



# RAPPORT D'ENQUÊTE

**Incident grave** de l'AIRBUS A340-313E  
immatriculé **F-GLZU**  
et exploité par **AIR FRANCE**  
survenu le 11 mars 2017  
à Bogota (Colombie)

**BEA**

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

Ministère de la Transition Écologique et Solidaire

## **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**

<b>LES ENQUÊTES DE SÉCURITÉ</b>	<b>2</b>
<b>GLOSSAIRE</b>	<b>5</b>
<b>SYNOPSIS</b>	<b>8</b>
<b>ORGANISATION DE L'ENQUETE</b>	<b>10</b>
<b>1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE</b>	<b>11</b>
1.1 Déroulement du vol	11
1.2 Tués et blessés	13
1.3 Dommages à l'aéronef	13
1.4 Autres dommages	13
1.5 Renseignements sur le personnel	13
1.5.1 Équipage de conduite	13
1.6 Renseignements sur l'aéronef	15
1.6.1 Cellule	15
1.6.2 Moteurs	15
1.6.3 Lois de commande lors de la rotation	16
1.6.4 Contrôles et vérifications de l'A340-313E immatriculé F-GLZU à la suite de l'incident grave	17
1.6.5 Documentation Airbus	17
1.7 Renseignements météorologiques	22
1.8 Aides à la navigation	22
1.9 Télécommunications	22
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	22
1.11 Enregistreurs de bord	23
1.11.1 Généralités	23
1.11.2 Exploitation des données du DAR	24
1.11.3 Difficultés rencontrées pour l'exploitation des données DAR	24
1.11.4 Post Flight Report (PFR)	24
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	24
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	24
1.14 Incendie	25
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	25
1.16 Essais et recherches	25
1.16.1 Performances au décollage	25
1.16.2 Calculs des performances pour le vol de l'événement	35
1.16.3 Essais et recherches supplémentaires	38

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion	42
1.17.1 Air France	42
1.17.2 Direction de la sécurité de l'Aviation civile	47
1.17.3 AESA	48
1.17.4 AIRBUS	48
1.18 Renseignements supplémentaires	49
1.18.1 Témoignages	49
1.18.2 Perception du mouvement au décollage	50
<b>2 - ANALYSE</b>	<b>54</b>
2.1 Scénario	54
2.2 Performances lors du décollage de l'A340-300	54
2.3 Des performances au décollage en exploitation inférieures aux performances certifiées	57
2.4 Un écart entre les techniques de rotation appliquées en exploitations et celles prises en compte dans le modèle de performance certifié	57
2.5 Un écart entre les techniques de rotation publiées dans la documentation constructeur et celles prises en compte dans le modèle de performance certifiées.	58
2.6 Prise en compte des risques associés aux décollages longs	59
2.7 Formation, entraînement et contrôles à la technique de rotation	60
<b>3 - CONCLUSIONS</b>	<b>61</b>
3.1 Faits établis par l'enquête	61
3.2 Causes de l'incident grave	62
<b>4 - ACTIONS DE SÉCURITÉ ENTREPRISES DEPUIS L'INCIDENT GRAVE DU 11 MARS 2017</b>	<b>63</b>
4.1 Actions Air France	63
4.2 Actions Lufthansa	65
4.3 Actions AESA	66
4.4 Actions Airbus	66
4.4.1 Mise à jour de la documentation opérationnelle	66
<b>5- RECOMMANDATIONS DE SECURITE</b>	<b>68</b>
5.1 Certification des performances au décollage de l'Airbus A340-300	68
5.2 Gestion des risques liés au décollage long : diminution de la variabilité dans la technique de rotation des équipages et adoption de mesures limitatives	70
5.3 Utilisation des données d'analyse de vol par les autorités de suivi de navigabilité	71
<b>ANNEXES</b>	<b>72</b>

# Glossaire

AESA	Agence Européenne pour la Sécurité de l'Aviation Civile
AC	Advisory Circular
AD	Airworthiness Directive (Consigne de navigabilité)
ADV	Analyse des Vols
AEO	All Engine Operative
AEL	Adaptation En Ligne
AF	Air France
AFM	Airplane Flight Manual (Manuel de vol)
APU	Auxiliary Power Unit (Groupe auxiliaire de puissance)
ASD	Acceleration Stop Distance (Distance pour l'accélération-arrêt)
ASDA	Acceleration Stop Distance available (Distance pour l'accélération-arrêt disponible)
ASR	Air Safety Report (Compte rendu de sécurité des vols)
ATC	Air Traffic Control
ATP	Acceptance Test Procedure
ATPL	Airline Transport Pilot Licence (Licence de pilote de ligne)
BFU	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung
BEA	Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la Sécurité de l'Aviation civile
CCQ	Cross Crew Qualification
CdB	Commandant de Bord
CG	Centre de gravité
CIAIAC	Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil
CVR	Cockpit Voice Recorder
CWY	Clearway (Prolongement de piste dégagé)
DAR	Direct Access Recorder
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
DSAC	Direction de la sécurité de l'Aviation civile
DFDR	Digital Flight Data Recorder
ECAM	Electronic Centralized Aircraft Monitor
ECP	Entraînements et Contrôles Périodiques

ECR	European Central Repository (Base de données européenne)
EFB	Electronic Flight Bag
EGT	Exhaust Gas Temperature (Température des gaz d'échappement)
ENAC	École nationale de l'Aviation civile
EOFDM	European Operator Flight Data Monitoring
EPL	Élève Pilote de Ligne
FAA	Federal Aviation Administration (Agence américaine en charge de l'aviation civile)
FCOM	Flight Crew Operating Manual
FCPC	Flight Control Primary Computer
FCTM	Flight Crew Training Manual
TOR	Take off Run
FD	Flight Director (Directeur de vol)
FDM	Flight Data Monitoring
FDR	Flight Data Recorder (Enregistreur de conversations)
FMGEC	Flight Management Guidance and Envelop Computer
FOBN	Flight Operation Briefing Note
Ft	Pieds
FWC	Flight Warning Computer
GRIA	GRupo de Investigación de Accidentes Aéreos (Organisme d'enquête de la Colombie)
ILS	Instrument Landing System (Système d'atterrissement aux instruments)
JAA	Joint Aviation Authorities (Autorités conjointes de l'aviation)
JAR	Joint Aviation Requirements
Kt	Noeuds
LDA	Landing Distance Available (Distance utilisable à l'atterrissement)
LOC	LOCalizer
MCT	Manuel du Contrôle Technique
METAR	Aerodrome routine meteorological report (Message d'observation météorologique régulière d'aérodrome)
MTOW	Maximum Take-Off Weight (Masse maximale au décollage)
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OCV	Organisme du Contrôle en Vol

OEI	One Engine Inoperative
OPL	Officier Pilote de Ligne (First Officer/Copilote)
OSV	Officier de Sécurité des Vols
PEPN	Pôle Expertises Personnels Navigants
PF	Pilot Flying
PFD	Primary Flight Display
PFR	Post Flight Report
PHR	Plan Horizontal Réglable
PLI	Pitch Limit Indicator (Indicateur de limite d'assiette)
PM	Pilot Monitoring
PNC	Personnel Navigant Commercial
QAR	Quick Access Recorder
QFU	Orientation magnétique de la piste (en dizaines de degrés)
QNH	Calage altimétrique requis pour lire l'altitude de l'aérodrome
QT	Qualification de Type
RA	Radio-altimètre
SB	Safety Bulletin (Bulletin de service)
SRS	Speed Reference System
SWY	Stopway (Prolongement d'arrêt)
TEM	Threat and Error Management
TOD	Take off Distance (Distance de décollage)
TODA	Take off Distance available (Distance de décollage disponible)
TOGA	Take off Go Around
TOR	Take off Run (Distance de roulement au décollage)
TORA	Take off Run Available (Distance de roulement au décollage disponible)
TOW	Take-off Weight (Masse au décollage)
TRI	Type Rating Instructor
Vef	Vitesse effective de panne
VLOF	Vitesse opérationnelle de décollage
VR	Vitesse de rotation
V1	Vitesse de décision
V2	Vitesse de sécurité au décollage

# Synopsis

<b>Heure</b>	À 23 h 55 <sup>(1)</sup>
<b>Exploitant</b>	Air France
<b>Nature du vol</b>	Transport aérien commercial
<b>Personnes à bord</b>	Commandant de bord (PF) ; Officier pilote de ligne (PM) ; OPL de renfort ; 10 PNC ; 268 passagers
<b>Conséquences et dommages</b>	Aucun

<sup>(1)</sup>Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné (UTC).

## Décollage anormalement long

Le 11 mars 2017, l'Airbus A340 immatriculé F-GLZU et exploité par la compagnie Air France effectue le vol AF423 depuis l'aéroport de Bogota Eldorado (Colombie) à destination de Paris CDG (France) dans le cadre d'un vol de transport commercial de passagers. Sont à bord 268 passagers et 13 membres d'équipage. Le Commandant de bord (CdB) est le pilote en fonction (PF) sur cette étape.

Le décollage est réalisé de nuit sur la piste 13R d'une longueur de 3 800 m et dotée d'un prolongement dégagé (CWY) de 300 m. À 23 h 54 min UTC, l'équipage effectue une mise en poussée à 50 % sur freins puis le décollage est réalisé à pleine poussée (TOGA).

Le CdB initie la rotation lorsque la vitesse conventionnelle atteint la vitesse de rotation (VR). L'avion est à 2 760 m du seuil 13R. Le taux de rotation de l'avion est faible. Les trois membres d'équipage indiquent avoir entendu l'alarme audio « *PITCH PITCH* ». Les trains principaux quittent le sol alors que l'avion est à 140 m du seuil de piste opposé.

L'avion passe le seuil piste opposé à 6 ft, détecté au radio-altimètre (RA). La fin du CWY est franchie à la hauteur de 20 ft RA. La vitesse est V2 + 9 kt. L'avion passe 12 ft au-dessus des antennes ILS (premier obstacle).

La montée est ensuite poursuivie sans autre particularité et les marges réglementaires de franchissement des obstacles sur la trajectoire de montée du second segment sont respectées.

L'enquête a montré que l'incident grave a résulté d'ordres à cabrer insuffisants du PF qui ont allongé la distance de décollage de 424 m par rapport à la distance de décollage théorique certifiée augmentée des marges de sécurité réglementaires dans les conditions opérationnelles du jour. Ceci a eu pour conséquence d'augmenter significativement le risque de sortie longitudinale de piste ou de collision avec des obstacles.

Dans les conditions de l'incident grave, un ordre à cabrer initial puis maintenu à la valeur typique recommandée par le FCTM (2/3 de débattement arrière) n'était pas suffisant pour atteindre le taux de rotation de 3°/s, taux de rotation retenu dans le modèle de performance certifié, également mentionné dans le FCTM.

Avant cet événement, la différence entre les taux de rotation obtenus en opérations et celui pris en compte dans les calculs de performance n'avait pas été identifiée par les opérateurs d'Airbus A340-300, en raison de l'absence de compte rendu d'équipages et de surveillance des performances au décollage lors des analyses de vol.

Durant l'enquête, les opérateurs Air France et Lufthansa, le constructeur Airbus et l'autorité de certification, Agence Européenne de la Sécurité Aérienne (AESA) ont adopté des mesures de sécurité qu'ils ont communiquées au BEA.

Sur la base de l'enquête de sécurité et en tenant compte de ces mesures de sécurité, le BEA a adressé sept recommandations de sécurité à l'AESA. Ces recommandations portent sur :

- la certification des performances au décollage ;
- la gestion des risques liés aux décollages longs ;
- les programmes d'analyse des vols.

## ORGANISATION DE L'ENQUETE

Après l'incident grave du 11 mars 2017, l'équipage a rédigé un compte rendu (ASR) et demandé l'analyse des données de vol le 14 mars. L'ASR indique que le décollage était très long et que l'aéronef a survolé le seuil de piste opposé à quelques pieds radiosonde.

Du 21 au 23 mars, l'équipe d'enquête interne d'Air France a mené plusieurs investigations auprès de différents services d'Air France afin de collecter des informations et caractériser l'événement. Les données du vol ont ainsi été exploitées par le service d'analyse des vols. La procédure permettant de détecter des décollages longs n'existe pas encore et les premiers résultats préliminaires de l'analyse des vols indiquaient une hauteur de survol de 4 ft du seuil opposé. Des vérifications ont également été effectuées auprès des services de fret, dispatch et performances avion. Les résultats préliminaires n'ont pas permis de mettre en évidence une erreur d'insertion de données par l'équipage, un problème technique ou de masse et centrage. Air France a alors décidé d'ouvrir une enquête interne et, conformément au protocole signé entre Air France et le BEA<sup>(2)</sup>, en a informé ce dernier le 24 mars 2017.

<sup>(2)</sup>Ce protocole précise les conditions dans lesquelles la société Air France et le BEA mettent en œuvre, dans l'intérêt de la sécurité aérienne, les moyens et procédures nécessaires à la transmission des informations de sécurité relatives aux événements à notifier.

Les informations et résultats préliminaires de l'analyse du vol fournis par Air France ont conduit le BEA à classifier cet événement en tant qu'incident grave.

Conformément aux normes et pratiques recommandées de l'Annexe 13 de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), le BEA a informé le GRIAAC, son homologue de Colombie au titre de l'État d'occurrence de cet incident grave. Le BEA a également sollicité le GRIAAC pour obtenir la délégation de l'enquête. Cette proposition de délégation a été acceptée par le GRIAAC le 5 avril 2017 qui a alors désigné un représentant accrédité (Accrep).

Le BEA a associé à l'enquête de sécurité ses homologues étrangers suivants, qui ont désigné des représentants accrédités :

- le BFU (Allemagne) car des Airbus A340 de Lufthansa, dont certains de la même version que le F-GLZU, sont également exploités à Bogota. Ceci a permis de bénéficier de l'assistance de conseillers techniques de Lufthansa ;
- le CIAIAC (Espagne) car des Airbus A340 d'Iberia, mais d'une autre version que le F-GLZU, sont également exploités à Bogota.

Le BEA a également associé des conseillers techniques de l'AESA, de la Direction générale de l'Aviation civile (DGAC), d'Airbus et d'Air France.

L'enquête de sécurité a été organisée selon trois groupes de travail dans les domaines suivants : Aéronef, Systèmes avion et Opérations. Les représentants accrédités et les conseillers techniques ont été répartis dans ces trois groupes.

## 1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE

### 1.1 Déroulement du vol

Le 11 mars 2017, l'Airbus A340 immatriculé F-GLZU et exploité par la compagnie Air France effectue le vol AF423 depuis l'aéroport de Bogota Eldorado (Colombie) à destination de Paris CDG (France) dans le cadre d'un vol de transport commercial de passagers régulier. Sont à bord 268 passagers et 13 membres d'équipage. L'équipage de conduite est composé d'un CdB (PF sur cette étape), d'un OPL et d'un OPL de renfort<sup>(3)</sup>. L'OPL, en place droite, est en stage d'adaptation en ligne sur A340. Les membres d'équipage indiquent qu'ils n'ont pas éprouvé de fatigue excessive lors de l'escale et ont consulté le dossier de vol sur leurs tablettes tactiles (EFB) avant d'arriver à l'aéroport. La préparation du vol s'effectue dans le cockpit. L'équipage indique qu'il n'a pas été perturbé par des interruptions excessives de tâches.

Le décollage est prévu à 23 h 30. La piste 13R est en service ; elle est mouillée au moment de l'événement. Le QNH est de 1026 hPa, la température de 13 °C et le vent du 310° pour 4 kt.

L'équipage indique que, lors de la préparation du vol, il a fait plusieurs calculs de performances au décollage sur l'EFB pour la piste 13R et anticipé une piste mouillée (WET). Dans les conditions du jour, l'EFB a fourni les résultats de calcul suivants à l'équipage :

- V1 = 128 kt, VR = 142 kt, V2 = 149 kt ;
- masse maximale au décollage limitée performance MTOW(perf) = 237 t, pour une masse au décollage de 236,3 t ;
- les performances au décollage sont limitées par la distance de roulement au décollage avec un moteur en panne (TOR<sub>N-1</sub>)<sup>(4)</sup> ;
- en cas d'accélération-arrêt la marge est de 57 m.

<sup>(3)</sup>Les services de vol dépassant des limitations de temps de vol fixées par la réglementation sont effectués par des équipages renforcés ou doublés. Dans le cas d'un vol entre Bogota et Paris, l'équipage est renforcé d'un OPL.

<sup>(4)</sup>Voir § 1.16.2.

L'équipage précise que ce calcul final fait apparaître une marge favorable de quelques centaines de kilos par rapport à la masse maxi décollage du jour avec les hypothèses retenues. La stratégie de gestion des erreurs et des menaces (TEM) déployée par l'équipage est celle préconisée par l'exploitant : mise en poussée TOGA à 50 % sur freins, et les packs sur l'APU. L'équipage évoque également l'alignement au seuil de piste à 90°. Les pilotes précisent qu'ils portent une attention particulière aux altitudes de sécurité, au vent et à la possible contamination de la piste en raison de la pluie.

À 23 h 54 min 06, le contrôleur autorise l'équipage à décoller en piste 13R et lui communique l'information d'un vent du 300° pour 4 kt. Cette valeur est conforme à celle insérée dans l'EFB.

À la fin de l'alignement, l'aéronef est à 45 m du seuil de piste 13R. Les freins sont relâchés lorsque la poussée des moteurs (N1) atteint 50 % à 23 h 54 min 20.

À 23 h 55 min 20, le PF initie la rotation à VR soit 142 kt. L'aéronef est à 2 760 m du seuil 13R. La défexion du mini manche est enregistrée à 9° à cabrer deux secondes après l'initiation de la rotation (ce qui correspond à un débattement d'environ 57 %, la défexion maximale étant de 16°). L'ordre à cabrer évolue ensuite entre 5° et 11° pendant la durée de la rotation.

À 23 h 55 min 30, soit onze secondes après l'initiation de la rotation, les trains principaux sont enregistrés décompressés alors que l'aéronef est à 140 m du seuil de piste opposé. L'assiette longitudinale de l'aéronef est de 8,5°.

Une seconde plus tard, l'aéronef franchit le seuil opposé à une hauteur de 6 ft RA et une vitesse conventionnelle de 155 kt soit V2+6 kt.

À 23 h 55 min 33, l'aéronef atteint la mi-distance entre le lever des roues et le passage des 35 ft ce qui correspond à une distance de roulement au décollage depuis le seuil de piste 13R de 4 005 m.

L'équipage indique avoir entendu l'alarme audio « *PITCH PITCH* » se déclencher quand l'assiette était à 10° et l'avion encore au sol.

L'aéronef franchit la fin du clearway (CWY) à une hauteur de 20 ft RA et à une vitesse de 158 kt soit V2+9 kt.

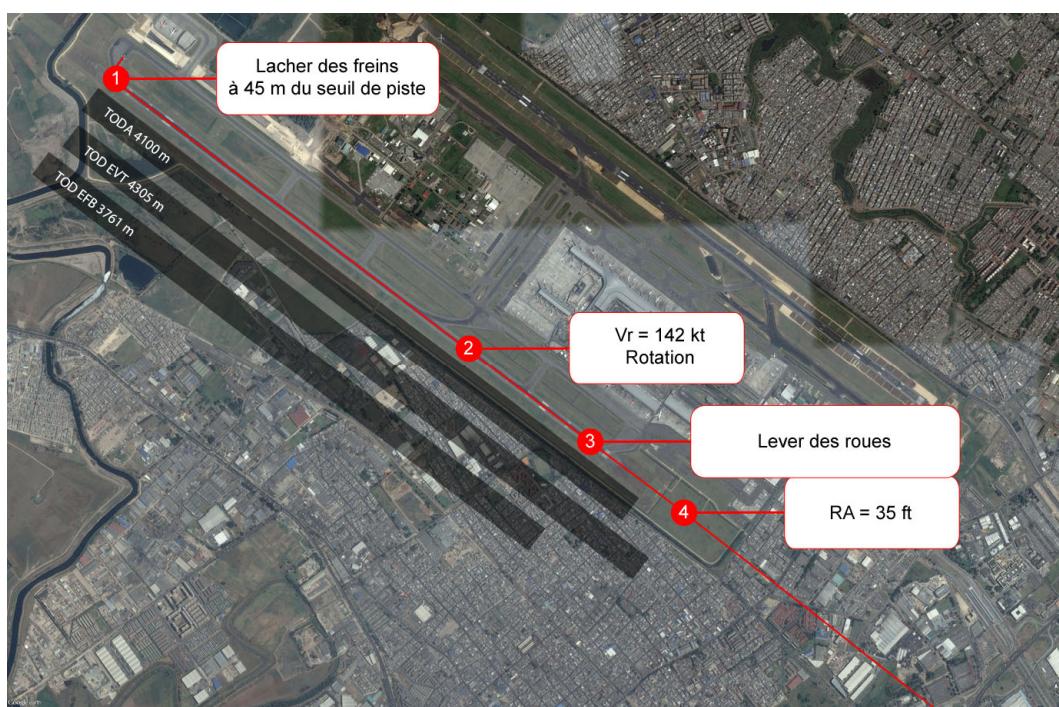
L'aéronef survole le premier obstacle, l'antenne LOC, à une hauteur de 32 ft RA, soit 12 ft RA au-dessus de l'obstacle à une vitesse de 159 kt soit V2+10 kt. L'assiette est de 12,3° et la vitesse verticale est proche de 0. La durée entre le premier ordre à cabrer initié à VR et le moment où l'aéronef atteint son assiette cible de 12,5° est de quinze secondes.

L'aéronef atteint une hauteur de 35 ft RA à 4 350 m du seuil de la piste 13R. La distance de décollage (TOD) est de 4 305 m.

Le décollage se poursuit et l'aéronef survole les obstacles du second segment avec des marges supérieures aux minimums réglementaires.

L'équipage a conscience de la dégradation des marges au décollage. L'OPL de renfort demande alors au CdB s'ils peuvent avoir accroché des antennes. L'équipage vérifie la page WHEEL qui ne présente aucune anomalie.

Le vol est ensuite poursuivi jusqu'à destination sans autre particularité. L'équipage rédige un ASR pour signaler le décollage long et le survol du seuil opposé à une hauteur RA estimée à 4 ft.



Figures 1 : distances de décollages

## 1.2 Tués et blessés

	Blessures		
	Mortelles	Graves	Légères/Aucune
<b>Membres d'équipage</b>	-	-	<b>13</b>
<b>Passagers</b>	-	-	<b>268</b>

## 1.3 Dommages à l'aéronef

Aucun.

## 1.4 Autres dommages

Aucun.

## 1.5 Renseignements sur le personnel

### 1.5.1 Équipage de conduite

#### 1.5.1.1 Commandant de bord

Homme, 47 ans, nationalité française.

#### Licence, Qualification

Licence ATPL (Airline Transport Pilot Licence) délivrée le 14 février 2009.

Première Qualification de type (QT) A330/A340 en 2013.

QT A340 valable jusqu'au 30 septembre 2017.

QT A330 valable jusqu'au 31 mars 2017.

Qualification Type Rating Instructor (TRI) A340 délivrée le 6 octobre 2016.

Aptitude médicale de classe 1 valable jusqu'au 31 janvier 2018.

#### Expérience

Expérience totale : 14 050 heures de vol, dont 8 003 en qualité de CdB.

Sur A320 : 8 158 heures de vol, dont 5 580 en qualité de CdB.

Sur B747 : 2 896 heures de vol en tant qu'OPL.

Sur A340 : 815 heures de vol, en tant que CdB.

Sur A330 : 1 608 heures de vol, en tant que CdB.

Dans les trois derniers mois : 155 heures de vol.

Dans les sept derniers jours : 40 heures de vol.

Dans les dernières 72 heures : 13 heures 20 de vol.

Expérience sur Bogota : une rotation le 2 décembre 2016.

#### Expérience professionnelle

Formation Élève Pilote de Ligne (EPL) à l'École nationale de l'Aviation civile (ENAC) puis recrutement Air France.

Employé en tant qu'OPL sur A320 pendant cinq ans.

Employé en tant qu'OPL sur B747 pendant sept ans.

Employé en tant que CdB sur A320 puis sur A330/A340 à partir de 2013.

### **1.5.1.2 OPL en fonction**

Homme, 50 ans, nationalité française.

#### **Licence, Qualification, Stage, Contrôle**

ATPL délivrée le 28 décembre 2003.

QT A340 valable jusqu'au 31 décembre 2017.

QT A330 valable jusqu'au 30 juin 2017.

Aptitude médicale de Classe 1 valable jusqu'au 1<sup>er</sup> septembre 2017.

#### **Expérience**

Expérience totale 11 312 heures de vol.

Armée de l'air 6 832 heures de vol (Transall), dont 4 772 en tant que CdB.

Air France 4480 heures de vol en tant qu'OPL.

Sur A320 : 3 900 heures de vol.

Sur A340 : 117 heures de vol.

Sur A330 : 441 heures de vol.

Dans les trois derniers mois : 114 heures de vol.

Dans les trente derniers jours : 48 heures de vol.

Dans les dernières 72 heures : 13 heures 20 de vol.

Expérience sur Bogota : première rotation le jour de l'incident grave.

#### **Expérience professionnelle**

Filière militaire puis recrutement par Air France. Employé en tant qu'OPL A320 en 2007.

Passage sur long courrier (A330) en 2016.

### **1.5.1.3 OPL de renfort**

Homme, 34 ans, nationalité française.

#### **Licence, Qualification, Stage, Contrôle**

ATPL délivrée le 13 février 2014.

QT A340 valable jusqu'au 28 février 2018.

QT A330 valable jusqu'au 30 septembre 2017.

Aptitude médicale de classe 1 valable jusqu'au 28/2/2018.

#### **Expérience**

Totale : 6 494 heures de vol en tant qu'OPL.

Sur A320 : 4 197 heures de vol.

Sur A340 : 1 021 heures de vol.

Sur A330 : 1 035 heures de vol.

Dans les trois derniers mois : 203 heures de vol.

Dans les trente derniers jours : 60 heures de vol.

Dans les dernières 72 h : 13 heures 20 de vol.

Expérience sur Bogota : huit rotations avant le vol de l'incident grave.

## Expérience professionnelle

Formation EPL à l'ENAC puis recrutement Air France.

Employé en tant qu'OPL A320 en 2006.

Affecté sur long courrier (A330/A340) en 2013.

