuel de Contrôle Technique (MCT) qui est conforme à l'Air OPS. Le MCT liste dans un tableau les changements pour lesquels les titulaires d'un CTA doivent obtenir une approbation préalable de la DSAC. Cette liste mentionne l'utilisation de l'EFB (en lien avec l'AMC 20-25). En revanche, les procédures relatives au calcul et à l'insertion des paramètres de décollage ne figurent pas dans cette liste. Le MCT rappelle toutefois qu'il s'agit d'un domaine devant être vérifié dans le cadre des contrôles en vol.

Au début de l'année 2014, l'item suivant a été ajouté dans la grille de vérification des contrôles en vol de la DSAC : « *Un moyen de détecter un paramètre aberrant induit par une erreur d'insertion est-il mis en œuvre? (Choix des vitesses de décollage / Saisie des données ECD dans FMS ou équivalent.)* ». En 2014 et 2015, la DSAC a réalisé 83 contrôles en vols chez Air France, dont 15 sur Boeing 777. Cet item a été jugé perfectible une seule fois : il s'agissait d'un contrôle sur 777 et l'inspecteur en vol (FOI)⁽²⁶⁾ avait constaté que la connaissance des ordres de grandeur par les pilotes pouvait être améliorée.

(26) Flight Operations Inspector.

La DSAC estime que, jusqu'à ce que l'incident grave du F-GUOC se produise, un grand nombre de vérifications avaient été faites, sans produire un signal qui l'aurait amenée à demander une modification des procédures.

1.17.3 Prise en compte du sujet des erreurs d'insertion par les autorités de l'aviation civile

1.17.3.1 Recommandations de sécurité et réponses de l'AESA

L'Agence Européenne de la Sécurité Aérienne (AESA) est entrée en fonction en 2003. Entre autres missions, l'agence est chargée d'élaborer les projets de réglementations communautaires en matière de sécurité aérienne. Elle est également compétente en matière de certification et de suivi de la navigabilité des aéronefs. À ces titres, entre 2004 et 2012, l'AESA a été le destinataire direct ou indirect de huit recommandations de sécurité en lien avec la problématique des erreurs d'insertion.

Ces recommandations ont principalement été émises dans le cadre d'enquêtes de sécurité consécutives à des accidents ou des incidents graves. Elles ont également été émises ou rappelées à l'occasion de l'étude de sécurité publiée par le BEA en 2008.

Recommandations	Synthèse des réponses de l'AESA
<p>BEA (FRAN-2005-001) Accident B727, 25/12/2003, Cotonou⁽²⁷⁾</p> <p><i>Les autorités de l'aviation civile, et en particulier la FAA aux États-Unis et l'AESA en Europe fassent évoluer la réglementation de certification de façon à assurer la présence, sur les avions de nouvelle génération destinés à être utilisés pour des vols commerciaux, de systèmes embarqués de détermination de la masse et du centrage, ainsi que l'enregistrement des paramètres fournis par ces systèmes.</i></p>	<p><input type="checkbox"/> Fin 2006, l'AESA indique être d'accord avec la recommandation et projette de l'inscrire parmi les tâches de l'EUROCAE.</p> <p><input type="checkbox"/> Fin 2010, la DSAC demande un état d'avancement. L'AESA indique qu'une étude préliminaire va être conduite, que la recommandation sera envoyée au groupe EUROCAE et qu'une tâche est inscrite dans son programme de travail réglementaire.</p> <p><input type="checkbox"/> En juin 2013, l'AESA annonce que le WG-88 a conclu qu'il était possible et recommandé de procéder à la standardisation des systèmes de type On-Board Weight and Balance Systems (OBWBS). Il est indiqué que le WG-88 s'attèlerait désormais à rédiger les MOPS et que l'AESA déterminerait ultérieurement si une réglementation serait opportune.</p>
<p>TSB (CAND-2006-007) Accident B747, 14/10/2004, Halifax⁽²⁸⁾</p> <p><i>The Board recommends that the Department of Transport, in conjunction with the International Civil Aviation Organization, the Federal Aviation Administration, the European Aviation Safety Agency, and other regulatory organizations, establish a requirement for transport category aircraft to be equipped with a take-off performance monitoring system that would provide flight crews with an accurate and timely indication of inadequate take-off performance.</i></p>	<p><input type="checkbox"/> En juin 2014, l'AESA explique qu'il n'existe pas de standard et que la faisabilité technique de systèmes de type Take-off Performance Monitoring Systems (TOPMS) n'est pas démontrée.</p> <p><input type="checkbox"/> L'AESA rappelle toutefois qu'un groupe de travail (WG-94) de l'EUROCAE est dédié au TOPMS. Il est précisé que ce groupe de travail prépare un rapport technique concernant l'état de l'art et l'opportunité d'une standardisation technique.</p>
<p>DSB (NETH-2007-004) Accident MD-88, 17/06/2003, Groningen⁽²⁹⁾</p> <p><i>It is recommended to the Civil Aviation Authority, the Netherlands (IVW) to develop certification requirements for aircraft from the civil aviation category, to provide weight and centre of gravity measurements to the crew of new aircraft and to investigate the possibility to provide these data with existing aircraft.</i></p>	<p><input type="checkbox"/> En juin 2013, l'AESA annonce que le WG-88 a conclu qu'il était possible et recommandé de procéder à la standardisation des systèmes de type OBWBS. Il est indiqué que le WG-88 s'attèlerait désormais à rédiger les MOPS et que l'AESA déterminerait ultérieurement si une réglementation serait opportune.</p>

⁽²⁷⁾<https://www.bea.aero/fileadmin/documents/docspa/2003/3x-o031225/pdf/3x-o031225.pdf>

⁽²⁸⁾<http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/aviation/2004/a04h0004/a04h0004.pdf>

⁽²⁹⁾<https://www.onderzoeksraad.nl/en/media/attachment/2018/7/10/2006004e-runway-overrun-onur-air.pdf>

Recommandations	Synthèse des réponses de l'AESA
<p>BEA (FRAN-2008-014), adressée à la DGAC Étude de sécurité, 2008⁽³⁰⁾</p> <p><i>La DGAC se rapproche de l'AESA et de la FAA pour faire évoluer les normes de certification afin que les calculateurs de paramètres prévoient des systèmes de refus ou d'alerte de l'équipage en cas d'insertion de données incohérentes, manifestement erronées ou trop éloignées des valeurs usuelles.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ❑ En août 2008, la DGAC indique soutenir cette recommandation et avoir transmis à l'AESA l'étude du BEA et la recommandation associée. La DGAC précise que la FAA a produit une circulaire pour certifier les équipements embarqués de détermination de masse et centrage. ❑ En décembre 2011, l'AESA explique que différents systèmes en cours de développement peuvent aider à détecter des incohérences parmi les paramètres insérés pour le décollage. Toutefois, leur potentiel n'est pas connu de l'AESA à ce moment et l'agence indique qu'elle devra étudier davantage ces fonctionnalités avant de pouvoir les certifier ou de les rendre obligatoire. ❑ L'AESA rappelle la création des groupes de travail EUROCAE WG-88 (OBWBS) et WG-94 (TOPMS). L'agence précise alors que le WG-88 a commencé à travailler sur les MOPS relatifs à l'OBWBS et que le WG-94 a pour mission de faire une revue de l'état de l'art concernant le TOPMS. L'AESA mentionne également des travaux de certification et d'approbation concernant les EFB. ❑ En février 2014, l'AESA indique que le WG-88 prépare les MOPS de l'OBWBS, l'étude de faisabilité ayant été favorable, et que l'agence a ouvert une tâche réglementaire sur le sujet (RMT.0116). L'AESA indique que le WG-94 étudie toujours la faisabilité du TOPMS et que l'EFB fait l'objet d'une NPA (proposition de règlement) avec AMC (moyens de conformité). ❑ En avril 2015, l'AESA rappelle que des fonctions de ce type existent déjà mais qu'elles ne sont pas suffisantes pour réduire le nombre d'erreurs d'insertion. En particulier l'AESA mentionne que des erreurs grossières peuvent exister tout en restant dans le domaine de vol. L'AESA indique explorer d'autres pistes d'amélioration. L'AESA explique que les AMC relatifs à l'EFB sont en vigueur. Il est rappelé que le WG-88 prépare toujours les MOPS relatifs à l'OBWBS. En revanche, l'AESA explique que le WG-94 a été interrompu après avoir conclu négativement quant à la possibilité de standardiser les systèmes de type TOPMS. En dépit de cette conclusion l'AESA précise que la recherche de solutions techniques doit être poursuivie par l'industrie et que ces évolutions seront suivies.

⁽³⁰⁾https://www.bea.aero/uploads/tx_sclaetudessecurite/utilisation.de.parametres.errones.au.decollage_01.pdf

Recommandations	Synthèse des réponses de l'AESA
<p>AAIB (UNKG-2009-080) Incident grave A330, 28/10/2008, Montego⁽³¹⁾ Bay</p> <p><i>It is recommended that the European Aviation Safety Agency develop a specification for an aircraft takeoff performance monitoring system which provides a timely alert to flight crews when achieved takeoff performance is inadequate for given aircraft configurations and airfield conditions.</i></p>	<p><input type="checkbox"/> En septembre 2011, l'AESA explique qu'il n'existe pas de standard pour les systèmes de type TOPMS et que l'efficacité n'est pas démontrée. L'AESA explique qu'un groupe de travail a été créé (WG-94) dans le cadre de l'EUROCAE pour étudier l'état de l'art et la faisabilité de tels systèmes</p> <p><input type="checkbox"/> En avril 2015, l'AESA indique que le WG-94 a été interrompu après avoir conclu négativement quant à la possibilité de standardiser les systèmes de type TOPMS. En revanche, l'agence explique que des AMC relatifs à l'EFB sont en vigueur et que le WG-88 prépare toujours les MOPS relatifs à l'OBWBS.</p>
<p>AAIB (UNKG-2009-081) Incident grave A330, 28/10/2008, Montego Bay</p> <p><i>It is recommended that the European Aviation Safety Agency establish a requirement for transport category aircraft to be equipped with a takeoff performance monitoring system which provides a timely alert to flight crews when achieved takeoff performance is inadequate for given aircraft configurations and airfield conditions.</i></p>	<p><input type="checkbox"/> En septembre 2011, l'AESA explique qu'il n'existe pas de standard pour les systèmes de type TOPMS et que l'efficacité n'est pas démontrée. L'AESA explique qu'un groupe de travail a été créé (WG-94) dans le cadre de l'EUROCAE pour étudier l'état de l'art et la faisabilité de tels systèmes.</p>
<p>BEA (FRAN-2011-032) Incident grave Boeing 737, 16/08/2008, Paris⁽³²⁾</p> <p><i>The BEA recommends that EASA conduct a study on the standards that should be taken into account during certification of on-board performance calculation systems, in order to ensure that their ergonomics and procedures for use are compatible with the requirements of safety.</i></p>	<p><input type="checkbox"/> En décembre 2013, l'AESA explique qu'un appel d'offre est lancé pour la réalisation d'une étude consacrée aux bonnes pratiques et à l'évaluation de l'utilisation des EFB.</p>

⁽³¹⁾ https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5422f05640f0b613420002ad/Airbus_A330-243_G-OJMC_11-09.pdf

⁽³²⁾ <https://www.bea.aero/docspa/2008/su-z080816/pdf/su-z080816.pdf>

Recommandations	Synthèse des réponses de l'AESA
<p>AAIB (UNKG-2012-036) Accident Boeing 737, 14/04/2012, Chambery⁽³³⁾</p> <p><i>It is recommended that the European Aviation Safety Agency establish a set of detailed guidelines for the operational evaluation and approval of Electronic Flight Bags. These should be more specific than the proposed Acceptable Means of Compliance (AMC) 20-25 and include information such as provided in the Federal Aviation Authority document 'Electronic Flight Bag Authorization for Use' and Joint Aviation Authorities Safety Information Communication No7.</i></p>	<p><input type="checkbox"/> En février 2014, l'AESA indique que le projet d'AMC concernant l'EFB a considérablement évolué durant la phase de consultation de la NPA 2012-02.</p>

⁽³³⁾https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5423018de5274a1314000ab5/Boeing_737-33A_G-ZAPZ_04-13.pdf

1.17.3.2 Traitement des recommandations de sécurité par les autres autorités de l'aviation civile

Le 12 mars 2003, l'arrière du fuselage d'un Boeing B747 heurte la piste et est endommagé lors de la rotation au décollage de l'aéroport international d'Auckland, en Nouvelle-Zélande. En 2006, à l'issue de l'enquête⁽³⁴⁾ conduite par le TAIC, le NTSB a adressé cinq recommandations de sécurité à la FAA :

⁽³⁴⁾<https://taic.org.nz/sites/default/files/inquiry/documents/03-003.pdf>

- ☐ (A-05-003) pour demander à ce que Honeywell modifie ses FMS de manière à ce que l'équipage soit averti dès lors que les vitesses de référence pour le décollage sont modifiées par des valeurs qui compromettent le décollage de l'aéronef en toute sécurité, et que tous les exploitants équipés de FMS Honeywell prennent en compte ces modifications.
- ☐ (A-05-004) pour demander à ce que Honeywell modifie ses FMS pour éviter une insertion de valeurs de masse qui conduirait à ce que les masses à l'atterrissage soient inférieures à la ZFW ou à la masse à vide, et que tous les exploitants équipés de FMS Honeywell prennent en compte ces modifications.
- ☐ (A-05-005) pour demander à ce que Honeywell modifie ses FMS soit pour empêcher une insertion manuelle dans les champs *Gross Weight*, soit pour permettre que la masse au décollage soit chargée directement dans le FMS, et que tous les exploitants équipés de FMS Honeywell prennent en compte ces modifications.
- ☐ (A-05-006) pour demander à ce que Honeywell conduise une étude de ses FMS afin d'identifier les autres améliorations qui seraient nécessaires pour détecter les erreurs et confirmer que les informations saisies relatives à la performance au décollage et à l'atterrissage soient correctes et cohérentes.
- ☐ (A-05-007) pour demander à ce que les équipementiers autres qu'Honeywell qui fournissent des FMS installés sur des aéronefs répondant au Code 14 de la réglementation fédérale Part 25, étudient leurs FMS afin d'identifier les améliorations qui seraient nécessaires pour détecter les erreurs et confirmer que les informations saisies relatives à la performance au décollage et à l'atterrissage soient correctes et cohérentes.

Afin de traiter cette problématique de manière appropriée, la FAA a demandé un examen complet de ces recommandations par le groupe de travail CNS⁽³⁵⁾ de l'Association internationale du transport aérien (IATA). Dans le cadre de cet examen, la FAA a encouragé les fabricants de FMS à étudier des méthodes de vérification des erreurs fonctionnellement efficaces, conformes aux normes acceptées relatives aux facteurs humains et adaptées aux pratiques des exploitants d'aéronefs. Cette étude a été menée conjointement par les fabricants de FMS et d'autres partenaires du secteur pour parvenir à une solution industrielle acceptable.

Le 26 septembre 2006, le groupe de travail CNS a présenté une proposition visant à améliorer le fonctionnement des FMS pouvant être mis en œuvre via des améliorations logicielles apportées aux FMS actuels. Cette proposition a été recommandée et acceptée par les constructeurs d'aéronefs, les fabricants de FMS et les exploitants de transporteurs aériens.

En 2009, dans le cadre de ses réponses au NTSB, la FAA a expliqué qu'en raison de la vaste gamme d'équipements et des nombreux points sujets à erreurs lors de l'élaboration des vitesses de référence, une solution technique unique n'était pas considérée comme appropriée ni efficace pour résoudre ces problèmes sur les équipements alors existants. La FAA a élaboré une note sur la base des recommandations du groupe de travail, applicable aux nouvelles approbations relatives aux FMS qui incluent le calcul des vitesses de référence pour le décollage ou l'atterrissage. La circulaire (AC) 25-15 fournit un moyen acceptable de conformité lorsqu'elle est complétée par les lignes directrices établies dans cette note. Elle comprend les directives suivantes, qui appuient les recommandations du CNS :

- ❑ le FMS devrait émettre une annonce d'erreur lorsqu'une vitesse de décollage est calculée ou modifiée et que la valeur obtenue est susceptible d'affecter la capacité de décollage de l'avion ;
- ❑ le FMS devrait disposer des valeurs spécifiques au modèle d'avion sur lequel il est installé, pour la ZFW ou la masse à vide ; et
- ❑ Le FMS devrait permettre que la *Gross Weight* de l'avion ne soit calculée qu'à partir de données valides, en particulier pour ce qui concernent la ZFW et la masse carburant, ou bien les intégrer par des moyens automatisés.

Concernant les FMS déjà approuvés, le groupe de travail CNS a jugé que les exploitants avaient déjà établi des procédures limitant l'insertion des données de masse à la ZFW. Par conséquent, la FAA a estimé qu'il ne serait pas nécessaire de demander le retrofit des flottes pour éviter l'insertion des *Gross Weight*. En outre, la plupart des FMS d'Honeywell intégraient une base de données de performances ainsi qu'une plage de masse limites spécifiques à chaque modèle. Si l'insertion d'une valeur hors de ces limites venait à être effectuée, l'équipage en était avisé. En 2011, la FAA a confirmé sa position sur le fait qu'un écart important entre les vitesses affichées par le FMS et celles qui étaient entrées (33 kt pour VR dans le cas considéré) aurait dû conduire le CDB à mettre en doute les vitesses et à corriger la différence. L'opinion de la FAA était que les procédures normales, intégrant des vérifications croisées, devaient suffire à alerter les pilotes de tels écarts. Pour les avions existants, la FAA estimait qu'il n'était pas nécessaire de prévoir une alerte dans le cas où les données calculées par le FMS étaient écrasées et considérait que cela ne justifiait pas d'autres actions de navigabilité. En raison de cette position de la FAA concernant les FMS existants, le NTSB a jugé comme étant inacceptables les réponses de la FAA aux recommandations de sécurité A-05-003 et A-05-004.

Le suivi complet de ces recommandations de sécurité est disponible sur le site Web du NTSB⁽³⁶⁾.

À la suite de l'enquête conduite sur l'accident impliquant un Boeing 747 à Halifax le 14 octobre 2004, le BST a adressé la recommandation de sécurité CAND-2006-007 (cf. §1.17.3.1) à Transports Canada. L'objet de cette recommandation était le développement de systèmes de surveillance de la performance lors du décollage, similaire aux TOPMS.

Transports Canada a mis en place un projet de recherche en 2007. Cependant, depuis avril 2009, aucun financement n'a été alloué à ce projet, qui par conséquent a été interrompu. De manière générale, de 2006 jusqu'à 2015, et encore en 2017, Transports Canada indiquait qu'il n'y avait pas de systèmes de type TOPMS convenant à l'aviation civile et que l'industrie était la mieux placée pour mener les développements. Cette réponse a été jugée insatisfaisante par le BST. Le BST a également remarqué que, dans ses réponses, Transports Canada n'avait jamais précisé si la coordination demandée avec l'OACI, la FAA et l'AESA avait été effectuée. Le suivi complet de cette recommandation de sécurité, toujours actif à la date de rédaction de ce rapport, est disponible sur le site Web du BST⁽³⁷⁾.

En 2005, à la suite de l'accident impliquant un Boeing 727 à Cotonou, le BEA a également adressé à la FAA la recommandation de sécurité FRAN-2005-001 (systèmes de masse et centrage à bord, cf. §1.17.3.1). Jusqu'à la date de rédaction du présent rapport, la FAA n'avait pas fourni au BEA son avis ou son intention concernant cette recommandation de sécurité.

En 2008, suite à l'étude de sécurité menée sur l'utilisation de paramètres erronés au décollage, le BEA a émis une recommandation de sécurité (FRAN-2008-014) pour développer et mettre en œuvre des systèmes de refus et d'alerte en cas d'insertion de données erronées. Contrairement à l'AESA, la FAA n'a pas répondu officiellement à cette recommandation de sécurité adressée officiellement à la DGAC. En conséquence, la position de la FAA concernant cette recommandation de sécurité est restée inconnue.

1.17.3.3 Dispositions réglementaires relatives à l'EFB

Une tâche réglementaire (RMT.0001) a été initiée en 2006. Elle a abouti en 2014 à la publication de l'AMC 20-25⁽³⁸⁾ dédiée à l'utilisation des EFB.

Ce document fournit aux exploitants des moyens de conformité destinés à évaluer le risque associé à l'utilisation des EFB et à définir les mesures de réduction appropriées, comme ils se doivent de le faire dans le cadre de leur système de gestion.

L'attention des exploitants est attirée sur la cohérence indispensable entre l'EFB et les autres systèmes du poste de pilotage, notamment en termes de philosophie de conception, de représentation visuelle, de séquençement des actions requises ou d'unités. Il est également précisé que la charge de travail des équipages doit rester acceptable, ce qui implique d'éviter des phases d'insertion complexes, à plusieurs étapes.

De manière générale, il doit être vérifié que les systèmes utilisés ne favorisent pas les erreurs d'insertion et que les procédures suivies par les équipages leur permettent de détecter d'éventuelles erreurs.

⁽³⁶⁾<https://www.nts.gov/SAFETY/safety-recs/layouts/ntsb.recsearch/Recommendation.aspx?Rec=A-05-003>
<https://www.nts.gov/SAFETY/safety-recs/layouts/ntsb.recsearch/Recommendation.aspx?Rec=A-05-004>
<https://www.nts.gov/SAFETY/safety-recs/layouts/ntsb.recsearch/Recommendation.aspx?Rec=A-05-005>
<https://www.nts.gov/SAFETY/safety-recs/layouts/ntsb.recsearch/Recommendation.aspx?Rec=A-05-006>
<https://www.nts.gov/SAFETY/safety-recs/layouts/ntsb.recsearch/Recommendation.aspx?Rec=A-05-007>

⁽³⁷⁾http://www.tsb.gc.ca/eng/recommandations-recommendations/aviation/2006/rec_a0607.asp

⁽³⁸⁾AMC 20-25 publié par l'AESA : <https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/2014-001-R-Annex%20II%20-%20AMC%2020-25.pdf>

L'attention des exploitants est notamment attirée sur :

- ❑ l'indépendance des calculs par les pilotes ;
- ❑ la vérification croisée des données par les pilotes entre eux ;
- ❑ la vérification d'éventuelles erreurs grossières (notion de « *gross-error check* »), notamment en vérifiant les résultats à partir d'autres sources de données.

Il est demandé aux exploitants de conduire des tests d'évaluation afin de s'assurer que l'ensemble des dispositions mentionnées dans l'AMC sont satisfaites avant la mise en service de l'EFB. Le plan de tests devrait inclure, selon les cas, un programme de sessions de type LOFT⁽³⁹⁾ en simulateur ainsi que des vols d'observation pour les autorités compétentes.

Les exploitants sont invités à produire un rapport final décrivant le système EFB choisi et les étapes de sa mise en place. Les moyens de mise en conformité retenus ainsi que les résultats des études de risques doivent y être précisés.