## 1.6 Renseignements sur l'aéronef

### 1.6.1 Cellule

Constructeur	Airbus
Type	A340-313E
Numéro de série	377
Immatriculation	F-GLZU
Mise en service	03/12/2000
Certificat d'examen de navigabilité	15/01/2017 valable jusqu'au 30/01/2018
Utilisation au 11/03/2017	72 451 heures de vol et 9 740 cycles

### 1.6.2 Moteurs

Constructeur : CFMI

Type : 4 x CFM56-5C4

	Moteur n°1	Moteur n°2
Numéro de série	741894	741686
Date d'installation	23-05-2013	30-06-2015
Temps total de fonctionnement	70 441 heures et 9 351 cycles	79 058 heures et 10 715 cycles
Temps de fonctionnement depuis la dernière maintenance	15 317 heures et 2 186 cycles	6 687 heures et 949 cycles

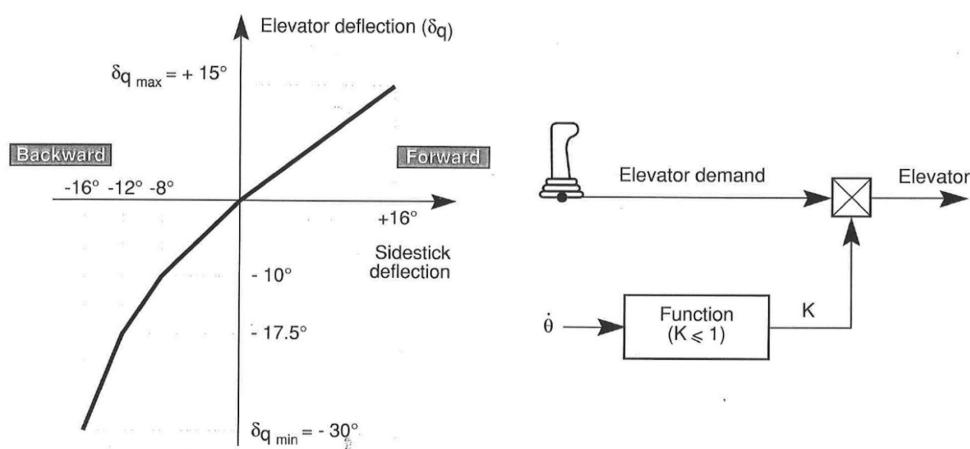
	Moteur n°3	Moteur n°4
Numéro de série	741896	740326
Date d'installation	21-01-2014	19-02-2016
Temps total de fonctionnement	69 701 heures et 9 149 cycles	87 619 heures et 11 841 cycles
Temps de fonctionnement depuis la dernière maintenance	12 233 heures et 1 760 cycles	4 223 heures et 581 cycles

### 1.6.3 Lois de commande lors de la rotation

#### 1.6.3.1 Loi de commande longitudinale

Sur A340-300, au sol, la loi de commande de vol longitudinale est dite directe. À l'exception de la fonction Pitch damper évoquée ci-dessous, il existe une relation directe entre la position longitudinale du mini-manche et la position de la gouverne de profondeur de l'avion. Il n'y a pas de compensation automatique de la profondeur dans cette loi. Au sol, le PHR (Plan Horizontal Réglable) est automatiquement positionné à 5° à cabrer. Après le démarrage moteur, l'équipage doit modifier cette position pour le décollage en fonction de la valeur du centre de gravité (CG).

Cette loi de commande de vol comprend un amortisseur de rotation (pitch damper) permettant d'amortir les demandes de rotation trop fortes pour limiter les risques de tailstrike. Cet amortisseur permet de réduire jusqu'à 40 % la position de la gouverne de profondeur pour des taux de rotation supérieurs à 5°/s.



Source : Airbus

Figure 2 : schéma de la loi directe et de la loi d'amortissement de rotation (pitch damper)

Une fois l'avion considéré en vol par les systèmes, la loi de commande bascule progressivement en loi normale longitudinale. Le pilotage s'effectue alors en facteur de charge.

#### Évolutions de la loi de commande longitudinale

Le 13 juin 2008, Airbus a publié un Bulletin de Service (SB N° : A340-27-4148) préconisant la mise à jour des calculateurs (Flight Control Primary Computer, FCPC). Cette mise à jour (Standard L19) introduit, entre autres, les deux fonctions suivantes qui permettent d'atténuer le risque de tailstrike :

- Un anticipateur (Feedforward order) qui permet de réduire le temps de réponse entre l'ordre initial au mini-manche et la mise en rotation de l'avion. Cette fonction modifie la position de la gouverne de moins de 10 %.
- Un sabot de queue électrique (Electronic Tail Bumper) qui permet d'ajouter un ordre à piquer (au maximum 2/3 de l'ordre donné par la loi directe) lorsque la marge au tailstrike devient inférieure à un certain seuil (basé sur la sonde radioaltimétrique et l'assiette longitudinale).

En 2010, ce SB a été intégré par l'AESA dans une consigne de navigabilité<sup>(5)</sup> (Airworthiness Directive N° : 2010-0081R1 : Flight Controls – Elevator Servo Control Solenoid Valve O-ring Seals – Replacement & Airplane Flight Manual/Master MEL – Temporary Revision & Elevator Servo Controls – Modification & Primary and Secondary Computers – Modification) qui a rendu obligatoire le remplacement de composants de la chaîne de commande de la profondeur, ce qui a entraîné la mise à jour de la documentation et le remplacement des calculateurs concernés par le SB d'Airbus.

<sup>(5)</sup><https://ad.easa.europa.eu/ad/2010-0081R1>

Le SB, l'AD et le Manuel d'exploitation de l'équipage de conduite (FCOM) ne mentionnent pas les protections contre le risque de tailstrike apportées par ces nouvelles fonctions.

#### **1.6.4 Contrôles et vérifications de l'A340-313E immatriculé F-GLZU à la suite de l'incident grave**

L'A340-313E immatriculé F-GLZU a été retiré de l'exploitation du 19 au 27 avril afin d'être soumis aux vérifications techniques suivantes :

- pesée : vérification de la conformité entre la masse de base de l'aéronef et celle intégrée dans le logiciel de calcul des performances ;
- contrôle et mesure de la poussée des quatre moteurs ;
- inspection visuelle des becs et volets afin de détecter d'éventuels dommages susceptibles d'expliquer une dégradation des performances ;
- vol de contrôle en coordination avec Airbus.

Le vol de contrôle et les vérifications ont montré que toutes les données contrôlées étaient conformes aux valeurs de référence données par le constructeur. L'aéronef a été remis en ligne le 27 avril 2017.

#### **1.6.5 Documentation Airbus**

##### **1.6.5.1 Généralités**

Les documents opérationnels de référence pour les équipages se composent :

###### **du Flight Crew Operating Manual (FCOM)**

Le FCOM est une documentation à destination des équipages de conduite, qui doit reprendre sous une forme utilisable opérationnellement les informations techniques de l'AFM.

Les objectifs du FCOM sont :

- De fournir toutes les limitations, procédures, performances et informations sur les systèmes nécessaires à l'équipage de conduite afin qu'il puisse opérer l'aéronef de manière sûre et efficace dans les situations normales, anormales et d'urgence.
- D'être utilisé tel quel ou servir de base aux opérateurs dans le développement de leur propre manuel d'exploitation, conformément aux exigences réglementaires applicables.
- De servir de guide de référence lors de la formation initiale et continue des équipages de conduite.

## du Flight Crew Techniques Manual (FCTM)

Le FCTM est publié en complément FCOM. Il est conçu pour fournir aux pilotes des informations pratiques sur la façon d'utiliser l'aéronef. Il devrait être lu en conjonction avec le FCOM. En cas de conflit, le FCOM est le document de référence.

Le FCOM et le FCTM ne sont pas des documents approuvés par les autorités de certification.

### 1.6.5.2 Documentations opérationnelles relatives à la technique de rotation

La technique de rotation de l'airbus A340 est décrite dans le FCOM et le FCTM. Le FCOM indique qu'à VR, le pilote doit tirer sans à-coup (positive input) sur le mini-manche dans l'objectif d'atteindre un taux de rotation continu de 3°/s vers une assiette cible de 12.5°, puis de suivre les barres SRS du directeur de vol une fois en vol.

Le FCOM fournit également à travers un paragraphe encadré (voir ci-après) des recommandations en cas de tailstrike.

Ident.: PRO-NOR-SOP-12-A-00012078.0002001 / 19 JAN 11  
Applicable to: MSN 0078-0399

#### AT VR

ROTATION.....ORDER  
ROTATION.....PERFORM

- At VR, initiate the rotation with a positive sidestick input to achieve a continuous rotation rate of about 3 %/s, towards a pitch attitude of 12.5 °.
- Minimize lateral inputs on ground and during the rotation, to avoid spoiler extension. In strong crosswind conditions, small lateral stick inputs may be used, if necessary, to aim at maintaining wings level.
- After lift-off, follow the SRS pitch command bar.

#### CAUTION

If a tailstrike occurs, avoid flying at an altitude requiring a pressurized cabin, and return to the originating airport for damage assessment.

Figure 3: extrait du FCOM- Standard Operating Procedure - Takeoff

En complément, le FCTM préconise d'initier la rotation avec un « *smooth positive backward sidestick input* », en appliquant typiquement 2/3 de déflection du mini-manche et expose l'effet de l'inertie de l'avion sur ses performances au décollage.

Il recommande d'éviter les « *agressive and sharp inputs* ». Il ajoute qu'un taux de rotation trop faible (significativement inférieur à 2°) devra être évité (diminution des performances de décollage). Il indique que le pilote doit éviter les corrections trop importantes ou rapides, particulièrement au moment de l'envol, en raison d'une augmentation sensible des risques de tailstrike dans ce cas.

**AIRFRANCE**

**A330/A340**  
FLIGHT CREW  
TECHNIQUES MANUAL

**PROCEDURES**  
**NORMAL PROCEDURES**  
**STANDARD OPERATING PROCEDURES - TAKEOFF**

#### **ROTATION TECHNIQUE**

Rotation is conventional. During the takeoff roll and the rotation, the pilot flying scans rapidly the outside visual reference and the PFD. Until airborne, or at least until visual cues are lost, this scanning depends on visibility conditions (the better the visibility, the higher the priority given to outside visual references). Once airborne, the PF then controls the pitch attitude on the PFD using FD bars in SRS mode which is then valid.

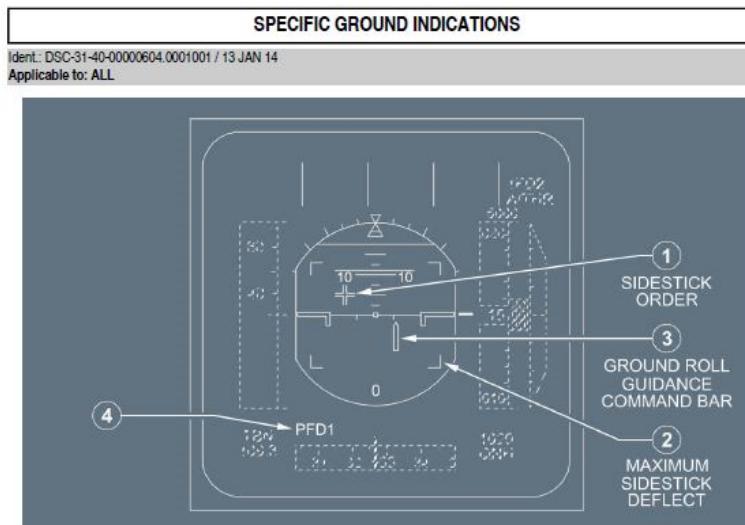
The higher the inertia of the aircraft is, the more it is important to initiate the rotation with a smooth positive backward sidestick input (typically 2/3 backstick). Avoid aggressive and sharp inputs. The initial rotation rate takes time to establish. For a given sidestick input, once it has developed, it remains relatively constant. It is typically about 3 °/s. Avoid low rotation rates as this will have an impact on takeoff performance by increasing the takeoff ground run. Rotation rates between 2 °/s and 3 °/s will have a minimal impact on takeoff run but rates significantly below 2 °/s should be avoided. The time for rotation (from start of rotation input to lift off) is typically around 5 s to 7 s. If the established pitch rate is not satisfactory, the pilot must make smooth corrections on the stick. He must avoid rapid and large corrections, which cause sharp reaction in pitch from the aircraft. If, to increase the rotation rate, a further and late aft sidestick input is made around the time of lift-off, the possibility of tailstrike increases significantly.

During rotation, the crew must not chase the FD pitch bar, since it does not give any pitch rate order, and might lead to overreaction.

Once airborne only, the crew must refine the aircraft pitch attitude using the FD, which is then representative of the SRS orders. The fly-by-wire control laws change into flight normal law, with automatic pitch trim active.

Figure 4 : extrait du FCTM - Standard Operating Procedure - Takeoff

À titre de formation, le FCTM préconise de s'entraîner lors du roulage en effectuant un ordre au mini-manche de 2/3 de débattement en utilisant le symbole de la croix blanche (2/3 du cadre).



- (1) **Sidestick order indication (white)**  
This is displayed, as soon as one engine is started.  
It indicates the total of the pilot's and copilot's sidestick orders (shown here as left wing down, pitch up).
- (2) **Max SideStick Deflection (white)**  
This is displayed, as soon as one engine is started.

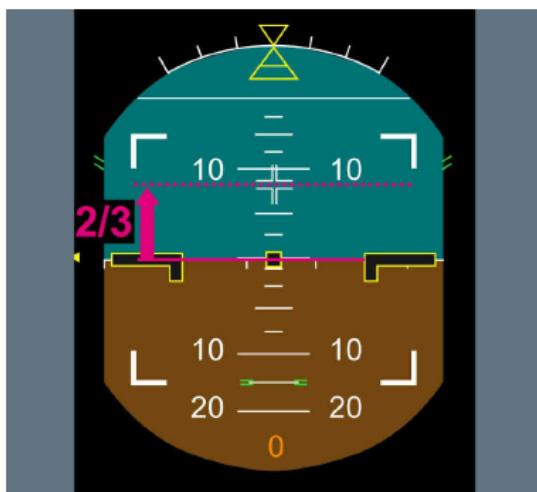
**ROTATION**

Ident: PR-NP-SOP-120-00019529.0001001 / 20 MAR 17  
Applicable to: ALL

#### INITIAL STICK INPUT CALIBRATION IN TRAINING

In training, during taxi, the crew may calibrate the appropriate effort and displacement for the initial stick input for rotation (2/3 back-stick), by pulling aft on the stick and observing the position of the stick cross symbol on the PFD, compared to the stick position reference square.

Side Stick Input Calibration During Taxi



Note: the cross is not to be used by PF during the takeoff, whereas the PM can check the validity of the PF initial stick input.

Figure 5 : extraits du FCTM - Standard Operating Procedure – Takeoff

Le FCTM détaille les risques de tailstrike et les principaux facteurs contributifs :

- rotation débutée avant VR ;
- technique de rotation ;

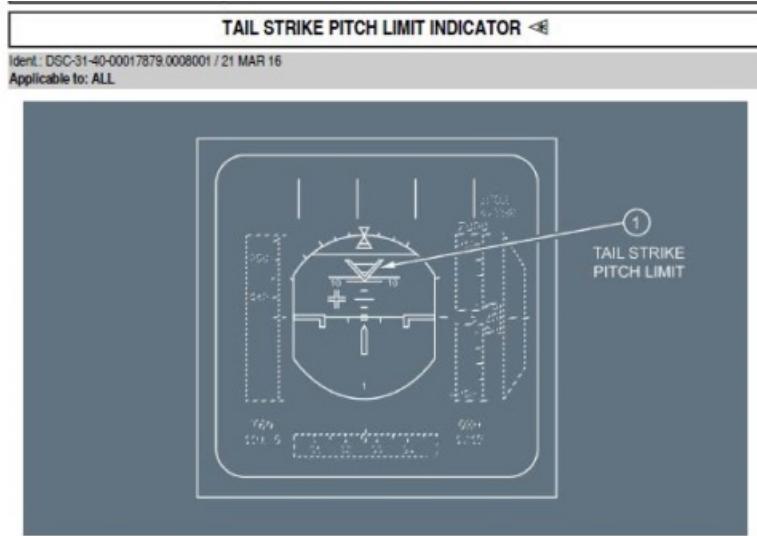
#### **ROTATION TECHNIQUE**

The recommendation given in the ROTATION TECHNIQUE paragraph should be applied.  
A fast rotation rate increases the risk of tailstrike, but a slow rate increases take-off distance.  
The recommended rate is between 2 and 3 °/s, which reflects the average rates achieved during flight test, and is also the reference rate for performance calculations.

- configurations ;
- réglages du trim ;
- décollage par vent de travers ;
- pression des amortisseurs.

Le constructeur a également développé un système afin de réduire les risques de tailstrike :

- le « *tailstrike pitch limit indicator* » affiché sur le PFD quand l'avion est au sol et qui disparaît après le décollage quand il n'y a plus de risque de tailstrike ;
- l'annonce audio « *PITCH PITCH* » (voix synthétique) quand l'assiette devient excessive (uniquement disponible lors des phases d'arrondi et d'atterrissage).



(1) Tail Strike Pitch Limit

The pitch limit indicates the maximum pitch attitude to avoid the tail strike risk at takeoff and landing. During takeoff, the indication progresses from the pitch limit value with main landing gear compressed, to the pitch limit value with main landing gear extended. The indication is removed when the tail strike risk disappears.

During landing, the indication is a fixed value corresponding to the main landing gear compressed. The indication appears at 400 ft radio height.

Figure 6 a : description du « Tail Strike Pitch Limit Indicator »

<p>L'aéronef atteint VR et le PF annonce « ROTATE » au temps T0.</p>	<p>Le PF initie la rotation avec un ordre à cabrer supérieur à 2/3 de débattement dans un temps inférieur à la seconde, temps T0+1s.</p>



L'indicateur d'assiette se déplace verticalement et rapidement vers le chevron « *TAIL STRIKE PITCH LIMIT* », au temps T0 + 5 s, ce dernier touche le chevron.

Le chevron s'éloigne alors de l'indicateur d'assiette signe du début du lift off (décompression des trains) au temps T0+6s puis disparaît.

## 1.7 Renseignements météorologiques

Les autorités colombiennes ont fourni au BEA les informations météorologiques suivantes :

METARS de 23 h 30 et 00 h UTC :

- METAR SKBO 112300Z 35006KT 9000 VCSH SCT015CB SCT070 13/10 A3025 RETSRA RMK CB/VCSH/LTNG/NW/=
- METAR SKBO 120000Z 31004KT 9000 VCSH SCT015CB SCT070 13/10 A3029 RMK CB/VCSH/LTNG/NW/=

## 1.8 Aides à la navigation

Sans objet.

## 1.9 Télécommunications

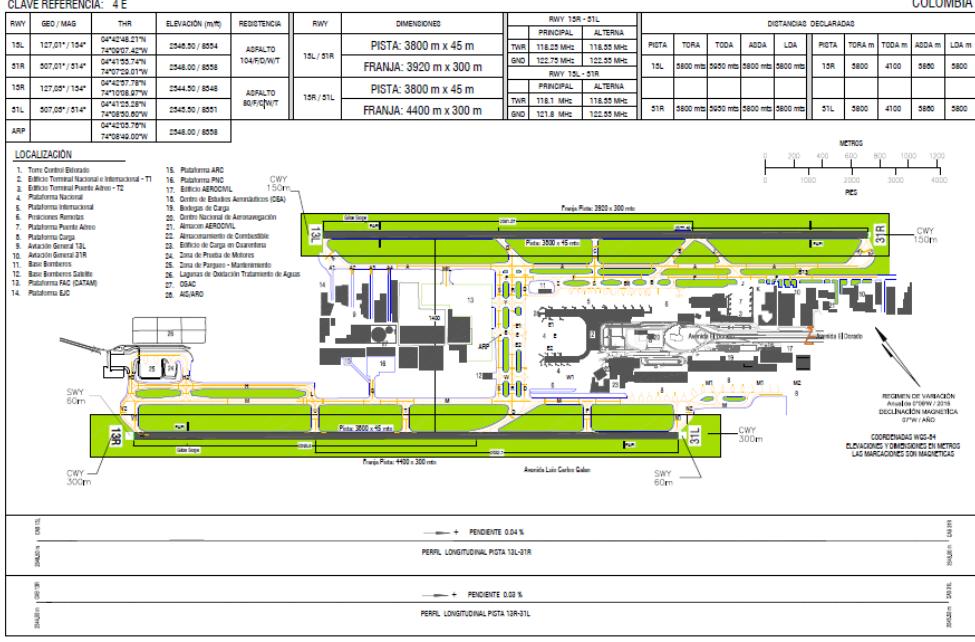
Sans objet.

## 1.10 Renseignements sur l'aérodrome

L'aéroport international El Dorado (SKBO) de Bogota est localisé dans le nord-ouest de la ville à une altitude de 8 360 ft dans un environnement montagneux. Il est ouvert au transport commercial et dispose de deux pistes parallèles 13L/31R et 13R/31L.

PLANO DE AERÓDROMO  
OACISKBO-BOGOTÁ D.C.  
ELDORADO  
COLOMBIA

CLAVE REFERENCIA: 4 E



AIS COLOMBIA

AIRAC AMDT 50/17

Figure 8 : plan de l'aérodrome AIP Colombien

Caractéristiques de la piste en service le jour de l'incident grave :

Piste	Dimensions (m)	LDA	TODA	TORA	ASDA	SWY (m)	CWY (m)
13R	3 800 x 45	3 800	4 100	3 800	3 860	60	300

## 1.11 Enregistreurs de bord

### 1.11.1 Généralités

L'avion était équipé de deux enregistreurs de vol (FDR et CVR) conformément à la réglementation en vigueur<sup>(6)</sup> ainsi que d'un enregistreur de type DAR destiné à l'analyse systématique des vols. Certains paramètres enregistrés par cet équipement sont complémentaires des paramètres du FDR.

Le BEA a été notifié le 24 mars 2017, soit treize jours après l'événement. L'avion a continué à voler pendant ce laps de temps. Ce délai n'a pas permis d'exploiter les données de vol de l'événement issues des enregistreurs réglementaires. Réglementairement, les enregistreurs qui équipent cet avion ont en effet une durée de rétention de vingt-cinq heures pour le FDR et de deux heures pour le CVR.

Les données du DAR ont été reçues au BEA le 28 mars 2017. Ces données contenaient uniquement le vol de l'événement.

(6) Lors de la certification de cet aéronef en mars 1995, le JAR25 (Change 13) était applicable. Il imposait l'emport d'enregistreurs répondant aux spécifications EUROCAE ED55 (FDR) et ED56 (CVR).

### **1.11.2 Exploitation des données du DAR**

Les courbes des paramètres sont disponibles en annexe I. Les points essentiels à la compréhension du déroulement de l'incident grave sont mentionnés dans la partie 1.1 Déroulement du vol.

### **1.11.3 Difficultés rencontrées pour l'exploitation des données DAR**

Lors de l'exploitation des données enregistrées dans le DAR, il est apparu des différences dans les résultats obtenus par Air France, Airbus et le BEA pour la description de la phase de décollage. Ceci a pu s'expliquer d'une part par le choix des paramètres à exploiter et d'autre part par la fréquence d'échantillonnage de ces derniers.

L'analyse de ces paramètres de vol et la définition des métriques associées a nécessité un travail long et complexe, car certaines données du DAR sont brutes et d'autres déjà interprétées par les différents systèmes de l'aéronef. Tous ces paramètres ne disposent pas des mêmes références temporelles ni des mêmes taux de rafraîchissement. Ces caractéristiques ont alors introduit des biais et rendu les calculs suivants difficiles :

- détermination précise du point de lever des roues ;
- détermination précise du taux de rotation pendant la durée de la rotation ;
- détermination précise de la marge au tailstrike.

Dans le cadre du groupe de travail European Operator Flight Data Monitoring (EOFDM) mis en place par l'AESA, ces difficultés avaient déjà été constatées. Ce groupe de travail avait considéré que la surveillance des cadences de rotation au travers l'analyse de vol est encore difficile à mettre en œuvre en pratique et dépend du niveau de technologie disponible. Cette surveillance nécessite des données et des techniques d'analyses spécifiques qui doivent être développées et testées.

Il avait néanmoins été fourni dès mars 2014, un guide de bonnes pratiques qui indique qu'il peut être mis en place des indicateurs relativement « simples » permettant de détecter des décollages inhabituels en termes de distance de décollage ou de temps de rotation, tels que :

- distance entre le lever des roues et le seuil de piste opposé ;
- durée entre l'ordre initial à cabrer et le lever des roues.

Le détail est disponible en annexe 2.

### **1.11.4 Post Flight Report (PFR)**

Le PFR n'a pas mis en évidence de dysfonctionnement susceptible d'expliquer l'incident grave.

## **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 Performances au décollage

#### 1.16.1.1 Certification des performances au décollage

##### Bases de certification

Pour la certification de l'Airbus A340, les exigences de certification étaient contenues dans le JAR-25 (Joint Aviation Requirements for Large Airplanes) change 13, document de référence au niveau européen pour la certification des avions de transport. Ce document contient les exigences pour les distances et les vitesses de décollage qui doivent être démontrées en certification<sup>(7)</sup>.

<sup>(7)</sup>voir § 1.16.1.2,  
Les limitations  
« piste ».

En complément de ce document, l'Advisory Circular 25-7 « *FLIGHT TEST GUIDE FOR CERTIFICATION OF TRANSPORT CATEGORY AIRPLANES* » de la FAA contenait les méthodes et les procédures acceptables pour démontrer la conformité avec ces exigences lors des essais en vol de certification.

##### Certification des performances au décollage de l'A340-300

Les performances au décollage de l'A340 ont été certifiées initialement pour la version 311. Après cette version, deux versions dérivées ont été certifiées :

- la version 313 comportant des moteurs différents (CFM56-5C4 au lieu de CFM56-5C2) ;
- la version 313E comportant des masses plus élevées, un renforcement des trains d'atterrissage et des optimisations de la voilure pour la croisière. C'est la version du F-GLZU.

Lors de la certification, des campagnes d'essais ont permis de justifier la modélisation des performances au décollage de ces deux versions.

Lors de la certification de la version 311, la cadence de rotation a fait l'objet :

- de 34 essais tous moteurs en fonctionnement (All Engines Operative AEO) ;
  - de 45 essais avec un moteur en panne (One Engine Inoperative OEI) ;
- répartis sur les aérodromes de Toulouse-Blagnac, Istres-Le Tubé et Abha (Arabie Saoudite, altitude 6 600 ft). Les essais ont été réalisés avec un centrage avant, dans les trois configurations becs/volets (CONF 1+F, CONF 2, CONF 3), dans une large gamme de masses avion, poussée et V2 permettant de couvrir le domaine opérationnel.

## Documents produits

Les données issues de ces essais ont été rassemblées dans plusieurs documents :

- Les Certification Cards établies pour chaque test, qui fournissent les conditions du test, les courbes des paramètres enregistrés, une évaluation en termes de navigabilité et l'approbation des autorités de certification (JAA).
- Le Performance Certification Flight Test Report qui rassemble les résultats de tous les essais de performance et présente pour chacun d'eux un résumé des résultats, une description de la technique d'essai et des méthodes qui ont permis d'aboutir aux données de performance de l'AFM. Pour les cadences de rotation, il contient les valeurs normales retenues tous moteurs en fonctionnement ( $3,1^{\circ}/s$ ) et un moteur en panne ( $2,6^{\circ}/s$ ). Ce document précise que ces valeurs normales ont été obtenues en utilisant une technique conventionnelle de rotation et n'ont nécessité aucun entraînement ou capacité particulière pour être atteintes de manière répétée par les pilotes d'essais des JAA impliqués dans ces essais.
- La Data Basis for AFM qui détaille comment le calcul des taux de rotation retenus dans l'AFM a été réalisé et à partir de quelles valeurs numériques.

Le JAR 25, en vigueur au moment de la certification de l'A340-300, indique que les décollages effectués afin de déterminer les performances de l'aéronef ne doivent pas requérir de la part du pilote d'habileté de pilotage ou de vigilance exceptionnelle. L'AC 25-7 précise que les procédures appliquées lors des essais en vol doivent pouvoir être exécutées de manière cohérente en service par des équipages de capacité standard et prendre en compte les retards dans l'exécution des procédures qui peuvent être raisonnablement attendus en service. Ces exigences interdisent l'utilisation de capacités de pilotage exceptionnelles, comme un effort sur les commandes ou une cadence de rotation plus élevés que ce qui se produirait en service, pour générer des distances de décollage non réalistes. Le but de ces exigences est d'établir des performances au décollage qui soient représentatives de ce qui peut être raisonnablement attendu en service<sup>(8)</sup>.

Interrogé par le BEA sur l'existence de définitions de technique de rotation conventionnelle et de technique de pilotage exceptionnelle, l'autorité de certification (AES) indique qu'il n'existe pas dans la réglementation de critère spécifique pour définir une technique de rotation conventionnelle et que le paragraphe du règlement JAR 25 cité précédemment signifie que les pilotes doivent être capables d'appliquer de manière répétitive et sans difficulté les procédures établies par le constructeur.

<sup>(8)</sup>"In accordance with § 25.101(f), testing for determining the accelerate-stop distances, takeoff flight paths, and takeoff distances should be accomplished using procedures established by the applicant for operation in service. In accordance with § 25.101(h), these procedures must be able to be consistently executed in service by crews of average skill, use methods or devices that are safe and reliable, and include allowances for any time delays in the execution of the procedures that may reasonably be expected in service. These requirements prohibit the use of exceptional piloting techniques, such as higher control force inputs or higher pitch rates than would occur in operational service, from being used to generate unrealistic takeoff distances. The intent of these requirements is to establish takeoff performance representative of that which can reasonably be expected to be achieved in operational service".

## Cadence de rotation de référence

La Data Basis donne le profil typique d'assiette lors de la rotation :

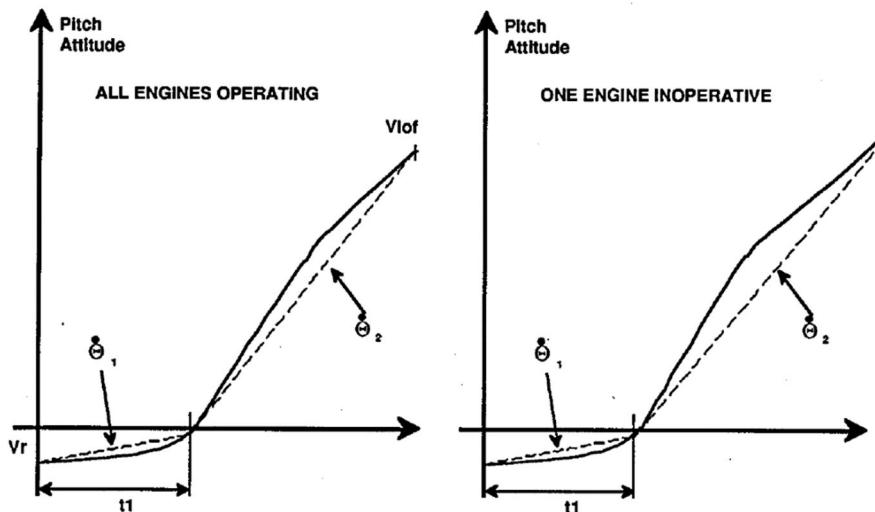


Figure 9 : extrait du document de certification « Data Basis ». Taux de Rotation

Ce profil a été découpé en deux parties :

- la partie 1 correspondant à la réaction initiale de l'avion à l'ordre au manche du pilote ;
- la partie 2 correspondant à l'augmentation consécutive de l'assiette jusqu'au levé des roues – c'est sur cette deuxième partie qu'est défini le « *taux de rotation continu* ».

À partir des 34 essais AEO d'une part, et des 45 OEI d'autre part, la valeur moyenne de la durée de la première partie, de la cadence de rotation dans cette partie et de la cadence dans la partie 2 ont été calculées.

Cadence de rotation (°/s)			
Partie 1		Partie 2 correspondant au « taux de rotation continu »	
Durée	Cadence	Un moteur en panne (OEI)	Tous moteurs (AEO)
1,7 s	1°/s	2,6°/s	3,1°/s

Ces valeurs ont ensuite été utilisées pour construire le modèle aéromécanique utilisé pour les calculs des distances et des vitesses de décollage certifiées. C'est ce modèle qui est utilisé pour établir les données de performances au décollage de l'AFM et qui est également utilisé à chaque calcul réalisé par l'équipage via l'EFB.

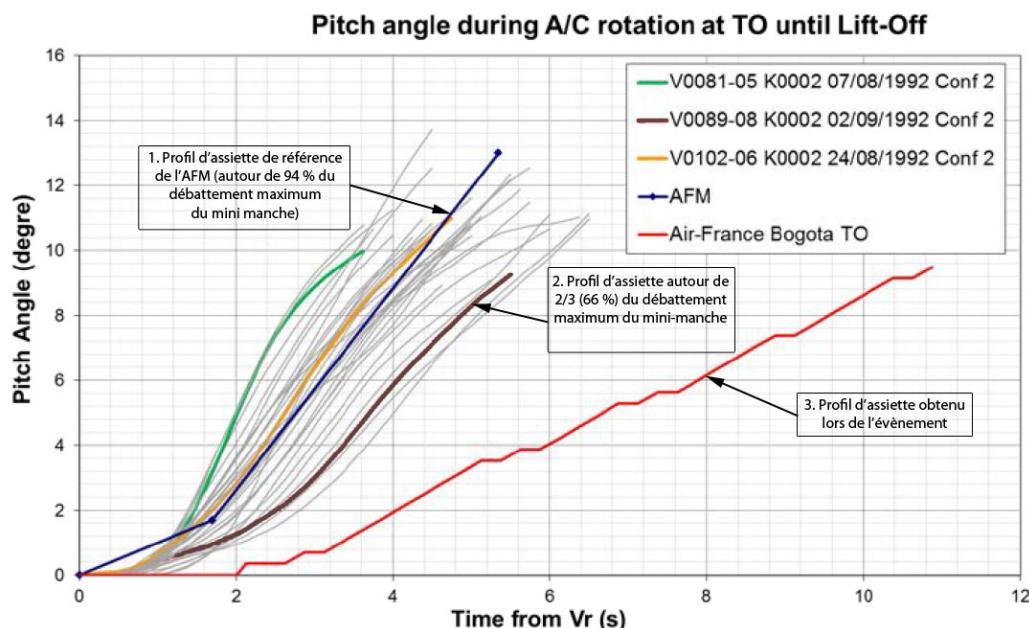
## Action au manche

Les profils d'assiette des différents essais AEO sont représentés ci-dessous, superposés à celui de l'événement, ainsi que les ordres au manche correspondants.

Le profil d'assiette tracé en bleu (1 sur les courbes ci-après) correspond aux valeurs moyennes des essais retenus dans l'AFM. C'est l'essai V0102-06 qui s'en rapproche le plus (représenté en orange). Il correspond à un ordre initial au manche de 15° (soit 94 % du débattement maximal) appliqué en 0,5 s environ, maintenu ensuite autour de 12° (75 % du débattement maximal).

La courbe marron (2 sur les courbes ci-après) correspond dans les conditions de l'essai à un ordre au manche initial de  $11^\circ$  (ce qui correspond au débattement initial typique de  $2/3$  de manche indiqués dans le FCTM) appliqué en  $0,5$  s environ et maintenu ensuite autour de cette valeur. Cet essai correspond à la partie basse des profils d'assiette et correspond à une cadence de rotation inférieure à celle de l'AFM utilisée pour calculer les performances au décollage.

La courbe verte correspond dans les conditions de l'essai à un ordre au manche initial en butée arrière ( $-16^\circ$ ) appliqué en  $0,5$  s puis maintenu pendant  $0,7$  s environ et ramené ensuite entre  $9$  et  $12^\circ$ . Cet essai correspond à la partie haute des profils d'assiette et correspond à une cadence de rotation supérieure à celle de l'AFM utilisée pour calculer les performances au décollage.



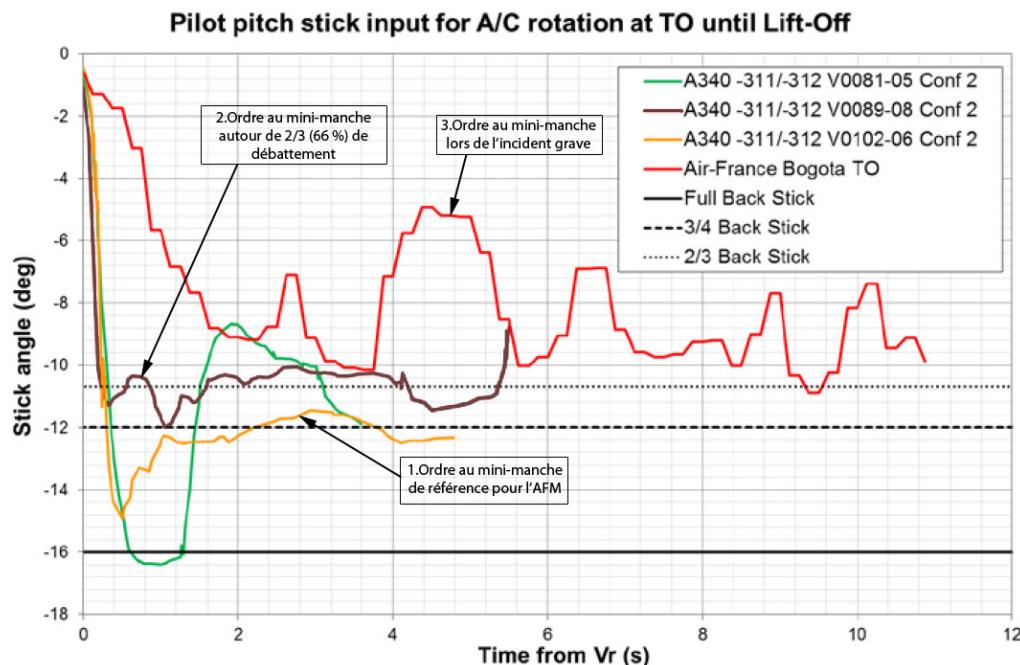
Source : Airbus

Figure 10 : profils d'assiette

1. Courbe 1 (orange) : profil d'assiette proche du modèle AFM. Dans les conditions de l'essai, il correspond à un vol pour lequel l'ordre au manche initial était autour de  $94\%$  du débattement maximum du mini-manche. La courbe bleue : modèle de profil d'assiette retenu dans le modèle de performance de l'AFM, soit un taux de rotation établi de  $3^\circ/\text{s}$ .

2. Courbe 2 (marron) : profil d'assiette correspondant, dans les conditions de l'essai, à un ordre au manche initial proche de l'ordre au manche initial typique décrit dans le FCTM (autour de  $2/3 - 66\% -$  du débattement maximum du manche) et maintenu à  $2/3$  de manche.

3. Courbe 3 (rouge) : profil d'assiette atteint lors de l'incident grave du 11 mars.



Source : Airbus

Figure 11 : ordres au mini-manche

1. Courbe orange : ordre au mini manche lors du vol d'essais le plus proche du profil retenu pour l'AFM.
2. Courbe marron : ordre au mini-manche proche de celui décrit dans le FCTM (autour de 2/3 (66 %) du débattement maximum du mini-manche).
3. Courbe rouge : ordre au mini-manche réalisé lors de l'incident grave du 11 mars 2017.

### 1.16.1.2 Calcul des performances opérationnelles au décollage

Lors de la préparation du vol, l'équipage doit, entre autres, calculer les performances de l'avion au décollage. Cela permet, pour la piste et la configuration avion choisies, et dans les conditions extérieures du jour :

- de déterminer la masse maximale à laquelle l'avion peut décoller en respectant toutes les marges réglementaires (distances de décollage, d'accélération-arrêt, marges de franchissement des obstacles, pente minimale de montée, etc.)
- de calculer les vitesses de décollage V<sub>1</sub>, V<sub>r</sub>, V<sub>2</sub>.

L'équipage utilise pour cela le logiciel de calcul de performance fourni par Airbus via une interface appelée EFB<sup>(10)</sup>.

Le jour de l'événement, l'avion était « *limité piste* » ce qui signifie que la masse maximale était limitée par la distance de décollage de l'avion. Ces limitations opérationnelles sont détaillées ci-après.

<sup>(10)</sup> L'EFB est présenté plus en détails au paragraphe « *Interface de calcul de performances (EFB)* ».

## Les limitations « piste »

Pour déterminer les limitations « piste », les spécifications de certification pour avion de transport<sup>(11)</sup> définissent les trois distances suivantes à calculer lors de la préparation du vol :

(11)CS 25.

- la distance de décollage, Take-off Distance (TOD) ;
- la distance de roulement au décollage, Take-off Run (TOR) ;
- la distance d'accélération-arrêt, Acceleration Stop Distance (ASD).

### a) La distance de décollage TOD :

Sur piste sèche, la  $TOD_{dry}$  est la plus grande des deux valeurs suivantes :

- $1,15 * TOD_{N,dry}$  : 115 % de la distance parcourue entre le lâcher des freins et le moment où l'avion est à 35 ft au-dessus de la surface de décollage, tous moteurs en fonctionnement ;
- $TOD_{N-1,dry}$  : distance parcourue entre le lâcher des freins et le moment où l'avion est à 35 ft au-dessus de la surface de décollage, en supposant une panne du moteur critique identifiée à  $V_1$  par l'équipage.

Sur piste mouillée, la TOD est la plus grande des deux valeurs suivantes :

- la  $TOD_{dry}$  ;
- la  $TOD_{N-1,wet}$  : distance parcourue entre le lâcher des freins et le moment où l'avion est à 15 ft au-dessus de la surface de décollage, en supposant une panne du moteur critique identifiée à  $V_1$  par l'équipage.

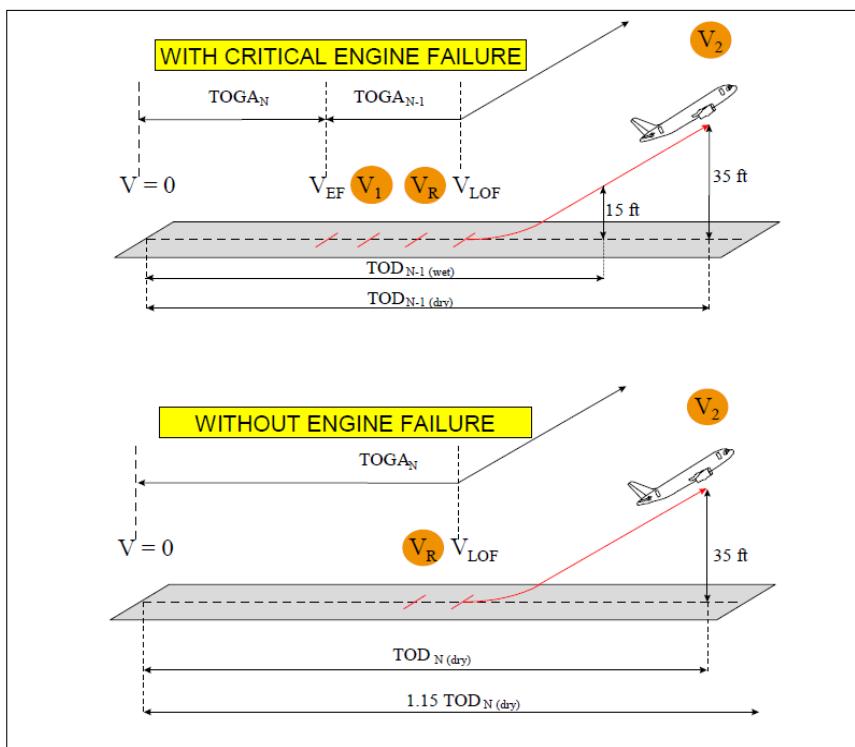


Figure C5: Takeoff Distance (TOD)

Source : Airbus

Figure 12: extrait Getting grips with aircraft performance

**b) La distance de roulement au décollage TOR :**

Sur piste sèche, la  $TOR_{N,dry}$  est la plus grande des deux valeurs suivantes :

- $1,15 * TOR_{N,dry}$  : 115 % de la distance parcourue entre le lâcher des freins et le point situé à mi-chemin entre le lever des roues (lift-off) et le passage des 35 ft, tous moteurs en fonctionnement ;
- $TOR_{N-1,dry}$  : distance parcourue entre le lâcher des freins et le point situé à mi-chemin entre le lever des roues (lift-off) et le passage des 35 ft, en supposant une panne du moteur critique identifiée par l'équipage à V1.

Sur piste mouillée, la  $TOR_{N,wet}$  est la plus grande des deux valeurs suivantes :

- $1,15 * TOR_{N,wet}$  : 115 % de la distance parcourue entre le lâcher des freins et le point situé à mi-chemin entre le lever des roues (lift-off) et le passage des 35 ft, tous moteurs en fonctionnement ;
- $TOR_{N-1,wet}$  : distance parcourue entre le lâcher des freins et le moment où l'avion est à 15 ft au-dessus de la surface de décollage, en supposant une panne du moteur critique identifiée à V1 par l'équipage. Elle est égale à la  $TOD_{N-1,wet}$ .

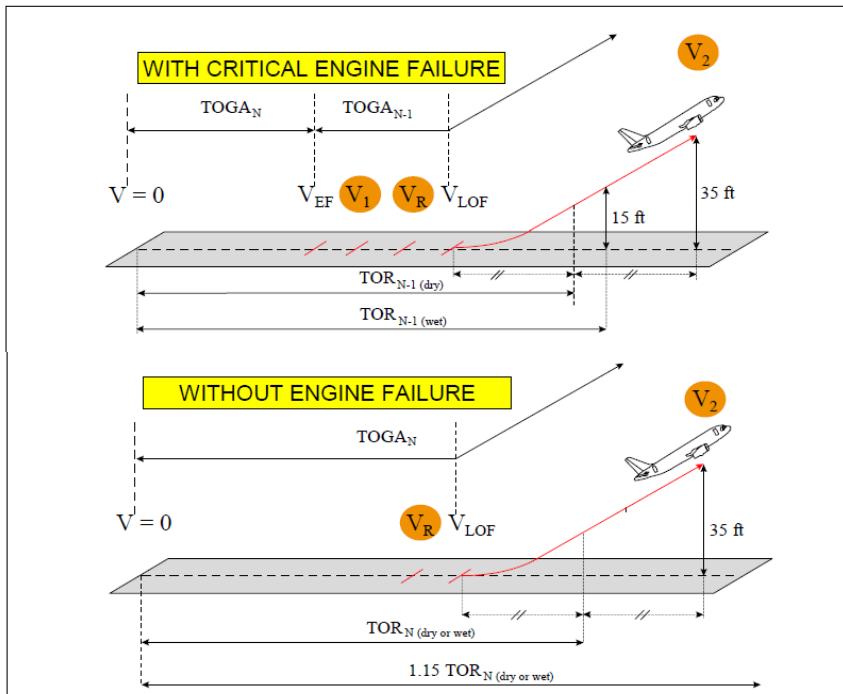


Figure C6: Takeoff Run (TOR) with a Clearway

Source : Airbus

Figure 13: extrait Getting grips with aircraft performance

**c) La distance d'accélération-arrêt ASD :**

Sur piste sèche, l'ASD est la plus grande des deux valeurs suivantes :

- l'ASD<sub>N,dry</sub> qui est la somme de :
  - la distance nécessaire pour accélérer l'avion jusqu'à V1 ;
  - la distance nécessaire pour immobiliser l'avion, en supposant que l'équipage interrompt le décollage à V1, tous moteurs en fonctionnement ;
  - une marge supplémentaire de distance correspondant à deux secondes à la vitesse V1<sup>(12)</sup>.

<sup>(12)</sup>Cette définition est applicable pour l'A340, elle peut différer pour des types avions certifiés antérieurement.

- L'ASD<sub>N-1,dry</sub> qui est la somme de :
  - la distance nécessaire pour accélérer l'avion jusqu'à V<sub>EF</sub>, vitesse à laquelle survient la panne moteur, tous moteurs en fonctionnement ;
  - la distance nécessaire pour accélérer de V<sub>EF</sub> à V<sub>1</sub>, en supposant que le moteur critique tombe en panne à V<sub>EF</sub> et que l'équipage réagit à V<sub>1</sub> ;
  - la distance nécessaire pour immobiliser l'avion ;
  - une marge supplémentaire de distance correspondant à deux secondes à la vitesse V<sub>1</sub>.

Les définitions sont identiques sur piste mouillée et l'ASDwet est la plus grande de toutes les distances calculées.

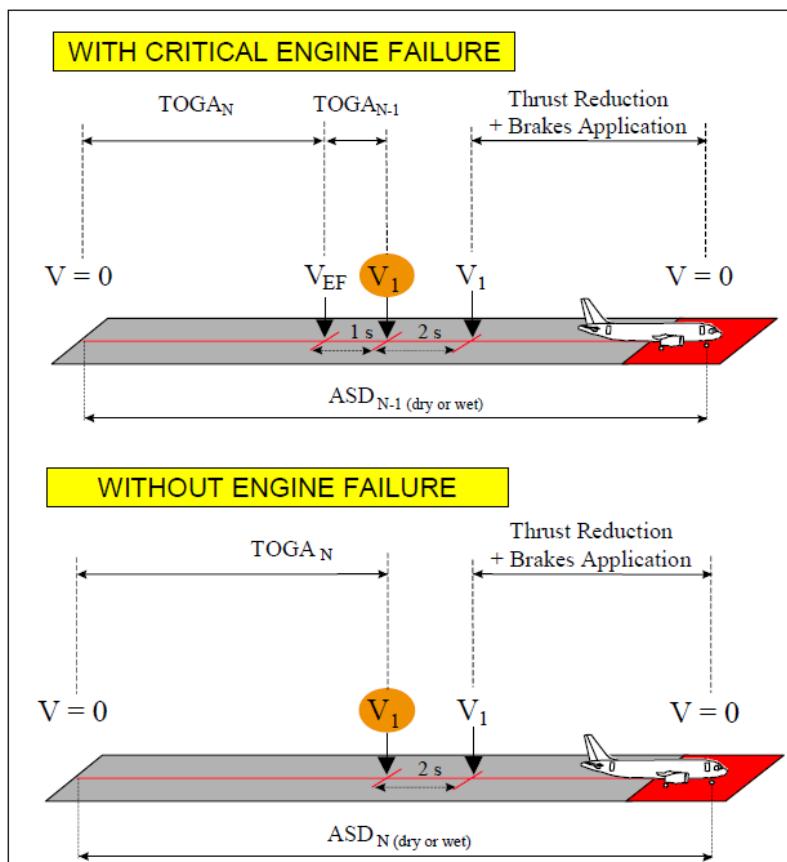


Figure C7: Accelerate Stop Distance (ASD)

Source : Airbus

Figure 14 : extrait Getting grips with performance

## Distances déclarées

Chacune de ces distances (TOR, TOD, ASD) est comparée avec les distances déclarées pour la piste en vigueur correspondantes dont la définition est rappelée dans le schéma ci-dessous.

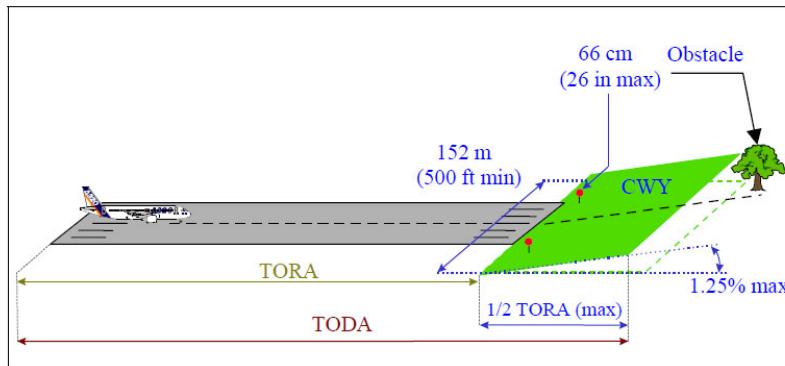


Figure C10: TODA Definition

Source : Airbus

Figure 15: extrait Getting grips with performance (source Airbus)

L'exigence à respecter est donc que  $TODA < TODA$ ,  $TOR < TORA$ ,  $ASD < ASDA$ .

En plus des limitations « *piste* » décrites précédemment, le calcul de performances au décollage doit également garantir qu'avec une panne moteur survenant à  $V_{EF}$  et traitée par l'équipage à  $V1$ , la trajectoire de décollage permettra :

- de franchir les obstacles avec une marge suffisante ;
- d'obtenir une pente de montée minimale dans chaque segment de la phase de montée.

Des limitations existent également sur les vitesses de décollages  $V1$ ,  $VR$ ,  $VLOF$  et  $V2$ , afin de garantir que l'avion reste contrôlable au sol et en vol en cas de panne moteur, et que les pneus et les freins ne risquent pas d'être endommagés.

## Interface de calcul de performances (EFP)

Cet outil, conçu par Airbus et paramétré par Air France pour son activité, est utilisé par les équipages pour calculer les performances au décollage. Les calculs de distances et de vitesses de décollage sont basés sur le modèle avion certifié contenu dans l'AFM, les marges réglementaires définies par la certification et les règlements opérationnels<sup>(13)</sup>.

<sup>(13)</sup>Voir chapitre précédent §1.16.1.1.

En plus des tablettes des pilotes utilisées pour la préparation du vol, l'EFP est disponible sur un écran latéral dans le cockpit.

Pour effectuer un calcul, le pilote renseigne en entrée les informations suivantes :

- le type et l'immatriculation de l'avion ;
- la piste en service pour le décollage ;
- le vent, la température, la pression atmosphérique (QNH) et l'état de la piste (sèche, mouillée, contaminée par de l'eau, etc.) ;
- le centrage et la configuration becs/volets ;

- l'utilisation ou non des systèmes d'anti givrage et de conditionnement d'air pendant le décollage ;
- la masse au décollage de l'avion (Take-off Weight, TOW), telle que prévue par le devis de masse et centrage.

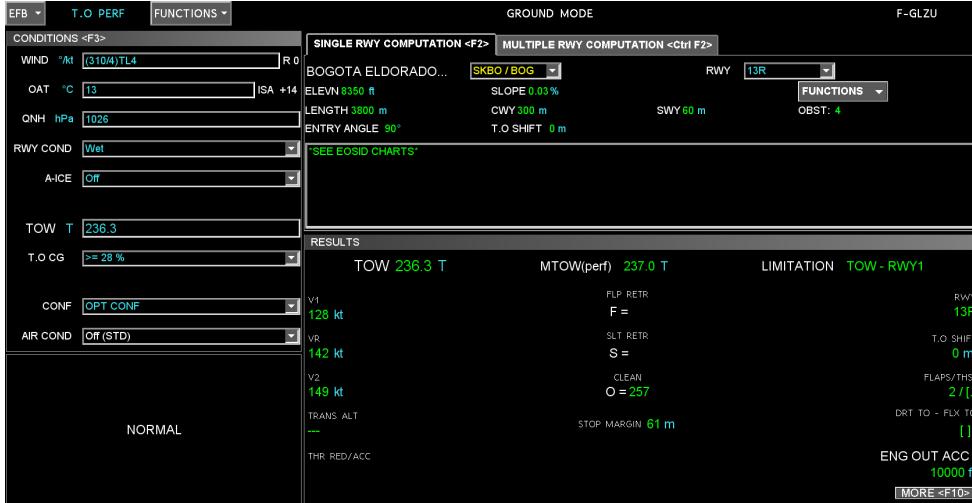


Figure 16: insertion des données dans l'EFB

À partir de ces données d'entrée, l'EFB calcule les distances, les vitesses et la trajectoire de décollage dans le plan vertical. Il détermine alors la masse maximale au décollage dans les conditions du jour, qui permet de respecter l'ensemble des limitations décrites ci-dessus. Cette masse est appelée la masse maximale au décollage « performances » (MTOW(perf)).