De plus, parallèlement à la tâche réglementaire ayant abouti à l'AMC 20-25, l'AESA a lancé en 2013 un appel d'offres pour la réalisation d'une étude consacrée à l'évaluation et à l'utilisation des EFB. Un rapport rédigé par le NLR⁽⁴⁰⁾ a été publié en janvier 2016 sur le site Internet de l'AESA⁽⁴¹⁾.

Enfin, une autre tâche réglementaire (RMT.0601) a été menée et s'est achevée par la rédaction de l'Opinion AESA 10/2017 le 18 décembre 2017. Elle doit notamment permettre la mise en conformité de la réglementation européenne avec de nouvelles normes et pratiques recommandées fixées par l'OACI dans l'Annexe 6 à la Convention de Chicago. L'Opinion est désormais en passe d'être adoptée au niveau de la Commission Européenne.

1.17.3.4 Gestion par l'AESA des travaux préliminaires relatifs aux systèmes de type OBWBS et TOPMS

Avant d'engager une démarche réglementaire, l'AESA peut chercher à vérifier que des systèmes fiables peuvent effectivement être développés et que des normes communes à l'ensemble de l'industrie sont envisageables.

Dans cette perspective, pour consulter l'industrie, l'AESA peut demander la création de groupes de travail dans le cadre de l'EUROCAE⁽⁴²⁾. En tant que membre de cette organisation, l'AESA peut diriger ou simplement participer aux différents groupes de travail. Les mandats ainsi que toutes les productions des groupes de travail sont validés par le Conseil de l'EUROCAE. À la date de rédaction de ce rapport, le Conseil est composé de 18 personnes dont une personne de l'AESA.

Parmi les huit recommandations de sécurité liées aux problématiques d'erreurs d'insertions traitées par l'AESA entre 2004 et 2012, deux ont concerné les systèmes de types OBWBS et trois les systèmes de type TOPMS.

L'AESA a demandé la création des groupes de travail EUROCAE WG-88 (OBWBS) et WG-94 (TOPMS). Les rapports de ces deux groupes ont été transmis au BEA au cours de l'enquête. Leur activité est résumée dans le tableau ci-dessous.

⁽³⁹⁾ *Line-Oriented Flight Training*
(Adaptation en ligne).

⁽⁴⁰⁾ National Aerospace Laboratory, Pays-Bas.

⁽⁴¹⁾ <https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/EASA-Research-Rep-2014-1.pdf>

⁽⁴²⁾ Organisation à but non lucratif qui regroupe différents acteurs du secteur aéronautique : constructeurs, équipementiers, autorités, organismes de recherche, etc.

OBWBS / WG-88	TOPMS / WG-94
Définition du système attendu	
Système présentant les informations de masse et de centrage que l'équipage peut utiliser pour vérifier les valeurs utilisées pour le calcul des paramètres de performance au décollage (poussée, vitesses de décollage, etc.).	Système permettant d'alerter à temps l'équipage lorsque les performances atteintes après l'application de la poussée au décollage ne sont pas cohérentes au regard de la configuration de l'avion et des caractéristiques de l'aérodrome.
Recommandations associées, traitées par l'AESA	
BEA (FRAN-2005-001) DSB (NETH-2007-004)	TSB (CAND-2006-007) AAIB (UNKG-2009-080) AAIB (UNKG-2009-081)
Participants	
Constructeurs, équipementiers, autorités dont l'AESA.	Constructeurs, équipementiers, instituts de recherche, autorités dont l'AESA.
Date de début des travaux du groupe	
2010	2012
Mandat initial	
Dresser l'état de l'art et étudier la possibilité d'établir des normes pour les systèmes de types OBWBS.	Dresser l'état de l'art et étudier la possibilité d'établir des normes pour les systèmes de type TOPMS.
Date de publication du rapport	
9 avril 2013	5 février 2015
Synthèse des travaux, conclusions et suites données	
<p>Après une revue des accidents et des recommandations, le groupe étudie les projets déjà menés sur le sujet.</p> <p>L'analyse de la faisabilité prend en compte la maturité technique et les impacts opérationnels. Le groupe propose également une analyse des bénéfices et des coûts.</p> <p>Le groupe conclut que la standardisation des systèmes de type OBWBS est faisable et recommandée. Les évolutions techniques devraient apporter des solutions acceptables face aux difficultés précédemment rencontrées.</p> <p>En février 2014, l'AESA indique que le WG-88, sous sa présidence, a désormais pour mission d'élaborer les spécifications (MOPS).</p>	<p>Plusieurs projets conduits par des constructeurs ou des instituts de recherche sont décrits.</p> <p>Dans son rapport, le groupe explique notamment que :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> un système fiable apporterait un gain significatif à la sécurité. <input type="checkbox"/> aucun système de type TOPMS n'a été certifié. <input type="checkbox"/> il est difficile de définir des standards communs en raison du manque de disponibilité ou de standardisation des paramètres nécessaires au bon fonctionnement du système. Ces paramètres sont notamment le modèle avion, le moment auquel alerter l'équipage, les conditions de piste, la base de données de l'environnement aéroport. <input type="checkbox"/> de nombreux progrès techniques et de standardisation sont en train d'être réalisés.

OBWBS / WG-88	TOPMS / WG-94
<p>L'agence a inscrit dans le plan d'action européen (EPAS) 2018-2022 une tâche réglementaire (RMT.0116) libellée « <i>Real weight and balance of an aircraft</i> ». L'objectif de cette tâche est d'étudier la possibilité d'imposer l'emport de ce type de système sur les avions effectuant du transport aérien commercial. Les MOPS issues du WG-88 seront prises en considération et une étude d'impact réglementaire sera réalisée pour comparer les bénéfices attendus en matière de sécurité aux coûts et autres impacts potentiels.</p> <p>Fin 2015, l'EUROCAE appelle à la participation au WG-88 pour l'élaboration des MOPS. Cette nouvelle phase débute en 2016.</p> <p>L'AESA indique que depuis 2015, elle a cédé la présidence du groupe de travail à l'industrie et qu'elle n'est donc pas en mesure d'avoir la même maîtrise des actions et des délais.</p> <p>Dans l'évaluation préliminaire d'impact (PIA) réalisée en 2016, l'AESA indique que la tâche réglementaire (RMT.0116) doit commencer en 2017 sur la base des conclusions du WG-88.</p> <p>Dans le plan européen pour la sécurité aérienne (EPAS) publié par l'AESA en janvier 2016, la décision relative à la RMT.0116 était prévue pour 2019. La version publiée en janvier 2017 repoussait cette échéance à 2021 tandis que la version 2018 prévoit désormais une décision en 2022. L'AESA précise que ces reports sont dus à l'attente des conclusions du WG-88.</p>	<p>Dans son rapport, le WG-94 recommande de ne pas débiter les travaux de standardisation de systèmes de type TOPMS. En revanche, il suggère qu'une nouvelle évaluation soit réalisée sous 3 à 5 ans suivant cette première étude.</p> <p>En avril 2015, l'AESA indique que l'industrie doit poursuivre ses efforts en matière de solutions techniques et qu'elle effectuerait un suivi. L'AESA confirme la possibilité de réactiver ultérieurement un groupe de travail EUROCAE sur le sujet.</p>

1.17.3.5 Analyse par l'AESA d'autres systèmes en cours de développement

À plusieurs reprises, notamment en 2011 et 2014 en réponse à la recommandation de sécurité FRAN-2008-014, l'AESA a indiqué que des systèmes actuellement en développement pourraient aider à détecter des erreurs lors de la saisie des paramètres de décollage (données incohérentes entre elles, données trop éloignées des valeurs usuelles, données manquantes). L'AESA précisait que leur efficacité n'était cependant pas encore connue et que l'agence devait étudier davantage ces fonctionnalités avant d'être en mesure de les certifier ou de les rendre obligatoires.

Au cours de l'enquête sur l'incident grave du F-GUOC, le BEA a demandé à l'AESA les résultats disponibles de cette étude. L'AESA a répondu qu'elle n'avait pas effectué la revue des systèmes existants de ce type.

Dans cette réponse, l'agence rappelle que de tels systèmes capables de détecter des erreurs lors de la saisie étaient aussi suggérés dans une étude de l'autorité australienne chargée des enquêtes de sécurité (ATSB).

L'AESA ajoute que Boeing avait toutefois déjà attiré l'attention sur les limites de tels systèmes, ceci en réponse à la recommandation⁽⁴³⁾ suivante qui lui avait été adressée par le TAIC en 2003 :

"Implement a FMS software change on all various Boeing aircraft models that ensures any entries (such as V speeds and gross weight) that are mismatched by a small percentage are either challenged or prevented".

Parmi les limites identifiées par Boeing à l'époque figuraient :

- ❑ la possibilité que les vitesses de référence utilisées par l'équipage soient en réalité basées sur une masse incorrectement insérée dans le FMS ;
- ❑ le risque d'alarmes intempestives du fait d'écarts fréquents entre les vitesses de référence et les vitesses calculées par les EFB, alarmes susceptibles d'abaisser le niveau de confiance des équipages dans ces systèmes de protection.

Malgré tout, Boeing indiquait qu'une solution était explorée pour vérifier si la VR insérée manuellement n'était pas largement inférieure à celle calculée automatiquement par le FMS.

Par ailleurs, dans sa réponse au BEA au cours de l'enquête sur l'incident grave du F-GUOC, l'AESA mentionne le développement par Airbus des fonctionnalités nommées TOS⁽⁴⁴⁾ (cf. § 1.18.9). L'AESA explique que si des incohérences sont détectées entre les vitesses insérées manuellement dans le FMS et celles calculées par le système, l'équipage est alerté par un message sur l'écran du FMS.

L'AESA précise qu'Airbus a fourni à l'ATSB les résultats d'une simulation du fonctionnement du TOS sur la base des paramètres enregistrés lors d'un accident survenu à un A340. Selon cette simulation, l'alerte « *TO speed too low* » aurait été activée si la fonctionnalité TOS avait été installée.

Pour autant, l'AESA conclut que si certaines erreurs sont effectivement détectées, il n'est malgré tout pas possible d'évaluer la proportion des événements qui seraient évités.

⁽⁴³⁾Recommandation 047/03 dans le cadre d'une enquête sur un accident de Boeing 747 à Auckland le 12 mars 2003.

⁽⁴⁴⁾Même si elles sont évoquées dans le rapport du WG-94, les fonctionnalités TOS d'Airbus, n'entrent pas dans le champ de ce groupe de travail dans la mesure où elles ne concernent pas les performances réelles de l'avion après la mise en poussée.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Témoignages

1.18.1.1 Commandant de Bord PM

Préparation au sol

Il rentre dimanche 17 mai d'une rotation de neuf jours l'ayant conduit à Tahiti. Le jeudi 21 mai, il est programmé pour un entraînement au simulateur mais la séance est finalement déprogrammée. Il se présente vendredi 22 mai (jour du vol de l'incident) en ayant eu une nuit entrecoupée, conséquence du décalage horaire restant, mais jugée comme correcte. Il part 3 h 30 avant le bloc et arrive à la DO 2 h 45 avant. Il a le temps de lire les documents du secteur 777. Il voit arriver les OPL de renfort. L'OPL PF sur ce vol, arrive juste après et ils débutent la préparation du vol à la PPV à quatre. Un des OPL s'occupe des NOTAM, un deuxième s'occupe des Aircraft Company Note et lui de la météo. Une fois terminée, chacun fait son briefing. En raison de la présence prévue d'orages à l'arrivée à Mexico, il décide de prendre du carburant supplémentaire. Sur l'écran PPV, la proposition de charge est incompatible avec l'avion. L'équipage appelle le *Dispatch* car avec la charge prévue de 114 t, la ZFW maximale est dépassée. L'OFP indique 93 t et on leur indique de se baser dessus. Ils partent pour rejoindre l'avion et traversent rapidement les filtres. Ils arrivent vers 11 h 00 pour un bloc à 12 h 15 heure locale. Le chef avion n'est pas là. Le *Dispatch* et le personnel au sol confirment la charge de 93,3 t qui correspond à celle de l'OFP.

Préparation du vol en poste

Il donne l'ordre de reprendre le plein de carburant. L'équipage effectue une préparation classique. Le CDB prend la TOW de l'OFP auquel il rajoute la variation entre le pétrole prévu à l'OFP et celui décidé par l'équipage. Il fait ses calculs, trouve 343 t mais rentre 243 t dans l'OPT. Il lit la colonne de gauche, puis celle de droite et enfin la partie inférieure de l'OPT (piste, taxiways, masses, vitesses, la réduction) et l'OPL PF répond qu'il a les mêmes résultats. Ils n'ont donc aucun doute sur les « cartons ». Lorsqu'ils commencent à rentrer les vitesses, il remarque une grosse différence entre V1 et la (ou les) vitesse(s) de référence affichée(s) et en déduit qu'il y a une incohérence. L'OPL lui dit que les pleins ne sont pas terminés et que cela pourrait expliquer leur problème. Ils attendent la fin du remplissage carburant. Entre temps, les deux autres OPL reviennent. L'ECD arrive et il souligne la ZFW et la TOW qui sont cohérentes avec les valeurs du FMS. Le CDB entoure la TOW. Lorsque l'équipage souhaite à nouveau saisir les vitesses de décollage, les vitesses de référence ne sont plus affichées. Le CDB décide d'insérer de nouveau la ZFW car cela efface les données. Ils effectuent à nouveau les saisies mais n'obtiennent toujours pas les vitesses de référence. Avant de rentrer les données, l'OPL PF refait un calcul sur l'OFP mais il se trompe de 100 t et dit « ça correspond ». Le CDB compare l'ECD (correct) avec les données du FMS (correctes), mais pas avec l'OPT (erroné) . En l'absence des vitesses de référence, les vitesses issues de l'OPT sont insérées et ils partent.

Roulage et décollage

L'équipage s'aligne via T12 au lieu de T11 et n'effectue pas de « *rolling take off* ». L'avion accélère. Le CDB annonce V1 puis VR. La rotation du PF est douce. L'avion déjauge mais ne monte pas. Le CDB regarde à l'extérieur. L'OPL PF rend la main. L'OPL de renfort en position centrale dit « *TOGA* ». Le CDB sent alors une bonne accélération de l'avion. Le CDB craint de heurter les bâtiments en face et est préoccupé par la vitesse verticale. Il veut ordonner la rentrée du train lorsque la vitesse verticale est positive mais pas n'importe quand. Tout se passe très vite. L'autre OPL de renfort surveille la vitesse et l'annonce à haute voix pour la rentrée des volets. Dès que la vitesse verticale est devenue franchement positive, le CDB annonce la rentrée du train. La montée est douce. La vitesse est supérieure à la VLS et l'assiette inférieure au PLI. L'avion accélère. Aux environs de 5 000 ft, ils effectuent le passage des altimètres au calage standard puis effectuent la check-list. Ensuite les OPL évoquent la possibilité d'un *tailstrike*, mais lui l'exclut car il est le seul à avoir regardé dehors et la hauteur était de dix mètres environ. Ils évoquent ensuite des problèmes anémométriques, des problèmes de chargement (un des OPL de renfort ayant vu un trou entre deux palettes). Enfin l'OPL PF reprend son OFP et voit son erreur de 100 t. Il partage l'information.

Les quatre membres d'équipage se sentent bien même si l'OPL PF est « *impressionné* ». L'équipage continue la montée et passe le FL100. Le CDB dit à l'OPL PF d'aller derrière et un des OPL de renfort le remplace. Le CDB devient PF pendant la moitié du vol.

Le fonctionnement des 4 PNT est optimal. Le CDB se fait ensuite remplacer par le second OPL de renfort. Il s'absente environ 1 h 15 avec une sieste de 20 minutes. Quand il reprend sa place, l'OPL de renfort en place droite va se reposer et celui en place gauche prend la place de droite. L'arrivée à Mexico est normale. Arrivés au parking, les OPL de renfort vont voir la queue de l'avion et confirment l'absence de *tailstrike*. Les quatre PNT vont à l'hôtel et discutent de l'événement. Ils constatent que le CDB et l'OPL ont saisi la même masse erronée et que la vérification croisée n'a fait que confirmer le résultat.

Samedi matin, ils se retrouvent tous pour rédiger l'ASR. Finalement ils rentrent en mise en place (MEP).

Le CDB ne s'explique pas comment il a pu ne pas détecter l'incohérence entre la V2 et la masse car il dit connaître les ordres de grandeur. Par exemple, il indique que pour la masse du jour, V2 valait environ 180 kt. Il ajoute que l'absence des vitesses de référence et l'interruption de tâches sont des facteurs contributifs.

Son ressenti est qu'il n'y a pas eu de panique pendant le décollage. L'OPL de renfort installé en position centrale avait vue sur tout. Seul le CDB avait la notion de la hauteur. En bout de piste, ils étaient en montée. S'ils n'avaient été que deux en poste, ils auraient été très mal.

Dans son témoignage, le CDB apporte les précisions suivantes :

- ☐ il confirme qu'il pensait bien rentrer 343 t mais qu'il a rentré 243 t ;
- ☐ il ne verbalise pas la donnée de masse avant la comparaison (en général et pour l'événement) ;
- ☐ à partir du moment où les « *cartons* » sont comparés, il considère qu'il n'y a pas d'erreurs sur les « *cartons* » ;

- ❑ dans le CDU du FMS, il vérifie avec l'OPL que les valeurs annoncées sont égales aux valeurs rentrées ;
- ❑ quand l'ECD arrive, il vérifie que les données des systèmes avion sont cohérentes avec celles de l'ECD. Il ne vérifie pas le « carton ». Il a comparé TOW (ECD) avec TOW (FMS). Il n'a pas comparé l'ECD avec l'EFB (par exemple la TOW) car les données n'ont pas changé ;
- ❑ c'est la première fois qu'il remarque une différence aussi grande entre les valeurs de vitesse de référence et les valeurs de vitesse à insérer ;
- ❑ il n'y a pas eu de protection des systèmes lorsque les vitesses erronées ont été insérées ;
- ❑ il ne se souvient pas d'avoir entendu une alarme ou que le shaker se soit activé ;
- ❑ il n'y a pas eu de reprise des commandes car le pilotage du PF était fin et la poussée était TOGA ;
- ❑ la décision de poursuivre le vol a été commune mais le FORDEC⁽⁴⁵⁾ a été tronqué ;
- ❑ l'équipage a beaucoup discuté de l'événement à l'arrivée. Le CDB voulait éviter d'en discuter pendant le vol pour ne pas perturber le vol ;
- ❑ le nouveau plan de vol exploitation (OFP) est en vigueur depuis février 2015.

(45) Le FORDEC est la méthode de construction de la décision utilisée par les équipages chez Air France.

1.18.1.2 OPL PF

Préparation au sol

Le pilote passe une excellente nuit avant le jour du vol. Il se présente un peu plus de deux heures avant l'heure de décollage prévue à 12 h 25 heure locale dans les locaux de la préparation des vols pour un vol cargo Paris - Mexico. Le Boeing 777-F est la version cargo du 777 située « entre » la série 200 et 300. L'OPL pilote PF est le quatrième PNT à arriver et les autres membres d'équipage sont en train de se présenter. Il prend les éléments du jour et remarque que la masse du jour est à 20 t de la MTOW du jour. Il remarque que la masse estimée dans une des rubriques du dossier de vol (LSFW) présente une charge de 114 t. C'est impossible car sur l'OFP, ils ont une charge de 94 t et sont déjà proches des limitations. Ils appellent le *Dispatch* qui leur dit de prendre les masses de l'OFP. Il considère donc qu'ils avaient conscience d'avoir une masse élevée proche des limites. L'équipage discute ensuite du carburant à emporter et décide de prendre 107,3 t de carburant.

Préparation du vol en poste

Ils partent ensuite vers l'avion et constatent que le chargement est terminé. L'agent leur indique 93,3 t de charge ce qui est un peu moins que l'OFP et l'équipage garde les 107,3 t de carburant prévu.

Il est PF pour l'étape. Un autre OPL va faire le tour avion et le troisième OPL s'occupe de la sécurité du chargement. L'équipage valide la charge finale et ordonne de terminer le plein. Il rentre la route dans le FMS et choisit les éléments de calcul pour le « carton » (avec 93,3 t de charge). Il ajoute la masse carburant au bloc (107,3 t) à la ZFW (235,7 t) et trouve 243 t au lieu de 343 t. Dans l'EFB, il insère 243 t et insère les autres éléments relevés avec l'ATIS (choix de la piste).

Le CDB fait de même. Le calcul est ensuite lancé. L'OPL PF ne sait pas s'il a verbalisé le 243 t (au lieu de 343 t). Les résultats sont comparés : piste, vent, pression, volets et les vitesses. Les résultats obtenus sont les mêmes : le CDB annonce aussi une masse de 243 t.

Les deux autres OPL remontent. L'OPL PF effectue le briefing et indique notamment « on est lourd ». Il n'y a pas de question à l'issue du briefing. À ce stade, le plein carburant est toujours en cours.

Le CDB décide qu'ils peuvent insérer les valeurs car il reçoit alors l'ECD. Le CDB lui transmet uniquement la valeur de la charge de l'ECD. Sur le côté de l'OPF, l'OPL PF effectue alors le calcul $DOW+PLD^{(46)} = ZFW + \text{carburant} (106,6 \text{ t}) = 241,5 \text{ t}$ au lieu de 341,5 t. Il oublie une retenue. Il se tourne alors vers son OPT et il dit « c'est conforme ». Le CDB souligne des valeurs caractéristiques dans l'ECD (ZFW, la TOW) et entoure le MACTOW⁽⁴⁷⁾ puis l'OPL PF effectue les insertions : centrage via ZFW, braquage des volets Flex, puis commence à insérer les vitesses : le CDB lui donne la V1, il rentre la V1.

Le CDB indique qu'il y a trop d'écart entre la V1 et les vitesses de référence calculées par le FMS. Les vitesses de référence sont environ 20 kt au-dessus des vitesses calculées.

L'OPL PF évoque le fait que le remplissage carburant n'est pas terminé. L'équipage suspend les insertions en pensant qu'il fallait que les sondes carburant se stabilisent. Ils effectuent d'autres tâches. Une fois le plein carburant terminé, ils reprennent les insertions mais les vitesses de référence ne sont plus affichées. Ils décident alors de recommencer toutes les insertions (ZFW, T° Flex, centrage, braquage des volets, etc.). Le fait de ressaisir la ZFW écrase les données précédemment remplies. L'équipage s'attend à revoir les vitesses de référence mais elles ont disparu. À priori le bouton ON/OFF du CDU du FMS qui permet d'afficher les vitesses de référence était par défaut sur ON.

L'équipage insère les vitesses.

Ils font alors un raccourci mental : le plein carburant est fini et le système n'interdit pas les insertions des vitesses donc cela doit être bon.