Les données fournies à l'équipage sont notamment :

- les vitesses de décollages V1, VR, V2 ;
- la masse maximale « performances », MTOW(perf) ;
- la distance restante en cas d'accélération arrêt initiée à V1, la « stop margin ».



Figure 17 : résultat calcul

Deux possibilités peuvent se présenter :

- si la TOW est inférieure à la MTOW(perf), l'avion peut décoller ;
- si la TOW est supérieure à la MTOW(perf), l'avion ne peut pas décoller. La masse doit être réduite et l'équipage doit donc refuser du fret, des bagages ou des passagers.

L'option « OPT CONF » peut être choisie par l'équipage pour réaliser le calcul de performances. Dans un cas comme Bogota (i.e. avec limitation de performance), l'EFB déterminera la configuration, généralement CONF 2 ou CONF 3, qui permet d'avoir la TOW optimum (la plus élevée) dans les conditions du jour.

### 1.16.2 Calculs des performances pour le vol de l'événement

Les données insérées par l'équipage dans l'EFB ne comportaient pas d'erreur, et Airbus a établi que les calculs de l'EFB étaient conformes au modèle de performance certifié.

Dans les conditions du jour, l'EFB a fourni les résultats suivants à l'équipage :

- V1 = 128 kt, VR = 142 kt, V2 = 149 kt ;
- MTOW(perf) = 237 t, pour une masse au décollage de 236,3 t ;
- la position du centre de gravité est de 32 % ;
- Stop margin = 57 m ;
- code de limitation TOW-RWY1<sup>(14)</sup>.

La distance d'alignement définie par Air France dans son outil de calcul des performances pour l'A340-300 était de 22 m par rapport au seuil de piste (cette valeur peut être modifiée par les opérateurs en fonctions de leurs conditions d'exploitation). Lors de l'incident grave, l'alignement a été réalisé en 45 m, soit 23 m de plus.

**Le modèle de performance certifié (AFM) de l'aéronef fournit dans les conditions du jour :**

- une distance de roulement tous moteurs en fonctionnement jusqu'au lever des roues de 2 989 m soit un lever des roues théorique 789 m avant le seuil opposé ;**
- une distance de décollage (passage des 35 ft) tous moteurs en fonctionnement de 3 318 m soit 760 m avant la fin du clearway.**

**Réglementairement, l'aéronef doit passer au plus tard la hauteur de 35 ft à une vitesse V2 à la fin du clearway. Aux calculs théoriques du modèle de performance certifié de l'aéronef il convient d'ajouter des marges réglementaires d'allongement de 15 % de la distance de décollage (dans les conditions du jour) et de 150 % sur la valeur de vent arrière. Ces marges réglementaires sont destinées à couvrir des incertitudes et aléas opérationnels (par exemple incertitudes sur les conditions météorologiques et d'état de la piste lors du décollage, sur le chargement de l'aéronef, sur les variations individuelles des performances de l'aéronef ou des actions du pilote aux commandes).**

**Les performances de décollage réglementaires de l'aéronef, intégrant ces marges, devaient donc être de :**

- une distance de roulement tous moteurs en fonctionnement jusqu'au lever des roues de 3 498 m soit une marge réglementaire de 509 m et un lever des roues à 280 m du seuil de piste opposé ;**
- une distance de décollage (passage des 35 ft) tous moteurs en fonctionnement de 3 881 m soit une marge réglementaire de 563 m et un passage à 35 ft 197 m avant la fin du clearway.**

<sup>(14)</sup>Le code de limitation « TOR-RWY1 » signifie que la masse maximale au décollage le jour de l'incident était déterminée par la distance de roulement au décollage avec un moteur en panne TORN-1 soit 3 761 m.

Les tableaux ci-après fournissent :

- les distances de décollage théoriques fournies par le modèle des performances déterminée lors de la certification (AFM) ;
- les distances de décollage maximales réglementaires (distances AFM augmentées des marges définies par la réglementation<sup>(15)</sup>) ;
- les distance de décollage calculées par Airbus avec l'hypothèse d'un ordre au mini-manche initial appliqué à VR, de 2/3 de débattement en une seconde puis maintenu à cette valeur ;
- les distances de décollage réelles parcourues le jour de l'incident grave.

<sup>(15)</sup>La réglementation impose une marge de 150 % du vent arrière (6 kt) et 115 % de la distance précédemment calculée.

Distances :		
	TOR (TORA=3 800 m)	TOD (TODA= 4 100 m)
<b>AFM</b>	3 154 m	3 318 m
<b>AFM + marges réglementaires</b>	3 690 m	3 881 m
<b>Ordre initial de 2/3 de débattement maintenu</b>	3 436 m	3 696 m
<b>Incident grave</b>	3 960 m	4 305 m

Allongements des distances calculées entre l'incident grave et :	TOR	TOD
<b>AFM</b>	+806 m	+987 m
<b>AFM+ marges réglementaires</b>	+270 m	+424 m
<b>Pourcentage des marges réglementaires consommées</b>	150 %	175 %

Le jour de l'incident grave, un ordre initial à 2/3 de débattement puis maintenu à cette valeur ne permettait pas d'atteindre les performances de décollage attendues par l'AFM. Avec un tel ordre dans les conditions de l'incident grave, la marge réglementaire appliquée à la distance du lâcher des freins au passage des 35 ft aurait été réduite de 67 % .

Allongements des distances calculées entre un ordre à cabrer à 2/3 maintenu et :	TOR	TOD
<b>AFM</b>	+282 m	+378 m
<b>AFM+ marges réglementaires</b>	- 254 m	- 185 m
<b>Pourcentage des marges réglementaires consommées</b>	53 %	67 %

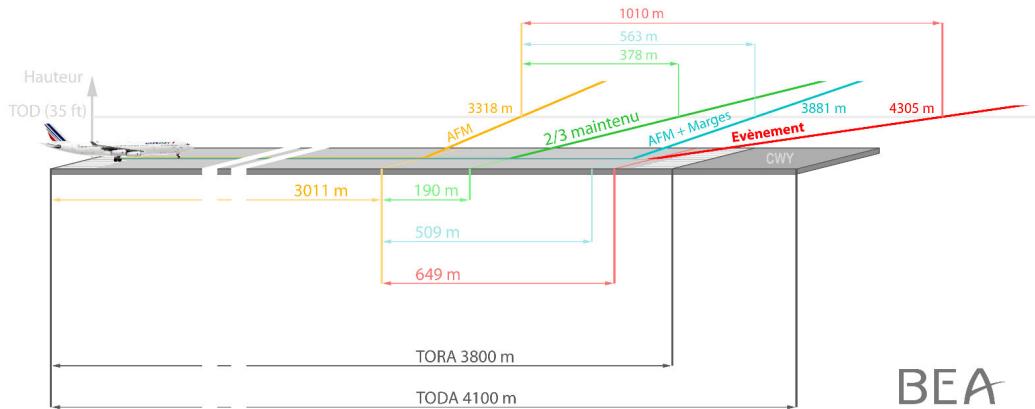


Figure 18 : distances de décollages incluant les distances d'alignement

Après constatation de ces différences, des calculs de performance ont été réalisés par Airbus avec les objectifs suivants :

- déterminer si le comportement de l'avion était nominal ;
- déterminer les causes de l'allongement des distances ;
- déterminer les entrées manche nécessaires à l'obtention des performances AFM.

Les résultats des calculs et simulations réalisés par Airbus ont montré que :

- la masse et le centrage de l'aéronef étaient conformes à ceux calculés avant le décollage ;
- la valeur moyenne du vent arrière était conforme à celle annoncée par l'ATC (4 kt) et l'aéronef a subi un gradient de vent arrière d'environ +3 kt lors de la rotation pour atteindre un maximum de 7,5 kt de vent arrière sans conséquence significative sur les performances de l'aéronef. En comparaison d'un vent arrière constant de 4 kt, ce gradient de +3 kt a contribué à augmenter de dix mètres la distance entre le lâcher des freins et le lever des roues et de sept mètres, la distance entre le lever des roues et le passage des 35 ft ;
- le comportement de l'avion était nominal en termes d'accélération sur piste mouillée et de réponse aux entrées au mini-manche du PF.

Les calculs et simulations réalisés par Airbus ont montré que la cause principale de l'allongement résultait d'un taux de rotation significativement inférieur à celui utilisé pour la détermination des distances de décollage (modèle de performance de l'AFM).

Scénario de la simulation dans les conditions de l'événement	Ordre au mini-manche	Conséquence du taux de rotation sur l'augmentation de la distance du lever des roues (m)
Incident grave	9° en 2 s	+ 540
2/3 de débattement	10.5° en 1 s	+ 190
Ordre nécessaire pour atteindre les performances du modèle AFM (> 80 % de débattement)	13.5° en 0.5 s	0

*Airbus a déterminé que, dans les conditions de l'incident grave, l'ordre à cabrer initial à appliquer au mini-manche à VR afin d'obtenir les performances théoriques de décollage (AFM) est un ordre initial dont le débattement à cabrer est proche de 80 % de débattement (entre -13 et -14° de débattement) et d'une durée de l'ordre de la demi-seconde, maintenu ensuite autour de 12° (75 % du débattement maximal).*

### 1.16.3 Essais et recherches supplémentaires

#### 1.16.3.1 Annonce PITCH-PITCH

Les trois membres d'équipage indiquent avoir entendu l'annonce PITCH-PITCH lors du décollage. Cette annonce est normalement inhibée pendant cette phase de vol<sup>(16)</sup>.

L'enquête a montré que ce témoignage n'était pas isolé. Le service d'analyse des vols de Lufthansa a en effet indiqué avoir reçu le témoignage d'un de ses pilotes mentionnant une annonce PITCH-PITCH lors d'un décollage.

L'annonce PITCH PITCH permet d'alerter l'équipage lorsque l'assiette longitudinale de l'avion devient excessive. Elle a pour but d'anticiper un risque de tailstrike à l'atterrissement.

Elle est installée de série sur tous les A340-500/600 et est optionnelle sur les A330 et A340-200/300. Les flottes A340-300 d'Air France et de Lufthansa sont équipées de cette option.

Cette annonce est transmise sous les conditions suivantes :

1. Le pilote automatique n'est pas engagé ;
2. Au moins un radio altimètre est fonctionnel ;
3. La hauteur (RA) de l'avion reste inférieure à 27 ft pendant 150 ms ou est inférieure à 25 ft ;
4. L'assiette estimée à une seconde reste supérieure à 9° pendant 150 ms ;
5. L'avion n'est pas en phase de décollage ni en croisière.

#### Examen des calculateurs FMGEC et FWC

Les examens qui ont été effectués sur les calculateurs prenant part à l'élaboration de cette alarme n'ont pas permis de confirmer l'émission de cette annonce lors du décollage de l'événement.

Les tests ATP n'ont pas révélé de défauts des calculateurs, à l'exception d'un problème de lecture de numéro de série sans rapport avec cette annonce.

#### Calculs et simulations Airbus

Les calculs effectués par Airbus ont montré que, lors de la rotation dans les conditions du jour de l'incident grave, les quatre premières conditions d'émission étaient réunies.

L'annonce PITCH-PITCH s'est pourtant déclenchée malgré l'absence d'une des conditions d'émission. Airbus indique que cette anomalie est possible dans le cas où les conditions de décollage ne sont pas détectées par les systèmes.

Ces conditions sont :

- manettes de poussées au-delà du cran MCT ;
- au moins un moteur en marche.

Lors du vol de l'événement, ces conditions étaient réunies.

<sup>(16)</sup>Elle était cependant décrite par erreur dans la section STANDARD OPERATING PROCEDURES – TAKEOFF (PR-NP-SOP-120) du FCTM utilisé par l'équipage. La documentation a été corrigée en juin 2017.

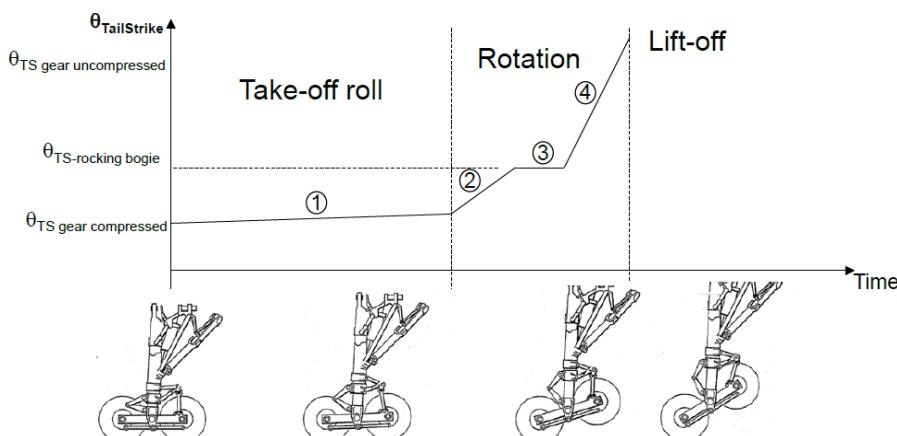
Aucune analyse supplémentaire n'a été réalisée car l'alarme n'aurait été émise que tardivement dans la séquence de rotation<sup>(17)</sup> et n'aurait donc pas été un facteur contributif permettant d'expliquer le faible taux de rotation observé lors de la rotation.

<sup>(17)</sup>Ce déclenchement à la fin de la séquence de rotation est confirmé par les témoignages équipage.

### 1.16.3.2 Risque de tailstrike

#### Généralités

L'A340 est équipé de trains d'atterrissage principaux basculants (rocking bogie). Le mouvement de rotation entre le balancier et l'amortisseur déplace l'axe de rotation de l'avion de la jambe de train vers l'essieu arrière du bogie. Ceci permet mécaniquement, pour une attitude longitudinale donnée, d'augmenter la marge au toucher de queue.



Source : Airbus

Figure 19 : cinématique du rocking bogie

Ce système de basculement fonctionne aussi bien au décollage qu'à l'atterrissement. Les simulations Airbus ont montré qu'il permettait d'obtenir une marge au tailstrike de 60 cm lors de décollages respectant les performances de l'AFM.

La cinématique spécifique du rocking bogie est telle que la marge au tailstrike est minimale juste avant le lever des roues alors que cette marge est généralement minimale après le lever des roues sur les aéronefs équipés de trains d'atterrissage conventionnels.

Cette particularité constitue une raison supplémentaire d'éviter des ordres à cabrer de grande envergure et rapide juste avant le lever des roues.

#### Statistiques de tailstrike au décollage et documentations associées

Airbus a identifié onze cas de tailstrikes au décollage sur la flotte A340-200/300 jusqu'en 2014.

Les causes et facteurs contributifs principaux sont les suivants :

- ordre à cabrer soutenu en butée de débattement ;
- rotation anticipée ;
- gradient de vent ;
- dual input ;
- correction en roulis avec sortie des spoilers ;
- sous gonflage des amortisseurs.

	<2005	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
A330	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
A340-200/300	7	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0
A340-500/600	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
TOTAL	9	2	2	0	0	1	1	0	0	2	0

Source : Airbus

Figure 20 : nombre de tailstrikes lors du décollage sur A330/340

### 1.6.3.3 Documentation et présentations du constructeur relatives au risque de tailstrike.

Le risque de tailstrike est mentionné dans chacune des documentations opérationnelles FCOM et FCTM<sup>(18)</sup>.

Le risque de tailstrike a fait également l'objet de publications dédiées :

- Flight Crew Bulletins “Avoiding tail strikes” ;**
- Flight Operation Briefing Note (FOBN) “Take off and departure operations – Preventing Tailstrike at takeoff” ;**
- A330/A340 e-briefing – Tailstrike Avoidance.**

<sup>(18)</sup>Voir § 1.6.4.2 Documentations opérationnelles relatives à la technique de rotation).

Dans le Flight Crew Bulletins « avoiding tailstrikes », il était recommandé d'initier à VR un mouvement « *prompt and positive* » ce qui diffère du FCTM qui indique d'initier la rotation de façon « *smooth positive backward sidestick input* », en appliquant environ 2/3 de déflection du mini-manche.

#### 3. ROTATION TECHNIQUE

The A340 has a large inertia, and the rotation rate produced by a given sidestick input takes time to build up. But, once it has developed, it remains relatively constant for a given sidestick position. Therefore, it is important to initiate the rotation with a positive backward stick input (typically 2/3 backstick). Subsequent changes to the commanded rate should be made smoothly. Rapid variations in stick position will cause sharp changes in the rate of cockpit movement, particularly in a long-fuselage aircraft, where the pilot station is well-forward of the main wheels.

A small or slow movement of the sidestick will give a sluggish rotation. If, to increase the rotation rate, a further aft movement of the sidestick is made around the time of lift-off, the possibility of tailstrike increases significantly.

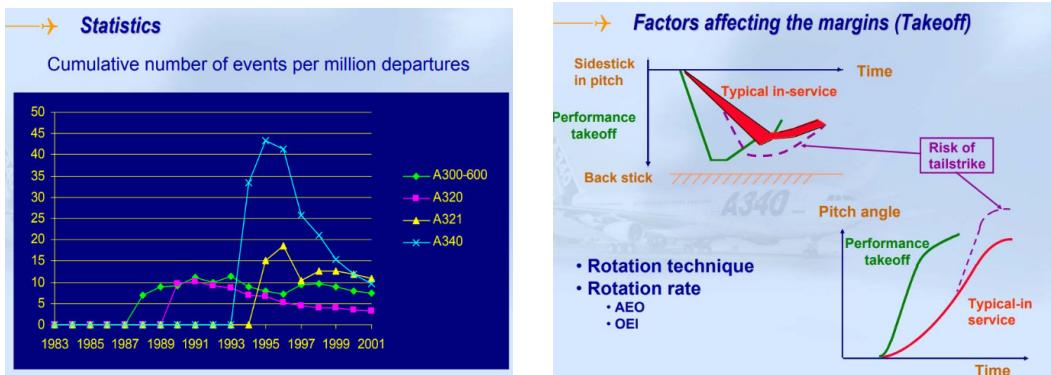
Recommendation : At VR, initiate a prompt and positive rotation to achieve the desired rotation rate. Avoid making further rearward sidestick inputs around the point of lift-off.

Rotation should be continued towards a typical all-engine attitude of about 12.5 °. After lift-off, follow the SRS command bar.

Figure 21: extrait Flight Crew Bulletins “Avoiding tail strikes”

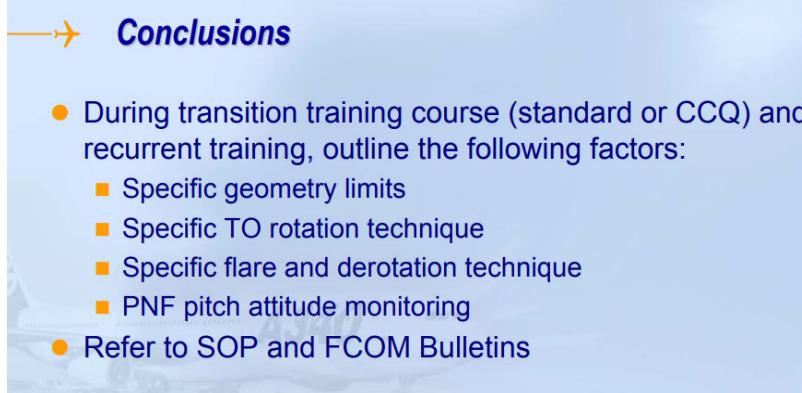
Le FOBN “*Take off and departure operations – Preventing Tailstrike at takeoff*” indique que sur un avion long tel que l'A340, les accélérations ressenties par un équipage lors de la rotations sont différentes de celles ressenties sur un avion plus court tel que l'A320. Il informe donc les équipages que les sensations ressenties peuvent l'amener à surréagir et effectuer des ordres au mini-manche conduisant à de fortes oscillations en assiette. Ce document ainsi que l'A330/340 e-briefing reprennent les recommandations du FCTM et préconisent d'effectuer la rotation de façon « *smooth positive backward sidestick input* » et d'éviter les actions « *aggressive and sharp inputs* ».

Le constructeur a également organisé des conférences avec les opérateurs et réalisé des présentations spécifiques sur le risque de tailstrike. En 2002 et 2004 dans le cadre "Operational Liaison Meeting FBW aircraft". En 2003, dans le cadre de la conférence Performance & Operations Conference. Les extraits ci-après présentent les éléments clés cités lors de ces conférences :



En 1995, soit deux ans après l'entrée en service de l'A340, les statistiques indiquent que le taux de tailstrike sur ce type d'avion était situé entre quarante et quarante-cinq par million de décollage. En 2017, le taux cumulé de tailstrikes par million de départs de l'A340 était d'un peu moins de cinq.

Cette présentation montre également qu'Airbus avait connaissance dès 2003 de la différence entre les déflexions de manche pratiquées en opérations et celles attendues pour atteindre les performances certifiées de l'avion. L'écart entre le taux de rotation utilisé dans le calcul des performances théorique et le taux de rotation moyen atteint en opérations apparaît également.



Figures 21 et 22 : extraits de la présentation AIRBUS "Performance & Operations Conference"

Le constructeur recommande également de sensibiliser les équipages lors de leurs formations initiale et périodiques et rappelle que l'objectif d'un taux de rotation continu à 3°/s est le plus adapté pour les performances au décollage tout en évitant le risque de tailstrike.

## 1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

### 1.17.1 Air France

#### 1.17.1.1 Flotte A340 exploitée par Air France

Dans sa flotte d'aéronefs long-courriers, Air France exploite neuf A340-300 qui desservent l'Afrique, l'Amérique du Sud et du Nord, les Caraïbes, et le Moyen-Orient.

Cinq aéroports sont considérés comme des aéroports « *limitatifs* » en termes de performances au décollage :

- Bogota (Colombie) ;
- Tananarive (Madagascar) ;
- Montréal (Canada) ;
- Niamey (Niger) ;
- Saint-Martin.

#### 1.17.1.2 Formation des pilotes à la technique de rotation sur A340

L'étude des documents des formations délivrées aux équipages lors de la formation initiale et lors des formations récurrentes montre que la technique de rotation ne faisait pas l'objet d'une attention particulière :

- Formation initiale : CCQ A330/A340  
Le livret instructeur CCQ A330/A340 n'indique aucune particularité sur la technique de décollage.
- Formation récurrente (ECP)  
Les livrets instructeurs des trois dernières années d'ECP ne prévoient aucun exercice au décollage centré sur l'amplitude des inputs et leur cohérence avec le FCTM (2/3 de débattement du mini-manche). Aucune attention particulière n'est également porté sur le taux de rotation moyen atteint.

Lors des contrôles en vol, la technique de rotation ne fait également pas l'objet d'attention particulière.

L'étude des documents de formation de l'équipage du F-GLZU le jour de l'incident grave n'a pas révélé la présence d'appréciation portée sur la technique de rotation au décollage de ces pilotes lors des contrôles et entraînements.

#### 1.17.1.3 Ligne Paris CDG - Bogota

La compagnie indique que les particularités des limitations au décollage n'ont pas fait l'objet d'une attention particulière lors de l'étude de la ligne. Les pilotes ont accès à une vidéo e-learning qui leur permet de se familiariser avec l'aéroport. La vidéo indique de nombreuses particularités sur l'aéroport de Bogota : altitudes de sécurité, vitesses sol, nécessité d'une stabilisation anticipée, ATC, vent arrière et décrit les points clés de l'arrivée au moyen d'une vidéo.

Sur le sujet du décollage, le e-learning indique notamment que celui-ci s'effectue « *aux limites* », la possibilité de vent arrière, le risque d'EGT Overlimit, l'impact possible des tolérances acceptées au départ à Roissy-CDG sur les performances au décollage de Bogota, et la difficulté d'obtenir le QFU 31 (trois heures de délai).

Il n'est pas fait mention de l'influence de la cadence de rotation sur les performances au décollage, ni de la difficulté d'arbitrage entre cadence de rotation et risque de tailstrike.



Figure 23 : extrait de la page relative aux décollages du e-learning d'Air France

#### 1.17.1.4 Retour d'expérience en ligne (ASR)

La ligne Paris CDG-Bogota a fait l'objet de treize comptes rendus d'équipage depuis 2007. Ces ASR font état de difficultés pour obtenir des informations météorologiques fiables sur l'aéroport, de difficultés d'emport de charge ou de questionnement sur la consigne d'utilisation des volets en CONF 2.

Jusqu'au compte rendu relatif à l'incident grave du 11 mars 2017, déposé par l'équipage le 14 mars, aucun ASR ne fait état d'une préoccupation sur les performances au décollage ou un décollage long.

#### 1.17.1.5 Analyse des vols Air France

Le service d'analyse des vols d'Air France explique que la problématique des décollage longs n'était pas suivie sur la flotte des Airbus A340 avant l'événement du 11 mars 2017. Air France n'avait pas mis en place d'indicateurs permettant de détecter des décollages longs tels que ceux recommandés par le groupe EOFDM dès 2014. Des développements étaient en cours néanmoins avant cet incident grave avec pour objectif de fournir des éléments factuels sur les décollages au cours du premier trimestre 2017.

Des algorithmes de surveillance et d'analyse spécifiques à la rotation ont donc été créés ou améliorés afin d'alimenter les bases de données :

- calculs de la durée et distance de rotation ;
- calculs de la distance restante avant le seuil de piste opposé au moment du lever des roues ;
- calcul de la hauteur de passage radio sonde au seuil opposé ;
- assiette au moment du lever des roues ;
- comparaison de la distance de la mise en poussée jusqu'au passage des 35 ft \*1,15 (ceci représente la distance de décollage TOD augmentée des 15 % de marge réglementaire), avec la distance disponible (TODA).

Cette nouvelle procédure était en cours d'évaluation fin février 2017 sur les différentes flottes exploitées par Air France et a été appliquée à l'analyse de l'événement notifié par l'ASR de l'équipage. Après l'incident grave, Air France a consolidé cette nouvelle procédure et a ainsi pu détecter un autre décollage long le 6 avril 2017<sup>(19)</sup>. Cette procédure a également été appliquée aux données de vols conservées et a permis d'analyser environ 2 400 décollages antérieurs à mars 2017.

Une étude réalisée dans un premier temps sur tous les décollages d'A340-300 à Bogota, puis ensuite généralisée à tout le réseau Air France montre qu'une proportion importante des décollages sur A340-300 a un taux de rotation inférieur à celui modélisé dans l'outil (EFB), servant au calcul de performances au décollage (AFM modèle de performance). Le taux de rotation moyen (courbe bleue sur le schéma ci-après) atteint sur les décollages en A340-300 est en effet inférieur à 2°/s alors que l'outil de performance utilise un taux de rotation théorique de 1°/s durant 1,7 s, puis ensuite 3,1°/s (Courbe verte).

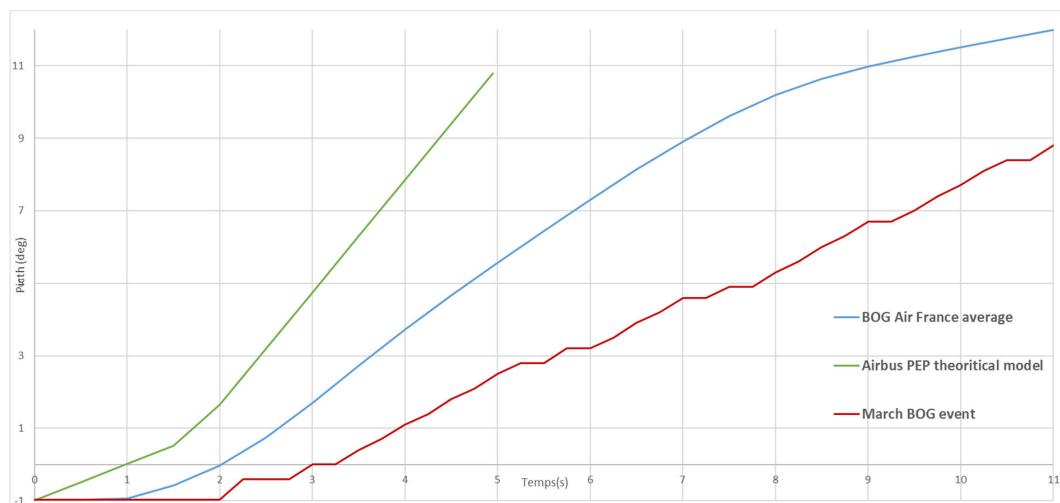


Figure 24 : courbes Air France

Cette analyse a également permis de modéliser l'ordre au manche moyen des équipages Air France sur A340-300 lors des décollages de Bogota (courbe bleue) et de le superposer à un ordre au manche de 2/3 de débattement maintenu (courbe verte) et à l'ordre au manche réalisé pendant l'incident grave (courbe rouge).

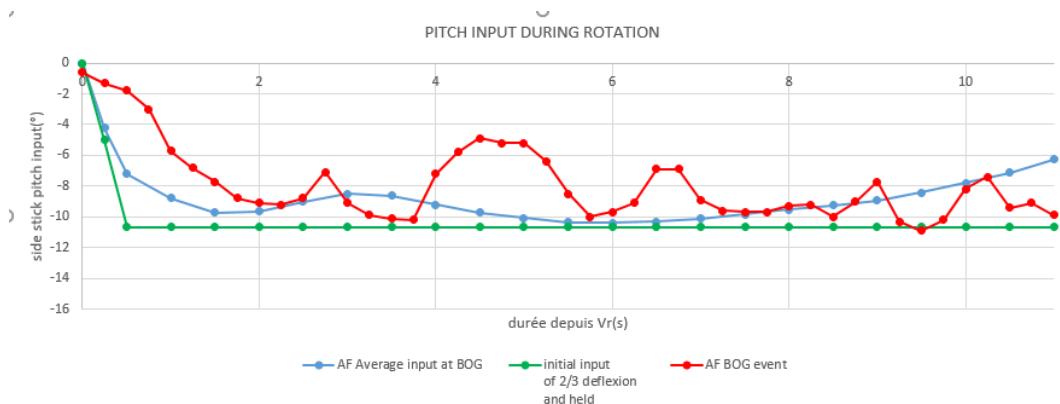


Figure 25 : courbes Air France

(19)Ce décollage long a également fait l'objet de l'ouverture d'une enquête par le BEA. L'analyse des données DAR montre que les distances caractéristiques du décollage étaient les suivantes :

- distance du lâcher des freins au lever des roues = 3 700 m (TORA 3 800 m),
- distance du lâcher des freins au passage des 35 ft = 4 095 m (TODA 4 100 m),
- durée de « rotation » = 10 s,
- cadence estimée = 1,4°/s.

Ce cas est similaire à l'incident grave traité dans ce rapport d'enquête et la cause principale de ces allongements de distance au décollage résulte de la technique de rotation entraînant un taux de rotation inférieur à celui retenu dans le modèle de performance au décollage certifié.

Par ailleurs, le BEA a demandé à Air France de lui fournir la valeur moyenne du taux de rotation obtenue par le PF de l'incident grave. Sur Airbus A340 et sur plusieurs aéroports, le taux de rotation moyen obtenu par ce pilote est très légèrement inférieur au taux moyen obtenu par l'ensemble des pilotes de la flotte A340.

#### **1.17.1.6 Analyse des vols Lufthansa**

Dans le cadre de l'enquête, le BEA a sollicité les autres États dont les opérateurs seraient susceptibles d'être exposés à des événements similaires. Il s'agit notamment de l'Allemagne, dont l'opérateur Lufthansa dessert Bogota en A340-300.

Le service d'analyse des vols de Lufthansa a commencé à étudier la technique de rotation à la suite d'un incident survenu au décollage d'un A340-300 à Johannesburg (Afrique du Sud) en 2004 et de cas de décollages longs en 2007, 2011 et 2012. Il a été alors réalisé une comparaison entre le modèle des performances au décollage certifié et les performances réelles atteintes en opérations par les équipages de Lufthansa.

Les résultats ont alors montré :

- qu'il n'existait pas de différence significative entre le modèle de performance et les performances en opérations dans la phase initiale du lâcher des freins à VR ;
- que le taux de rotation continu moyen atteint en opérations était d'environ 1,9°/s alors que le modèle de performance requiert 3,1°/s.

Le service d'analyse des vols de Lufthansa a également montré que cette différence était plus importante sur les A340-300 que sur les A340-600 et A330-300.

Performance Model (Airbus)	A340-300	A330-300	A340-600
Performance Model Reaction Time	0,0 s	0,0 s	0,7 s
Performance Model Initial Rotation	1,7 s @ 1,0°/s	1,8 s @ 0,8°/s	2,5 s @ 1,3°/s
Performance Model Rotation Rate	3,1°/s	3,2°/s	2,3°/s
Lufthansa FDM data (2017 - 2018)	A340-300	A330-300	A340-600
Avg. Rotation Rate (1,7° pitch change - liftoff)	1,9°/s	2,4°/s	1,8°/s
Initial pitch command	66 %	57 %	69 %
Avg. pitch command (1,7° pitch change - liftoff)	57 %	44 %	59 %

Figure 26 : synthèse des performances réalisée par Lufthansa

Le service d'analyse des vols a également étudié le taux de rotation moyen obtenu en fonction de l'amplitude de l'ordre à cabrer moyen des pilotes.

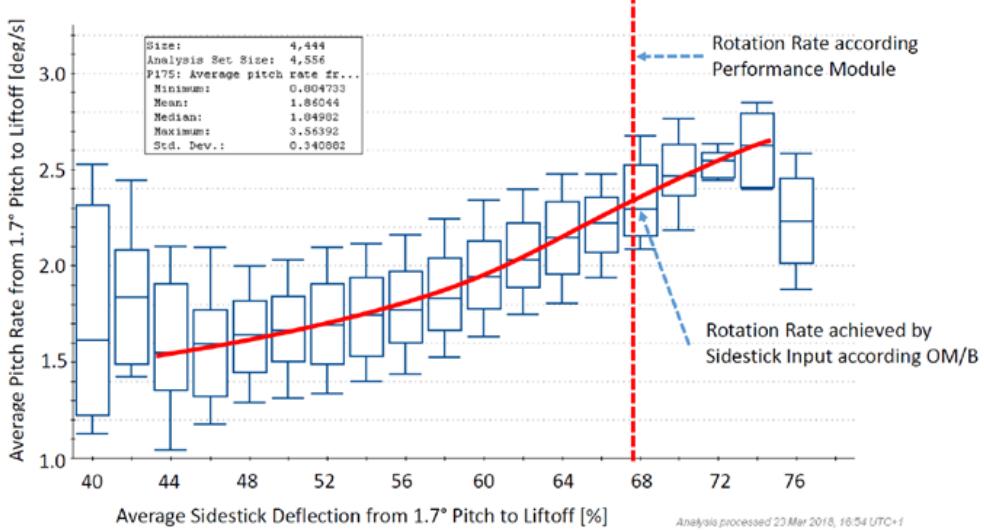


Figure 27 : synthèse des taux de rotations obtenus en fonction des ordres au manche lorsque l'assiette atteint 1.7°

#### 1.17.1.7 Analyse des vols commune Air France/Lufthansa

Air France et Lufthansa se sont coordonnés pour développer ensemble les algorithmes relatifs à la rotation afin de comparer leurs données de vols (décollages de Bogota) soit 1 900 décollages pour Air France et 400 décollages pour Lufthansa.

#### Pitch Rate

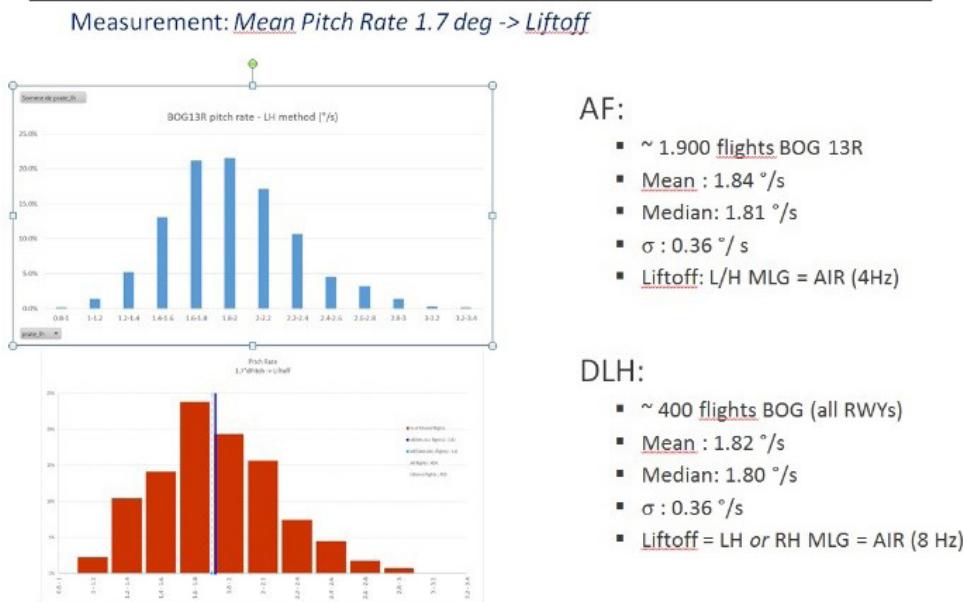


Figure 28: statistiques Air France-Lufthansa

**Les deux exploitants ont des valeurs moyennes de taux de rotation continu, de durée de rotation et une dispersion des valeurs moyennes de taux de rotation continu très similaires soit :**

- une moyenne des taux de rotation continu d'environ 1,8°/s ;**
- une durée de rotation de moyenne d'environ sept secondes ;**
- une dispersion définie par un écart-type de 0,36°/s, près de 1% des décollages s'effectue avec un taux de rotation continu entre 1 et 1,2 /s (valeur minimale) et 1 % des décollages s'effectuent avec un taux de rotation continu entre 2,8 et 3 /s .**

**Ces écarts entre la performance théorique (AFM) et celle réalisée en exploitation augmentent la distance de roulement au décollage d'environ deux cents mètres en moyenne.**

### 1.17.2 Direction de la sécurité de l'Aviation civile

La direction de la sécurité de l'Aviation civile (DSAC) est un service à compétence nationale de la Direction générale de l'Aviation civile (DGAC). Au titre de la partie ARO.GEN.300 du règlement européen AIR OPS<sup>(20)</sup>, la DSAC vérifie le maintien de la conformité aux exigences applicables des organismes qu'elle a certifiés, des exploitations spécialisées qu'elle a autorisées et des organismes dont elle a reçu une déclaration. La DSAC est à ce titre en charge de la surveillance d'Air France.

Cette surveillance est réalisée de manière à couvrir tous les aspects de l'exploitation mais elle ne se substitue pas aux actions de l'exploitant dans le cadre de sa surveillance interne. L'exploitant demeure ainsi responsable de la conformité réglementaire de ses opérations.

Chaque acte de surveillance de la DSAC peut couvrir un ou plusieurs thèmes, on peut noter entre autres :

- organisation et sécurité des vols ;
- formation des membres d'équipage ;
- préparation des vols ;
- escale ou base (ouverture de ligne...) ;
- vol (contrôle en vol).

La DSAC a informé l'AESA le 24 avril 2017, dès que la classification de la criticité de l'événement évaluée par Air France lui a été communiquée.

La DSAC a indiqué au BEA qu'elle n'avait pas détecté lors de ses actions de surveillance de point relatif à des performances dégradées lors du décollage sur la flotte A340. Aucun contrôle PEPN et/ou OCV n'a été effectué sur Bogota en particulier.

Seul un constat sur la thématique du taux de rotation au décollage avait été notifié en 2015, à la suite d'un contrôle en vol sur un A320 lors duquel il avait été remarqué que le taux de rotation était faible. Ce constat est resté limité au périmètre de la flotte A320.

<sup>(20)</sup>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. 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.

Dans le cadre du traitement de ce constat Air France a réalisé une étude basée sur l'analyse des vols à travers une procédure permettant de mesurer le taux de rotation moyen atteint en opérations sur A318/A319/A320/A321. Cette étude a analysé 6 400 vols en 2015. Les résultats de cette étude ont montré que les taux de rotation moyens atteints par les équipages correspondaient aux préconisations du FCOM soit 3°/s en application des recommandations du FCTM avec des débattements de l'ordre de 1/3 à 1/2. Ces moyennes présentaient par ailleurs un écart type très faible, caractéristique d'un échantillon homogène autour de la moyenne.

À la suite de cette analyse, il a été considéré qu'aucun problème systémique n'était à relever autour des taux de rotation sur la flotte de la famille A320. Néanmoins, Air France a mis en place une campagne de sensibilisation des équipages sur le respect de la cadence de rotation de 3°/s jusqu'à ce que le SRS soit utilisable. Cette sensibilisation a également été relayée par les instructeurs A320.

Cette étude des taux de rotation n'avait pas été appliquée à la flotte A340 avant le 11 mars 2017, date de l'incident grave.

La DSAC a également indiqué au BEA qu'elle n'avait pas détecté lors de ses actions de surveillance d'Air France, l'absence d'indicateur de performances au décollage mis en place par l'opérateur sur sa flotte A340.

### 1.17.3 AESA

#### Base de données européennes des compte-rendus d'équipage

L'AESA a mis en œuvre une base de données européenne (European Central Repository ECR) qui regroupe tous les rapports d'événements relatifs à la sécurité formulés par des acteurs de l'aviation civile, et envoyés par les états membres.

L'AESA a indiqué au BEA qu'une recherche de cas similaires avait été réalisée dans la base ECR avec les critères suivants :

- recherche débutée à partir de janvier 2014 ;
- tous les quadrimoteurs (A340, A380 et B747) ;
- occurrence contenant les mots clés : performances dégradées, décollage long.

L'AESA a identifié cinq cas concernant l'A340-300 sur les aéroports de Francfort et Bogota, dont les décollages longs du vol de l'incident grave du 11 mars et de celui du 6 avril 2017. Un autre compte rendu concerne un décollage long sur A380 à Johannesburg où l'équipage indique que le PF a volontairement effectué une rotation « *douce* ». Les deux autres cas identifiés ne font pas mention d'un lien avec une technique de rotation.

### 1.17.4 AIRBUS

#### Aspects certification

Airbus indique que pour les A330 et A340, la recommandation opérationnelle (FCTM) de 2/3 de débattement du mini-manche en entrée initiale à VR n'est pas représentative des entrées appliquées lors des campagnes de certification<sup>(21)</sup>. Airbus précise que, dans les années 90, la technique de rotation lors des essais de certification liée à la performance décollage, n'était pas spécifiquement formalisée pour les avions ayant des lois directes au décollage.

<sup>(21)</sup>Voir § 1.16.1.1 Certification des performances au décollage.

Airbus indique qu'il n'a pas été en mesure de retrouver l'origine de ces pratiques.

Airbus ajoute que pour les avions plus récents (ex. A380), les techniques de rotation utilisées par les pilotes d'essais lors du processus de certification sont devenues plus cohérentes avec la recommandation opérationnelle du FCTM.

### Impact des techniques moyennes de rotation en opérations sur les distances de décollage

En s'appuyant sur les données issues de l'analyse des vols d'Air France, Airbus a calculé l'allongement des distances de décollage résultant du profil d'assiette moyen atteint par les équipages en opérations<sup>(22)</sup>.

<sup>(22)</sup>Voir § 1.17.1 Analyse des vols.

Les résultats sont les suivants :

- 200 m d'allongement pour le lever des roues (lift off) ;
- 300 m d'allongement pour le passage des 35 ft (TOD).

Cet allongement moyen de 300 m sur la distance au passage des 35 ft représente environ la moitié de la marge des 15 % définie par la réglementation dans les conditions de l'événement.

## 1.18 Renseignements supplémentaires

### 1.18.1 Témoignages

#### 1.18.1.1 témoignage du CdB

Le CdB indique qu'il avait conscience que Bogota est un aéroport compliqué où il est généralement impossible d'emmener toute la charge. Ainsi il avait anticipé la préparation du vol sur sa tablette.

Le briefing s'effectuant dans le cockpit, il avait fait particulièrement attention aux interruptions de tâches. Le choix des paramètres s'est effectué de façon conservatrice (piste WET en prévision), configuration opti volets 2. La marge par rapport à la MTOW en 13R était d'environ 500 kg.

Lors de la course au décollage, il indique qu'il a identifié les lampes rouges et blanches en bout de piste.

Il précise que l'ordre à cabrer au moment de la rotation était « *plus ou moins le même que d'habitude* », mais il lui est apparu que la cadence de rotation était plus faible.

Il ne se souvient pas de son premier ordre à piquer. En revanche, au second, il se souvient avoir entendu « *PITCH PITCH* », regardé le PFD et lu la valeur 7.5°.

Ce jour-là, le décollage lui a paru franchement inhabituel, ce qui a justifié son ASR.

Le CdB indique que les trois facteurs pouvant expliquer le décollage long sont les écarts de vent, d'état piste et d'incertitude des jaugeurs.

Il n'a pas identifié la cadence de rotation comme cause possible de l'événement.

### **1.18.1.2 témoignage de l'OPL en fonction**

Étant en stage d'adaptation en ligne, l'OPL indique qu'il avait étudié la destination avec une attention particulière (cartes LIDO, e-learning, FCOM).

Il avait conscience que Bogota est un aéroport compliqué, probablement le plus difficile du réseau. Il avait anticipé la préparation du vol sur sa tablette. Il indique que la problématique principale de Bogota est la charge à emporter.

Il indique que l'équipage a été conservateur dans le choix des paramètres (piste WET, vent arrière légèrement majoré). Le briefing départ portait principalement sur les performances, le relief, et les packs sur APU.

Il indique qu'il a conscience que les décollages en quadrireacteurs sont généralement longs. Il a néanmoins toujours décollé dans une zone située aux environs des six cents derniers mètres.

Il explique dans l'ASR qu'au moment de la rotation, le nez lui semble lourd et la cadence trop lente. Après avoir atteint V1, il ajoute qu'il avait conscience que le bout de piste arrivait. En poussée TOGA, il n'y avait plus de marge de poussée. Il a décidé d'annoncer VR 2 à 3 kt avant VR, pour que le PF tire exactement à VR. À VR il indique que l'avion « *n'a pas bougé* ». Il se souvient d'avoir entendu l'alarme « *PITCH PITCH* ». Quand il a entendu le bruit du train d'atterrissement qui se décomprime, il a regardé l'indicateur de radio alt et a lu zéro ft.

### **1.18.1.3 témoignage de l'OPL de renfort**

Il indique qu'en préparation des vols, ils ont fait plusieurs calculs pour un décollage en 13R et anticipé une piste WET. Le décollage a été prévu en conf « *opti* » (conf 2).

La stratégie TEM du jour portait sur la mise en poussée à 50 % sur freins, TOGA, alignement à 90°, et une attention particulière aux altitudes de sécurité.

En règle générale, il explique que les briefing avant décollage mentionnent que « *l'avion est lourd, la piste limitative, le roulage plus long, rotation souple* ».

Lors du roulage, il précise que son attention était focalisée sur les informations de N1 afin d'être le premier à annoncer une éventuelle anomalie. Il n'a pas identifié des problèmes d'EGT trop élevés.

Il se souvient d'avoir entendu l'annonce « *PITCH PITCH* » quand l'assiette était à 10° et l'avion encore au sol. Il indique que le nez de l'avion lui a paru haut, mais qu'il avait l'impression de s'enfoncer.

Après le décollage, il a demandé aux autres pilotes s'ils pouvaient avoir percuté une balise. Ils ont regardé la page WHEEL et ont poursuivi le vol.

## **1.18.2 Perception du mouvement au décollage**

L'exécution de la rotation peut être considérée comme une tâche perceptivo-motrice au cours de laquelle le pilote va détecter les informations nécessaires au contrôle de son action. L'action va générer un flux porteur d'informations et en retour la perception permet de contrôler le champ de force nécessaire à la production du mouvement. On parle de couplage action-perception.

Les informations proviennent d'un processus d'intégration d'informations sensorielles issues de différents capteurs : l'œil, l'appareil vestibulaire<sup>(23)</sup>, les récepteurs somesthésiques<sup>(24)</sup> et l'audition. Il peut exister une redondance dans les différents signaux perçus, les deux modalités les plus importantes étant généralement la vision et le système vestibulaire.

En ce qui concerne la perception visuelle, le mouvement de la scène visuelle, les changements de configuration induits par le mouvement génèrent un flux optique dans lequel réside l'information utile au contrôle de l'action. Les seuils de discrimination de vitesse sont relativement bas et augmentent avec la vitesse. Les seuils seraient inférieurs à  $0,2^{\circ}/s$  pour une vitesse de  $2^{\circ}/s$ . Cependant, ces résultats sont uniquement le résultats d'études expérimentales ; ils mettent en évidence les possibilités perceptives maximales de l'œil.

En ce qui concerne les informations vestibulaires, les accélérations dues au mouvement (inertie) et les accélérations dues à la gravité sont physiquement différentes mais impossibles à discriminer. Aussi, les otolithes ne peuvent pas permettre à eux seuls de faire la distinction entre une accélération linéaire et une inclinaison de la tête par rapport à la verticale gravitaire.

Une inclinaison de la tête provoque initialement une accélération angulaire entraînant une réponse des canaux semi-circulaires. Pour qu'une accélération angulaire soit perçue, il faut que le produit de son intensité par sa durée atteigne un certain seuil. Une des conséquences de cette loi de perception est qu'il existe un temps de latence de la perception fonction de l'intensité de l'accélération angulaire.

Dans le système nerveux central, l'évaluation de la vitesse provient de l'intégration des informations visuelles et vestibulaires avec une priorité donnée aux informations visuelles. La richesse de la scène visuelle affecte le temps nécessaire à l'interprétation. Les informations vestibulaires étant basées sur les accélérations, elles seraient en avance de phase par rapport aux informations visuelles. Les canaux circulaires sont sensibles à l'accélération angulaire mais la sensation est intégrée et c'est la vitesse de rotation qui est perçue.

Les éléments qui ont une influence directe sur la perception et le contrôle du pilote ne sont pas clairement définis. En particulier, la phase de décollage est peu documentée dans la littérature (comparativement à la phase d'approche).

Pendant un décollage, les sens du pilote sont stimulés pendant trois phases distinctes dans le temps :

1. Accélération longitudinale pendant la phase d'accélération sur la piste ;
2. Accélération angulaire de tangage lors de la rotation ;
3. Forte assiette longitudinale et forces associées durant le premier segment.

(23) Le système vestibulaire situé dans l'oreille interne est constitué des otolithes et des canaux semi-circulaires.

Les premiers sont sensibles aux accélérations linéaires et aux orientations de la tête par rapport à la verticale et les seconds aux accélérations angulaires.

(24) Les récepteurs somesthésiques correspondent aux récepteurs sensibles aux stimulations (mécaniques, thermiques) des tissus du corps. Ils provoquent des sensations de toucher et pression, de douleur, de positionnement des articulations et membres, de chaud et froid.

Pour chacune de ces phases, les informations sensorielles possibles sont les suivantes :

	<b>Accélération longitudinale pendant la phase d'accélération sur la piste</b>	<b>Accélération angulaire de tangage lors de la rotation</b>	<b>Forte assiette longitudinale et forces associées durant le premier segment de montée</b>
Actions équipage	Poussée, lâcher freins	<p>Actions sur le mini-manche (déflexion).</p> <p>Le pilote doit tirer sans à coup sur le mini-manche dans l'objectif d'atteindre 3°/s vers une assiette cible de 12.5°.</p> <p>Si le taux de rotation <b>continu</b> n'est pas satisfaisant faire des corrections souples.</p>	Actions sur le mini-manche. Suivre les barres SRS du directeur de vol (référence FCTM);
Avion/ Commandes de vol	Poussée moteur	Relation entre les actions au mini manche et le débattement de la gouverne de profondeur <sup>(25)</sup> .	<sup>(25)</sup> Voir § 1.6.3 Lois de commande lors de la rotation.
Avion/ Dynamiques	Accélération	<p>Accélération angulaire → Assiette longitudinale.</p> <p>Le taux de rotation initial met du <b>temps</b> à s'établir.</p> <p>Le temps de rotation entre l'action initiale à cabrer et le lever des roues dure typiquement de 4 à 5°s selon la version amendée du FCTM.</p>	
Informations visuelles	<p>Défilement (Flux optique).</p> <p>Alternance de la surveillance des paramètres donnés par les instruments et les références extérieures</p>	<p>Jusqu'au lever des roues, ou au moins jusqu'à ce que les informations visuelles soient perdues, le scanning dépend des conditions de visibilité (<b>plus la visibilité est bonne, plus grande la priorité doit être donnée aux références visuelles</b>).</p> <p>Sources : Vitesse de rotation de capot/horizon (flux optique jusqu'à un certain moment/piste ou lumières de piste)/PFD (vitesse de défilement de l'horizon artificiel et chevron du PLI).</p> <p>Perte possible des références visuelles avant le lift off.</p>	Utilisation des barres de FD pour atteindre l'assiette (SRS).

Informations vestibulaires	Stimulation des otolithes en raison de l'accélération linéaire	Perception limitée de la rotation par les otolithes en raison de leur stimulation précédente lors de l'accélération linéaire. Perception de la rotation par les canaux semi-circulaires.	Perception du lever de roues peu probable due à l'éloignement entre le cockpit et le centre de gravité de l'avion
----------------------------	--	--	---

Les seuils de discrimination de vitesse laissent penser qu'il est théoriquement possible pour un pilote de discriminer une vitesse de 2°/s d'une vitesse de 3°/s grâce aux informations visuelles. Il peut cependant exister un moment avant le lever des roues pendant lequel le pilote ne dispose plus de références visuelles extérieures suffisantes.

Les informations vestibulaires viennent compléter cette appréciation, notamment grâce aux informations issues de la rotation de la tête du pilote. Le pouvoir de discrimination de la vitesse de rotation diminue cependant avec la vitesse, autrement dit plus la vitesse de rotation augmente moins le pilote peut détecter un écart. Les premiers instants de la rotation sont donc déterminants et le temps disponible pour effectuer un ajustement est contraint : le délai donné par le constructeur entre l'initialisation de la rotation et le lever des roues est de l'ordre de quatre à cinq secondes.

Par ailleurs, il existe un délai de plusieurs secondes entre l'ordre à cabrer initial et l'initialisation de la rotation en raison de l'inertie de l'aéronef. Le pilote ne dispose ainsi pas d'un retour d'information immédiat sur les actions qu'il a effectuées.