L'erreur est ainsi faite en deux temps : tout d'abord, ils remarquent un écart entre les vitesses à insérer et les vitesses de référence. Quand ils recommencent les insertions après la fin du plein carburant, les vitesses de référence ont disparu et le système n'interdit pas de rentrer les vitesses de décollage.

En ce qui concerne les deux OPL derrière, ils ne disent rien, pour eux tout est normal.

Roulage et décollage

Ils roulent vers T12 au lieu de T11 prévu. Cela leur laisse une marge de piste restante de 3 600 m (donnée par l'ATC) au lieu de 3 400 m prévue.

L'OPL PF initie le décollage (TOGA switch) et la référence de poussée est correcte. L'accélération paraît normale. On lui annonce V1 puis VR. Il tire légèrement sur le manche car il a toujours l'appréhension d'un toucher de queue. Il prend ensuite progressivement l'assiette de décollage. L'avion s'élève puis s'enfonce juste après (pas de retoucher). Cette sensation d'enfoncement lui semble anormale. Il rend la main et maintient. Il a un petit temps de surprise. Il réfléchit deux secondes puis entend l'annonce TOGA venant de l'OPL de renfort central. Cette annonce l'extirpe de son contexte de réflexion. Il prend les manettes et les met toutes devant en appuyant aussi sur les TOGA switch. Il sent une très grosse accélération immédiate puis prend une assiette de montée.

⁽⁴⁶⁾ Masse à vide + charge.

⁽⁴⁷⁾ Position du centre de gravité au décollage exprimée en % de la corde aérodynamique moyenne

Tous les membres de l'équipage le surveillent car il doit piloter entre la VLS et le PLI qui limite l'assiette. L'OPL PF indique qu'il a toujours réussi à rester à une vitesse supérieure à VLS. L'avion est configuré en lisse à une altitude d'environ 5 000 ft. Visuellement sur l'indicateur de vitesse du PFD, l'index « 5 »⁽⁴⁸⁾ est très loin. Une fois l'avion en configuration lisse, ils effectuent le passage au calage altimétrique standard puis l'équipage effectue la check-list After Takeoff. L'OPL s'interroge sur ce qui a pu se passer, il a eu l'impression que « *l'avion ne volait pas* ». L'équipage évoque entre autres un problème de toucher de queue, de voilure. L'OPL regarde son OPT et voit l'erreur de calcul de masse. Au FL200, il est relevé par son collègue de derrière après s'être fait « *une bonne frayeur* ». L'équipage discute de l'erreur d'insertion. Le vol se poursuit et l'atterrissage se déroule sans problème à Mexico. Ils discutent ensemble à l'hôtel mais le lendemain, il ne se sent pas bien. Finalement décision est prise de rentrer en MEP, ce qui soulage l'équipage.

Par ailleurs il indique que :

- ☐ concernant le bouton ON/OFF d'affichage des vitesses de référence, il ne se rappelle plus s'ils ont appuyé dessus ;
- ☐ il estime qu'ils ont passé le bout de piste à 50 ft de hauteur sol ;
- ☐ la franche accélération après application de la poussée TOGA était corrélée avec les « *speed trend* » ;
- ☐ il n'y a eu aucune alarme pendant le décollage ;
- ☐ arrivés à Mexico, les quatre PNT ont rédigé l'ASR ;
- ☐ il existe une V1 min et VR min mais ils n'ont pas eu le message correspondant. Il n'a pas le souvenir d'avoir déjà eu le message V1 min ou VR min sur d'autres vols.
- ☐ au moment du décollage, il ne regardait pas les indications du Directeur de Vol (FD) ;
- ☐ il a connaissance des ordres de grandeur des vitesses en fonction des masses ;
- ☐ il n'a jamais été confronté auparavant aux problèmes de vitesses de référence qui disparaissent.

1.18.1.3 Premier pilote de renfort

Préparation au sol

Le premier pilote de renfort regarde le dossier de vol. Il y a un problème avec la charge, celle-ci n'est pas compatible avec les capacités de l'avion. Le CDB contacte le *Dispatch* à propos de ce problème. L'équipage est conscient de la masse élevée de l'avion. Ils se mettent d'accord pour prendre 12 tonnes de carburant supplémentaire.

L'avion est déjà chargé quand ils arrivent à l'avion.

Le premier pilote de renfort va derrière pour vérifier le chargement. Il n'y a pas eu d'évolution de charge.

Avec l'autre pilote de renfort, il n'était pas présent lors de la première insertion des paramètres.

Il a l'impression que le CDB et l'OPL PF travaillent de manière optimale. Tout lui semble très sérieux et le CDB donne l'impression d'être rigoureux.

⁽⁴⁸⁾Cet index représente, sur le bandeau des vitesses du PFD, la vitesse de manœuvre associée à la configuration volets 5 pour la sortie ou la rentrée des volets.

Quand l'ECD arrive, le CDB annonce la charge. L'OPL PF fait le calcul et annonce « 243 tonnes c'est conforme à l'EFB ». Il a fait une erreur de 100 tonnes. Le premier pilote de renfort voit l'OPL PF faire le geste de se tourner vers l'EFB. Personne ne relève l'erreur. Le CDB avait souligné les 343 tonnes sur l'ECD. Le CDB plie et range l'ECD.

Le premier pilote de renfort suit le problème des vitesses de référence. Il est là lorsque le CDB et l'OPL PF entrent la ZFW. Le mode de fonctionnement a l'air normal. De son siège, il ne peut pas voir les écrans centraux où s'affiche le FMS.

Roulage et décollage

Le briefing sécurité est très bien mais le CDB ne mentionne pas que la poussée TOGA était disponible. Tout se passe bien de la mise en poussée à la rotation.

Après la rotation, une fois en l'air, l'OPL PF rend la main. Cela surprend l'équipage. Il parle avec l'autre pilote de renfort et dit « *Ya un truc anormal* ». Les deux pilotes de renfort regardent dehors, par les vitres latérales. Ils remarquent que l'avion ne monte pas mais accélère.

Le deuxième pilote de renfort se penche en avant et regarde ce qu'il se passe. C'est à cet instant que celui-ci annonce TOGA.

Le CDB annonce un « *vario* » positif et rentre le train. Le premier pilote de renfort regarde devant le PFD et parle de la vitesse et du PLI. Pendant la montée initiale, il discute avec l'autre pilote de renfort à propos des causes possibles. Ils envisagent un problème de sonde et ils parlent également de *tailstrike*. Ils pensent qu'il n'y a pas eu de *tailstrike*.

L'OPL PF comprend l'erreur et montre son EFB au reste de l'équipage. Le premier pilote de renfort propose de le remplacer, car il semble affecté.

À Mexico, l'équipage parle de l'événement et écrit le rapport.

1.18.1.4 Second pilote de renfort

Préparation au sol

Il n'est pas fatigué.

Il effectue des calculs sur son OFP, en prenant en compte le carburant qu'il voulait à l'atterrissage. Il trouve une masse au décollage de 340 tonnes et donne son OFP à l'OPL PF.

Le CDB remarque qu'une des charges proposées dans le dossier de vol est de 114 tonnes, ce qui est incohérent parce que cela donnerait une ZFW plus élevée que la ZFW maximale. Le CDB appelle le *Dispatch* qui leur dit de prendre la charge de l'OFP qui est cohérente.

Quand ils arrivent à l'avion, tout est prêt. Ils ne sont pas pressés.

Le second pilote de renfort effectue des calculs de carburant et discute de ses résultats avec l'autre pilote de renfort qui fait le même type de calcul. Les résultats sont cohérents.

Il effectue le tour avion en 10 à 15 minutes. L'avion est déjà chargé.

Il revient à bord et tout lui semble calme et l'équipage sympa et professionnel.

Il n'était pas présent quand le CDB et l'OPL PF ont effectué la première tentative d'insertion des vitesses de décollage. Le CDB avait détecté 20 kts d'écart ce qui n'était pas normal.

Lors du nouvel essai d'insertion des vitesses, l'équipage est au complet. Les vitesses de référence ne s'affichent pas. Le CDB et l'OPL PF appuient plusieurs fois sur le bouton ON/OFF pour essayer de les faire apparaître. Ils cherchent pourquoi elles ont disparu mais ne comprennent pas.

Les deux pilotes de renfort essayent également de comprendre sans succès. Le second pilote de renfort n'a jamais vu ça.

Le CDB décide de réinsérer la ZFW en cross-check avec l'OPL PF. Les vitesses de référence ne s'affichent toujours pas ce qui n'est pas habituel. Le critère a été de voir que le FMS acceptait les vitesses saisies.

Le second pilote de renfort n'a pas de doute particulier sur le carton de décollage. Le calcul des performances s'est fait en cross-check entre le CDB et l'OPL PF. Le second pilote de renfort n'a pas eu le carton de décollage et ne savait pas qu'il avait été imprimé.

Roulage et décollage

Il n'y a rien à signaler jusqu'à la mise en poussée. Il ne ressent rien d'inhabituel pendant la course au décollage et la rotation. Le nez de l'avion se lève normalement. Il a l'impression que le lift off est lent et que l'avion s'enfonce et fait un palier. Il se dit que l'avion ne monte pas et n'accélère pas et décide d'annoncer TOGA. Il a l'impression qu'il se passe trois secondes entre le lift off et son annonce et qu'une seconde plus tard, l'OPL applique la poussée TOGA. Il ressent une accélération forte et remarque une montée progressive. Le premier pilote de renfort aide l'OPL PF dans la surveillance de la vitesse.

Pendant la montée, les deux pilotes de renfort se demandent s'il s'agissait d'un problème anémométrique, de centrage ou de charge. L'OPL PF dit : *"J'ai trouvé elle est énorme"* et montre son EFB.

L'équipage évoque la possibilité d'un *tailstrike* mais ils sont sûrs qu'il n'y en a pas eu. Au FL200, l'autre pilote de renfort propose à l'OPL PF de le remplacer et celui-ci accepte.

À Mexico, ils écrivent ensemble un rapport qui reflète ce qui s'est passé : l'OPL PF a bien piloté, le second pilote de renfort a annoncé TOGA ce qui a été correctement appliqué par l'OPL, le CDB a fait attention au train d'atterrissage et le premier pilote de renfort a surveillé la vitesse.

De plus, il ajoute dans son témoignage qu'après la mise en route lors du vol de l'événement, il a été un peu étonné que le CDB appelle volets 5, alors qu'il attendait volets 15. Il s'est rassuré en se disant que le 777 cargo était comme un 777-200 mais avec des moteurs de 777-300. Il n'avait pas de doute sur le « *carton décollage* ».

L'OFP de l'OPL, le « *carton décollage* » et l'ECD figurent ci-dessous :

Plan de vol exploitation de l'OPL

Page 1/1
 TAKE-OFF PERFORMANCE
 22MAY15 09:10:50
 B777F GE90-110B1L LFPG / CDG

 * QFU 26R / T11 *
 * FLAPS 5 *

 TORA 3615 M
 No NOTAM data found.
 MEL ITEMS : None
 CDL ITEMS : None
 ENGINE FAILURE PROCEDURE:
 ZAC 1800 FT. MONTER DANS L AXE. A LA
 ZAC, SUIVRE LES INSTRUCTIONS DU
 CONTROLE.

 FLAPS 5 WIND 0 KT QNH 1028.0 HPa TEMP 17 C
 RWY DRY AC Auto A/I E+W AUTO
 PLANNED WEIGHT *****
 243000 KG

 THRUST : *
 REDUCED THRUST TEMP: * 58 C *

 * V1 143 KT *
 * VR 152 KT *
 * V2 156 KT *
 * %N1 89.3 *

« Carton décollage »

09:39 LOADSHEET FINAL
 LOADSHEET FINAL 1137 EDN 01
 AF6724/22 22MAY15
 CDG MEX F-GUOC 4/0.
 CFG 4/37P2.....
 LD 093290
 DOW 141575
 ZFW 234865/ (TWO THREE FOUR EIGHT SIX FIVE) MAX 248115 .
 TOW 341465/ (THREE FOUR ONE FOUR SIX FIVE) MAX 347451 L
 TWE 094600
 LAW 246865 MAX 260815 .
 UNDL 05986
 FUEL DENSITY 0.795
 DOI 42.7
 LIZFW 48.7 MACZFW 26.5
 LITOW 044.2 MACTOW 26.7
 MACTOW LIMIT
 FWD 21.5 AFT 036.1
 CHECKED BY KUNC DIDIER.....
 SI
 SI-
 NOTOC=OUI
 SI LAW A 260T
 CONTROLE MANUEL DE L
 ASYMETRIE PAR FILE.....
 IF LAW 260T DO THE
 LATERAL IMBALANCE
 MANUAL CHECK.....

État de charge définitif (ECD)

On note que :

- ☐ dans l'OPF, partie Limitations, figure un calcul de masse dont le résultat final est 241,5 t au lieu de 341,5 t ;
- ☐ le « carton décollage » mentionne une masse de 243 t, une vitesse de rotation de 152 kt et une configuration volet 5° ;
- ☐ l'ECD mentionne une TOW de 341 465 kg.

1.18.3 Paramètres au décollage calculés par l'OPT à partir de la masse correcte et de la masse erronée

Air France a recalculé à partir de l'OPT les performances au décollage dans les conditions du jour avec la masse erronée insérée par l'équipage (243 t) et la masse correcte (343 t).

	Calcul avec masse erronée Masse de 243 t	Calcul avec masse correcte Masse de 343 t
V1	143 kt	167 kt
VR	152 kt	175 kt
V2	156 kt	179 kt
Reduced thrust temperature	58 °C	37 °C
Configuration des volets	5 °	15 °
Poussée	89,3 % de N1	98,5 % de N1

1.18.4 Incidents similaires sur Boeing 777-300

Un rapport d'enquête du DSB⁽⁴⁹⁾ traite d'un incident grave très similaire à celui du F-GUOC, celui du PH-BVG survenu le 7 juillet 2013 à Schiphol (Pays-Bas). Il mentionne également un autre incident similaire survenu le 31 août 2009 et impliquant le même exploitant.

Le rapport du DSB est disponible en intégralité en annexe 3 du présent rapport.

Dans les deux événements, comme dans le cas de l'incident grave du F-GUOC, on observe les éléments suivants :

- ❑ une valeur de masse de 100 tonnes inférieure à la masse réelle est insérée dans l'EFB ;
- ❑ les vitesses de décollage calculées par l'EFB à partir de cette valeur de masse erronée sont insérées dans le FMS ;
- ❑ le message V SPEEDS UNAVAILABLE n'a pas permis d'alerter suffisamment les équipages qui ont dans les deux cas poursuivi le décollage ;
- ❑ le décollage a eu lieu à une vitesse significativement inférieure à celle correspondant à la masse réelle.

Le DSB indique dans son rapport que :

- ❑ les mesures prises par l'exploitant après l'incident de 2009 n'ont pas été suffisantes pour empêcher un événement similaire quatre ans plus tard ;
- ❑ l'enquête interne de 2009 de l'exploitant avait conclu que l'ajustement des procédures n'est pas la solution pour empêcher de tels incidents.

Le DSB conclut que l'accent devrait être mis en particulier sur la prévention des erreurs de saisies. Il rappelle qu'au moment de l'incident en 2013, aucun progrès n'avait encore été réalisé sur ce sujet, malgré les nombreuses recommandations demandant le développement de systèmes de détection d'erreurs grossières dans les calculs de performance.

⁽⁴⁹⁾https://www.onderzoeksraad.nl/media/attachm ent/2018/7/10/3759582bd5c0ovv_kwartaalrapportage_luchtvaart_kw i 2016_en.pdf

Suite à l'incident grave de 2013, l'exploitant a décidé de remplacer l'OPT par LINTOP⁽⁵⁰⁾, qui permet d'alerter l'équipage dans le cas d'une utilisation de masse manifestement erronée lors du calcul des performances au décollage.

L'exploitant a également émis une recommandation à Boeing ayant pour objectif d'améliorer la formulation du message V SPEEDS UNAVAILABLE. Enfin, le DSB a demandé à Boeing si une amélioration était possible de l'affichage, de l'explication et du sens de ce message.

Boeing a répondu qu'aucun changement n'était prévu au sujet du message V SPEEDS UNAVAILABLE.

1.18.5 Étude publiée par le BEA en 2008 et intitulée "Utilisation de paramètres erronés au décollage"

Le BEA a commandé au LAA et publié en 2008 une étude qui traite de la problématique des erreurs d'insertion de paramètres erronés au décollage :

<http://www.bea.aero/etudes/utilisation.de.parametres.errones.au.decollage/utilisation.de.parametres.errones.au.decollage.pdf>

L'étude a pris en compte :

- ❑ 12 incidents ou accidents ayant fait l'objet de rapport, datant de 1990 à 2006 impliquant les avions suivants : Boeing 747, 767, Airbus A321, A330, A340 et Embraer ERJ190 ;
- ❑ des publications de Boeing et Airbus relatives aux décollages avec vitesses erronées ;
- ❑ des vols d'observation effectués par des spécialistes Facteurs Humains.

Les conclusions de l'étude ont été les suivantes :

- ❑ La variété des événements montre que la problématique de détermination et d'utilisation des paramètres de décollage est indépendante de la compagnie exploitante, du type d'appareil, de l'équipement et de la méthode utilisés.
- ❑ Les erreurs portant sur les données du décollage sont fréquentes. Elles sont en général détectées par l'application des procédures ou par des méthodes personnelles, comme le calcul mental.
- ❑ Les occurrences analysées révèlent que les dysfonctionnements correspondent à des erreurs provenant du calcul des paramètres de décollage ou de la saisie des vitesses dans le FMS, mais pas de la saisie de la masse dans le FMS.
- ❑ Les vérifications du calcul des paramètres de décollage peuvent se montrer inefficaces car elles consistent à vérifier la saisie des valeurs mais pas l'exactitude des valeurs elles-mêmes.
- ❑ Les valeurs de masses manipulées par les équipages avant le vol peuvent apparaître, suivant les documents ou les logiciels, sous diverses dénominations ou acronymes et dans des unités et des formats différents pour une même donnée, ce qui rend leur mémorisation difficile.
- ❑ Le contrôle des données figurant sur plusieurs supports s'avère souvent inefficace. Il se limite à des comparaisons élément par élément. En particulier, il n'existe pas de comparaison conjointe entre les valeurs de masses au décollage figurant sur l'état de charge définitif, sur le « carton de décollage » ou son équivalent électronique, et dans le FMS.

- ❑ La connaissance par les pilotes d'ordres de grandeur de valeurs de paramètres déterminées par des méthodes empiriques est la stratégie la plus souvent citée pour éviter les erreurs importantes. Toutefois, cette connaissance diminue avec l'utilisation de calculs précis pour l'optimisation des paramètres.
- ❑ Les FMS étudiés permettent l'insertion de valeurs de masses et de vitesses incohérentes ou en dehors des limitations opérationnelles des appareils concernés. Certains acceptent l'omission de la saisie des vitesses, sans en alerter l'équipage.
- ❑ La disponibilité effective de l'état de charge définitif peu de temps avant le départ impose à l'équipage d'effectuer un nombre important de tâches, de saisies et d'affichage de paramètres sous forte pression temporelle.

L'étude a identifié les axes d'amélioration suivants :

- ❑ Renforcement des contrôles logiciels lors des calculs de performance et des insertions au FMS.
- ❑ Mise en place obligatoire d'un système d'alerte par le FMS lors d'une détection d'incohérence entre les masses et les vitesses insérées.
- ❑ Mise en place d'un système autonome avion, indépendant de l'équipage, calculant la masse et le centrage et donc les vitesses de décollage.
- ❑ Homogénéisation de l'ensemble des supports utilisés par l'équipage pour le calcul des performances et l'insertion des paramètres.
- ❑ Association systématique de la donnée masse aux données de vitesses lors des contrôles.
- ❑ Contrôle simultané des données des différents supports : FMS, EFB/« *carton décollage* », état de charge.
- ❑ Renforcer la connaissance et / ou l'accès aux ordres de grandeur masse – vitesse.
- ❑ Renforcer la formation des équipages aux situations d'urgence relatives au décollage avec paramètres erronés.

L'étude précise qu'il ne s'agit pas de mettre en place l'intégralité de ces barrières possibles. La mise en place de l'ensemble des barrières, en particulier les barrières procédurales, alourdirait en effet de façon trop importante la phase de préparation.

Formellement, deux recommandations de sécurité ont été adressées sur la base de cette étude (cf. §. 1.17.2.2 et 1.17.3.1) :

- ❑ à la DGAC, concernant la surveillance des exploitants (FRAN 2008-022) ;
- ❑ à l'AESA, par l'intermédiaire de la DGAC, concernant les systèmes de détection d'erreurs d'insertion grossières (FRAN 2008-014).

La recommandation du BEA de 2005 portant sur l'OBWBS (FRAN-2005-001) a également été rappelée à cette occasion.

1.18.6 Autres études internationales

a) Étude de l'ATSB

En 2009, l'ATSB a publié une étude de 100 pages intitulée « **Take-off performance calculation and entry errors: A global perspective** ». Elle est disponible à l'adresse suivante :

<https://www.atsb.gov.au/media/2229778/ar2009052.pdf>

Voici quelques extraits de ses conclusions :

Overall, the study determined that these types of errors occur irrespective of the airline, the aircraft type, the equipment, and the data calculation and entry method used.

Unfortunately, the above examples are not isolated and despite improvements in automated cockpit systems and robust operating procedures, these errors continue to occur.

Despite advanced aircraft systems and robust operating procedures, accidents continue to occur during the take-off phase of flight. The takeoff is recognised as one of the most, if not the most, critical stage of flight, as there is limited time and options available to the flight crew for managing abnormal situation such as insufficient airspeed.

Experience shows that the calculation and entry of erroneous take-off performance parameters have many different origins. The safety factor analysis of the 20 international occurrences showed that many factors have been identified at all levels of influence.

Due to the immense variation in the mechanisms involved in making take-off parameter calculation and entry errors, there is no single solution to ensure that such errors are always prevented or captured. These include: appropriate crew procedures, especially those involving cross-checking; aircraft automation systems and software design involving the entering and checking of data; the provision of, and design of flight documentation and performance charts; and adequate crew pairing that accounts for aircraft-type experience for all crew operating the aircraft. At the same time, pilots need to ensure procedures are followed even when faced with time pressures or distractions.

The results of this study, and that from other related research, have recognised that these types of events occur irrespective of the airline or aircraft type, and that they can happen to anyone; no-one is immune. It is imperative that the aviation industry continues to explore solutions to firstly minimise the opportunities for take-off performance parameter errors from occurring and secondly, maximise the chance that any errors that do occur are detected and/or do not lead to negative consequences.

b) Étude de la NASA

En 2012, la NASA a publié une étude de 88 pages intitulée « **Performance Data Errors in Air Carrier Operations: Causes and Countermeasures** ». Elle est disponible à l'adresse suivante :

http://human-factors.arc.nasa.gov/publications/NASA_TM2012-216007.pdf

Voici quelques extraits de ses conclusions :

« our study suggests that more accidents are likely to occur unless existing measures to prevent and catch these errors are improved and new measures developed.