Il est alors difficile de déterminer si un pilote peut, pendant les premières secondes de mise en rotation, discriminer de façon fiable un taux de rotation de 2°/s d'un taux de 3°/s en conditions réelles de décollage.

De plus, l'interprétation perceptive dépend du poids de chaque modalité sensorielle et de l'historique des conditions de simulation, autrement dit cette interprétation va dépendre de l'apprentissage et de l'expérience du pilote.

Au cours de leur apprentissage, les pilotes détectent et utilisent différentes variables informationnelles jusqu'à trouver celles qui leur permettront de réaliser correctement une tâche demandée. L'acquisition d'une habileté perceptivo-motrice, et donc de la technique de rotation, peut être facilitée si l'on oriente l'attention du pilote apprenant vers les variables informationnelles qui sont les plus utiles au contrôle de l'action. L'apprentissage va consister à découvrir et à optimiser des relations particulières entre des variables informationnelles présentes dans le flux perceptif et des variables cinétiques puis à affiner ce dialogue perceptivo-moteur en explorant l'ensemble des solutions possibles. Pour les tâches de pilotage contrôlées visuellement, les flux optiques ont besoin d'être complétés notamment par la représentation cognitive du pilote de la dynamique de l'avion.

## 2 - ANALYSE

### 2.1 Scénario

L'aéronef est correctement entretenu et tous les systèmes fonctionnent normalement. Le devis de masse et de centrage est correctement établi et dans les limites définies par le constructeur.

Dans les conditions opérationnelles du jour, les performances au décollage attendues de l'aéronef permettent le décollage en piste 13R dans le respect des distances réglementaires associées au décollage.

Lors de la préparation du vol, l'équipage insère sans erreur les données relatives aux conditions du jour dans le logiciel de calcul des performances (conforme au modèle de performance certifié de l'aéronef).

Le jour de l'incident grave, le lever des roues a été réalisé à 140 m avant le seuil de piste opposé. L'aéronef passe les 35 ft 250 m au-delà de la fin du CWY et survole les antennes du localizer avec 12 ft de hauteur. Cette distance de décollage représente un allongement de 987 m par rapport à la distance de décollage définie par le modèle de performance certifié et de 424 m par rapport à la distance de décollage prenant en compte les marges réglementaires, exposant ainsi l'aéronef à un risque accru d'excursion de piste ou de collision avec un obstacle.

Les simulations effectuées par le constructeur ont montré que le taux de rotation du jour de l'événement était significativement inférieur à celui retenu comme hypothèse pour les performances certifiées et qu'il s'agissait du principal facteur contributif à l'allongement de distance de décollage.

Ce faible taux de rotation résulte exclusivement de la technique de rotation appliquée par le PF dont l'amplitude et la durée des ordres à cabrer étaient inférieures à celles qui auraient été nécessaires pour atteindre un taux de 3°/s.

L'analyse des vols de l'exploitant a identifié un écart significatif entre la technique de rotation utilisée au cours du vol de l'événement et la pratique moyenne en exploitation, mais aussi entre la pratique moyenne en exploitation et le taux de rotation attendu au titre des performances certifiées.

### 2.2 Performances lors du décollage de l'A340-300

#### Détermination des performances lors de la certification

Les performances lors du décollage de l'A340-300 ont été établies lors de la certification par des essais en vol. Les données de vol recueillies ont permis d'établir le modèle analytique et aéromécanique de l'aéronef ("AFM performance model").

Le modèle de performance au décollage certifié est utilisé par les opérateurs pour les calculs de performance de l'aéronef lors du décollage. Des marges de sécurité d'allongement supplémentaires de 15 % de la distance de décollage tous moteurs en fonctionnement et de 150 % sur la valeur de vent arrière, telles que requises par la certification et la réglementation opérationnelle, sont appliquées.

Les taux de rotation de 3.1°/s (AEO) et 2.6°/s (OEI) utilisés dans le modèle ont été définis en calculant la moyenne des taux de rotations obtenus lors des décollages réalisés lors de la campagne d'essais en vol de performance.

L'essai dont le taux de rotation se rapproche le plus du modèle de performance certifié a été obtenu avec un ordre initial au manche de  $15^\circ$  (soit 94 % du débattement maximal) appliqué en 0,5 s environ, maintenu ensuite autour de  $12^\circ$  (75 % du débattement maximal).

Les simulations réalisées par Airbus montrent que, dans les conditions opérationnelles du jour de l'incident grave, le pilote aurait dû appliquer, à VR, un ordre initial à cabrer dont le débattement était de plus de 80 % du débattement maximum sur une période d'environ 0,5 s afin que le taux de rotation et les distances de décollage soient cohérents avec le modèle de performance certifié de l'aéronef.

### **Procédures et documentation du constructeur relatives à la technique de rotation**

Le règlement JAR 25, en vigueur au moment de la certification de l'A340-300, indique que les décollages effectués afin de déterminer les performances de l'aéronef ne doivent pas requérir de la part du pilote d'habileté de pilotage ou de vigilance exceptionnelle.

L'AESA, autorité de certification, précise qu'il n'existe pas dans la réglementation de critère spécifique pour définir une technique de rotation conventionnelle et que le paragraphe du règlement JAR 25 cité précédemment signifie que les pilotes doivent être capables d'appliquer de manière répétitive et sans difficulté les procédures établies par le constructeur.

Le constructeur a rédigé deux documents opérationnels à l'attention des opérateurs :

- Le FCOM qui indique que le pilote doit atteindre un taux de rotation continu de l'ordre de  $3^\circ/\text{s}$  jusqu'à atteindre l'assiette de  $12,5^\circ$ .
- Le FCTM qui précise la procédure que le pilote doit appliquer afin d'atteindre l'objectif établi par le FCOM. Il précise qu'il est important d'initier la rotation par un ordre à cabrer souple de l'ordre de  $2/3$  de débattement. Il recommande également d'éviter les actions « *aggressive and sharp input* » ainsi que les corrections rapides et de grande amplitude. En particulier, il mentionne que le risque de tailstrike augmente significativement si un ordre d'une telle ampleur est effectué à l'approche du lift off. Il indique aussi que des faibles taux de rotation (inférieurs à  $2^\circ/\text{s}$ ) doivent être évités car cela aura un impact sur les performances au décollage en augmentant la distance de course au décollage.

Lors de la campagne d'essai en vol de certification, un décollage a été effectué avec un ordre à cabrer initial de  $2/3$  de débattement. Le taux de rotation atteint par l'aéronef était inférieur à celui retenu dans le modèle performance de l'AFM et correspondait à la limite inférieure de l'ensemble des taux de rotations atteints lors des essais en vol de performance.

Le constructeur a simulé un ordre à cabrer initial de  $2/3$  de débattement sur une durée d'une seconde puis maintenu à cette valeur dans les conditions opérationnelles du jour de l'incident grave. Le taux de rotation induit était inférieur au taux de rotation de référence utilisé dans le modèle de performance certifié. Il en a résulté un allongement de la TOD d'environ 378 m par rapport à la distance théorique prévue. En appliquant cette technique de rotation, 67 % de la marge réglementaire aurait été consommée.

L'enquête a montré que l'application d'un ordre à cabrer de 2/3 de débattement pour au moins deux conditions de masse et centrage différentes (vols d'essai de la certification et vol de l'incident grave) ne permettaient pas d'atteindre les performances attendues dans l'AFM. À l'inverse le BEA n'a pas eu connaissance de conditions d'exploitations parmi les milliers de vols analysés par Air France et Lufthansa dans lesquelles l'application d'un ordre à cabrer maintenu à 2/3 de débattement permettaient d'obtenir les performances certifiées.

De surcroît, les conditions du vol de l'événement (absence de référence visuelle extérieure), rendent difficiles l'appréciation immédiate du taux de rotation initial obtenu par l'application d'un ordre initial à cabrer « typique » de 2/3 de manche (FCTM) et son écart au taux de rotation continu de 3°/s également préconisé par le FCTM. Aucune information sur le taux de rotation instantané n'est fournie par les systèmes en vue d'atteindre les 3°/s. À l'inverse, le PLI présenté sur le PFD durant la rotation ne présente qu'une valeur maximale d'assiette à ne pas dépasser pour éviter le risque de tailstrike.

Quand bien même cet écart aurait été détecté, il paraît peu réaliste qu'un pilote poursuive la rotation par l'application d'un ordre à cabrer plus important visant à atteindre les 3°/s pour les raisons suivantes :

- les ordres initiaux nécessaires pour atteindre un taux de rotation de 3°/s lors des vols de la certification et de l'incident grave étaient significativement supérieurs à 2/3 de débattement et très éloigné des pratiques habituelles ;
- le FCTM indique que le pilote doit éviter les corrections, notamment à cabrer, trop importantes ou rapides, particulièrement au moment de l'envol, en raison d'une augmentation sensible des risques de tailstrike dans ce cas.

Par ailleurs, l'ordre à cabrer initial typique recommandé par le FCTM de l'A340 est également différent de celui recommandé par le FCTM de l'A320 (avion sur lequel une majorité de pilotes d'Air France comme nombre d'autres opérateurs exploitant des A340 a acquis une expérience). Sur cette famille d'aéronef, l'application d'un ordre à cabrer initial de 1/3 à 1/2 de débattement (FCTM A320) permet d'obtenir le taux de rotation de 3°/s retenu en certification. L'analyse des performances au décollage réalisée par Air France sur les vols d'A320 ne fait pas apparaître de difficulté particulière pour les pilotes en exploitation pour appliquer une technique de rotation conforme aux indications du FCTM et permettant d'atteindre les performances certifiées.

Les analyses de vol réalisées par Lufthansa sur l'Airbus A330 et A340-600 montrent également que l'application de l'ordre initial « typique » mentionné par le FCTM permet d'atteindre un taux de rotation moyen en opérations plus élevé sur ces avions que sur l'A340-300.

## **2.3 Des performances au décollage en exploitation inférieures aux performances certifiées**

Deux opérateurs européens (Air France et Lufthansa) se sont coordonnés pour définir et analyser les paramètres FDM afin d'identifier les taux de rotation moyen de leurs équipages. Ils ont réalisé une étude sur les données de vol enregistrées d'environ 1 900 décollages d'Airbus A340-300 au départ de l'aéroport de Bogota et 750 décollages de tous les aéroports qu'ils desservent.

Ces deux opérateurs, aux taux de rotation moyens similaires, ont constaté une différence significative entre les performances de décollage théoriques et celles réalisées en exploitation sur tous les aéroports.

Cette différence résulte principalement d'une technique de rotation opérationnelle entraînant un taux de rotation moyen en exploitation notablement inférieur à celui retenu dans le modèle certifié de calcul des performances de l'aéronef.

Ils ont également constaté que la technique de rotation des équipages en exploitation correspondait en moyenne à une entrée initiale au manche légèrement inférieure à 2/3 de débattement arrière, atteint en une seconde et demi, soit une entrée initiale au manche proche de celle « *typique* » décrite dans la documentation opérationnelle (FCTM) du constructeur. Le taux de rotation moyen correspondant s'établit à 1,9 /s. Le PF lors de l'événement avait une moyenne légèrement inférieure à la moyenne des autres pilotes.

L'analyse conduite après l'événement a permis d'évaluer que près de 30 % des décollages de Bogota s'effectuaient ainsi dans les cinq cents derniers mètres de la piste. Par ailleurs, la variabilité des techniques de rotation des pilotes en opérations a induit des cas extrêmes dans lesquels le lever des roues est survenu dans les deux cents derniers mètres de la piste.

Sur des pistes limitatives telles que celles de Bogota, le risque que le lever des roues lors d'un décollage sur A340 ne survienne pas avant la fin de piste est donc significatif et les opérateurs ont identifié ce risque comme majeur en considérant sa fréquence et la gravité potentielle de ses conséquences.

## **2.4 Un écart entre les techniques de rotation appliquées en exploitations et celles prises en compte dans le modèle de performance certifié**

Une combinaison de plusieurs facteurs peut expliquer la différence constatée entre la technique de rotation nécessaire pour atteindre le taux de rotation retenu dans le modèle de performance certifié et la technique de rotation moyenne appliquée en exploitation.

Dans les premières années d'exploitation de l'aéronef, plusieurs tailstrikes se sont produits et le constructeur a réagi en amendant sa documentation opérationnelle afin de sensibiliser les pilotes à ce risque. Ce dernier est mentionné dans chacune des documentations opérationnelles (FCOM et FCTM) et fait l'objet de publications dédiées (Flight Crew Bulletins « *Avoiding tailstrikes* » et Flight Operation Briefing Note « *Avoiding tailstrikes* »). Ces documentations indiquent que les ordres à cabrer doivent être souples et qu'il faut éviter les ordres rapides et de grande amplitude juste avant le lever des roues, moment où la marge au tailstrike est minimale.

Le constructeur a également organisé des conférences avec les opérateurs et réalisé des présentations spécifiques sur ce même risque. Cette campagne de sensibilisation et les différentes mises à jour des documentations opérationnelles ont mis en exergue le risque de tailstrike au détriment du risque d'allongement des distances de décollage et ses conséquences. Ceci a pu influencer les pilotes dans leur technique de rotation, alors même que l'amplitude de l'ordre à cabrer à appliquer sur A340 pour atteindre les performances certifiées est particulièrement importante, par rapport à d'autres avions comme l'A320 ou l'A330.

Par ailleurs, des études scientifiques montrent également les limitations de la perception humaine pour discriminer des taux de rotation de 2°/s et de 3°/s, notamment en tout début de rotation. Au-delà de la capacité de discrimination, le délai pour déceler l'écart, déterminer l'ordre correctif à appliquer, l'appliquer et que l'aéronef réagisse<sup>(26)</sup> apparaissent comme autant de facteurs pouvant expliquer la différence entre la technique de rotation appliquée en opérations et celle nécessaire pour atteindre les performances certifiées.

## 2.5 Un écart entre les techniques de rotation publiées dans la documentation constructeur et celles prises en compte dans le modèle de performance certifiées.

L'enquête a montré que l'obtention d'un taux de rotation continu de 3.1°/s pris en compte dans le modèle de calcul de performance nécessitait, dans les conditions opérationnelles étudiées comme lors des vols de certification auxquel le BEA a pu avoir accès, une action à cabrer pendant la rotation de l'ordre de 75 à 80 % du débattement, plus agressive que celle décrite dans la documentation opérationnelle du constructeur (2/3 de débattement).

L'AC 25-7, qui est le document de référence pour la réalisation des essais en vol de certification de performance, indique que les procédures appliquées lors des essais en vol doivent pouvoir être exécutées de manière cohérente en service par des équipages de capacités standard et prendre en compte les retards dans l'exécution des procédures qui peuvent être raisonnablement attendus en service. L'écart entre les techniques de pilotage et les performances de rotation observées en service d'une part, et celles retenues lors de l'établissement des performances certifiées de l'A340 d'autre part, semble indiquer que cet objectif n'a pas été atteint.

L'AC 25-7 proscrit par ailleurs l'utilisation de capacités de pilotage exceptionnelles, comme un effort sur les commandes ou une cadence de rotation plus élevés que ce qui se produirait en service, pour générer des distances de décollage non réalistes. L'observation des profils d'ordre au manche appliqués lors des vols retenus pour l'établissement des performances certifiées et de la variabilité significative de ces profils, pourtant appliqués par des pilotes d'essais<sup>(27)</sup>, suggère que l'obtention du taux de rotation retenu par le modèle de performance certifié nécessite des techniques de pilotage particulières, et pose la question de la possibilité de faire appliquer ces techniques en exploitation de manière cohérente et en sécurité par des équipages de capacité standard.

<sup>(26)</sup>Il est mentionné dans le FCTM « l'A340-300 a une forte inertie et la rotation induite par un ordre à ca-brer nécessite un certain temps avant de débuter ».

<sup>(27)</sup>Voir figures 10 et 11 § 1.16.1.1.

## 2.6 Prise en compte des risques associés aux décollages longs

### Par le système de gestion de la sécurité par Air France

Non identifié, le risque lié à un faible taux de rotation lors du décollage sur piste limitative n'a pas été pris en considération dans l'analyse de risques réalisée par l'opérateur dans le cadre de l'ouverture de la ligne aérienne à destination de Bogota et plus généralement sur les pistes limitatives.

Ce risque n'a donc pas fait l'objet de sensibilisation ou d'information particulière auprès des équipages, ni dans les documentations opérationnelles de l'opérateur, ni dans le briefing avant décollage (TEM).

Avant l'événement du 11 mars 2017, la base de données des comptes rendus des pilotes de l'opérateur, et celles des autorités ne comportaient aucune mention de décollage long. Paradoxalement, des témoignages informels d'équipages, exprimés après l'incident grave, indiquent majoritairement qu'ils avaient conscience que les décollages de Bogota en A340-300 étaient particulièrement longs. Il est possible que les équipages aient interprété que cette situation était liée aux performances de décollage de l'A340 à Bogota, notamment à l'inertie de l'avion mentionnée au FCTM, et non à leur technique de rotation. Ceci pourrait expliquer l'absence d'ASR des pilotes.

Avant 2017, le programme d'analyse systématique des paramètres de vol enregistrés (FDM) de l'opérateur ne comportait pas de métriques liées aux décollages longs sur A340. Il lui était donc impossible d'identifier les risques inhérents aux décollages longs. Cependant, l'opérateur était dans la phase finale de développement d'une procédure de surveillance de ce risque. Cette procédure était en phase de test et validation sur les différentes flottes de l'opérateur à l'exception de la flotte d'Airbus A340.

En l'absence de compte rendu équipage et de programme d'analyse des vols associé aux décollages longs, l'opérateur n'a pas été en mesure de prendre ce risque en considération avant l'incident grave du 11 mars 2017.

### Par le groupe de travail EOFDM sur l'amélioration de l'analyse des données de vol

Depuis 2012, l'AESA, a mis en place le groupe de travail EOFDM dont l'objectif était de faciliter la mise en œuvre de la surveillance des données de vol (FDM) par les opérateurs. Ce groupe a recommandé notamment la surveillance de paramètres simples permettant de détecter des décollages longs (distance de lever des roues au seuil de piste opposé).

Si ce type de paramètres ne permet pas d'identifier la cause des décollages longs et par conséquent est insufisant pour une analyse précise, il a néanmoins l'avantage d'alerter l'opérateur qui doit alors réglementairement le signaler à son autorité compétente.

L'absence de compte rendu de décollage longs de la part de l'ensemble des opérateurs européens d'A340 semble indiquer qu'aucun d'eux n'avait mis en place ce type d'indicateur dans son analyse des vols.

Le groupe EOFDM a par la suite publié en mai 2014 un document regroupant des études sur les précurseurs potentiels qui pourraient entraîner des risques de sortie de piste lors du décollage ou de l'atterrissement. Il était notamment recommandé de développer des indicateurs pour détecter des rotations lentes. Ce document ne fournissait aucune information précise sur le type de paramètres ou sur la méthode à suivre pour développer ces indicateurs.

En avril 2017, le groupe OEFDM publiait un document détaillant plus précisément comment parvenir à développer ces indicateurs. Il recommandait de surveiller le temps de rotation et les distances de décollage. Néanmoins, ce document expliquait que la surveillance de ces paramètres n'avait pas encore atteint un degré de maturité suffisant pour être fiable.

Les productions de ce groupe de travail (publications, présentations, résultats d'études et recommandations) n'ont pas de valeur réglementaires et demeurent donc des recommandations de bonnes pratiques.

### **Par le suivi par Airbus de l'exploitation de la flotte A340-300**

L'enquête a montré que le constructeur avait connaissance du fait que le taux de rotation moyen en opérations était inférieur au taux de rotation de référence utilisé dans le logiciel de performance permettant de calculer les distances de décollage. Le constructeur a en effet communiqué sur les risques de tailstrike et de décollages longs dans des documents ou présentations réalisés au début des années 2000 dans lesquels apparaissent les taux de rotation moyens réalisés par les opérateurs. Ces documents mentionnent des taux de rotation moyens identiques à ceux observés par les opérateurs Air France et Lufthansa dans leurs travaux d'analyse des vols associés à l'enquête. Cependant ces documents ne soulignaient pas l'impact sur les performances au décollage de ces écarts de taux de rotation.

Lors des mises à jour successives de la documentation opérationnelle du constructeur, les informations relatives au risque de tailstrike ont été mises en exergue au détriment de celles relatives au risque de décollage long.

Le constructeur a expliqué aux enquêteurs que le risque de tailstrike a significativement diminué depuis l'introduction des nouvelles lois de rotations. Il n'a pas communiqué sur ces nouvelles lois de commande de vol auprès des opérateurs.

### **2.7 Formation, entraînement et contrôles à la technique de rotation**

Lors de la formation initiale en vue de l'obtention de la qualification de type, l'élève pilote est formé à appliquer les procédures décrites notamment dans le FCTM.

Les entraînements récurrents, les contrôles en simulateurs et en vol ont pour objectif de s'assurer que cette technique est acquise et mise en application de manière répétitive.

L'enquête a montré que les ordres au manche initiaux appliqués en moyenne en opérations par les pilotes d'A340 d'Air France et Lufthansa étaient légèrement inférieurs à ceux préconisés dans le FCTM et que leur dispersion conduisait à des situations de décollage avec un taux de rotation continu moyen de 1.8°/s, les valeurs extrêmes étant de 1°/s et 3°/s.

En l'absence de conscience et de surveillance du risque de décollage long les entraînements et contrôles n'ont pas permis d'identifier que l'application de cette technique de rotation ne permettait pas d'atteindre le taux de rotation de 3°/s requis par l'AFM.

### 3 - CONCLUSIONS

#### 3.1 Faits établis par l'enquête

- Le F-GLZU avait un certificat de navigabilité en état de validité.
- La documentation de maintenance ne faisait pas apparaître de panne de systèmes incompatible avec le vol prévu.
- L'examen des données de vol enregistrées dans le QAR n'a pas mis en évidence de panne ou d'anomalie susceptible d'avoir contribué à l'incident grave.
- La masse et le centrage étaient dans les limites définies par le constructeur.
- Dans les conditions du jour, les performances au décollage certifiées du F-GLZU permettaient le décollage en piste 13R dans le respect des distances réglementaires.
- L'équipage détenait les licences et qualifications nécessaires pour effectuer le vol
- L'alignement de l'avion sur la piste a été réalisé en 45 m, soit 23 m de plus que la distance d'alignement définie par Air France dans son outil de calcul des performances de l'Airbus A340-300.
- Le lever des roues a été réalisé 140 m avant le seuil de piste opposé.
- La distance de décollage (TOD) a été réalisée en 4 305 m depuis le lâcher des freins soit 987 m de plus que la TOD théorique déterminée par le modèle de performance certifié et 424 m de plus que la TOD théorique augmentée des marges de sécurité réglementaires.
- L'antenne du localizer en extrémité de piste a été survolée à une hauteur de 12 ft.
- Le principal facteur contributif à ces allongements réside dans la technique de rotation appliquée, significativement différente de celle recommandée par les procédures Airbus.
- La technique de rotation réalisée par le pilote en fonction (PF) le jour de l'incident grave était également différente (amplitudes inférieures des ordres à cabrer) de la technique de rotation moyenne réalisée en exploitation par ce pilote comme par l'ensemble des pilotes.
- Dans les conditions de l'événement, les ordres au manche nécessaires à l'obtention d'une TOD similaire à celle du modèle certifié (qui nécessite une rotation à 3°/s) correspondent à des ordres initiaux au manche dont l'amplitude et la durée d'application diffèrent significativement de la technique enseignée depuis la mise en service de l'aéronef qui s'appuie sur l'ordre initial « typique » de 2/3 mentionné dans le FCTM, puisqu'une déflexion initiale de près de 80 % en 0,5 s aurait été requise.
- L'application d'une déflexion initiale limitée à 2/3, dans les conditions de l'événement, aurait conduit à rallonger la TOD de 378 m par rapport au modèle certifié, soit une réduction d'environ 67 % de la marge réglementaire exigée en opérations dans les conditions du jour.
- L'enquête a montré que l'application des ordres initiaux « typiques » mentionnés dans les FCTM des A318/A319/A320/A321, A330, A340-600 et A380 permettait en exploitation d'atteindre ou d'approcher des taux de rotations similaires à ceux retenus dans les modèles de performances certifiés de ces aéronefs.
- À l'inverse des A330, A380 et de la famille A320, le taux moyen de rotation atteint en opérations sur l'A340-300 est inférieur à celui retenu dans le modèle de performance certifié. Ceci conduit à un allongement moyen des TOD d'environ 300 m.

- Le service d'analyse d'Air France n'avait pas mis en place d'indicateurs de performance au décollage sur la flotte A340 avant l'événement.
- Les paramètres de vol enregistrés à la disposition des opérateurs ne sont pas adéquats pour permettre aux opérateurs d'effectuer une analyse systématique et déterminer avec précision les performances au décollage, notamment le calcul du taux de rotation, pour le comparer aux performances certifiées de l'avion.
- Les analyses de vol d'Air France et de Lufthansa sur 2 300 décollages à Bogota montrent que la technique de rotation des équipages en opérations conduit à des moyennes de taux de rotation continu similaires et insuffisants pour atteindre les performances certifiées de l'avion.

### 3.2 Causes de l'incident grave

L'incident grave résulte d'ordres à cabrer inadéquats du PF qui ont allongé la TOD de 424 m par rapport celle théorique certifiée augmentée des marges de sécurité réglementaires dans les conditions opérationnelles du jour. Ceci a eu pour conséquence d'augmenter significativement le risque de sortie longitudinale de piste ou de collision avec des obstacles.

L'enquête a montré que l'ordre à cabrer du PF lors de la rotation de l'événement, se situait à la limite inférieure des valeurs observées en opérations dans plusieurs compagnies exploitant des A340-300. Il était inférieur à l'ordre à cabrer préconisé dans le FCTM en vigueur au moment de l'événement.

Dans les conditions de l'incident grave, l'application d'un ordre à cabrer initial d'une amplitude typique de 2/3 de débattement telle que mentionnée par le FCTM puis maintenu à cette valeur de débattement ne permettait pas d'atteindre le taux de rotation de 3°/s mentionné dans le même document et retenu dans le modèle de performance certifié établi à l'issue de la phase d'essais en vol de certification.

Aucun processus de traitement des données de vol ne visait à surveiller les décollages longs au moment de l'événement et aucune notification de performance au décollage insuffisante n'avait été faite par les équipages européens sur A340-300 à la date de l'événement.

## 4 - ACTIONS DE SÉCURITÉ ENTREPRISES DEPUIS L'INCIDENT GRAVE DU 11 MARS 2017

### 4.1 Actions Air France

Après l'incident grave, Air France a mis en place différentes mesures conservatoires.

- 11 avril 2017 : retrait du F-GLZU de la ligne Roissy-CDG - Bogota puis retrait du F-GLZU pour contrôle et vérification technique des éléments pouvant affecter ses performances, notamment sur le fonctionnement des moteurs. Les résultats de ces contrôles étaient conformes aux préconisations du constructeur.
- 14 avril 2017 : Mise en place de la procédure de décollage suivante à Bogota
  - mise en poussée 50 % sur freins
  - décollage pleine poussée TOGA
  - réduction fictive de piste longueur de piste pour la détermination des paramètres et limitations de décollage de 200 m.

Cette réduction fictive de piste de 200 m a été calculée afin de prendre en compte le cas le plus critique identifié (incident grave du 11 mars) et s'assurer du respect des marges réglementaires lors du décollage dans ces conditions. Cette réduction a été ensuite majorée à 380 m afin de prendre en compte la survenue d'une panne moteur.

- 1<sup>er</sup> juillet 2017 : mise à jour de la mesure conservatoire et application à tous les aéroports desservis par l'A340
  - mise en poussée 50 % sur freins, puis pleine poussée TOGA.
  - majoration de 30 m de toutes les distances d'alignement
  - majoration de la marge de 15 % sur la distance TOR N moteurs à 20 %, et création d'une marge de 15 % sur la distance TOR (N-1) moteurs, sur tous les décollages en A340, sur tous les terrains
  - demande aux équipages de prendre en compte pour les calculs de performance de décollage la valeur de vent la plus pénalisante des deux seuils, au plus tard à l'alignement.

En terme d'exploitation, cette mesure conservatoire entraîne une diminution de la charge offerte (environ 6.5 t en moyenne).

Lors du processus de détermination de la réduction de longueur de piste, Air France s'est adressé respectivement à Airbus, à la DSAC puis à l'AESA.

Airbus a validé les calculs mais n'a pas souhaité se prononcer sur la nécessité de ces mesures opérationnelles basées sur le cas le plus critique.

La DSAC et l'AESA ont indiqué à Air France que la validation des mesures conservatoires ne faisait pas partie de leurs prérogatives<sup>(28)</sup>.

- Air France a également mis en place une formation spécifique à la technique de rotation sur A340.

Les objectifs de cette formation sont de :

- sensibiliser les équipages aux bonnes pratiques énoncées dans le FCTM (débattement initial « typique » à cabrer de 2/3 de manche) ;
- améliorer le taux de rotation global des pilotes ;
- réduire la variabilité des taux de rotation ;
- renforcer la connaissance des risques liés à une technique de rotation non standard (tailstrike ou déficit de performance).

<sup>(28)</sup> Un opérateur est tenu de traiter les risques de sécurité par le biais de ses processus d'identification des dangers et de gestion des risques. Dans le cas de la mise en place d'une mesure d'atténuation des risques dans le domaine de la performance au décollage (CAT.POL.A.205), l'approbation préalable de l'autorité compétente (DSAC) n'est pas nécessaire. L'exploitant avise l'autorité de la mesure en soumettant l'amendement correspondant à son manuel d'exploitation, partie B, conformément à la procédure approuvée pour les « modifications ne nécessitant pas d'approbation préalable » [(ORO.GEN.130 (c))]. L'autorité compétente (DSAC) évalue les informations fournies dans la notification [(ARO.GEN.330 (c))] et vérifie le respect des exigences de performance applicables. Aucune validation de l'AESA n'est nécessaire car ce n'est pas l'autorité compétente de l'opérateur.

La DSAC a validé le processus de formation des équipages et a demandé à Air France un suivi systématique des résultats constatés en opérations.

En octobre 2017, l'ensemble des équipages d'A340 d'Air France a suivi la formation sur la technique de rotation. Les premiers résultats de l'analyse des vols (environ 600 vols) montrent que les équipages ont modifié leur technique de rotation ce qui a eu pour effet d'augmenter le taux de rotation moyen (de 1.8°/s à 2.2°/s) et de diminuer la durée de rotation.

La mise en place des mesures conservatoires et la formation ont permis de réduire en moyenne les distances de décollage qui demeurent cependant supérieures à celles du modèle théorique (AFM).

### Briefing

Le briefing reprend notamment les éléments du TEM, fait un rappel des connaissances, détaille l'initiation de la rotation, le pilotage du taux de rotation et termine par les points clefs suivants :

- à VR, input rapide et « soutenu » vers 2/3 de débattement à cabrer conformément à la version en vigueur du FCTM à la date de l'incident grave ;
- les références extérieures doivent être utilisées en priorité lors de la phase initiale ;
- pas d'accélération du taux de rotation au voisinage du lever des roues ;
- corrections au manche souples et adaptées, en latéral le manche doit rester proche du neutre.

La séance de simulateur dure environ une heure et permet à chaque stagiaire d'effectuer deux décollages.

### Débriefing

Les simulateurs n'enregistrent pas d'information spécifique liée au décollage, à la différence des atterrissages. Dans le cadre de la mise en place de la formation sur la technique de rotation, Air France a donc développé une représentation des différents paramètres utiles. Ne pouvant pas les conserver ou les imprimer, les instructeurs figent donc le simulateur et photographient les courbes présentées afin de les utiliser lors du débriefing. L'instructeur dispose alors d'une image qui comprend : la vitesse sol (Ground speed), l'altitude radio sonde (RA), les actions OPL (F/O pitch control) et CdB (Captain pitch control), le taux de rotation (pitch rate) et l'assiette (pitch attitude). L'échelle de ces courbes n'est pas modifiable et ne permet pas d'effectuer une analyse fine. Un débriefing « à chaud » est effectué après chaque décollage.

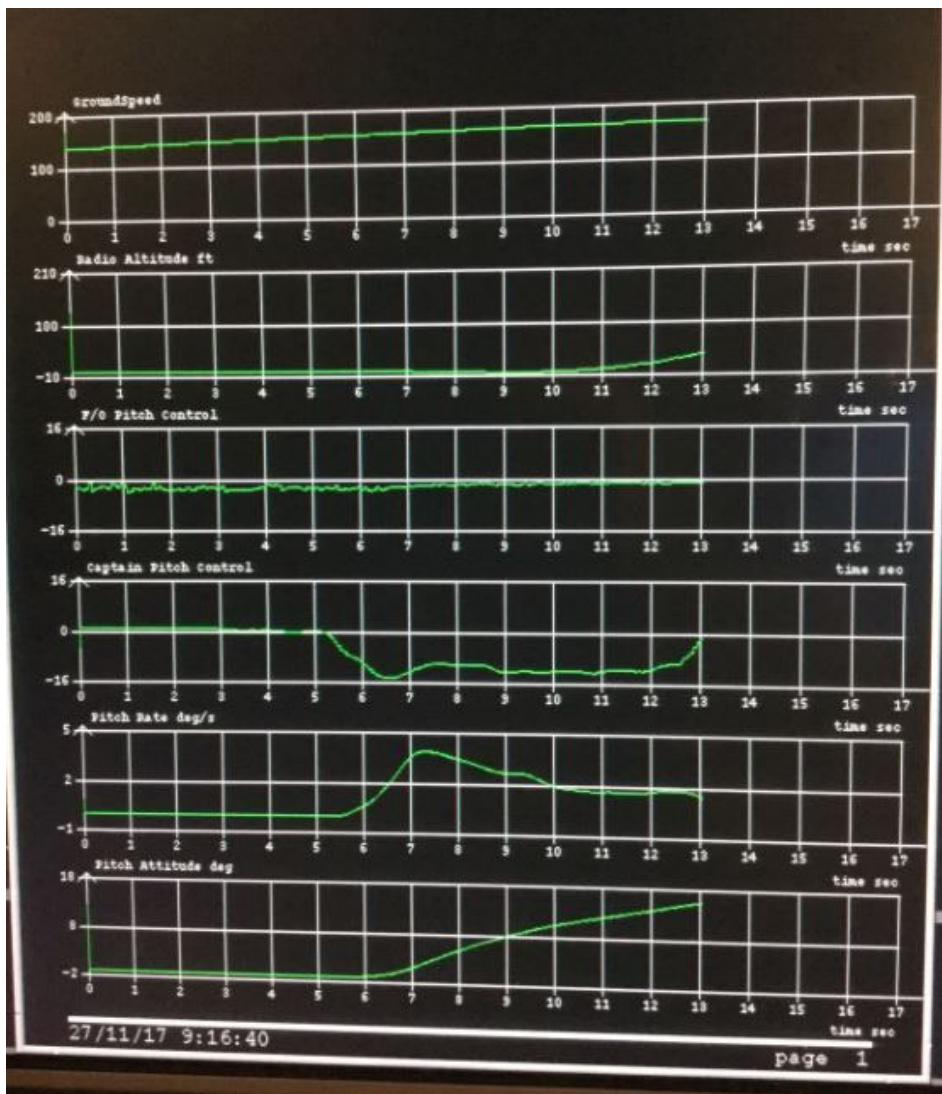


Figure 29 : exemple de photo des courbes disponibles sur le simulateur

Afin de pouvoir fournir des informations spécifiques sur leurs techniques de rotation aux pilotes qui le souhaitent au retour d'un vol, Air France a mis en place un processus simplifié permettant au service d'analyse des vols de fournir rapidement les mêmes informations sur simple demande des pilotes via la rédaction d'un compte rendu de vol<sup>(29)</sup>.

<sup>(29)</sup>Pilot report.

Air France a également mis en place et amélioré sa procédure d'analyse des vols qui comporte dorénavant une dizaine de métriques spécifiques lui permettant d'identifier et d'évaluer le risque de décollage long.

#### 4.2 Actions Lufthansa

Lufthansa a également mis en place une mesure conservatoire qui consiste à introduire une réduction fictive de la longueur de piste disponible de 280 m pour les calculs de performance de tous les décollages en A340-300 de Bogota.

Depuis plusieurs années, Lufthansa prête une attention particulière à l'entraînement de ses équipages à la technique de rotation sur A340. Lufthansa n'a cependant pas souhaité conduire d'action de formation visant à modifier la technique de décollage des pilotes en exploitation afin de ne pas s'exposer à un risque accru de tailstrike.

### 4.3 Actions AESA

Le 27 novembre 2017, l'AESA a publié<sup>(30)</sup> un bulletin d'information de sécurité<sup>(31)</sup>.

<sup>(30)</sup><https://ad.easa.europa.eu/ad/2017-2>

Ce document informe les opérateurs, le constructeur, les organismes de formation (ATOs) et les autorités de l'incident grave du 11 mars 2017 et du risque associé au décollage long sur avions quadrimoteurs. L'incident est désidentifié et ne précise pas le type d'avion.

<sup>(31)</sup>SIB n°2017-20  
« Slow Rotation Take-off », voir annexe 3.

Il indique que le facteur le plus contributif à l'allongement de la distance de décollage résulte de la technique de rotation de l'équipage qui a entraîné un taux de rotation faible. L'AESA indique qu'il est essentiel d'appliquer les procédures recommandées par le constructeur afin de s'assurer que l'aéronef atteindra les performances établies lors de la certification. L'AESA ne traite pas dans ce document l'éventualité que les procédures recommandées par le constructeur ne soient pas praticables en sécurité et de façon reproductible en opérations normales ou ne permettent pas d'atteindre les performances établies lors de la certification.

L'AESA recommande alors aux opérateurs de quadrimoteurs d'identifier, d'évaluer et de prendre les mesures adéquates afin de limiter ce risque.

L'AESA demande également aux autorités de tutelle, de s'assurer que les opérateurs dont elles ont la charge de la surveillance prennent bien ce risque en considération. Dans l'hypothèse où un opérateur serait confronté à ce risque, l'AESA préconise la mise en place d'un entraînement à la technique de rotation fondée sur les documentations opérationnelles du constructeur. L'AESA ajoute que l'opérateur doit également veiller à ce que les mesures mises en place n'introduiront pas de nouveaux risques tel que le tailstrike par exemple.

### 4.4 Actions Airbus

#### 4.4.1 Mise à jour de la documentation opérationnelle

Le 13 décembre 2017, Airbus a diffusé une information<sup>(32)</sup> à l'attention des opérateurs et des ATOs.

<sup>(32)</sup>Operations Training Transmission OTT Réf. 999.0109/17  
A340 ROTATION TECHNIQUE, voir annexe 4.

Cette information est applicable aux Airbus A340 et permet de diffuser les recommandations qu'Airbus fournira dans le chapitre « *Rotation Technique* » du FCTM amendé. Cette information a également pour objectif d'inciter les instructeurs à surveiller et corriger le cas échéant la technique de rotation des pilotes lors des entraînements initiaux et récurrents (QT ou CCQ).

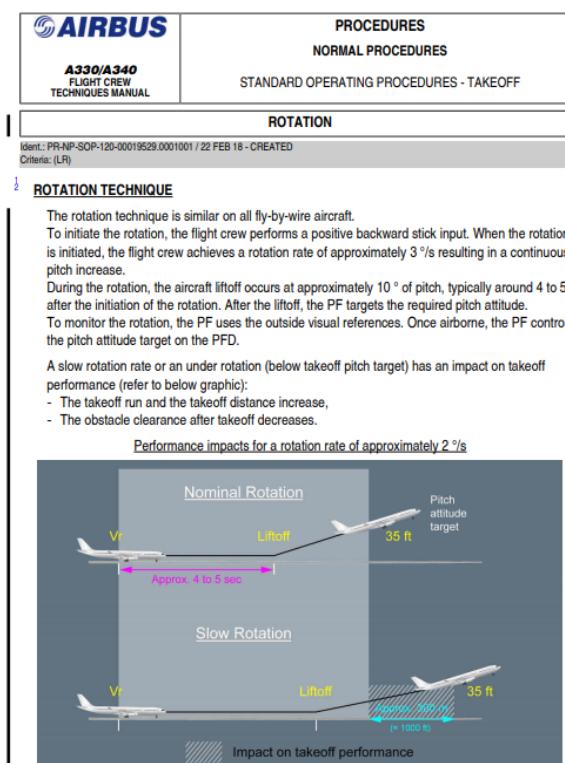
Le 11 mars 2018, Airbus a informé le BEA de la mise à jour de la documentation opérationnelle du FCTM. La consigne d'un ordre à cabrer initial « *typique* » de 2/3 de débattement du mini-manche est retirée des recommandations fournies dans le chapitre « *Rotation Technique* » et les équipages sont informés des conséquences d'un taux de rotation lent.

La documentation ne contient aucune consigne chiffrée relative à la valeur de l'ordre à appliquer au minimanche, ni aucune indication qualitative sur l'ampleur de l'ordre à cabrer à appliquer sur A340. La documentation indique dorénavant que la durée typique entre l'initiation de la rotation et le lever des roues (qui survient à environ 10° d'assiette) doit être de quatre à cinq secondes.

Airbus a également mis à jour de la même manière tous les FCTMs des autres types d'aéronefs (famille A320 et A380). Ces révisions des FCTMs sont entrées en vigueur en mars 2018.

Airbus a expliqué aux enquêteurs que, comme pour tout avion en loi directe au décollage, il n'y a pas d'entrée manche unique permettant de viser un objectif en taux de rotation quelles que soient les conditions opérationnelles. L'entrée manche doit donc forcément être adaptée aux conditions du jour. Airbus ajoute que l'enseignement tiré de l'analyse de cet incident grave démontre que le fait d'avoir indiqué une valeur « typique » pour l'entrée manche initiale a eu pour effet de faire basculer dans les esprits des pilotes l'objectif de la technique vers une entrée manche calibrée en occultant le véritable objectif de cette technique à savoir un taux de rotation (piloté en fonction des conditions du jour).

Basé sur ces deux constats il est apparu préférable pour Airbus de ne plus donner d'indication quant à l'entrée manche initiale à appliquer mais de fournir une indication caractérisant uniquement le taux de rotation continu et le temps de rotation.



AIB  
FCTM

C

PR-NP-SOP-120 P 3/12  
22 FEB 18

Source : Airbus

Figure 30 : extrait de la mise à jour du FCTM

Airbus n'a pas apporté de complément sur l'évolution du risque de tailstrike si l'effort des exploitants visait à standardiser des ordres initiaux aux manche pour atteindre le taux de rotation de 3°/s.

## 5- RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

### 5.1 Certification des performances au décollage de l'Airbus A340-300

La réglementation de certification en vigueur au moment de la détermination des performances au décollage de l'Airbus A340-300 indiquait que l'obtention de ces dernières ne devait pas requérir de la part des pilotes d'habileté ou de vigilance exceptionnelle. Le fondement de ces exigences était, et demeure encore aujourd'hui, d'établir des performances qui soient représentatives de ce qui peut être raisonnablement atteint en service par des équipages de capacité standard.

Les procédures à appliquer devaient également pouvoir être exécutées de manière répétitive et prendre en compte les retards éventuels dans leur exécution. Dans le cas des performances au décollage, les exigences proscrivaient notamment la nécessité d'appliquer un effort sur les commandes ou une cadence de rotation plus élevés que ce qui se produirait en service et pourrait générer des distances de décollage non réalistes.

Les analyses de vol de deux exploitants majeurs européens indiquent que le taux de rotation continu moyen atteint en opérations sur A340-300 est de 2°/s environ, significativement inférieur au taux de rotation de 3°/s utilisé dans les calculs de performance au décollage certifiés. Ceci se traduit par des distances de décollage (TOD) moyennes supérieures aux TOD établies lors de la certification. Il résulte de cette situation, un risque de sortie longitudinale de piste ou de collision avec des obstacles lors de la montée initiale.

Le principe fondamental « *de performances représentatives de ce qui peut être raisonnablement attendu en service* » peut donc être questionné dans le cas précis des performances au décollage de l'A340-300. Dans les vols d'essai réalisés lors de la campagne de certification ainsi que dans les résultats des calculs faits rétrospectivement dans les conditions de l'événement, un ordre à cabrer de débattement inhabituellement élevé était en effet requis pour obtenir les performances certifiées.

Cet ordre à cabrer était significativement différent de la technique « *typique* » mentionnée dans le Flight Crew Techniques Manual (FCTM) de l'A340 au moment de l'événement alors que l'application des techniques « *typiques* » mentionnées dans les FCTMs d'autres avions de la famille Airbus permettaient d'atteindre les performances certifiées.

En mars 2018, Airbus a modifié le FCTM de l'A340 puis ceux des autres types d'aéronefs. Cette révision rappelle le taux de rotation à obtenir pour respecter les performances certifiées (3°/s) et préconise aux équipages de respecter une durée de quatre à cinq secondes entre l'ordre initial à cabrer et le lever des roues. Il n'est plus fourni d'indication sur la technique de pilotage qui permettrait d'atteindre les performances certifiées, de façon reproductible et en sécurité. En particulier aucune indication n'est fournie sur l'ordre initial « *typique* » à appliquer pour atteindre le taux de rotation attendu, alors que l'enquête a montré que l'ordre à cabrer à appliquer est d'une amplitude inhabituellement élevée par rapport à d'autres aéronefs. Il appartient dès lors aux opérateurs de mettre en place les actions d'entraînement nécessaires pour atteindre cet objectif. L'effet d'une variabilité de 2 à 3°/s a également été requantifié : d'un impact minime initialement, il est maintenant chiffré à 300 m d'allongement de la distance de décollage. Cela induit une sensibilité accrue à la variabilité inévitable de la technique de rotation en opérations qui n'avait pas été prise en compte au moment de la certification.

Considérant cette variabilité en service, les deux opérateurs Air France et Lufthansa associés à l'enquête ont choisi de ne pas appeler leurs équipages au respect strict d'un taux de rotation de 3°/s en raison de l'amplitude de débattement requise qui peut induire une augmentation du risque de tailstrike, ainsi qu'une difficulté à réaliser la manœuvre requise de façon reproductible, quelles que soient les conditions de vol. Cette décision de deux opérateurs ayant une expérience importante de l'exploitation de l'A340-300, et l'observation de la variabilité des profils d'ordre au manche appliqués lors des vols retenus pour l'établissement des performances certifiées, pourtant appliqués par des pilotes d'essais, suggère que l'obtention du taux de rotation retenu par le modèle de performance certifié nécessite des techniques de pilotage particulières, et pose la question de la possibilité de faire appliquer ces techniques en exploitation de manière cohérente et en sécurité par des équipages de capacité standard.

Airbus indique que les protections additionnelles (« *Feedforward Orderer et Electronic Tail Bumper* » introduites en 2008 permettent de limiter ce risque et facilitent l'exécution « *systématique* » d'un décollage permettant d'atteindre les performances certifiées.

Les écarts constatés entre les performances au décollage certifiées et celles atteintes en opérations imposent une communication claire sur la nature du changement à opérer si une technique de pilotage différente de la pratique moyenne actuelle devait être retenue.

En conséquence, le BEA recommande que l'AESA, en coordination avec Airbus :

- **réexamine la validité des hypothèses de certification initiales des performances au décollage de l'A340-300.**
  - **[Recommandation FRAN2019-020]**
- **prenne les mesures nécessaires pour rétablir la cohérence entre les performances de décollage en opérations et celles établies lors de la certification sur Airbus A340-300.**
  - **[Recommandation FRAN2019-021]**
- **en relation avec les autres autorités de certification primaire, étudie si d'autres types d'aéronefs CS-25 sont affectés par ce type d'écart de performance et prenne les mesures correctives éventuellement nécessaires.**
  - **[Recommandation FRAN2019-022]**

## **5.2 Gestion des risques liés au décollage long : diminution de la variabilité dans la technique de rotation des équipages et adoption de mesures limitatives**

Le bulletin d'information de sécurité (SIB) publié par l'AESA en novembre 2017 expose la nécessité pour chaque opérateur d'identifier, évaluer et prendre les mesures adéquates afin de limiter le risque associé au décollage long. Il est notamment recommandé aux opérateurs et aux organismes de formation d'implémenter une formation spécifique sur la technique de rotation tout en considérant l'introduction de risques additionnels tels que le tail strike.

Air France a mis en place un entraînement spécifique visant à informer les pilotes des risques liés au faible taux de rotation et les entraîner à appliquer un ordre initial d'au moins 2/3 de débattement. Cette mesure a eu pour effet de réduire la variabilité observée dans la technique de rotation des pilotes et permis d'atteindre un taux de rotation continu moyen en exploitation d'environ 2,2°/s.

Des mesures de sécurité supplémentaires prises par Air France et Lufthansa – réduction fictive des longueurs de piste notamment – permettent de rétablir des marges suffisantes vis-à-vis des distances de décollages, au détriment néanmoins de la charge transportée, pour tenir compte d'un objectif de taux de rotation continu en opérations différent de celui retenu lors de la certification de l'A340-300. Ces mesures ont montré leur efficacité du moment qu'elles visent à systématiser une pratique au sein des équipages.

Cependant, l'ensemble des opérateurs d'Airbus A340-300 n'a pas forcément pris la mesure de l'impact de la variabilité de la technique de rotation de leurs équipages sur leur gestion des risques liés aux décollages longs.

En conséquence, le BEA recommande que, dans l'attente que des mesures soient prises pour rétablir la cohérence entre les performances atteintes en opérations et celles établies par la certification, l'AESA en coordination avec les autorités nationales de surveillance :

- impose aux opérateurs exploitant des A340-300 la mise en place de mesures de sécurité permettant de réduire la variabilité observée dans la technique de rotation des pilotes.  
■ [Recommandation FRAN2019-023]
- impose aux opérateurs exploitant des A340-300 la mise en place de mesures de sécurité permettant de rétablir des marges suffisantes sur les distances de décollage en comparant l'écart éventuels entre les performances au décollage atteintes en opérations et celles établies lors de la certification.  
■ [Recommandation FRAN2019-024]

### **5.3 Utilisation des données d'analyse de vol par les autorités de suivi de navigabilité**

Le nombre important d'années qui s'est écoulé entre la mise en service de l'A340-300 et l'identification de l'écart entre les performances au décollage certifiées et celles atteintes en situation opérations démontre que les opérateurs et le constructeur n'avaient pas pleinement pris conscience de l'impact de cet écart sur la sécurité des opérations avant l'incident grave du 11 mars 2017. Le groupe EOFDM recommandait pourtant dès 2012 aux opérateurs de mettre en place la surveillance de paramètres simples permettant de détecter des décollages longs.

L'enquête a montré l'intérêt pour une autorité de pouvoir disposer d'informations de données de vol basées sur l'analyse commune d'un nombre significatif de vols effectués par plusieurs exploitants.