Most of the errors we examined could in principle have been trapped by effective use of existing procedures or technology; however, the fact that they were not trapped anywhere in the chain of developing and applying the data indicates a need for better countermeasures. Existing procedures are often inadequately designed to mesh with the ways humans process information and their associated vulnerability to error—and procedures often fail to take into account the ways in which information flows in actual flight operations and the time pressures experienced by both pilots and ground personnel.

Because data entry errors are so prevalent, we suggest that airlines employ automated systems (feasible with current technology) that eliminate the need for manual data entry wherever possible in the process.

Without effective countermeasures, errors will inevitably creep into the data process because of human cognitive vulnerabilities and operational exigencies.

An autonomous onboard weight-and-balance sensing system—as an independent source of information—can serve as an effective cross-check for the weight and balance values derived from the performance data process.

Regardless what approach to verification is taken, weight and balance information—as well as performance parameters derived from this information—should be compared between independent sources.

FMS interface design can be improved to prevent some types of data entry errors.

One cross-check that can be readily incorporated in airline procedures is a pre-departure comparison between the preliminary (flight-planned) and the final weight/balance data.

1.18.7 Système LINTOP de calcul de performance

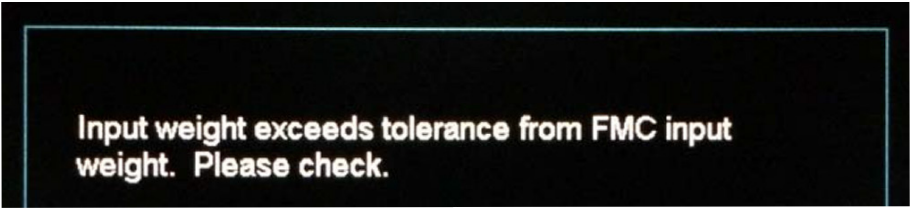
Le système LINTOP, développé par Lufthansa Systems, est un système de calcul de performance déporté au sol, qui peut remplacer le calcul des performances réalisé sur l'EFB. Il permet d'envoyer les données saisies par l'équipage dans la page ACARS (masse, t°, piste, etc.) à un système sol qui effectue ensuite les calculs de performance et renvoie les résultats à l'équipage. Ce dernier saisit ensuite manuellement les données dans le FMS. LINTOP peut comparer la masse rentrée dans la page ACARS par l'équipage avec la masse utilisée lors de la préparation des vols⁽⁵¹⁾. En cas d'écart trop élevé, et si la masse saisie est plus faible, l'équipage est averti (en % de différence).

(51) Estimated Take Off Weight (ETOW).

Le système LINTOP est disponible sur Airbus, Boeing, Embraer, Bombardier et d'autres aéronefs.

1.18.8 Fonctionnalité EFB de comparaison de la masse sur Boeing 777

Cette fonctionnalité EFB de comparaison de masse a été introduite en 2011. Dans l'EFB, un bouton COPY FMC DATA permet de copier certaines données FMS dans l'EFB. L'EFB compare la TOW saisie et la GR WT insérée dans le FMS. Un message est généré par l'EFB si la différence dépasse un seuil prédéfini :



Input weight exceeds tolerance from FMC input weight. Please check.

Boeing indique que c'est une option qu'il faut activer. Air France a confirmé que le 777 immatriculé F-GUOC n'était pas équipé de cette fonctionnalité.

Un autre exploitant qui a activé cette option a néanmoins soulevé les points suivants :

- ❑ un autre message très similaire en apparence peut apparaître de façon récurrente suivant l'ordre dans lequel sont réalisées les insertions ;
- ❑ il est de moindre importance et sert à avertir que la comparaison n'est pas possible, par exemple quand la ZFW n'a pas été saisie dans le FMC ;
- ❑ l'apparition récurrente de ce message, effacé par routine par les équipages, pourrait éroder la barrière de sécurité que constitue le message prévu pour alerter l'équipage sur une différence trop grande entre les masses saisies dans l'EFB et le FMC.

1.18.9 Systèmes TOS et TOM d'Airbus

Le système TOS (Take-Off Securing) permet de détecter des incohérences dans les paramètres insérés au FMS à partir des fonctionnalités suivantes :

- ❑ vérification de la cohérence de la ZFW, alarme si incohérence entre les vitesses insérées et la TOW ;
- ❑ détection si les vitesses ne sont pas insérées ;
- ❑ détection d'une configuration inadéquate (volets, compensateur de profondeur) ;
- ❑ vérification de la position de l'aéronef ;
- ❑ vérification de la distance de décollage.

Le système TOM (Take-Off Monitoring) surveille l'accélération de l'aéronef au décollage par comparaison avec les données de performance insérées dans le FMS. Le système permet de détecter une TOW erronée, des performances dégradées de l'aéronef (faible poussée, freinage résiduel, dégradation aérodynamique) ou une contamination anormale de la piste. Le système TOM d'Airbus correspond aux systèmes discutés dans le groupe TOPMS de l'EUROCAE.

Il existe des alertes de type Master Caution / Warning pour chacune des vérifications effectuées par les systèmes TOS / TOM.

Les différentes fonctionnalités du système TOS sont disponibles sur le programme A350.

Le système TOM a été certifié sur A380 en février 2018 et devrait être implémenté à court terme également sur A350.

Le retrofit des systèmes TOS et TOM est prévu par Airbus sur tous les autres programmes. Néanmoins la disponibilité sera dépendante des possibilités de retrofit.

1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces

Sans objet.

2 - ANALYSE

2.1 Scénario

Les numéros entre parenthèses de type (①) renvoient au schéma récapitulatif en fin de scénario (Figure 4).

Préparation du vol

L'équipage du vol cargo, composé du Commandant de Bord (CDB) et de trois Officiers Pilotes de Ligne (OPL), se retrouve à la préparation des vols. La préparation du vol se déroule sans événement notable. L'équipage a conscience que la masse au décollage sera proche de la masse maximale (347,4 t) en raison de la charge et du carburant prévus.

Calculs des paramètres de décollage

Les deux OPL de renfort s'occupent du tour avion et de la sécurité du chargement. Le CDB (PM) et l'OPL (PF) effectuent la préparation en poste ; en raison d'orages prévus à l'arrivée, l'équipage a décidé d'un emport carburant de 2,5 t supérieur à celui prévu par le plan de vol (OFP).

La masse finale au décollage sera ainsi supérieure à celle prévue lors de la phase de préparation préliminaire (indiquée sur l'OFP). Dans ce cas, les procédures d'Air France prévoient que les données utilisées pour le calcul des performances soient réactualisées dans l'OPT et qu'une seconde vérification croisée soit réalisée. Les deux pilotes anticipent les nouvelles masses au décollage en prenant en compte le carburant supplémentaire. Ceci peut leur permettre d'éviter de refaire les calculs dans un temps restreint après la réception des données définitives.

Pour estimer les nouvelles données, l'OPL calcule, de tête, la masse au décollage en additionnant la ZFW et le carburant prévu. Il fait une erreur de calcul de 100 t et insère 243 t dans son OPT (①). Pendant ce temps, le CDB calcule, également de tête, la masse au décollage en corrigeant la masse au décollage prévue par le plan de vol de la différence entre le carburant prévu et le carburant choisi. Il obtient 343 t. Mais il saisit 243 t dans son OPT (①).

En l'absence d'enregistrement, il n'est pas possible de déterminer si les deux erreurs sont indépendantes ou si l'un des membres d'équipage est influencé par la verbalisation d'une valeur erronée par l'autre membre d'équipage. La vérification croisée qui porte sur l'égalité des résultats de calcul des OPT ne permet pas de relever l'erreur de 100 t (②).

Insertion des données dans le FMS

Conformément à la procédure « *CDU PreFlight Procedure* » de la compagnie, l'équipage commence à insérer des données dans le FMS.

L'OPL PF insère la ZFW prévisionnelle dans le FMS (③). En avance de phase, il remplit le centrage, et les volets. Le braquage de volets issu du calcul de performance est de 5° alors qu'il serait de 15° avec la masse réelle de 343 t. Cette valeur de configuration n'alerte pas l'équipage. Depuis l'optimisation des performances chez Air France, la configuration volets 5° est statistiquement majoritaire pour les décollages sur Boeing 777-F (cargo) et d'environ la moitié pour l'ensemble de la flotte 777.

Lorsque l'équipage insère les vitesses issues de l'OPT, il note que le FMS affiche des vitesses de référence significativement supérieures (Figure 1). L'équipage pense que cet écart peut résulter d'une instabilité des mesures des sondes due aux pleins en cours. Le CDB et l'OPL effectuent alors d'autres tâches.



Les vitesses de référence V1, VR et V2 sont calculées par le FMS et affichées dans la page TAKE OFF REF. Le calcul se base notamment sur la masse ZFW insérée par l'équipage.

Figure 1 : exemple issu de simulation
Vitesse de référence versus Vitesses insérées

Messages TAKE OFF SPEEDS DELETED et V SPEEDS UNAVAILABLE

Dans les conditions du jour, et dès que la TOW est supérieure à 330 t avec un braquage de volets de 5°, le FMS ne peut plus calculer les vitesses de référence et le message V SPEEDS UNAVAILABLE apparaît.

Pendant le plein carburant, alors que l'équipage effectue d'autres tâches, la TOW atteint 330 t et le message TAKE OFF SPEEDS DELETED apparaît dans la page d'écran alors affichée du FMS (il ne s'agit pas forcément de la page TAKEOFF REF). L'équipage a probablement supprimé ce message ainsi que le message suivant, V SPEEDS UNAVAILABLE, sans y prêter une attention particulière.

Réception des données définitives

Les deux OPL de renfort reviennent avant que l'état de charge définitif (ECD) n'arrive.

L'OPL PF effectue le briefing décollage et rappelle notamment : « on est lourd ».

Lorsque l'ECD arrive, le CDB compare les données du FMS avec celles de l'ECD (④). Elles sont globalement cohérentes. Il annonce la charge à l'OPL (⑤). Celui-ci recalcule les données à la main (Figure 2). Il se trompe une seconde fois de 100 tonnes et obtient le même résultat erroné que celui inséré dans son OPT. Après comparaison, il indique au CDB « c'est conforme ». (⑥)

Le calcul manuel est le suivant :

Masse à vide DOW (141,6)
+ Charge PLD (93,3)
= ZFW (234,9)
+ carburant définitif (106,6)
= 241,5 t

LIMITATIONS 4+0			
	ESTIMATED		
141.6	DOW	141575	
93.3	PLD	93.3 94130	
	ZFW	235705	
234.9	FDEST		F
106.6	LAW	245950	
	TRIP	93849	F
241.5	TOW	339799	
	TAXI	660	F
	FUEL	104754	
	PLD+FUEL	205876	

Figure 2 : extrait du plan de vol (OFP) de l'OPL

Insertions définitives

Lorsque le plein de carburant est terminé, les deux membres d'équipage réinsèrent toutes les données dans le FMS en commençant par la ZFW. Le message V SPEEDS UNAVAILABLE apparaît lorsque toutes les données nécessaires au calcul des vitesses sont insérées. Lorsqu'ils affichent la page TAKEOFF REF, les vitesses de référence n'apparaissent plus. Ils essaient de les faire apparaître sans succès en appuyant plusieurs fois sur la touche ON/OFF correspondant à la fonction REF SPDS du FMS (Figure 3).

La configuration des volets 5°, la température réduite de 37° et les vitesses de décollage issues de l'OPT du CDB sont alors insérées. Les valeurs sont : V1 143 kt VR 152 kt et V2 156 kt (au lieu de 167 kt, 175 kt et 179 kt pour une configuration des volets 15° et une température réduite de 58° calculés par l'OPT avec une masse correcte).

	
Message V SPEEDS UNAVAILABLE	Vitesses insérées sans vitesses de référence

Figure 3 : copies d'écran de FMS
Paramètres de décollage proches de ceux de l'incident

L'équipage ne s'interroge pas sur la cohérence des vitesses insérées, le FMS n'en ayant pas empêché la saisie. Après le repoussage et lorsque le CDB demande volets 5, un OPL de renfort est surpris parce qu'il s'attendait à la configuration volets 15. Il n'exprime toutefois pas son doute et se convainc que ce résultat du calcul de performance est possible sur cette version spécifique de Boeing 777 (777-F cargo).

Décollage

L'avion s'aligne en piste 26R et décolle à 10 h 25.

La rotation débute lorsque la vitesse conventionnelle (CAS) atteint 154 kt. Juste après la rotation, le PF et les trois autres membres d'équipage sentent immédiatement que l'avion s'enfonce. Cinq secondes après que la rotation ait débuté, la protection *tailstrike* s'active avec autorité maximale. Sans cette protection, la queue de l'avion aurait probablement touché le sol une seconde plus tard. Les roues sont toujours en contact avec le sol et l'assiette se stabilise à 9°, en dessous de l'assiette de toucher de queue. Il n'y a pas eu de *tailstrike* durant l'événement. Dès le début de la rotation, le CDB porte son regard à l'extérieur.

Huit secondes après l'activation de la protection *tailstrike*, la pleine poussée est appliquée, en réponse à l'annonce « *TOGA!* » faite par un des pilotes de renfort. L'avion est alors à une hauteur de 16 ft, l'assiette est de 13 °, la CAS de 189 kt. L'avion accélère franchement. Le CDB est préoccupé par la hauteur et la vitesse verticale. Il commande la rentrée du train lorsque la vitesse verticale est de +1 500 ft/min environ. L'assiette augmente vers 16° et l'avion passe le seuil opposé 08L à une hauteur radiosonde de 172 ft.

L'autre pilote de renfort surveille la vitesse et aide le PF à maintenir la vitesse au-dessus de la MMS⁽⁵²⁾ et l'assiette sous celle du PLI⁽⁵³⁾.

Il n'y a pas eu de déclenchement d'alarme d'approche du décrochage (Stick Shaker) au cours du décollage et de la montée.

Par la suite, l'équipage évoque plusieurs hypothèses sur les causes de l'événement. Les erreurs de calcul et d'insertion sont découvertes lorsque le PF reprend son OPT. Le PF est relevé vers le FL200.

Les membres de l'équipage discutent de la possibilité d'interrompre le vol mais ne la retiennent pas car ils se sentent aptes à poursuivre le vol jusqu'à Mexico. La procédure TAIL STRIKE du FCOM n'est pas évoquée.

Arrivée

L'arrivée et l'atterrissage se passent normalement. Après que l'avion est immobilisé, les membres d'équipage en font le tour et confirment l'absence de toucher de queue. Ils sont relevés après l'incident par la compagnie.

Le schéma suivant synthétise les principaux contrôles effectués sur les données de masse au décollage.

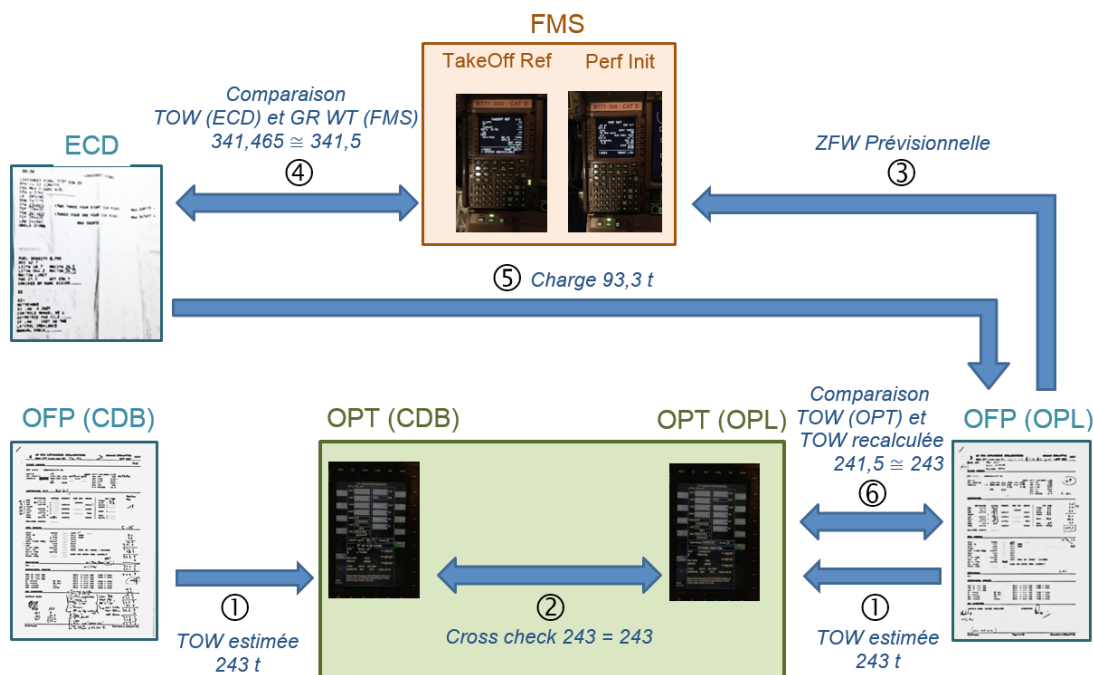


Figure 4 : schéma des principaux contrôles effectués sur les données de masse au décollage pendant l'événement

(52) Minimum Maneuvering Speed (Vitesse minimale de manœuvre).

(53) Pitch Limit Indicator (Indicateur de limite d'assiette).

2.2 Analyse de l'événement

2.2.1 Performance des barrières opérationnelles dans l'événement

Les éléments issus de l'ASR rédigé par l'équipage et des témoignages des pilotes indiquent que le CDB et l'OPL ont effectué le calcul de façon indépendante sur leur OPT, comme prévu par les procédures Air France. Chacun des deux pilotes a inséré une masse inférieure de 100 t à la masse réelle. Ils ont comparé les données prises en compte et les résultats une fois le calcul effectué. La valeur erronée étant la même de chaque côté, les résultats étaient identiques. Ce premier contrôle a donc été inefficace pour relever l'erreur de 100 t. La valeur de 243 t annoncée par le CDB ne les a pas alertés.

Les données disponibles ne permettent pas de conclure sur l'indépendance ou non des deux saisies. Un échange verbal entre les membres d'équipage pourrait être à l'origine de cette concomitance. Ceci s'est déjà produit sur le même type avion dans deux événements similaires survenus en 2009 et 2013. Le rapport établi par le DSB sur l'incident de 2013 indique : « *Dans l'incident de 2013 et dans celui de 2009, l'un des pilotes a mentionné une masse au décollage incorrecte et l'autre pilote a utilisé cette masse, ce qui a conduit à ce que le calcul ne soit plus indépendant, causant ainsi la défaillance d'une barrière de sécurité importante* ». ⁽⁵⁴⁾

⁽⁵⁴⁾Traduit à partir du rapport du DSB (Cf. § 1.18.4.1).

Lors de la réception de l'état de charge final, le FCOM prévoit que celui-ci soit vérifié par le CDB et l'OPL. Une des façons d'y répondre est la technique appliquée par le CDB et l'OPL, c'est-à-dire la transmission de la charge à l'OPL pour que celui-ci vérifie la TOW et la compare à celle prise en compte dans le calcul des paramètres. Le calcul manuel de la TOW effectué par l'OPL lors de la réception de l'état de charge aboutit au même résultat erroné de 100 t. Ceci peut s'expliquer par l'interférence des attentes du pilote sur le résultat à obtenir (une masse aux alentours de 243 t) dans le processus de calcul. La validation de l'état de charge pouvait constituer une possibilité de détecter l'erreur de masse. Mais les deux contrôles effectués par l'équipage à ce moment ont aussi été inefficaces. La masse calculée comportait la même erreur que celle entrée dans l'OPT, et la masse de l'état de charge était égale à celle saisie dans le FMS. Les procédures d'Air France ne comportent pas de contrôle simultané des masses présentes sur les trois supports (FMS, OPT, ECD).

Les vitesses calculées par le FMS constituaient une source d'information indépendante qui pouvait permettre de s'interroger sur la validité des calculs. Ni l'écart important (20 kts) des vitesses de référence avec les vitesses calculées par l'OPT ni ensuite l'absence des vitesses de référence lors la dernière saisie des données n'ont conduit l'équipage à remettre en cause les calculs effectués dans l'OPT. Cette barrière de récupération a ainsi également été inefficace le jour de l'événement.

Les différentes barrières procédurales telles qu'elles ont été appliquées par l'équipage n'ont pas permis de prévenir l'événement :

- ☐ la comparaison des calculs indépendants ;
- ☐ la validation de l'état de charge et le contrôle de sa conformité avec les données saisies ;
- ☐ l'utilisation des vitesses de référence proposées par le FMS.

Bien que l'équipage ait la connaissance d'ordres de grandeur, cela n'a pas été suffisant pour les conduire à détecter l'erreur de 100 t.

2.2.2 Mobilisation des ordres de grandeur

Le scénario met en relief une absence de réaction de l'équipage face à des valeurs de masses et de vitesses incohérentes avec les conditions du jour (une masse proche de la masse maximale). Le CDB ne s'explique pas comment il a pu ne pas détecter l'incohérence entre la V2 et la masse. Il indique connaître les ordres de grandeur. L'OPL considère qu'ils avaient conscience d'avoir une masse élevée proche des limites et il déclare avoir connaissance des ordres de grandeur de vitesse en fonction de la masse. Ainsi selon leurs témoignages, les pilotes disposent d'ordres de grandeur mais ne les ont pas mobilisés dans leur mémoire de travail pendant la préparation du vol.

Trois facteurs principaux peuvent expliquer cette absence d'appel aux ordres de grandeur :

- ☐ la diversité des formats et supports ;
- ☐ la multiplicité des contrôles simples ;
- ☐ la confiance dans les systèmes.

Diversité des formats et supports

L'étude publiée par le BEA en 2008, et en particulier l'analyse des rapports d'incidents soulignait la multiplicité des valeurs de masse manipulées et la relative inefficacité des fonctions procédurales associées au contrôle de ces valeurs.

Le tableau suivant présente, à titre d'illustration, les différents formats et intitulés manipulés par l'équipage pendant le vol de l'événement pour la seule masse au décollage.

Takeoff Weight: 243000 KG	TOW	PLANNED WEIGHT 243000 KG
Masse saisie dans l'OPT	Masse calculée sur l'OF	Masse éventuellement imprimée sur le « carton décollage »
TOW 341465/ (THREE FOUR ONE FOUR SIX FIVE)	GR WT 334.8	TOW 339799
Masse indiquée sur l'état de charge définitif	Masses affichées sur le FMS	Masse indiquée sur l'OF

Figure 5 : différentes représentations de la TOW utilisées lors de l'événement

L'étude concluait que les différentes notions manipulées (GR WT, TOW, MTOW, ZFW, charge, carburant coulé, FOB, etc.), les unités associées (kg, 1000 kg, t, l, etc.), les intitulés utilisés (TOW, Takeoff Weight, GR WT, Planned weight, etc.) rendent toutes les représentations trop nombreuses pour être stockées en mémoire de travail.

Les valeurs manipulées perdent alors leur signification empêchant toute comparaison avec des valeurs déjà manipulées dans un contexte équivalent, qui pourraient, suivant le niveau d'expérience des pilotes, avoir été stockées en mémoire à long terme.

Multiplicité des contrôles deux à deux

Les contrôles des paramètres de décollage prévus par les procédures étaient nombreux (égalité des calculs entre les OPT, égalité des vitesses calculées et des vitesses insérées, cohérence entre la masse indiquée dans l'état de charge et la GR WT affichée au FMS...). Pour autant, ces contrôles, tels qu'ils ont été effectués par l'équipage, n'ont pas permis d'éviter l'événement. Le simple contrôle de l'égalité des résultats de calcul n'a pas conduit l'équipage à s'interroger sur la pertinence des valeurs.

Les contrôles élémentaires sont utiles pour détecter rapidement des erreurs de saisie. Il s'agit de comparaisons élément par élément qui ne conduisent pas à interroger la pertinence des valeurs. Or « *un élément faux = un élément faux* » est un contrôle exact mais insuffisant. Il n'existait pas en effet de contrôle de cohérence globale ni de contrôle d'erreur grossière.

Confiance dans les systèmes

Les valeurs de vitesse peuvent être difficiles à estimer :

- ❑ les équipages volent sur différents types de Boeing 777 ;
- ❑ depuis l'optimisation des performances au décollage, la configuration des volets change souvent et les équipages ont différentes plages de vitesse à insérer.

Dans l'événement, un OPL de renfort a été étonné par la valeur de la configuration du F-GUOC mais il n'a pas levé le doute, faisant confiance aux calculs de l'OPT.

Par ailleurs, lors de la première saisie des vitesses, devant l'incohérence de vitesses entre le FMS et l'OPT, l'équipage a pensé que les valeurs proposées par le FMS étaient fausses car le plein était en cours. Cette explication était erronée car la masse augmentant, les vitesses de référence ne pouvaient qu'augmenter également. À ce moment l'équipage choisit la première explication plausible, diffère son action sans chercher à questionner à nouveau ce point plus tard.

Ces deux incompréhensions des résultats sans lever de doute mettent en évidence la perte de maîtrise par les équipages du calcul des paramètres et la confiance « *aveugle* » dans les calculs effectués par les systèmes qui en résulte.

La connaissance par les pilotes d'ordres de grandeur de valeurs de paramètres déterminées par des méthodes empiriques est souvent citée comme une barrière pour éviter les erreurs importantes. Cependant cette connaissance diminue avec l'utilisation de calculs précis pour l'optimisation des paramètres.

2.2.3 Compatibilité des procédures et interfaces avec l'environnement opérationnel

Déroulement des opérations

Dans l'événement, les pilotes n'ont pas entré des données (TOW de l'OFP) qu'ils savaient être déjà périmées (en raison de l'ajout de carburant) et ont ainsi été amenés à faire des calculs manuels. Cette pratique n'est pas inhabituelle, elle résulte d'une optimisation de routine permettant aux équipages de ne pas effectuer un nouveau calcul des paramètres après réception de l'ECD, moment où la charge de travail s'intensifie.

Ceci rejoint une des constatations tirées de l'étude de 2008, à savoir que l'ECD constitue la référence quelle que soit la compagnie et les équipements utilisés. L'obtention de ce document est l'étape déterminante qui conditionne le calcul des paramètres de décollage et leur saisie dans le FMS. Sa disponibilité souvent tardive amène les équipages et les compagnies à adopter des stratégies de contournement

Indépendance

L'événement pose la question de l'indépendance réelle d'un double calcul effectué dans le même contexte avec des données provenant des mêmes supports. Une simple verbalisation peut rendre cette barrière faillible. Or, les pilotes sont habitués à fonctionner en équipage pour l'ensemble des tâches et en particulier à verbaliser et à vérifier mutuellement les insertions dans les systèmes, quels qu'ils soient. Aussi il paraît étonnant et scolaire de demander aux pilotes d'effectuer les calculs de façon séparée, côte à côte.

Par ailleurs, la procédure demande un contrôle des données d'entrée puis un contrôle des résultats. S'il y a partage d'information entre les deux pilotes sur les données insérées, la comparaison des résultats permet au mieux de valider le fonctionnement des OPT.

Enchaînement des procédures

L'enchaînement prévu des procédures comporte des zones floues.

Il est en effet indiqué que la procédure de calcul des paramètres « *EFB Procedure* » peut être débutée à n'importe quel moment pendant la « *Preliminary Preflight Procedure* » et après l'insertion des routes. L'insertion des routes est pourtant effectuée pendant la « *CDU Preflight Procedure* », qui débute après la « *Preliminary Preflight Procedure* ».

La « *Before Start Procedure* » ne commence qu'une fois l'ECD à bord. Dans cette procédure, il est demandé d'effectuer les étapes liées aux données de performance (ZFW et CG) de la « *CDU Preflight Procedure* ». Ceci semble suggérer une double insertion de la ZFW dans le FMS : dans un premier temps à partir de l'OFP et dans un second temps à partir de l'ECD mais sans que cela ne soit clairement écrit.

En ce qui concerne les procédures modifiées depuis l'événement, le rapport interne d'enquête d'Air France (cf. § 4.1.1) mentionne qu'un doute persiste sur le moment auquel doit être effectué le calcul des paramètres.

Ceci illustre la difficulté à concevoir des procédures basées sur un enchaînement linéaire des actions dans un contexte opérationnel où les interruptions de tâches sont nombreuses et où les interfaces ne sont pas forcément compatibles avec le fonctionnement réel de la préparation (données préliminaires puis données définitives par exemple).

2.2.4 Vitesses de référence calculées par le FMS, message V SPEEDS UNAVAILABLE

Utilisation des vitesses de référence

Lors de la première tentative d'insertion des vitesses, l'écart très important entre les vitesses de référence du FMS affichées et les vitesses calculées par l'OPT a clairement alerté l'équipage. Toutefois cela a été insuffisant pour lui permettre d'identifier la source du problème. L'équipage s'est arrêté à la première hypothèse qui lui a paru plausible (la sonde de mesure de la masse carburant non stabilisée). Lorsque l'équipage a de nouveau ressaisi toutes les données dans le FMS une fois le plein complété, il n'a pas retrouvé les vitesses de référence. L'équipage a tenté des actions pour rétablir l'affichage de ces vitesses. La saisie des vitesses n'étant pas bloquée par le FMS, l'équipage a ainsi pu saisir des vitesses même en l'absence de vitesses de référence.

Les procédures et les formations d'Air France ne détaillaient pas les actions à réaliser en l'absence de vitesses de référence.

D'après Boeing :

- ☐ certains exploitants utilisent ces vitesses de référence pour comparaison avec les vitesses du *Dispatch* ;
- ☐ la plupart des exploitants n'utilisent pas les vitesses de référence ;
- ☐ certains exploitants ont des aéronefs qui n'affichent pas les vitesses de référence.

Ceci pose la question de l'utilisation des vitesses de référence par les équipages. Si certaines compagnies l'utilisent comme moyen de détection des erreurs grossières, on peut légitimement se demander pourquoi ceci n'est pas généralisé. De toute évidence, les équipages manquent d'éléments pour utiliser la valeur des vitesses de référence comme une barrière de sécurité efficace.

Saillance du message V SPEEDS UNAVAILABLE

Le message V SPEEDS UNAVAILABLE a été généré à deux reprises :

- ☐ une première fois lors du plein carburant : à partir d'une certaine masse, la configuration de l'aéronef (volets 5) n'était plus compatible avec le calcul des vitesses par le FMS dans les conditions du jour. Cela a entraîné la suppression des vitesses de référence et l'apparition du message V SPEEDS UNAVAILABLE ;
- ☐ une seconde fois, lorsque l'équipage a repris l'ensemble des saisies.

L'équipage a probablement supprimé le message V SPEEDS UNAVAILABLE à deux reprises sans le comprendre et/ou sans y prêter attention. C'est également le cas dans les deux incidents graves mentionnés dans le rapport d'enquête du DSB. Le message semble ainsi être supprimé de façon automatique par les équipages alors que l'absence des vitesses de référence interroge dans la durée.

Le message V SPEEDS UNAVAILABLE, simple message d'information, n'alerte pas l'équipage sur son importance potentielle. Il ne détaille pas les raisons pour lesquelles les vitesses ne peuvent être calculées. Il ne donne pas non plus d'informations sur les conséquences (protection perdue, décollage non autorisé dans certains cas).

Signification du message V SPEEDS UNAVAILABLE

Les procédures et les formations d'Air France ne détaillaient pas les actions à réaliser en cas d'apparition du message V SPEEDS UNAVAILABLE et en l'absence des vitesses de référence.

Les actions à effectuer par l'équipage lorsqu'il voit ce message peuvent être très différentes suivant les cas :

- ❑ dans certains cas, dont certains pas si inusuels d'après Boeing, mais non décrits dans le FCOM, l'équipage peut utiliser les vitesses optimisées par l'OPT et continuer le décollage ;
- ❑ dans le seul cas décrit dans le FCOM (ratio poussée sur masse élevé), le décollage n'est pas autorisé car certaines limites certifiées sont dépassées. L'équipage doit ajuster les paramètres de décollage avant de procéder à celui-ci.

Boeing ne fournit pas d'aide pour permettre à un équipage de prendre la décision de poursuivre le décollage en cas d'apparition du message V SPEEDS UNAVAILABLE. Boeing a indiqué au BEA qu'il était du ressort des exploitants d'avoir des procédures adaptées.

L'analyse des incidents grave très similaires de 2009, 2013 (PH-BVG) et 2015 (F-GUOC) met en évidence le fait que la documentation est restée incomplète et que les exploitants n'ont toujours pas une bonne connaissance des logiques de calcul des vitesses de référence et d'apparition du message V SPEEDS UNAVAILABLE. Les exploitants ont posé de nombreuses questions à Boeing sur ce sujet. En particulier, Air France a recommandé à Boeing de décrire les actions requises associées au message V SPEEDS UNAVAILABLE.

Efficacité de la barrière de sécurité constituée par les vitesses de référence et le message V SPEEDS UNAVAILABLE

Sur 777, il est possible d'insérer les vitesses optimisées de l'OPT dans le FMS et d'effectuer un décollage, cela même si le FMS est dans l'incapacité de calculer les vitesses de référence. Le message V SPEEDS UNAVAILABLE n'a pas vraiment pour objectif d'alerter sur l'insertion de données incohérentes mais surtout d'informer sur les limites de calcul du FMS, quelles qu'en soient les raisons. Cela rend difficile pour l'équipage l'interprétation de ce message qui est plus lié à une limite technique des systèmes avion qu'à une information pertinente pour une prise de décision opérationnelle.

À titre de comparaison, sur 737, le même message V SPEEDS UNAVAILABLE demande à l'équipage une vérification des données insérées et le décollage n'est pas autorisé.

Il est intéressant de noter que dans cet incident grave du F-GUOC, l'absence des vitesses de référence a constitué une information plus marquante pour l'équipage que le message V SPEEDS UNAVAILABLE.

Malgré les mesures prises par un exploitant après l'incident grave de 2009 pour améliorer les procédures, un incident grave similaire (PH-BVG) impliquant le même exploitant s'est reproduit au cours duquel l'équipage n'a pas compris le message. Suite à l'incident grave de 2013, cet exploitant a émis une recommandation à Boeing ayant pour objectif d'améliorer la formulation du message V SPEEDS UNAVAILABLE. Le DSB a également questionné Boeing sur le sens de ce message et demandé à Boeing si une amélioration de l'affichage serait possible. Boeing a répondu qu'aucun changement n'est prévu au sujet du message V SPEEDS UNAVAILABLE.

À la lumière de l'incident grave du F-GUOC, les interrogations du DSB sur la présentation du message ainsi que sur sa signification sont toujours pertinentes.

Le message V SPEEDS UNAVAILABLE reste en l'état une barrière de sécurité de faible niveau.

2.2.5 Protection contre l'insertion de vitesses de décollage trop basses

Lorsque le FMS ne peut pas calculer de vitesses de référence, (message V SPEEDS UNAVAILABLE), la protection du FMS qui empêche la saisie de vitesses en dessous de vitesses minimales calculées (V1min, VRmin, V2min) n'est plus disponible, sans que l'équipage en soit averti.

Dans le FCOM, cette perte de protection n'est pas clairement décrite.

Dans son témoignage, l'OPL PFdu F-GUOC a indiqué qu'il n'y avait pas eu d'inscription V1 min ni VR min. Il connaissait l'existence de cette protection et a pensé que si le système n'interdisait pas l'insertion des vitesses, la situation était normale. Ainsi la possibilité de saisie de vitesses malgré l'absence de vitesses minimum ne l'a pas conduit à s'interroger sur la pertinence des valeurs insérées.

À titre de comparaison, sur 787, le FMS ne calcule pas de vitesses de référence et le message V SPEEDS UNAVAILABLE n'existe pas. Les vitesses de décollage sont calculées par l'OPT. Le message MIN V SPEEDS UNAVAILABLE, associé au message d'aide « *Unable to compute Takeoff speeds for current conditions* » informe clairement l'équipage lorsque la protection contre l'insertion de vitesses trop basses est perdue. Ce message ne peut pas être effacé tant que les valeurs insérées ne permettent pas le calcul de vitesses de décollage et le décollage n'est pas autorisé.

2.2.6 Chronologie du décollage

La chronologie au décollage est la suivante :

- ❑ T0 : rotation initiée, en passant VR ;
- ❑ T0 + 5 s : activation de la protection *tailstrike*, assiette stabilisée à 9° ;
- ❑ T0 + 7 s : l'assiette et la vitesse air augmentent lentement ;
- ❑ T0 + 8 s : transition sol / air du train d'atterrissage principal ;
- ❑ T0 + 13 s : application de la poussée TOGA.

L'application de la poussée TOGA suppose que l'équipage détecte l'anomalie et choisisse de réajuster la poussée.

La détection d'un problème de paramètres au décollage est difficile, aucune alarme n'aidant à la détection ou au diagnostic. Le taux de rotation est l'un des indices pouvant être utilisé par l'équipage grâce principalement aux références visuelles extérieures.

Il faut ensuite huit secondes à l'équipage pour opter pour l'application de la poussée TOGA et l'appliquer. Ce délai paraît en cohérence avec le contexte de surprise, l'absence de compréhension du problème et le fait que l'application de la pleine poussée n'est pas une solution unique et évidente.

2.2.7 Décision de poursuivre le vol

Une fois passé l'incident, les PNT se sont interrogés sur un risque de *tailstrike* et sur la poursuite du vol. La procédure TAIL STRIKE s'applique lorsqu'un risque est suspecté ou avéré. Elle impose, entre autres, d'atterrir sur l'aérodrome le plus proche. Le CDB étant sûr que la queue de l'avion n'avait pas touché la piste lors du décollage, l'équipage a décidé de poursuivre le vol.

La décision de poursuivre le vol ou de revenir atterrir à Paris - CDG demandait à l'équipage une analyse de la situation et des risques afférents à chaque solution. Ce type d'analyse peut nécessiter une aide extérieure, guidant l'équipage non seulement sur la décision à prendre mais aussi sur les éléments à surveiller dans l'une ou l'autre des solutions choisies.

L'OPL PF, conscient d'avoir été perturbé par l'incident, a été relevé après la montée initiale. Pour le vol de l'événement, l'équipage était suffisamment nombreux pour assurer le vol. Néanmoins, la relève de l'OPL amène la question de l'aptitude d'un équipage à poursuivre le vol après la survenue d'un incident. Il n'existe pas de dispositifs pour guider les équipages dans ces situations et les inciter à solliciter l'aide dont ils pourraient éventuellement bénéficier. L'évaluation de la situation est laissée à l'appréciation des équipages. Ces derniers peuvent ne pas disposer de tout le recul nécessaire pour prendre une décision objective.

2.2.8 Conclusion sur l'événement

Les études antérieures sur les erreurs d'insertion avaient mis en relief les difficultés éprouvées par les équipages à appliquer à la lettre des procédures prenant peu en compte les aspects opérationnels de la phase de préparation du vol. L'étude de 2008 publiée par le BEA soulignait également le fait que la multiplication des contrôles n'était pas un gage de robustesse. En particulier elle soulignait l'absence de contrôle de cohérence globale, c'est-à-dire de comparaison simultanée des données de masses utilisées dans l'ECD, l'OPT (EFB) et le FMS ainsi que l'absence de moyen systématique de détection des erreurs grossières (utilisation des ordres de grandeur ou utilisation des vitesses de référence).

Ces conclusions restent valides concernant les procédures d'Air France en vigueur à la date de l'événement pour le calcul et l'insertion des paramètres. Les procédures de la compagnie, que ce soit celle décrite dans le FCOM ou celle décrite dans le manuel d'entraînement, n'étaient pas robustes vis-à-vis de la comparaison des masses au décollage.

Des problèmes d'ergonomie du FMS avaient été également mis en avant. Il apparaît que le FMS permet toujours l'insertion de valeurs de vitesses incohérentes avec la masse rentrée. De plus, c'est le troisième incident grave connu sur Boeing 777 pour lequel le message V SPEEDS UNAVAILABLE n'interpelle pas l'équipage ou n'est pas compris.

L'intervention d'un troisième membre d'équipage a permis une action efficace : l'application de la pleine poussée.

L'équipage n'a pas fait demi-tour vers Paris. La décision de continuer le vol est laissée à la seule appréciation de l'équipage qui peut ne pas disposer après un événement de cet ordre du recul nécessaire pour évaluer la situation et ses propres capacités à poursuivre le vol.

Pour conclure, les défaillances analysées dans l'incident grave du F-GUOC avaient déjà été identifiées dans les trois études internationales citées dans le présent rapport. Il convient donc de s'interroger sur les raisons pour lesquelles ce type d'événement continue de survenir avec les mêmes causes et facteurs contributifs.

2.3 Gestion du risque par Air France

Le risque d'erreur d'insertion a fait l'objet de plusieurs initiatives de la part d'Air France, que ce soit de manière continue ou à la suite d'un incident significatif survenu en 2004 sur un A340 de la compagnie. Ces initiatives ont pris la forme d'analyses ponctuelles, notamment sur la base de comptes rendus d'incidents recueillis par le biais d'ASR, de l'inscription de la thématique au programme de formation, de la modification de certains supports opérationnels, de demandes de modifications aux constructeurs, ou encore de publications internes.

Lorsque les OPT ont été mis en place à partir de 2009 sur les 777-F (cargo) de la compagnie, les exploitants n'avaient pas l'obligation de conduire des études de sécurité préalables aux changements. Air France avait lancé un groupe de travail en interne et participé à l'étude commandée par le BEA. Néanmoins, le groupe de travail n'a pas poursuivi ses réflexions et les procédures n'ont pas été modifiées en conséquence.

Les procédures mises en place comportent les mêmes faiblesses que celles mises en relief par l'étude de 2008 publiée par le BEA : une prise en compte très partielle des contraintes opérationnelles, une manipulation de données de masse sous différents formats, une multiplication de contrôles, une absence de contrôle de cohérence globale des valeurs utilisées, en particulier une absence de contrôle simultané des valeurs de masse utilisées dans l'ECD, l'OPT (EFB) et le FMS. Ceci met en lumière des faiblesses pouvant exister dans la conception de procédures adaptées et dans leur validation dans un contexte réel (lors de leur mise en place et en cours d'exploitation).

Air France s'est appuyé sur plusieurs types d'observations en vol. Les audits en vol ont une efficacité limitée sur cette thématique du fait de l'attention portée sur le respect de la conformité. De plus, les pilotes auditeurs ne sont pas nécessairement toujours qualifiés sur le type avion. Ce principe est destiné à assurer l'indépendance du contrôle mais il peut compromettre partiellement la capacité à détecter la fragilité éventuelle de certaines procédures.

Concernant les contrôles effectués par des TRE, ils ne sont pas destinés à évaluer la robustesse des référentiels mais essentiellement la performance des équipages à l'intérieur de ces référentiels.

Par ailleurs, Air France a commencé à explorer avant l'incident grave du F-GUOC deux pistes pour détecter des événements de cette nature à travers son système d'analyse des vols. Si un incident comme celui du F-GUOC était effectivement détectable, le dispositif n'est toujours pas jugé assez efficace pour détecter les différentes erreurs d'insertions qui peuvent être commises. Dans cette démarche, Air France n'a pas reçu l'assistance attendue de la part des constructeurs.

Pour différentes raisons internes et externes à Air France, ces initiatives n'ont pas permis à la compagnie de mettre en place des procédures suffisamment robustes vis-à-vis des erreurs ayant contribué à l'incident grave du F-GUOC.

L'AESA dans son analyse souligne le caractère universel des erreurs d'insertion. La récurrence de ces incidents et accidents, qui impliquent différents exploitants à travers le monde, montre en effet qu'Air France n'est pas la seule compagnie à éprouver des difficultés vis-à-vis de cette menace. De trop nombreux aléas organisationnels et opérationnels peuvent venir compromettre les réflexions engagées ou les mesures mises en œuvre par les exploitants. Ce constat rejoint les conclusions de nombreuses études et enquêtes publiées par le passé, confirmant ainsi que les exploitants ne peuvent pas gérer seuls ce risque.

En 2014, l'AESA a publié l'AMC 20-25 concernant l'utilisation des EFB. Les préconisations qui y figurent intègrent certains enseignements issus de l'analyse des incidents et accidents passés. Même si elles ne sont probablement toujours pas suffisantes face à tous les aléas opérationnels possibles, certaines de ces préconisations sont pertinentes au regard des faiblesses mises en évidence par l'incident grave du F-GUOC. Durant la période entre la publication de l'AMC 20-25 en février 2014 et l'incident grave du F-GUOC en mai 2015, Air France n'a pas conduit de changement sur les EFB de sa flotte Boeing 777 qui justifiait de s'appuyer formellement sur ce document. Depuis, un SIB publié par l'AESA⁽⁵⁵⁾ y fait référence et devrait inciter les exploitants à vérifier que les principes qui y sont développés sont correctement pris en considération, même s'ils n'ont pas prévu de changements particuliers dans l'utilisation de leur EFB. L'AMC 20-25 peut désormais constituer un support de référence pour les exploitants.

(55) SIB 2016-02.
Cf. § 4.1.3.

2.4 Prise en compte du risque par la DSAC

En septembre 2008, en réponse à la recommandation FRAN-2008-022 adressée par le BEA dans le cadre de son étude, la DGAC a déterminé plusieurs points à vérifier pour s'assurer de la robustesse des procédures des exploitants.

En particulier :

- ☐ la préparation des paramètres doit être menée de façon indépendante ;
- ☐ la vérification de l'ordre de grandeur doit faire l'objet d'une contre-vérification par l'autre pilote ;
- ☐ du temps doit être laissé aux équipages pour faire ces vérifications.

La DGAC indiquait également que les manuels devaient être modifiés si les dispositions précédentes n'étaient pas mises en place et que le retour volontaire des équipages sur des incidents devait être encouragé.

Entre 2008 et 2015, autant les procédures opérationnelles d'Air France que les méthodes de surveillance de la DSAC ont évolué. Le passage à la documentation constructeur a été l'occasion pour la DSAC d'étudier certains éléments du manuel d'exploitation d'Air France. Par ailleurs, dans le cadre de la surveillance des SGS qu'elle a mise en place, la DSAC a eu l'opportunité d'attirer l'attention des exploitants sur les bonnes pratiques, notamment vis-à-vis du risque d'erreurs de masse et de centrage. La prise en compte de ces bonnes pratiques a pu être vérifiée à diverses occasions.

En particulier, pour ce qui concerne la mise en œuvre opérationnelle de ces procédures, des contrôles en vol ont été réalisés par la DSAC, incluant un item dédié. Pour autant, en l'absence d'erreurs effectivement survenues et observées au cours de ces contrôles, il était difficile pour la DSAC de remettre en question, sur la base de ces contrôles uniquement, la robustesse des procédures d'Air France.

De manière générale, la surveillance exercée par la DSAC n'a pas conduit cette dernière à demander la modification des procédures d'Air France bien que certaines faiblesses avaient été identifiées dans le cadre de l'étude de 2008 publiée par le BEA. Avant que l'incident grave impliquant le F-GUOC ne survienne en 2015, la DSAC considérait que les procédures d'Air France relatives au calcul et à l'insertion des paramètres de décollage étaient satisfaisantes.

2.5 Gestion du risque par les autorités de l'aviation civile

Depuis 2005, à la suite de plusieurs enquêtes et études de sécurité conduites sur l'utilisation de paramètres de décollage erronés, plusieurs recommandations de sécurité ont été adressées à diverses autorités de l'aviation civile à travers le monde. La plupart de ces recommandations de sécurité portent sur la nécessité d'implémenter de nouveaux systèmes embarqués pour prévenir l'utilisation de paramètres erronés ou pour avertir les équipages des anomalies.

Selon le système considéré, les autorités de l'aviation civile ont parfois mis en évidence les limites des systèmes recommandés ou ont restreint le champ de leur déploiement. Par exemple :

- ❑ De 2006 à 2017, Transports Canada a indiqué qu'il n'existait pas de système de type TOPMS approprié à l'usage aéronautique civil envisagé et que l'industrie était la mieux placée pour en conduire le développement. Le programme de recherche mis en place par Transports Canada en 2007 a été interrompu en 2009 faute de financement.
- ❑ En 2009 puis en 2011, la FAA a expliqué que les préconisations du groupe de travail qu'elle a institué pour étudier les risques d'erreurs d'insertion ne s'appliqueraient qu'à l'approbation des nouveaux FMS. La FAA a en effet refusé d'exiger le retrofit des FMS existants, considérant que les exploitants avaient déjà défini des procédures limitant l'insertion de certaines données erronées.

Entre 2005 et 2012, huit recommandations de sécurité ont invité l'AESA à agir face au risque que représentent les erreurs d'insertion. De manière schématique, ces recommandations ont porté sur :

- ❑ les systèmes TOPMS (trois recommandations à partir de 2006) ;
- ❑ les systèmes OBWBS (deux recommandations à partir de 2005) ;
- ❑ les EFB (deux recommandations à partir de 2011) ;
- ❑ les systèmes de détection d'erreurs d'insertion à l'image des fonctionnalités TOS développées par Airbus (une recommandation en 2008).

Concernant les systèmes de type TOPMS, l'AESA a limité son action aux travaux du WG-94, débutés six ans après la réception de la première recommandation de sécurité sur le sujet. Après avoir constaté que les membres de ce groupe n'avaient pas trouvé d'accord concernant la possibilité de standardiser, l'AESA n'a pas davantage cherché à promouvoir le développement ni le déploiement de ces systèmes, même non standardisés. Ainsi l'AESA n'a pas tenté par ses propres moyens d'élaborer des spécifications ou de faire développer des prototypes. Pourtant, parallèlement, Airbus a développé et commencé à déployer la fonctionnalité TOM sur A380, démontrant ainsi la faisabilité technique et l'intérêt de ce type de systèmes. Si la possibilité d'étudier à nouveau l'opportunité de standardiser est évoquée par l'AESA, aucune date précise n'est avancée.

Le WG-88, pour sa part, a débuté ses travaux en 2010, cinq ans après la première recommandation relative aux systèmes de types OBWBS. Tout en rappelant les impacts opérationnels qui ont compromis certains projets antérieurs, le groupe a conclu en 2013 que la standardisation des OBWBS était faisable et souhaitable. Alors que sur cette base l'AESA annonçait le début de l'élaboration des spécifications (MOPS) dès juin 2013, un nouvel appel à participation n'a été diffusé par l'EUROCAE qu'à la fin de l'année 2015, soit quelques mois après l'incident grave du F-GUOC. Les nouveaux travaux du WG-88 ont débuté en 2016 et sont présentés par l'AESA comme un préalable à toute action réglementaire de sa part. Dans le même temps, l'agence a cédé la direction du groupe de travail à un membre de l'industrie, acceptant ainsi d'avoir moins de moyens de contrôle des actions et des délais.

Avant d'envisager de rendre obligatoire un nouveau dispositif technique, l'AESA s'appuie sur l'expertise dont dispose l'industrie pour évaluer sa faisabilité et définir ses spécificités. Le processus actuellement utilisé peut toutefois amener à placer la réflexion sous la responsabilité presque exclusive de quelques représentants de l'industrie, en particulier dans le cadre de l'EUROCAE. Bien que cela garantisse que l'AESA ne travaille pas isolément et qu'une approche réaliste et proportionnée à la maturité technique de l'industrie sera adoptée, l'AESA ne maîtrise plus ni les délais ni les termes de la question posée.

En ce qui concerne les réflexions menées par l'AESA suite aux recommandations relatives aux EFB, elles ont débouché sur la publication de l'AMC 20-25 en 2014. Le document contient un ensemble de dispositions devant être mises en œuvre par les exploitants lors du déploiement d'un nouveau système EFB ou de certaines modifications les concernant. Plusieurs de ces dispositions paraissent pertinentes au regard des faiblesses mises en évidence par l'incident grave du F-GUOC. C'est le cas en particulier :

- ☐ de la définition d'un programme de tests d'évaluation ;
- ☐ de la recherche d'une cohérence forte entre l'EFB et les autres équipements ou supports d'information ;
- ☐ de la notion de *gross-error check*.

Les démarches initiées sur les OBWBS, les TOPMS et les EFB ont guidé la réflexion de l'AESA depuis 2010. Dès cette époque, dans ses réponses à la recommandation du BEA de 2008 concernant les systèmes permettant la détection d'erreurs grossières lors de l'insertion, l'AESA a principalement recentré la discussion autour de ces trois systèmes et des travaux associés.

Malgré tout, dans ces mêmes réponses, l'AESA indiquait qu'elle devrait étudier l'efficacité des systèmes permettant la détection d'erreurs grossières lors de l'insertion. À titre d'exemple :

- ☐ Le système TOS développé par Airbus comprend différentes fonctionnalités (vérification de la cohérence des masses et des vitesses insérées par exemple). Ces fonctionnalités ont été évoquées à l'occasion des travaux du WG-94 bien qu'elles ne rentraient pas intégralement dans le champ fixé. D'ailleurs, les arguments avancés en défaveur de la standardisation des systèmes de type TOPMS n'étaient globalement pas applicables aux fonctionnalités TOS.

- ❑ De son côté, Boeing a développé ses propres fonctionnalités (par exemple : vérification $V1 \leq VR \leq V2$ réalisée par le FMS ou encore comparaison réalisée par l'EFB entre la masse calculée par le FMS et la masse saisie dans l'EFB), avec des logiques de fonctionnement différentes entre celles appliquées sur Boeing 777 et celles retenues plus récemment pour les Boeing 787.
- ❑ Par ailleurs, LINTOP est un exemple de système tiers choisi par certains exploitants permettant une vérification de la *Gross Weight* insérée dans le FMS.

Au final, l'AESA n'a pas analysé ces systèmes de détection, développés spontanément par certains constructeurs et équipementiers, comme elle avait indiqué qu'elle le ferait dans ses réponses au BEA. Ceci est regrettable d'autant que, par exemple, la fonctionnalité EFB de comparaison de la masse, qui est une option sur 777, aurait en théorie pu éviter les trois incidents graves similaires (le F-GUOC en 2015, le PH-BVG en 2013 et l'événement de 2009 impliquant le même exploitant).

Même à la lumière de certaines démonstrations (simulation par Airbus du fonctionnement du TOS dans les circonstances d'un accident enquêté), l'AESA a seulement exprimé son interrogation quant à la portée réelle de tels systèmes.

Les trois incidents graves similaires ont montré la faible saillance du message d'information sur 777. Ils confirment qu'à minima, il aurait été et il demeure utile de répertorier, d'étudier et éventuellement de standardiser les modes de fonctionnement des systèmes existants permettant la détection d'erreurs grossières parmi les paramètres insérés pour le décollage.

De manière générale, les travaux conduits par l'AESA ainsi que ceux conduits par d'autres autorités de l'aviation civile, notamment dans le cadre du traitement des recommandations de sécurité qui leur avaient été adressées, n'ont pas permis au F-GUOC d'être équipé de systèmes ou de fonctionnalités empêchant l'insertion d'erreurs grossières ou alertant les équipages des anomalies résultantes. L'industrie a progressivement développé des systèmes de plus en plus performants mais les autorités ont semblé, soit les ignorer, soit ne pas chercher à ce que leur utilisation soit étendue, notamment en cherchant à en faire la promotion.

3 - CONCLUSION

3.1 Faits établis par l'enquête

- ❑ L'équipage détenait les licences et qualifications nécessaires pour effectuer le vol.
- ❑ L'avion avait un certificat de navigabilité en état de validité ; il était entretenu conformément à la réglementation.
- ❑ La composition de l'équipage était conforme aux procédures de l'exploitant.
- ❑ La masse au décollage prise en compte dans chacun des OPT pour le calcul des paramètres était erronée de 100 t.
- ❑ La masse au décollage calculée par le FMS à partir de la masse sans carburant (ZFW) était correcte.
- ❑ L'équipage a inséré, dans le FMS, des paramètres de décollage (configuration des volets, poussée, vitesses, etc.) qui correspondent à une masse au décollage inférieure de 100 t à la masse au décollage réelle.
- ❑ Les vérifications croisées, telles qu'elles ont été effectuées, n'ont pas permis de détecter l'erreur de 100 t et les paramètres erronés en résultant.
- ❑ La vérification de l'ECD, telle qu'elle a été effectuée par l'équipage, n'a pas permis de détecter l'écart entre la masse indiquée sur l'ECD et la masse utilisée pour le calcul des paramètres.
- ❑ Les procédures prenaient partiellement en compte les aspects opérationnels de la phase de préparation du vol et multipliaient les contrôles élémentaires.
- ❑ Les procédures ne prévoyaient pas de moyen systématique de détection d'erreurs grossières (ordres de grandeur ou vitesses de référence par exemple).
- ❑ Les procédures ne prévoyaient pas de vérification simultanée des masses au décollage prises en compte dans l'ECD, l'OPT (EFB) et le FMS.
- ❑ Les défaillances identifiées dans l'incident grave du F-GUOC avaient déjà été identifiées dans trois études internationales sur les erreurs d'insertion.
- ❑ Un message V SPEEDS UNAVAILABLE est apparu lors des insertions des paramètres de décollage dans le FMS. Ce message n'a pas permis à l'équipage de détecter les incohérences des données insérées. Les insuffisances de ce message, pas assez alertant tant sur le fond que sur la forme, avaient déjà été rapportées à plusieurs reprises par le passé à Boeing.
- ❑ Le FMS permet l'insertion de valeurs de vitesses de décollage incohérentes avec la masse au décollage calculée par le FMS.
- ❑ Lorsque le FMS ne peut pas calculer de vitesses de référence (message V SPEEDS UNAVAILABLE), l'équipage n'est pas averti de la perte de protection contre l'insertion de vitesses trop basses en dessous de V1 min, VR min et V2 min normalement calculées par le FMS.
- ❑ L'avion a décollé de la piste 26R à une vitesse de rotation de 152 kt en configuration volets 5. Les paramètres correspondants adaptés à la masse réelle étaient 175 kt et configuration volets 15.
- ❑ La protection *tailstrike* s'est activée à son niveau maximal pendant la rotation et l'assiette s'est stabilisée à environ 9°.
- ❑ La poussée TOGA a été appliquée par l'équipage huit secondes après l'activation de la protection *tailstrike*.
- ❑ L'avion a passé le seuil opposé à une hauteur d'environ 170 ft.
- ❑ L'équipage s'est rendu compte de l'erreur d'insertion pendant la montée et le PF a été relevé.

- ❑ L'équipage a poursuivi le vol vers sa destination.
- ❑ Peu après l'arrivée, tous les membres d'équipages ont été relevés et sont rentrés en mise en place.
- ❑ Deux événements similaires à l'incident grave du F-GUOC sont survenus sur des Boeing 777 exploités par une autre compagnie aérienne en 2009 et 2013.
- ❑ Les deux précédents incidents graves avaient donné lieu à une recommandation de l'exploitant adressée au constructeur pour améliorer le message V SPEEDS UNAVAILABLE. Celle-ci n'a pas été prise en compte.
- ❑ L'autorité de surveillance n'a pas vérifié le contenu des procédures de la compagnie lorsque celle-ci est passée du TU au FCOM ni lorsque cette dernière a modifié sa procédure de masse et centrage après l'incident grave du F-GUOC. Une approbation de ces procédures n'était pas exigée par l'EU-OPS et ne l'est pas par l'Air OPS.
- ❑ Entre 1999 et 2015, en transport commercial, au moins 31 incidents graves et accidents relatifs à des erreurs d'insertion de paramètres de décollage, dont trois mortels, ont été enquêtés.
- ❑ Trois études internationales avaient analysé en profondeur les erreurs d'insertions.
- ❑ Tant les études internationales que les rapports des autorités d'enquête ont pointé l'intérêt mais surtout les limites des barrières opérationnelles.
- ❑ Tant les études internationales que les rapports des autorités d'enquête ont suggéré le développement de nouvelles solutions techniques pour diminuer les erreurs d'insertion et leurs conséquences.
- ❑ De nombreuses recommandations de sécurité convergentes avaient été émises depuis 2005 ; elles portaient principalement sur le thème de l'OBWBS, du TOPMS et de l'EFB.
- ❑ À la date de l'incident grave du F-GUOC, sur le sujet des erreurs d'insertion, la gestion par l'AESA de cette problématique de sécurité avait abouti à la publication de l'AMC 20-25 relative à l'utilisation des EFB.
- ❑ Le groupe de travail TOPMS initié par l'AESA a conclu négativement quant à la standardisation de ces systèmes.
- ❑ L'intérêt pour l'amélioration de la sécurité des systèmes de détection d'erreurs grossières d'insertion (tel que le TOS d'Airbus) n'a pas été étudié par l'AESA.
- ❑ En l'absence de standard ou de projet de standardisation, des systèmes dédiés à la détection d'erreurs d'insertion ont été développés par plusieurs constructeurs selon différentes philosophies en fonction des types d'aéronefs.

3.2 Causes et facteurs contributifs

Le survol à faible hauteur de l'extrémité de piste, lors du décollage, résulte d'un décollage entrepris avec des paramètres erronés (vitesses de décollage trop faibles, braquage des volets et poussée insuffisants).

Les paramètres erronés, entrés dans le FMS et utilisés pour le décollage résultent d'un calcul de performance se basant sur une masse inférieure de 100 tonnes à la masse réelle de l'avion.

L'erreur de 100 t s'est produite lors de l'estimation par chacun des membres d'équipage de la masse prévue et de sa saisie dans leur EFB.

Les éléments suivants ont pu contribuer à l'absence de détection et à la propagation de l'erreur de 100 t :

- ❑ la manipulation par l'équipage de nombreux formats, supports et intitulés des données de masse au décollage ;
- ❑ la non mobilisation des ordres de grandeur, en partie liée à l'utilisation croissante d'outils d'optimisation des performances ;
- ❑ des procédures comprenant de nombreux contrôles élémentaires mais peu robustes, prenant insuffisamment en compte le contexte opérationnel et le fonctionnement en équipage. Ces procédures reposent notamment sur un double calcul supposé indépendant alors qu'une simple verbalisation peut mettre en défaut cette indépendance. Ces procédures ne comportent pas de moyen de détection d'erreurs grossières ni de contrôle simultané des trois supports utilisant les données de masse (État de charge, OPT et FMS) ;
- ❑ l'absence sur cet avion, comme sur la plupart des avions de transport aérien commercial, de systèmes permettant de détecter ou d'empêcher de telles erreurs grossières et d'en avertir l'équipage, ou de systèmes permettant d'avertir l'équipage que les performances mesurées lors du roulement au décollage sont insuffisantes.

Certains de ces points ont été identifiés depuis plusieurs années par différentes autorités d'enquête, notamment par le BEA à travers une étude de sécurité consacrée à cette problématique, publiée en 2008.

Les enseignements issus de l'analyse de nombreux incidents et accidents à travers le monde n'ont pas conduit la communauté aéronautique à progresser significativement sur ce sujet jusqu'à l'incident grave du F-GUOC.

En particulier :

- ❑ même lorsque l'état de l'art technologique y devenait favorable, les autorités de l'aviation civile ne sont pas parvenues à inciter les constructeurs à développer puis à déployer de manières satisfaisantes les solutions techniques appropriées ;
- ❑ de même, le développement, voire le déploiement de nouveaux systèmes par certains constructeurs n'a pas conduit ces autorités, notamment l'AESA en Europe, à en étudier le bénéfice et, le cas échéant, à en promouvoir le déploiement plus large.

4 - ACTIONS DE SÉCURITÉ ENTREPRISES ET RECOMMANDATIONS DE SECURITE

4.1 Actions de sécurité entreprises depuis l'incident grave

4.1.1 Actions prises par Air France

Après la survenue de l'incident grave, Air France a déclenché une enquête interne.

Dans un premier temps, Air France a pris la mesure conservatoire suivante pour le secteur Boeing 777 :

INSERTION DES PARAMETRES DE DECOLLAGE

Suite erreur de 100 tonnes, dans l'attente des conclusions de l'enquête en cours, veuillez appliquer la mesure conservatoire suivante :

Afin de prévenir les erreurs d'insertion des paramètres de décollage, il est demandé aux équipages, sous la responsabilité du CDB, de vérifier la cohérence entre les trois valeurs TOW suivantes :

- TOW lu sur l'ECD (corrigé éventuellement sur le LMC)⁽⁵⁶⁾,
- TOW calculé par le FMS à partir du FOB et de la valeur ZFW insérée par l'équipage,
- TOW inséré par l'équipage dans l'EFB pour le calcul des performances.

Cette vérification devra avoir eu lieu impérativement avant la mise en route.

⁽⁵⁶⁾Last Minute Change.

De plus, le Livret d'Entraînement et de Formation (LEF) a été mis à jour de manière à ce que le CDB partage l'état de charge définitif (ECD) avec l'OPL.

Air France a également modifié la procédure FCOM relative au calcul des paramètres de performance et à l'insertion des données. L'annexe 2 présente un extrait de la nouvelle procédure « *Before Start Procedure* ».

En particulier :

- ☐ les rôles et les actions des pilotes ont été précisés ;
- ☐ elle attire l'attention des équipages sur le message V SPEEDS UNAVAILABLE ou sur l'absence de vitesses de référence.

La vérification simultanée de la masse au décollage à partir des trois supports, telle que décrite dans la mesure conservatoire, n'a pas été clairement reportée dans la procédure FCOM modifiée.

Par ailleurs, Air France note dans son rapport interne qu'un doute subsiste sur le moment auquel le calcul des performances doit être réalisé.

Plusieurs recommandations ont été formulées par Air France.

Les principales recommandations adressées par Air France à **Boeing** concernent :

- ☐ l'amélioration de la présentation du message d'erreur V SPEEDS UNAVAILABLE sur le CDU ;
- ☐ l'amélioration des informations dans le FCOM sur ce message.

Une recommandation prévue d'être adressée à **l'AESA** concerne :

- ❑ l'élaboration de spécifications d'un système embarqué qui permettrait aux équipages de détecter au début de la course au décollage des performances inadéquates.

Toutefois, d'après Air France, cette recommandation n'a jamais été envoyée à l'AESA.

Les principales recommandations adressées en interne à **Air France** concernent :

- ❑ le renforcement de la formation des pilotes et du rôle du pilote de renfort ;
- ❑ l'amélioration de la présentation du dossier de vol ;
- ❑ la mise en œuvre de points de rendez-vous pendant la préparation avion afin d'améliorer la communication et la conscience de la situation au sein de l'équipage, pilote(s) de renfort y compris.

4.1.2 Actions prises par la DGAC

À la suite de l'incident grave du F-GUOC, la thématique des erreurs d'insertion de paramètres pour le décollage a été inscrite à l'ordre du jour de la revue de sécurité du Programme National de Sécurité (PNS) piloté par la DGAC⁽⁵⁷⁾.

Dans ce cadre, la DGAC a conduit une analyse rétrospective des procédures des exploitants ayant préalablement obtenus une approbation pour l'utilisation d'un EFB. Selon la DGAC, les résultats font état de la présence pour tous ces exploitants de procédures de « *cross check* » et de « *gross-error check* » telles que le suggère l'AMC 20-25.

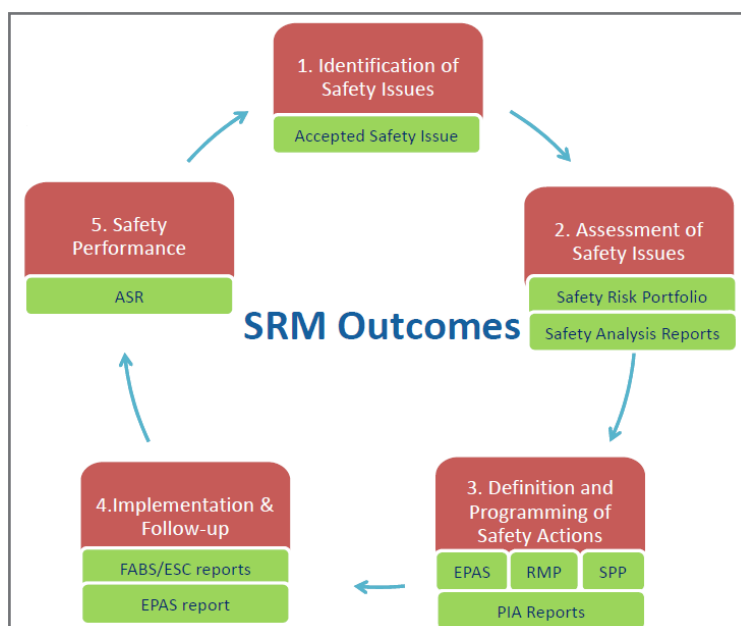
4.1.3 Actions prises par l'AESA

L'AESA inscrit désormais certaines de ses missions dans un processus de gestion des risques conforme aux exigences de l'Annexe 19 de l'OACI relative aux Programmes Nationaux de Sécurité (PNS). Les objectifs de l'AESA à travers son système de gestion des risques sont :

- ❑ d'identifier les risques au niveau européen ;
- ❑ d'établir la liste des actions de sécurité prioritaires en fonction de leur impact sur le niveau de risque ;
- ❑ d'assurer une communication interne et externe adaptée à l'identification et l'évaluation des risques, ainsi qu'à la planification des actions de sécurité.

Ce processus « *Safety Risk Management* » (SRM) contient différentes étapes répertoriées dans le schéma suivant.

⁽⁵⁷⁾ Le PNS français est appelé Programme de Sécurité de l'État (PSE).



Extrait d'une présentation faite par l'AESA lors de la réunion AESA-CASIAS de 2016⁽⁵⁸⁾

⁽⁵⁸⁾<https://www.easa.europa.eu/newsroom-and-events/events/annual-easa-casias-meeting>

Depuis quelques années, l'AESA dans son ensemble a été réorganisée et restructurée de manière à enrichir et tirer profit du processus SRM. Au sein de la Direction Strategy & Safety Management, le Département Safety Intelligence & Performance bénéficie en effet d'un rôle transverse au regard des Directions Certification d'un côté, Flight Standards de l'autre.

L'utilisation de paramètres erronés pour le décollage a été une des premières problématiques de sécurité traitées dans le cadre du processus SRM. Le travail a été réalisé par l'AESA en parallèle de l'enquête de sécurité conduite par le BEA. Certains éléments issus de ce processus ont été partagés avec le BEA au cours de l'enquête. L'AESA a émis plusieurs avertissements quant à leur interprétation, en particulier :

- ☐ les documents fournis au BEA ne sont pas finalisés ;
- ☐ le processus SRM est un processus continu, les résultats ne sont jamais définitifs ;
- ☐ le processus dans son ensemble est toujours en phase de maturation. À titre d'exemple, les sources de données pour la surveillance et l'évaluation des risques ne sont pas consolidées. Par conséquent, les résultats quantitatifs sont à considérer avec précaution.

Rapport d'analyse de sécurité

En 2015, à la suite de l'incident grave du F-GUOC, l'AESA a procédé à un examen et à une évaluation de la problématique de sécurité liée à l'utilisation de paramètres de décollage erronés. À cet égard, l'agence a examiné 31 rapports d'enquête et plusieurs études de sécurité publiés depuis 1999. Parmi les 31 événements de transport aérien commercial répertoriés dans cette revue, trois accidents sont mortels.

Sur la base de ces événements, sur le plan quantitatif, l'AESA explique que les données prises en compte (y compris l'augmentation du trafic) tendent à montrer une diminution de l'impact de cette problématique de sécurité sur la période étudiée. Toutefois, l'agence modère cette conclusion compte tenu du faible nombre total d'occurrences pris en compte. L'agence précise que si l'évaluation était basée uniquement sur ces données (y compris les trois accidents mortels, tous en dehors des États membres), la probabilité d'occurrence d'un accident catastrophique serait de 6×10^{-9} .

L'évaluation des risques est également basée sur une analyse qualitative. Deux scénarios sont pris en considération. Pour chacun de ces deux scénarios, l'AESA a recensé les facteurs causaux et contributifs en face desquels elle a rappelé les moyens de contrôle normalement disponibles.

À la suite de cette analyse globale, l'AESA estime que le niveau de risque associé à ce problème de sécurité est « *secure* » (niveau 6 sur 10), ce qui correspond à la définition suivante de la méthodologie ARMS⁽⁵⁹⁾ : « *doit être surveillé de manière continue [...] afin d'éviter le passage dans un niveau inacceptable. Le renforcement des mesures existantes devrait être débattu à la prochaine occasion [...] et des mesures de réduction supplémentaires devraient être envisagées* ».

(59) Aviation Risk Management Solutions.

L'agence note que les principaux facteurs contribuant aux erreurs de performance au décollage sont la pression temporelle, la fatigue de l'équipage, le manque de surveillance et de conscience de la situation, la disponibilité de paramètres initiaux corrects et le non-respect des procédures opérationnelles standards.

Le fait que des accidents et des incidents graves continuent à se produire presque chaque année signifie, selon l'AESA, que les barrières actuelles sont inadaptées et insuffisantes.

Enfin, dans ce rapport, l'AESA dresse une liste de nouvelles actions à évaluer dans le cadre de l'évaluation préliminaire de l'impact (voir paragraphe suivant). Les nouvelles actions les plus nombreuses (cinq actions) relèvent de la gestion des opérations par les exploitants. Concernant les systèmes avion, cette liste comprend la poursuite ou la reprise des travaux relatifs aux systèmes de type OBWBS et TOPMS.

Évaluation préliminaire de l'impact (PIA)

La PIA est une nouvelle activité conduite après l'analyse de sécurité. Elle consiste à évaluer et comparer le bénéfice des mesures envisagées par l'AESA par rapport à des critères de coût et de temps d'implémentation. Les actions peuvent également se compléter les unes les autres au fil du temps.

La PIA réalisée en 2016 sur l'utilisation de paramètres de décollage erronés est la première évaluation de cette nature conduite par l'AESA. Elle s'inscrit dans la continuité de l'analyse de risque mise à jour en 2015. La version fournie au BEA en 2018 est toujours en statut provisoire.

Trois actions sont listées :

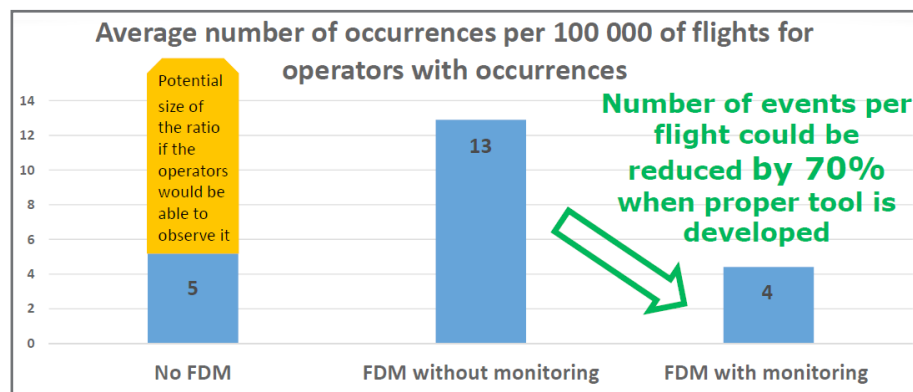
- ❑ **Action 1** : publication d'un bulletin d'information de sécurité (SIB) consacré à l'utilisation de paramètres erronés pour le décollage (« *use of erroneous parameters at take-off* ») ;
- ❑ **Action 2** : développement et déploiement des systèmes de type OBWBS, en rapport avec les résultats du WG-88 de l'EUROCAE ;
- ❑ **Action 3** : poursuite de la tâche réglementaire RMT.0601 consacrée à l'utilisation des EFB.

Pour l'évaluation du bénéfice de la publication du SIB (action 1), un sondage a été réalisé par l'AESA entre octobre et décembre 2015. 86 exploitants ont répondu à ce sondage, faisant part de 128 occurrences sur la période 2010-2014. Les exploitants ayant répondu sont répartis dans trois catégories :

- ❑ 1^{ère} catégorie d'exploitants : ceux ne disposant pas de surveillance FDM ;
- ❑ 2^{ème} catégorie d'exploitants : ceux disposant d'un FDM mais n'ayant pas mis en place de critères de détection relatifs à l'utilisation de paramètres erronés pour le décollage ;
- ❑ 3^{ème} catégorie d'exploitants : ceux disposant d'un FDM avec des critères adaptés à cette menace.

Compte tenu des données d'exposition, le nombre moyen d'occurrences calculé pour 100 000 vols est de :

- ❑ 13 pour les exploitants de la catégorie 2 ;
- ❑ 4 pour les exploitants de la catégorie 3.

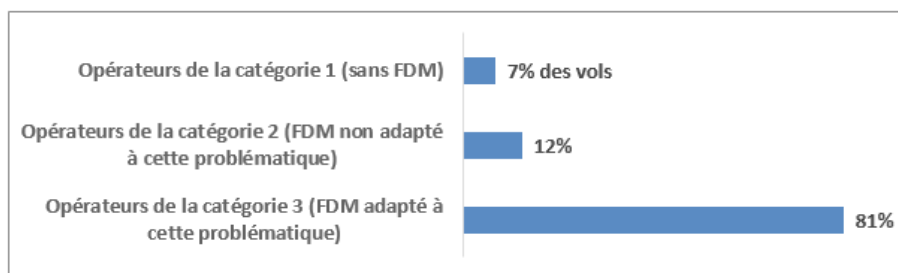


Extrait d'une présentation de la PIA par l'AESA

Sur la base de cette comparaison, l'AESA conclut qu'un exploitant pourrait réduire le nombre d'incidents de cette nature d'au moins 70 % avec un système FDM adéquat.

En annexe à la PIA figurent les résultats bruts du sondage, incluant la répartition des exploitants dans chaque catégorie (1, 2 et 3) et leur nombre de vols annuel moyen⁽⁶⁰⁾.

⁽⁶⁰⁾ Il y est indiqué que 73 % des répondants disposent d'un FDM et que parmi ceux-là, 51 % ont mis en place des critères adaptés à la détection de cette menace. Par ailleurs, les exploitants de la 3^{ème} catégorie réalisent en moyenne 59 196 décollages par an, contre 9 445 pour les exploitants de la 2^{ème} catégorie et 6 847 pour les exploitants de la 1^{ère} catégorie.



Proportion de l'activité (en nombre de vols), extrait des résultats bruts du sondage

Cependant, les données collectées lors de ce premier sondage ont été jugées insuffisamment fiables par l'AESA pour compléter le raisonnement et ainsi évaluer le bénéfice global de sécurité du SIB.

Par conséquent, l'AESA n'a pas pu établir la comparaison souhaitée entre les bénéfices en termes de sécurité attendus des mesures envisagées (en particulier entre le SIB et l'OBWBS). L'AESA prévoit d'organiser un nouveau sondage.

Le BEA constate que, sur la base de ce premier sondage, seulement 19 % des vols sont réalisés par des exploitants qui n'ont pas un FDM adapté à la problématique (catégories 1 et 2), ce qui tendrait à montrer que le bénéfice potentiel global à attribuer au FDM, et éventuellement au SIB, serait limité.

Le coût de la publication du SIB a été évalué à 3 sur une échelle de 0 (faible) à 10 (très élevé) et le délai de mise en œuvre est estimé à deux ans.

L'évaluation du bénéfice pour la sécurité que pourrait apporter l'action 2 (OBWBS) est basée sur l'analyse des 31 rapports d'enquêtes. Pour ce qui concerne les États membres, 10 occurrences sur les 19 survenues auraient pu être évitées selon l'AESA si un système de cette nature avait été mis en place. Le bénéfice pour la sécurité de cette action est estimé à « 5 » (50 % de réduction de la probabilité d'occurrence). L'AESA n'a pas pu évaluer le coût et le délai de mise en œuvre de l'OBWBS car ces paramètres dépendent des résultats du WG-88, préparant toujours les MOPS à la date de publication du présent rapport d'enquête.

La 3^{ème} action (Publication de l'AMC20-25 concernant l'utilisation de l'EFB) n'a pas été évaluée dans les premières versions de la PIA.

L'AESA a temporairement conclu que la publication d'un SIB pour attirer l'attention des exploitants et des équipages quant aux mesures d'atténuation opérationnelles serait l'action la plus efficace. Dans l'éventualité où cela n'aboutirait pas au résultat attendu (l'évaluation de l'efficacité étant prévue dans le cadre d'un suivi du risque), la tâche réglementaire relative aux systèmes de type OBWBS pourrait constituer la seconde option privilégiée, dès lors que le WG-88 de l'EUROCAE aura confirmé la faisabilité de telles spécifications.

L'AESA estime que les actions proposées, une fois mises en œuvre, pourraient réduire le niveau de risque de « *secure* » à « *monitor* » (n'impliquant plus qu'une surveillance statistique selon la méthodologie ARMS).

Bulletin d'information de sécurité (SIB)

L'AESA a publié le SIB « *use of erroneous parameters at take-off* » le 16 février 2016⁽⁶¹⁾.

L'objectif du SIB est d'amener les exploitants et les autorités compétentes à prendre davantage conscience et à gérer la menace que constitue l'utilisation de paramètres erronés pour le décollage. Il contient plusieurs recommandations à destination des exploitants concernant :

- ❑ la conduite d'une analyse et d'une évaluation des risques, ainsi que la mise en place de mesures adaptées ;
- ❑ la nécessité de renforcer l'entraînement des équipages, pour prévenir les risques d'erreurs, pour détecter les anomalies au cours du décollage et pour réagir efficacement le cas échéant ;
- ❑ la mise en place d'un dispositif de suivi adapté à travers le FDM (il est fait référence aux groupes de travail européens concernant le FDM coordonnés par l'AESA).

Bien que les recommandations soient adressées aux exploitants, l'AESA rappelle que parmi les mesures de réduction des risques qui peuvent être implémentées figurent les systèmes tels que l'OBWBS ou les systèmes de détection d'erreurs grossières lors de l'insertion. L'état d'avancement de l'industrie concernant ces systèmes n'est pas précisé.

Système européen de classification des risques (ERCS)

Plus récemment, l'AESA a évalué cette problématique de sécurité, l'utilisation de paramètres erronés au décollage, au moyen du système européen de classification des risques (ERCS), conformément au règlement (UE) N°376/2014⁽⁶²⁾. Les résultats préliminaires de ce nouveau système de classification ont permis à l'AESA de créer de nouvelles cartographies des risques qui sont présentées dans le rapport sur la sécurité publié par l'AESA en 2018⁽⁶³⁾. L'ERCS est un système qui attribue un score à chaque événement compte tenu de la gravité de l'accident potentiel et de la fiabilité supposée des types de barrières restantes. Pour créer des cartographies des risques dans lesquelles les problématiques de sécurité sont priorisées, les scores de chaque occurrence sont agrégés.

La première application de l'ERCS conclut que l'utilisation de paramètres erronés pour le décollage n'est pas une priorité car la problématique est classée en 23^{ème} position parmi 47 problématiques listées. À l'avenir, l'ensemble de la communauté aéronautique et en particulier les exploitants dans le cadre de leur SGS pourraient tirer profit de la publication de la méthodologie détaillée utilisée par l'AESA, à la fois pour évaluer les occurrences individuelles et pour les agréger de manière à obtenir une note globale pour chaque problématique de sécurité.

L'AESA a expliqué que la cartographie est réexaminée par la suite afin de fournir une représentation plus précise du risque réel et des problématiques de sécurité les plus pertinentes. L'examen tient compte de l'augmentation ou de la diminution de l'exposition au risque, de l'efficacité des barrières existantes et de la réduction prévue des risques par les mesures de sécurité engagées. Cette analyse intègre les commentaires d'experts de l'industrie et de l'Agence, au travers de groupes d'analyse. Les résultats de ces examens peuvent amener à modifier les priorités dans la cartographie des risques.

⁽⁶¹⁾https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/218639_EASA_ASR_MAIN_REPORT_2018.pdf

⁽⁶²⁾Règlement (UE) n° 376/2014 du Parlement européen et du Conseil du 3 avril 2014 concernant les comptes rendus, l'analyse et le suivi d'événements dans l'aviation civile, modifiant le règlement (UE) n° 996/2010 du Parlement européen et du Conseil et abrogeant la directive 2003/42/CE du Parlement européen et du Conseil et les règlements de la Commission (CE) n° 1321/2007 et (CE) n° 1330/2007.

⁽⁶³⁾https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/218639_EASA_ASR_MAIN_REPORT_2018.pdf

Certification du système TOM d'Airbus pour l'A380

Le système TOM, développé par Airbus, a été certifié par l'AESA pour l'A380 en février 2018.

En ce qui concerne cette amélioration, l'AESA explique que :

- ❑ le niveau de risque ne reflétant pas une « condition dangereuse » telle que définie dans l'AMC 21.A.3B (b) liée au règlement (UE) n° 748/2012⁽⁶⁴⁾, un tel système ne peut pas être rendu obligatoire (par exemple, via une consigne de navigabilité) ;
- ❑ demander une standardisation en se basant sur ce système existant est impossible car cela créerait un avantage concurrentiel pour un fabricant, préjudiciable au marché ;
- ❑ organiser la promotion de ce système nouvellement certifié n'a pas encore été envisagé.

L'AESA a précisé que le système TOM d'Airbus ne remplit pas tous les critères établis dans le cadre du WG-94 relatif aux TOPMS.

⁽⁶⁴⁾Règlement de la commission du 3 août 2012 établissant des règles d'application pour la certification de navigabilité et environnementale des aéronefs et produits, pièces et équipements associés, ainsi que pour la certification des organismes de conception et de production

4.2 Recommandations de sécurité

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

4.2.1 Homogénéité des données de masses manipulées

Le scénario de l'événement met en relief une absence de réaction de l'équipage face à des valeurs de masses et de vitesses incohérentes. De façon générale, les études internationales sur les erreurs d'insertion ont montré que les ordres de grandeur ne sont pas ou peu mobilisés pendant la préparation du vol. L'une des raisons réside dans le fait que les différentes notions manipulées, les unités associées, les intitulés utilisés rendent toutes les représentations trop nombreuses pour être stockées en mémoire de travail par les équipages. Les valeurs manipulées perdent alors leur signification empêchant toute comparaison avec des valeurs déjà manipulées dans un contexte équivalent.

L'analyse a pointé la diversité des formats et intitulés des données de masse manipulées par l'équipage d'Air France pendant la préparation du vol. Une homogénéisation des données entre les supports permettrait d'une part de faciliter les contrôles d'égalité simples et d'autre part de diminuer la charge mnésique. L'objectif est de redonner du sens aux nombres manipulés, de permettre une meilleure acquisition des valeurs habituelles et un recours plus systématique aux ordres de grandeur.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **Air France modifie les supports utilisés (le dossier de vol, l'état de charge et l'interface de l'EFB) lors de la préparation des vols de manière à augmenter la cohérence des différents intitulés, formats et unités des masses manipulées par les équipages.**
[Recommandation FRAN2018-016]

Ce problème peut exister chez d'autres exploitants français.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **La DSAC évalue le besoin, chez les autres exploitants français, de modifier les supports utilisés (le dossier de vol, l'état de charge et l'interface de l'EFB) lors de la préparation des vols de manière à augmenter la cohérence des différents intitulés, formats et unités des masses manipulées par les équipages.**
[Recommandation FRAN2018-017]

4.2.2 Procédures opérationnelles

Les procédures en vigueur sur Boeing 777 chez Air France à la date de l'incident grave comportaient les mêmes faiblesses que celles mises en relief par les études publiées par le BEA, l'ATSB et la NASA : une prise en compte très partielle des contraintes opérationnelles, une manipulation des données de masse sous différents formats, une multiplication des contrôles, une absence de contrôle de cohérence globale des valeurs utilisées, et un manque de vérification d'erreurs grossières.

Consciente du caractère sensible des procédures associées au calcul et à l'insertion des paramètres de décollage, la compagnie Air France avait initié un groupe de travail interne concernant l'utilisation des OPT, dont un des principaux objectifs était d'éviter les erreurs d'insertion de paramètres pour le décollage. Les travaux de ce groupe n'avaient pas été menés à leur terme.

Suite à l'incident grave, des modifications ont été apportées, clarifiant certains enchaînements. Ces modifications en réaction à l'événement, si elles apportent des éléments intéressants, ajoutent cependant des contrôles à des procédures déjà lourdes, dont la robustesse doit être évaluée non seulement lors de la mise en place mais aussi au fil du temps.

Ces éléments mettent en lumière les faiblesses existantes dans la conception de procédures adaptées et dans leur validation dans un contexte réel (lors de leur mise en place et en cours d'exploitation). Désormais, l'AMC 20-25 constitue un cadre pertinent et donc une aide supplémentaire pour la conception et la validation des procédures impliquant les EFB.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **Air France vérifie, en conditions opérationnelles, la robustesse des procédures de calcul et d'insertion de paramètres de décollage afin de prendre en compte les contraintes inhérentes à la phase de préparation du vol.**

[Recommandation FRAN2018-018]

4.2.3 Poursuite du vol après la survenue d'un incident grave

Les quatre membres d'équipage ont ensemble pris la décision de poursuivre le vol après la survenue de l'incident grave. L'OPL en fonction, conscient d'avoir été perturbé par l'incident, a été relevé après la montée initiale. Après que l'origine de l'erreur a été identifiée le CDB a différé toute discussion sur l'incident après l'atterrissage à Mexico.

La procédure TAIL STRIKE demandait à faire demi-tour en cas de doute. Cependant les circonstances du vol montrent que le choix entre la poursuite du vol et la décision de se poser n'était pas aisé. Sans intervention extérieure, les équipages ne disposent pas nécessairement du recul suffisant pour prendre une bonne décision après la survenue d'un incident grave. Il faut donc qu'ils puissent bénéficier de l'aide d'un avis extérieur objectif.

En conséquence le BEA recommande que :

- **Air France améliore les dispositions permettant aux équipages de demander une aide extérieure à la prise de décision quant à la poursuite du vol après la survenue d'un incident.**

[Recommandation FRAN2018-019]

4.2.4 Protections contre l'insertion de vitesses erronées sur Boeing 777

L'incident du F-GUOC est le troisième décollage à faible vitesse connu du BEA sur Boeing 777 pour lequel les équipages de conduite n'ont pas détecté ou n'ont pas compris le message V SPEEDS UNAVAILABLE. Le message n'est ni assez saillant ni assez explicite et peut être effacé directement par l'équipage. La documentation opérationnelle Boeing sur le calcul des vitesses de référence et sur les conditions de déclenchement du message V SPEEDS UNAVAILABLE est incomplète. Cela ne permet pas aux exploitants d'évaluer les risques et d'élaborer des procédures robustes relatifs au message V SPEEDS UNAVAILABLE. Les demandes du DSB et de deux exploitants à Boeing pour améliorer la documentation FCOM au sujet de ce message n'ont pas abouti.

De plus, les systèmes de l'avion n'avertissent pas les équipages lors de la perte de la protection empêchant l'insertion de vitesses en dessous de V1min, VRmin et V2min normalement calculées par le FMS. Dans l'événement du F-GUOC, les insertions des vitesses étant possibles, l'équipage a pensé qu'il pouvait poursuivre le décollage.

En conséquence le BEA recommande que :

- **Boeing, pour tous les avions en service concernés, mette à jour la documentation opérationnelle relative au message V SPEEDS UNAVAILABLE, en particulier pour indiquer les conditions d'apparition du message, les conséquences (perte de la protection d'insertion de vitesses en dessous de V1min, VRmin et V2min calculées) et la conduite à tenir par les équipages en cas d'apparition du message. [Recommandation FRAN2018-020]**
- **Boeing, pour tous les avions en service concernés et à l'instar du Boeing 787, revoit les systèmes concernés pour qu'ils alertent clairement l'équipage tant que le calcul des vitesses minimales de décollage (V1min, VRmin, V2min) et que la protection associée ne sont plus disponibles. [Recommandation FRAN2018-021]**

4.2.5 Gestion du risque par les autorités de l'aviation civile

Depuis près de 15 ans, plusieurs enquêtes et études de sécurité ont été conduites à travers le monde concernant l'utilisation de paramètres erronés pour le décollage. Dans ce cadre plusieurs recommandations de sécurité ont été émises, concernant les systèmes de pesée autonomes (OBWBS), de surveillance de l'accélération au décollage (TOPMS) ou encore ceux permettant de détecter les erreurs grossières et d'en alerter l'équipage.

OBWBS

Un groupe de travail a été institué en 2010 par l'AESA sous l'égide de l'EUROCAE. En 2013, ce groupe a conclu que la standardisation était possible et souhaitable. C'est uniquement à la fin de l'année 2015, après l'incident grave ayant impliqué le F-GUOC, que le groupe a été réactivé avec pour nouveau mandat d'établir les MOPS. Les travaux sont toujours en cours à la date de publication de ce rapport et l'échéancier relatif à la tâche réglementaire RMT.0116 a été révisé à plusieurs reprises ces dernières années.

TOPMS

Depuis 2006, Transports Canada a indiqué qu'il n'existait pas de système de type TOPMS adapté à l'usage aéronautique et que l'industrie était la mieux placée pour en développer. Le projet de recherche établi par Transports Canada en 2007 a été interrompu en 2009 faute de financement approprié. En 2012, l'AESA a initié un groupe de travail sous l'égide de l'EUROCAE pour étudier les TOPMS. En 2015, ce groupe a conclu négativement quant à la possibilité de standardiser. Entre-temps, Airbus avait commencé à développer le système TOM qui remplissait certains critères des TOPMS. L'AESA n'a pas saisi cette opportunité pour réactiver le groupe ni même pour évaluer les bénéfices de ce système. TOM a été certifié par l'AESA en février 2018 pour l'A380.

Systèmes de détection et d'alerte d'erreurs grossières

En 2009, en réponse à plusieurs recommandations du NTSB, la FAA a publié de nouveaux moyens acceptables de conformité pour l'approbation des nouveaux FMS, incluant des fonctionnalités de détection d'erreurs grossières parmi les paramètres insérés. Cependant, la FAA a décidé de ne pas étendre ces nouvelles exigences aux FMS déjà approuvés, considérant que les procédures des exploitants (incluant notamment le principe de vérification croisée) constituaient des défenses déjà suffisantes. Pour sa part, l'AESA n'a pas procédé à la revue des systèmes existants comme l'agence avait suggéré qu'elle le ferait en 2011 en réponse à la recommandation du BEA de 2008. Pourtant, progressivement, plusieurs constructeurs et équipementiers ont développé, selon différentes approches, des systèmes répondant en partie à ce besoin. Comme dans le cas des incidents graves impliquant en 2015 le F-GUOC, en 2013 le PH-BVG, et en 2009 un incident similaire identifié par le DSB, plusieurs accidents et incidents graves parmi ceux répertoriés par l'AESA résultent de l'insertion de paramètres largement erronés dans le FMS, que de tels systèmes auraient permis de détecter et de porter à l'attention des équipages de manière plus efficace.

De manière générale, la position adoptée par les autorités au sujet de ces trois types de systèmes a consisté à laisser l'industrie à la fois décider du développement et de la certification de ces nouveaux systèmes et décider s'il convenait de les standardiser. Les autorités n'ont pas suivi de près les progrès réalisés par l'industrie concernant les systèmes destinés à prévenir les risques associés aux paramètres erronés pour le décollage. Elles n'ont pas été en mesure de maîtriser les délais des travaux de standardisation, comme mis en évidence par les récents reports dans le cadre des travaux sur l'OBWBS, et encore moins les délais de mise en service des systèmes déjà développés. Même quand l'état de l'art est devenu favorable à l'introduction de nouveaux systèmes, les autorités sont restées peu impliquées.

Finalement, les autorités n'ont pas été en mesure d'influer sur la disponibilité de nouveaux systèmes et lorsque de tels systèmes étaient disponibles, elles n'ont pas été en mesure d'en promouvoir le déploiement le plus large possible sur les flottes les plus exposées. De manière générale, les autorités n'ont pas été en mesure de créer les conditions propices au développement, à la certification et à l'installation de ces systèmes.

Désormais, les autorités en charge de la réglementation, de la certification et du suivi de navigabilité, comme celles impliquées dans la surveillance des autres domaines, ont commencé à se conformer aux exigences de l'Annexe 19 de l'OACI concernant la gestion de la sécurité, en particulier celles relatives aux Programmes Nationaux de Sécurité (PNS). C'est le cas de l'AESA. Dans le cadre de son étude préliminaire d'impact (PIA) conduite en 2016 (et mise à jour en 2017), parmi les trois types de systèmes évoqués, l'AESA n'a évalué que le bénéfice de l'OBWBS. Pourtant, d'une part, plusieurs systèmes existaient déjà permettant la détection et l'alerte d'erreurs grossières et, d'autre part, Airbus avait déjà annoncé le développement de TOM.

Le BEA comprend parfaitement que les autorités et l'industrie établissent des priorités, même et surtout en ce qui concerne les problématiques de sécurité. En ce sens, toutes les observations précédentes doivent être considérées en référence au niveau de risque attribué à cette problématique de sécurité, tel qu'il a été rendu visible pour la première fois par l'AESA en 2018, à travers ses nouvelles cartographies des risques.

Néanmoins, il est communément admis que l'utilisation de paramètres erronés pour le décollage, en raison des domaines de risque associés (perte de contrôle en vol, sortie de piste, collision avec des obstacles lors du décollage), pourrait avoir des conséquences catastrophiques. En outre, l'AESA, ainsi que d'autres autorités, ont probablement surestimé la robustesse des barrières opérationnelles susceptibles de prévenir l'utilisation de paramètres erronés au décollage ou d'en récupérer les conséquences.

D'ailleurs, bien que l'AESA ait estimé que les barrières de sécurité actuelles (de nature opérationnelle) sont inadéquates et insuffisantes dans le cadre de son analyse, elle a considéré en 2016 que la publication d'un bulletin d'information de sécurité (SIB) constituait l'action la plus efficace dans le cadre de sa PIA, ceci dans l'attente des résultats du groupe de travail EUROCAE sur l'OBWBS. Dans le même temps, l'AESA a estimé que les données disponibles n'étaient pas suffisantes pour évaluer au niveau européen les bénéfices escomptés du SIB en matière de sécurité. En conséquence, l'AESA a limité son évaluation au bénéfice attendu pour un exploitant s'il mettait en œuvre un système d'analyse des données de vol (FDM) adéquat, le FDM constituant l'un des axes développés dans le SIB. Le résultat (70%) a été mentionné dans la PIA. Ce raisonnement ne permet pas d'estimer le bénéfice global en matière de sécurité (d'un système FDM adéquat et plus généralement du SIB) compte tenu de la forte proportion d'exploitants disposant déjà d'un système FDM supposé adéquat et de leur contribution au nombre total de vols commerciaux. Le BEA est d'accord avec l'AESA sur la prudence avec laquelle de telles données doivent être traitées et interprétées. Cependant, sur la base de cet échantillon de données limité, le bénéfice global attribuable au SIB serait de 14%. Le BEA considère que, même si cette valeur n'est pas précise, l'AESA devrait prendre en compte cet ordre de grandeur.

La fragilité des barrières opérationnelles a déjà été démontrée par le BEA dans son étude de sécurité publiée en 2008. D'autres autorités responsables d'enquêtes de sécurité ont souligné cette fragilité. L'incident grave du F-GUOC est une confirmation supplémentaire. Même s'il est important de guider régulièrement les exploitants ou de les sensibiliser aux bonnes pratiques (comme l'a fait l'AESA via l'AMC 20-25 ou le SIB), la fragilité demeure du fait que de nombreux aléas opérationnels et organisationnels sont susceptibles de compromettre, ponctuellement et localement, les efforts fournis pour consolider ces barrières. Les exploitants doivent gérer ce risque sérieusement, mais on ne peut pas s'attendre à ce qu'ils le maîtrisent totalement. À titre d'exemple, le présent rapport mentionne les mesures prises par un exploitant à la suite d'un premier incident qui n'ont pas empêché ce même exploitant d'être impliqué dans un second incident similaire. La surestimation de la capacité des exploitants et des équipages à éviter les erreurs grossières en se fondant uniquement sur des mesures procédurales pourrait compromettre l'évaluation du niveau de priorité de ce risque et du bénéfice de sécurité attendu pour le SIB.

Dans son SIB, l'AESA suggère des mesures d'atténuation supplémentaires, en particulier celles liées aux systèmes avion. Il convient de noter que le développement de ces systèmes n'est pas sous la responsabilité des exploitants auxquels le SIB est adressé. Néanmoins, il s'agit d'une première étape pour promouvoir ces technologies et il serait utile de fournir aux exploitants plus de détails sur les produits disponibles pour chaque type d'aéronef.

Pour toutes ces raisons, il pourrait être raisonnable de ne pas attendre l'évaluation de l'efficacité du SIB et les futures conclusions du groupe de travail EUROCAE concernant l'OBWBS avant d'élaborer un plan d'action plus large. À cet égard, il serait nécessaire d'évaluer les bénéfices potentiels des différentes technologies parmi celles disponibles ou à venir. Une décision éclairée pourrait alors être prise en coordination avec chaque constructeur concernant la ou les technologies les plus appropriées selon les types d'aéronefs.

En conséquence le BEA recommande que :

- **L'AESA, dans le cadre d'une mise à jour de son évaluation d'impact, évalue le bénéfice pour la sécurité des systèmes de type TOPMS, en s'appuyant en particulier sur les systèmes existants (TOM d'Airbus). [Recommandation FRAN2018-022]**
- **L'AESA, dans le cadre d'une mise à jour de son évaluation d'impact, évalue le bénéfice pour la sécurité des systèmes de détection et d'alerte d'erreurs grossières, en s'appuyant en particulier sur les systèmes existants (TOS d'Airbus, messages et protections des FMS/EFB de Boeing, LINTOP de Lufthansa Systems, etc.). [Recommandation FRAN2018-023]**

- **L'AESA, en coordination avec la FAA, incite les constructeurs à développer pour les avions commerciaux les plus répandus et les plus exposés à ce risque, des systèmes adaptés aux caractéristiques de chaque famille d'avions, apportant une protection accrue contre l'utilisation de paramètres erronés au décollage.
[Recommandation FRAN2018-024]**
- **L'AESA informe les autorités nationales et les exploitants européens sur les systèmes existants et en cours de développement sur chaque famille d'avions qui sont susceptibles d'apporter une protection accrue contre l'utilisation de paramètres erronés au décollage.
[Recommandation FRAN2018-025]**

ANNEXES

Annexe 1

Incidents graves et accidents répertoriés par l'AESA, relatifs à des erreurs d'insertions de paramètres de décollage

Annexe 2

Extrait de la procédure « Before Start Procedure » mise en place par Air France à la suite de l'incident grave du F-GUOC

Annexe 3

Incidents similaires sur Boeing 777-300. Rapport du DSB extrait de la publication « Quarterly Report Aviation » de 2016

Annexe 1

Incidents graves et accidents répertoriés par l'AESA, relatifs à des erreurs d'insertions de paramètres de décollage

No.	DATE	MAKE/MODEL	REGISTRATION	LOCATION
1	24/08/1999	B767-300	OY-KDN	Copenhagen, Denmark
2	28/12/2001	B747-100F, Cargo	N3203Y	Anchorage, Alaska USA
3	14/06/2002	A330-300	C-GHLM	Frankfurt Main A/P, Germany
3	29/11/2002	B737-800	TC-APJ	Dortmund, Germany
5	11/03/2003	B747-300	ZS-SAJ	Johannesburg, South Africa
6	12/03/2003	B747-400	9V-SMT	Auckland, New Zealand
7	17/06/2003	MD88	TC-ONP	Groningen Airport Eelde, Netherlands
8	04/09/2003	A321	OY-KBK	Oslo Airport, Norway
9	22/10/2003	B747-100/200, Cargo	JA8191	Tokyo, Japan
10	25/12/2003	B727	3X-GDO	Cotonou, Benin, West Africa
11	04/03/2004	ILYUSHIN IL76, Cargo	UR-ZVA	Baku, Azerbaijan
12	14/07/2004	A340-300	F-GLZR	Paris Charles de Gaulle Airport, France
13	08/10/2004	MD11	N275WA	Anchorage, Alaska USA
14	14/10/2004	B747-200, Cargo	9G-MKJ	Halifax Int. Airport, Canada
15	23/04/2005	B737-800	TC-SKC	Stuttgart, Germany
16	24/08/2005	A340-300	LN-RKF	Shanghai Int. A/P, China
17	12/07/2006	ERJ190	C-FHIU	Edmonton, Alberta, Canada
18	10/12/2006	B747-400	F-HLOV	Paris Orly Airport, France
19	16/08/2008	B737-800	SU-BPZ	Paris Charles de Gaulle Airport, France
20	28/10/2008	A330-200	G-OJMC	Sangster A/P, Montego Bay, Jamaica (UK)
21	13/12/2008	B767	G-OOAN	Manchester, UK
22	20/03/2009	A340-500	A6-ERG	Melbourne Victoria, AU
23	01/09/2009	A320	LZ-BHC	Verona, Italy
24	12/12/2009	A340	G-VYOU	LHR, UK
25	29/04/2011	A321	G-NIKO	Manchester, UK
26	22/11/2011	B737	VH-TJL	Melbourne, AU
27	05/02/2012	A340	4R-ADG	LHR, UK
28	14/04/2012	B737-33A	G-ZAPZ	Chambery Airport, France
29	04/07/2012	A319	G-EZDN	Prague, Czech
30	16/04/2013	B767-200	XA-TOJ	Madrid-Barajas A/P, Spain
31	22/05/2015	B777-F	F-GUOC	Paris Charles de Gaulle, Airport, France

Annexe 2

Extrait de la procédure « Before Start Procedure » mise en place par Air France à la suite de l'incident grave du F-GUOC

Final loadsheet (ECD)	Verified .. C, F/O
Complete the takeoff parameters on the OPT.	
Compare TOW and MACTOW from ECD with TOGW and CG from OPT	C, F/O
Update the takeoff weight and CG if needed	C, F/O
Complete the CDU Preflight procedure, Performance Data steps.	
Announce the ZFW and CG from ECD	C
PERF INIT page: enter the ZFW and CG if needed	F/O
Announce the GR.WT.	F/O
Compare the GR.WT. with TOW from ECD	C
Announce the takeoff parameters from OPT and check CDU entries	C
THRUST LIM page enter:	F/O
TQ or TQ1 or TQ2 as needed	F/O
Note: This operation is not allowed by Air France. The takeoff derate for TO1 and TO2 is set to 0% by Airline Policy.	
SEL Temperature if needed	F/O
CLB or CLB1 or CLB2 if needed	F/O
TAKEOFF page 2: enter as needed EO ACCEL HT, ACCEL HT, THR REDUCTION	F/O
TAKEOFF page 1: enter FLAPS, CG, V1, VR, V2	F/O
CAUTION: If TAKEOFF V Speeds fields stay blank, check for discrepancies between takeoff parameters.	
Consider previous calculated TAKEOFF REF V/speeds from CDU	C, F/O
CAUTION: If FMC Messages TAKEOFF SPEEDS DELETED, V-SPEEDS UNAVAILABLE appear, check takeoff parameters.	

Annexe 3

Incidents similaires sur Boeing 777-300

Rapport du DSB extrait de la publication « Quarterly Report Aviation » de 2016

Take-off with insufficient engine thrust, Boeing 777-300ER, PH-BVG, Amsterdam Airport Schiphol, 7 July 2013

Introduction

On 7 July 2013 at 17:27, a Boeing 777-300ER took off from runway 36C at Schiphol Airport. The engine thrust selected for the take-off was lower than was required for the weight of the aircraft. In addition, the reference speeds used for the take-off - such as the maximum speed at which the take-off can still be safely aborted (V_1), the speed at which the aircraft begins to rotate before the flight (V_r), and the safe initial climb rate (V_2) - were lower than is procedurally required for safe flight operations. Shortly after the take-off, the cockpit crew noticed the anomalous speeds and corrected them, after which the flight continued as normal.

The take-off of an aircraft with insufficient engine thrust whether in combination with insufficient reference speeds or otherwise - is referred to as a take-off performance incident. These incidents bring along an increased risk as they could result in the aircraft leaving the runway at a speed close to the stalling speed, tail contact with the runway or contact with or reduced clearance to other obstacles. Various safety studies show that take-off performance incidents regularly occur with all types of aircraft operated by a variety of airlines around the world.

The incident on 7 July 2013 was almost identical to a similar incident that occurred with the same airline and with the same type of aircraft in 2009. The fact that an incident repeated itself under comparable conditions was particular cause for the Dutch Safety Board to initiate an investigation.

Flight preparations

During the flight preparations, the cockpit crew programs data - such as the flight path - into the flight computers. During the incident flight, the crew consisted of three pilots: a captain, a first officer and a second officer. It is not uncommon within the airline involved for the second officer to conduct the preflight duties while the captain follows the preparations from the third seat in the cockpit. Approximately 15 minutes prior to departure, the captain switched seats with the second officer. Once the loading schedule was passed on to the crew 5 minutes after the scheduled departure time, the final calculations could be made. These calculations include the required take-off thrust and the corresponding reference speeds based on the total aircraft weight provided.

During the investigation, it was found that the airline's published operating procedure did not specify independent input of the aircraft weights by multiple crew members. An independent judgement of the input and calculation process is the most important safeguard for the detection of input errors, and therefore for the prevention of incorrect calculations. In this case an input error had occurred.

What the procedure does enable is a comparison of the calculation results between the captain's Electronic Flight Bag (EFB) and the first officer's EFB. However, to arrive at a matching outcome, the input variables must be identical. Both in this incident and the incident in 2009, a pilot mentioned an incorrect take-off weight and the other pilot used that weight, which resulted in the calculations no longer being independent, causing the failure of an important safety net.

Upon entry of the results of the take-off performance calculation into the Flight Management Computer (FMC), the computer did issue a warning that was not entirely understood by the crew and was subsequently ignored. This resulted in the failure of a second safety net.

The second officer, who had initially performed a correct calculation on the captain's EFB, had been distracted by the need to give flight-safety instructions to the ground official who was travelling with the crew in the cockpit. As a result, the second officer restricted himself to comparing the results of the captain and first officer's EFBs, but he did not notice the low programmed engine thrust and the corresponding low reference speeds.

As a result, all of the available procedural safety nets failed during the flight-preparation stage and the aircraft taxied to the runway with incorrect take-off performance parameters. After entering the V speeds into the FMC and commencement of taxiing, no procedural safety nets were available to the crew and the incorrect take-off performance calculations remained undetected.

Take-off from runway 36C

Once the take-off thrust had been selected, the incident became inevitable, but flight crew intervention was still possible to reduce the severity of the outcome. For the crew, the lower than normal acceleration was not sufficiently noticeable to abort the take-off. Due to the lower reference speeds, the rotation point on the runway more or less coincided with the normal rotation point. Shortly after the rotation, the aircraft did not become airborne straight away: this took a total of four seconds longer than for normal rotation. As the first officer was aware of the risk of a tailstrike and because the aircraft's tailstrike-prevention system intervened, the aircraft's tail did not touch the runway. The speed at which the aircraft left the runway was thus the minimum lift-off speed determined by the maximum angle of attack where tail contact with the runway was just avoided. After lift-off the first officer subsequently increased the speed to above the selected reference speed, as a result of which the aircraft's rate of climb was unwittingly increased to the minimum safe rate. Shortly afterwards, the captain detected the input error and the flight operations proceeded as normal from that point onwards.

Flight recorders

Of the available flight recorders, only the flight-data records were available. The cockpit voice recorder had a recording capacity of two hours, and was therefore recorded over during the course of the 10-hour flight. No possibility to secure the recording was available to the crew. The cockpit voice recorder would have provided clarity regarding the exact circumstances that led to the input error. The Dutch Safety Board has repeatedly recommended to increase the recording capacity of cockpit voice recorders to enable more to be learned about incidents.

Investigation of a similar incident in 2009

On 31 August 2009, a similar incident took place involving the same type of aircraft and the same airline. The recommendations stemming from this investigation and the partial implementation of these recommendations were unable to prevent a reoccurrence of the incident. In this investigation, it was already concluded that adjustment of the procedures is not the way to prevent such incidents.

The emphasis should be particularly placed on the prevention of input actions and unnecessary retyping of results. By the time of the incident in 2013, no progress had yet been made in this respect.

The investigation of the 2009 incident identified that takeoff incidents constitute a global and frequently occurring problem. Earlier investigations have repeatedly resulted in recommendations to aircraft manufacturers regarding the need for an electronic safety net to be developed that can identify serious errors in performance calculations entirely independently of the cockpit crew's actions.

Measures taken by the airline

Almost immediately following the incident in 2013, the airline in question adjusted its procedures to place even greater emphasis on independent calculation of take-off performance parameters by the cockpit crew. Parallel to this, the airline has switched to an external system that is, in most cases, able to conduct an independent check of the input variables. This system has proved effective for the rest of the fleet of the airline involved. However, this system has limitations, and cannot prevent take-off performance incidents in all cases.

Another significant change that was made was to conduct the take-off performance calculation earlier in the preparatory stage in order to prevent time pressure immediately prior to take-off.

Exploratory investigation

An initial exploratory investigation conducted by the Dutch Safety Board identified that take-off incidents frequently occur following a failure by the cockpit crew to follow or fully follow the available procedures. Various international studies have established that input errors are influenced by a large number of factors such as fatigue, distraction, time pressure and reduced concentration, and that no procedures are available that can prevent these factors from occurring in all cases.

The European regulator EASA is currently conducting two studies intended to investigate the feasibility of a system that measures the aircraft weight for every flight and a system that identifies gross input errors.

The internal investigation report by the airline involved regarding the take-off incident in 2013 has been extended to include procedures and distractions to the cockpit crew. This has been done to such an extent that the Dutch Safety Board does not consider further investigation of this incident to be necessary. This statement in the quarterly report signifies the conclusion of this investigation by the Dutch Safety Board.

Classification: serious incident

Reference: 2013090



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