En conséquence, le BEA recommande que l'AESA en coordination avec les autorités nationales de surveillance :

- **s'assure que les opérateurs européens implémentent dans leurs programmes d'analyse de vols, les indicateurs nécessaires à la surveillance des performances au décollage et à tout le moins des décollages longs.**
  - **[Recommandation FRAN2019-025]**
- **recueille et analyse les résultats de cette surveillance pour établir un bilan sur la situation réelle en opérations.**
  - **[Recommandation FRAN2019-026]**

## **ANNEXES**

### **Annexe 1**

**Courbes des paramètres de vol issues de l'exploitation du DAR**

### **Annexe 2**

**Difficultés rencontrées pour l'exploitation des données DAR**

### **Annexe 3**

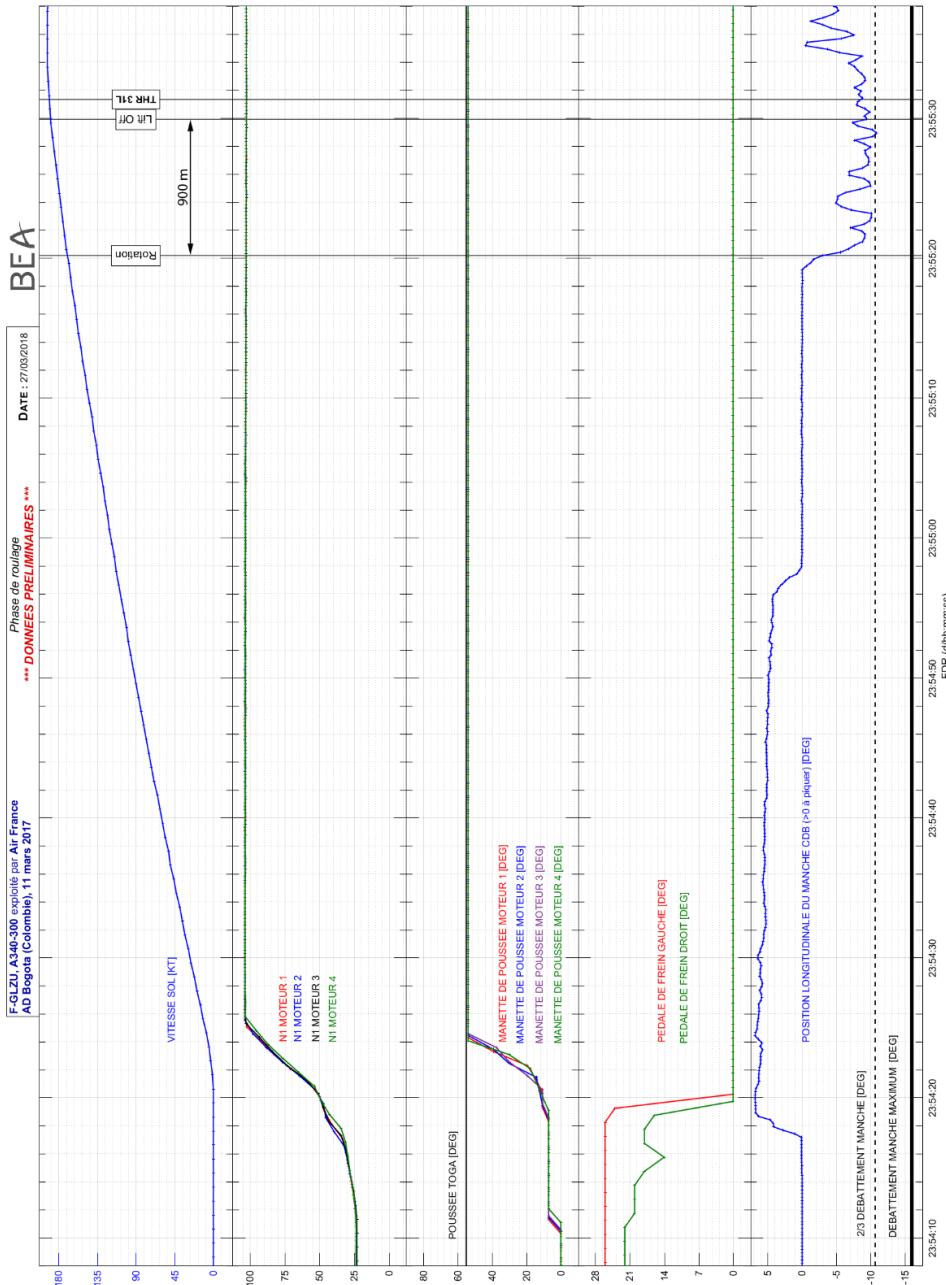
**Safety Information Bulletin n°2017-20 publié le 27 Novembre 2017**

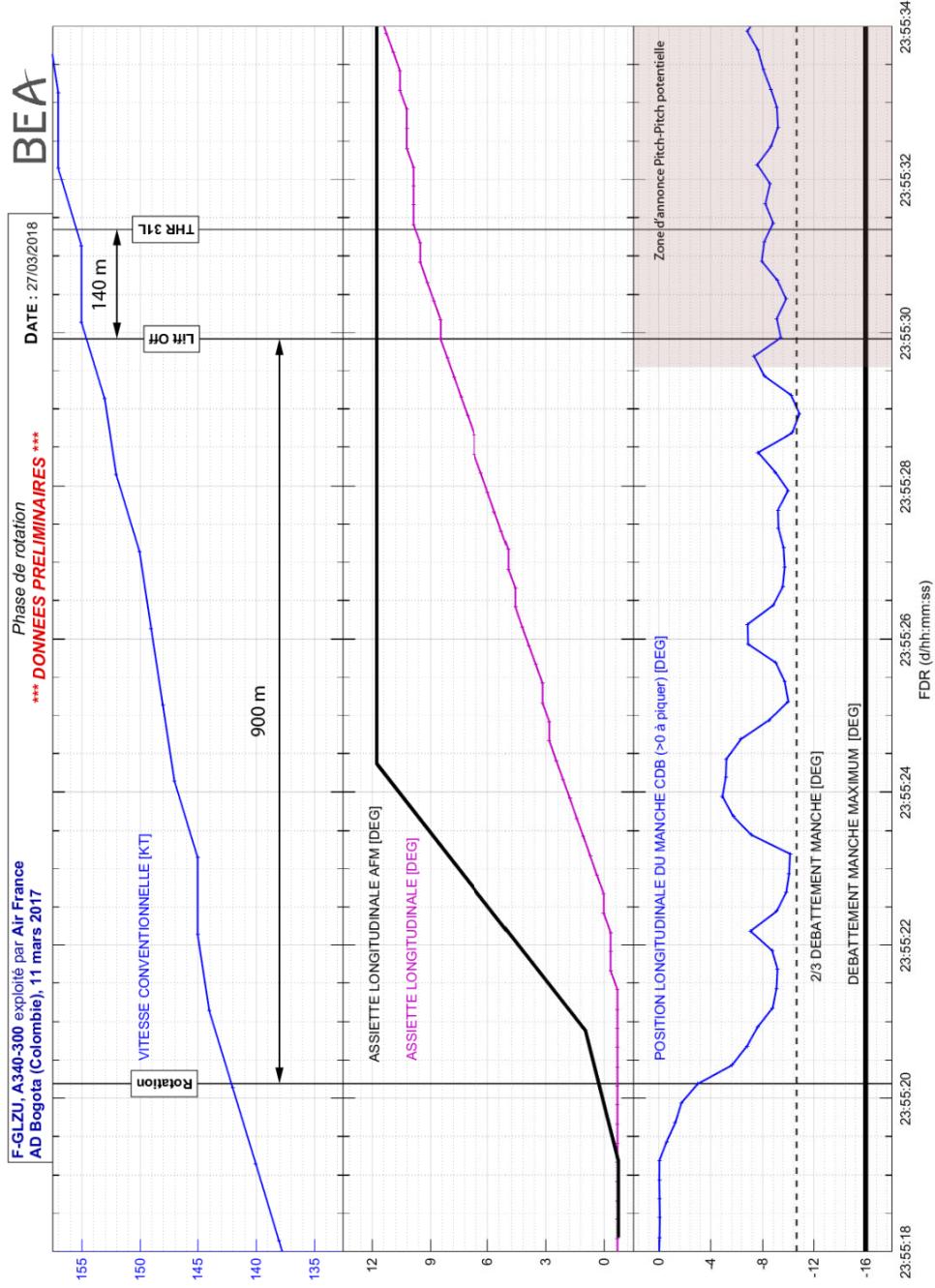
### **Annexe 4**

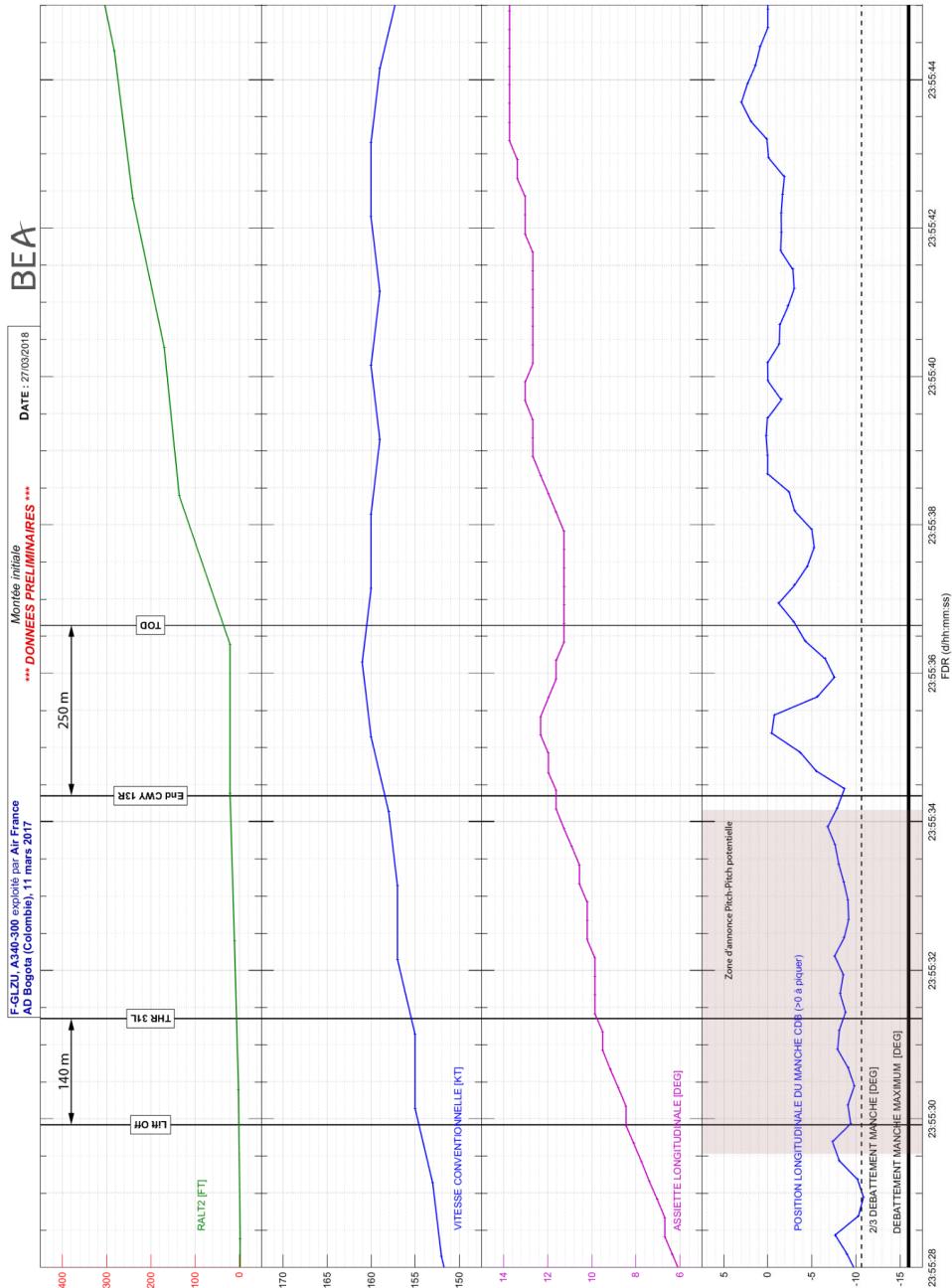
**Safety Information Bulletin n°2017-20 publié le 27 Novembre 2017**

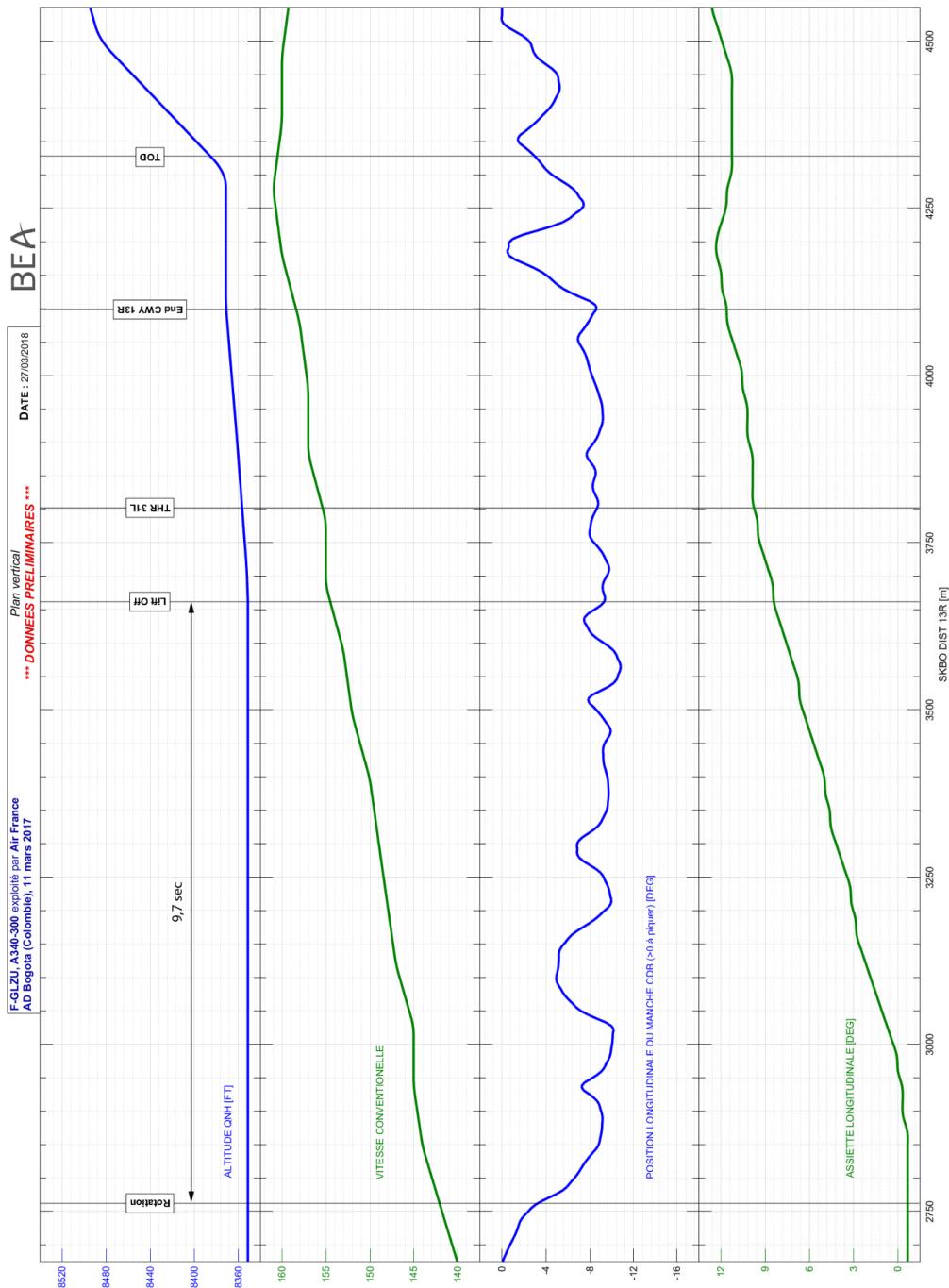
## Annexe 1

### Courbes des paramètres de vol issues de l'exploitation du DAR









## Annexe 2

### Difficultés rencontrées pour l'exploitation des données DAR

#### Paramètres de compression des trains

Le DAR enregistre sept paramètres concernant la compression des trains. Ces paramètres sont issus de deux calculateurs différents, le BSCU et le FWC.

Lors du décollage de l'événement, il a été constaté un écart de plus de huit secondes, qui n'a pas pu être expliqué par Airbus, entre la décompression du train principal droit vue par le BSCU et celle vue par le FWC.

	BSCU	FWC
<b>Train avant</b>	1 Hz	4 Hz
<b>Train principal droit</b>	1 Hz	1 Hz
<b>Train principal gauche</b>	1 Hz	4 Hz
<b>Train central</b>		1 Hz

#### Assiette longitudinale

Le paramètre d'assiette longitudinale est échantillonné à 4 Hz avec une résolution d'environ 0.35° (l'attitude au décollage varie de 0° à 8° environ). Une telle résolution ne permet pas de calculer précisément un taux de rotation instantané.

Au cours de l'été 2017, Air France a demandé à Airbus l'analyse de deux événements sur A340-300 liés à un risque de tailstrike.

Ces événements faisaient suite à une action inappropriée des pilotes en fonction lors de la rotation. Dans les deux cas, ils ont eu une action à cabrer significative juste avant le lever des roues (voir § 1.16.3.2 Risque de tailstrike).

Le constructeur a calculé que les marges au tailstrike se situaient entre 0.8 m et 0.9 m pour le premier événement et entre 0.8 m et 1.3 m pour le second, soit des incertitudes respectives de 10 cm et 50 cm.

Airbus indique qu'au regard du caractère binaire du paramètre de compression du train, il est difficile de calculer une marge précise :

Note 3: Depending on gear compressed / uncompressed status, tail strike margin varies a lot.  
It is therefore difficult to compute an accurate tail strike margin. In the following, 2 values are provided;  
first one with gear fully compressed, second one with gear fully extended.  
Real tail strike margin should be within these 2 extreme values.

À mi-distance entre les trains d'atterrissements principaux et l'extrémité arrière de l'avion, la résolution de 0.35° du paramètre d'assiette longitudinale introduit 10 cm d'erreur sur la marge au tailstrike.

Les biais introduits par les paramètres enregistrés rendent la surveillance des données de vol liées à ce risque impossible.

#### EOFDM

En 2012, l'AESA a mis en place un groupe de travail, EOFDM, dont l'objectif était de faciliter la mise en œuvre du FDM par les opérateurs afin de :

- faciliter la mise en œuvre du contrôle du FDM par les opérateurs ;
- aider les opérateurs à tirer le meilleur parti d'un FDM pour la sécurité.

Ce groupe de travail se divise en trois sous-groupes dont les principaux objectifs sont listés ci-dessous.

**Groupe de travail A - « Surveillance des problèmes de sécurité opérationnelle » :**

- définir les risques communs, les défenses de sécurité et les problèmes opérationnels connexes à surveiller par les programmes FDM ;
- élaborer la base des implantations détaillées liée au FDM devant être effectuée par le groupe de travail B.

**Groupe de travail B - « Aspects relatifs à la programmation et à l'équipement » :**

- définir et tester les événements FDM nécessaires à la surveillance des problèmes opérationnels ;
- identifier des techniques utiles pour étudier les données de vol, soit pour l'analyse automatique manuelle ;
- définir les paramètres et leurs caractéristiques (taux d'échantillonnage, résolution d'enregistrement, précision, etc.) nécessaires pour : définir les événements FDM, effectuer l'analyse des données et effectuer des mesures de vol ;
- étudier les problèmes liés aux DAR / QAR de l'aéronef (format des données, taux d'échantillonnage des paramètres, documentation de la disposition des trames de données, problèmes matériels et logiciels liés aux aéronefs) ;
- rechercher des moyens d'améliorer l'interopérabilité entre les équipements disponibles sur le marché, y compris la relecture FDM au sol et les équipements embarqués ;
- fournir et mettre à jour la vue d'ensemble des solutions techniques (matériel et logiciel) et de leur performance comparative.

**Groupe de travail C - « Intégration du programme FDM dans les processus de l'opérateur » :**

- compiler des renseignements sur les pratiques exemplaires et élaborer des documents d'orientation pour l'intégration de la surveillance des données de vol dans le SGS d'un exploitant ;
- fournir des conseils qui aideront l'exploitant à mieux gérer ;
- identifier les meilleures pratiques en matière de traitement des données.

Le sous-groupe A avait publié en mai 2014 un document « *REVIEW ODF ACCIDENT PRECURSOR FOR RUNWAY EXCURSIONS* »<sup>(33)</sup> regroupant des études sur les précurseurs potentiels qui pourraient entraîner des risques de sortie de piste lors du décollage ou de l'atterrissement. Il était notamment recommandé de développer des indicateurs pour détecter les situations suivantes :

<sup>(33)</sup>[https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/214908\\_EOFDM\\_WGA\\_Runway\\_Excursions-R1.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/214908_EOFDM_WGA_Runway_Excursions-R1.pdf)

<p><b>Late rotation:</b> A late rotation caused either by slow acceleration (excessive time to Vr) or by delayed action by the crew could increase the distance required for takeoff and reduce the safety margin against an overrun.</p>	<p><b>RE07 Late rotation:</b> Develop means to detect rotations conducted after Vr or beyond the expected distance (or time) after the start of the takeoff roll.</p>
<p><b>Slow rotation:</b> an excessively slow rotation may be the consequence of other problems (incorrect loading, pilot technique, poor elevator authority, etc) and could delay the liftoff reducing the safety margin against an overrun. This could also prompt the crew to reject the takeoff at speeds above V1 which could also lead to an overrun.</p>	<p><b>RE08 - Slow rotation:</b> Develop means to detect slow rotations.</p>
<p><b>No liftoff:</b> If after rotation the aircraft does not become airborne, the crew could decide to do a high speed rejected takeoff which could lead to an overrun. This situation may be coupled with tail strikes, where the increased drag further delays acceleration to a sufficiently high airspeed to enable liftoff.</p>	<p><b>RE09 - No liftoff:</b> Develop means to measure detect late liftoff (in time and/or distance) after rotation or start of takeoff roll.</p>
<p><b>Reduced runway remaining at liftoff:</b> Abnormal situations like a slow or late rotation or delayed liftoff (with or without tail strike) could result in a takeoff run distance greater than TORA</p>	<p><b>RE15 Runway remaining at liftoff:</b> Develop means to estimate runway remaining ahead of the aircraft at the moment of liftoff and detect abnormal values</p>

#### Extraits du « REVIEW ODF ACCIDENT PRECURSOR FOR RUNWAY EXCURSIONS »

Ce document ne fournissait cependant aucune information précise sur le type de paramètres ou la méthode à suivre pour développer ces indicateurs.

En avril 2017, le sous-groupe B publiait un document « *EUROPEAN OPERATORS FLIGHT DATA MONITORING WORKING GROUP B- GUIDANCE FOR THE IMPLEMENTATION OF FDM PRECURSORS* »<sup>(34)</sup> détaillant plus précisément comment parvenir à développer ces indicateurs. Il est ainsi recommandé de surveiller le temps de rotation et les distances de décollage.

<sup>(34)</sup>Document révisé en mai 2018 : [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/214908\\_Study\\_WGB\\_Precursors\\_2018.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/214908_Study_WGB_Precursors_2018.pdf)

## RE07 – Late Rotation

### Summary

Develop means to detect rotations conducted after V<sub>r</sub> or beyond the expected distance (or time) after the start of the takeoff roll.

### Rationale

This precursor evaluates the time it takes from the point where rotation should start, i.e., when the Indicated Airspeed assumes the value of the rotation Speed (V<sub>r</sub>) and the point of liftoff from the Main Landing Gear.

### Aircraft Parameters

Parameter	Type
Indicated Airspeed (Note 1)	Analog
V <sub>r</sub> (Note 2)	Analog

Note 1: During Takeoff IAS may be unstable and better results may come up from the use of the "Ground Speed" instead of IAS.

Note 2: In case the Rotation Speed (V<sub>r</sub>) is not recorded, other means are valid to access this speed (See RE01, Future Developments)

### Measurements and Events

Search Window	Measurements	Event	Event Threshold
Takeoff	Trot2 = Rotation Time 2 (Since IAS=V <sub>r</sub> to Liftoff) (Note 2)	"Late Rotation"	Raise event if Trot2 > Threshold [Note 1]

Note 1: The value of threshold can increase to control the number of false positives.

### Maturity Level

Level 1

## RE08 – Slow Rotation

### Summary

Develop means to detect slow rotations

### Rationale

Under this recommendation the time within the first Elevator input and Lift-Off. This corresponds to the rotation time and will be referenced in the document as *Trot*.

Special care should be taken on the determination of the first elevator input. The instant may not be evident to determine from the control column or side-stick pitch control. Other methods can be used such as:

- ▶ Extract the reference value from a pool of significant flights
- ▶ Use the pitch rate parameter
- ▶ This extraction may be facilitated, if the SOP indicates that the side-stick should be pushed forward during the take-off roll.

### Aircraft Parameters

Parameter	Type
Pitch Command	Analog
Pitch Rate	Analog

### Measurements and Events

Search Window	Measurements	Event	Event Threshold
Takeoff	<i>Trot1</i> = Rotation Time 1 (Since the application of the first Elevator input to Liftoff)	"High Time During Liftoff"	Raise event if <i>Trot1</i> > Threshold (Note 1)
Takeoff	NA	"Low Pitch rate During Liftoff"	Raise event if <i>Pitchrate</i> < Threshold (Note 1)

**Note 1:** The value of threshold can increase to control the number of false positives.

### Maturity Level

Level 1

## RE09 – No Liftoff

### Summary

Develop means to detect late Lift-Off (in time and/or distance) after rotation or start of Takeoff roll.

### Rationale

This precursor evaluates the distances run by the aircraft since the application of Takeoff power till each of the performance speeds V1 and V2 are attained. These distances will be named in this document as DV1 and DV2 respectively.

It is proposed a check from each of these distances against the performance distances, ASDA and TODA in a way that:

- ▶ DV1 is compared with ASDA
- ▶ DV2 is compared with TODA

For this solution to be implemented, external source of information concerning the Runway Database is necessary (see RE01, Future Developments).

### Aircraft Parameters

Parameter	Type
Ground Speed (Note 1)	Analog
Indicated Airspeed (Note 2)	Analog
V1 (Note 3)	Analog
V2 (Note 3)	Analog

Note 1: To be used to perform the distance calculation by its integration over time. The position (LAT/LONG) and also be used to determine the distance.

Note 2: During Takeoff IAS may be unstable and better results may come up from the use of the "Ground Speed" instead of IAS.

Note 3: In case the performance speeds (V1 and V2) are not recorded, other means are valid to access these speeds (See RE01, Future Developments).

### Measurements and Events

Search Window	Measurements	Event	Event Threshold
Takeoff	DV1 = Distance from the application of Takeoff Power till the speed attains V1	ASDA short limit	Raise event if DV1 > Threshold
Takeoff	DV2 = Distance from the application of Takeoff Power till the speed attains V2	TODA short limit	Raise event if DV2 > Thersold

### Maturity Level

Level 1

## RE15 – Runway Remaining At Liftoff

### Summary

Develop means to estimate runway remaining ahead of the aircraft at the moment of liftoff and detect abnormal values

### Rationale

Each time a Liftoff is detected, a measurement of the distance from where it happen till the end of the Runway is performed. This distance will be designated in this document as *Dlift* (remaining Liftoff distance).

For this solution to be implemented, the calculation of *Dlift* will rely on the availability of information about the End of Runway coordinates. This requires that the Runway Database is providing this input to the FDM System (see RE01, Future Developments). Both the coordinates of the point where Liftoff was detected and the End of Runway are the used to determine the remaining distance.

### Aircraft Parameters

Parameter	Type
Latitude	Analog
Longitude	Analog

### Measurements and Events

Search Window	Measurements	Event	Event Threshold
Takeoff	<i>Dlift</i> = Distance from the Liftoff detection point to the End of the Runway	"Short Remaining Distance after Liftoff"	Raise event if <i>Dlift</i> < Threshold

### Maturity Level

#### Level 1

Extraits du « EUROPEAN OPERATORS FLIGHT DATA MONITORING WORKING GROUP B-GUIDANCE FOR THE IMPLEMENTATION OF FDM PRECURSORS ».

Pour ce qui est de la surveillance des cadences de rotation, le niveau de maturité indiqué signifie que la solution proposée est seulement conceptuelle et dépend du niveau de technologie disponible. Cette solution nécessite des données et des techniques d'analyses spécifiques qui doivent être développées et testées.

### Maturity Levels

The Maturity Level is the evaluation of implementation of precursors throughout Working Group members. The initial goal for all precursors is to escalate to Level 2 according to the definition table below.

Level	Description
2	The proposed solution (or similar) is already implemented in the industry for at least one aircraft type but has not been subject to the formal Quality Assurance test as specified by WGB (As of today, this methodology has not yet been developed but it will likely consist of a number of checks that will result in either a "pass" or a "fail" classification for the solution).
1	The proposed solution is only conceptual and depends on unavailable technology, special types of data or analysis techniques yet to be developed or tested.
0	WGB was unable to address WGA recommendation either because of lack of time, could not find a way to solve the problem or has to get some inputs from other areas (meteorology, aircraft systems, etc). In either case, this is a way to let the industry know that there is a safety concern which needs further work and/or an innovative idea.

Par ailleurs, les productions de ces groupes de travail (publications, présentations, résultats d'études et recommandations...) n'ont pas de valeur réglementaire et demeurent donc purement informatives.

### Annexe 3

## Safety Information Bulletin n°2017-20 publié le 27 Novembre 2017

EASA SIB No.: 2017-20



### Safety Information Bulletin

#### Operations

SIB No.: 2017-20

Issued: 27 November 2017

**Subject:** Slow Rotation Take-off

**Ref. Publications:**

None.

**Applicability:**

Operators of 4-engine wide-body aeroplanes, approved training organisations (ATOs) providing relevant flight training, and their competent authorities.

**Description:**

The intent of this SIB is to raise awareness about a safety issue identified during an on-going investigation of a serious incident involving a 4-engine wide-body aeroplane. In this event, the aeroplane took-off from a limitative runway, near its maximum performance weight. The aeroplane needed a very long take-off run and, when passing the opposite runway threshold, was still below the minimum required height. The analysis of preliminary information gathered by the investigating authority, in cooperation with the affected operator and manufacturer, showed that slow aeroplane rotation rate was a main contributing factor to the event.

The preliminary findings of the investigation also highlighted that similar events had occurred at the same airport, involving another 4-engine wide-body aeroplane operator, and that slow rotation rates were applied in a significant number of take-offs.

Furthermore, the Agency identified one more event that occurred at another airport with a limitative runway, affecting a different type 4-engine wide-body aeroplane. As a consequence, pending the outcome of the full investigation, the Agency deems it appropriate to promptly address the issue of slow rotation rate on take-off in the abovementioned operational context.

**Certification Aspects:** Take-off performance for large transport aeroplanes is certified against CS-25 standards, which include various requirements regarding the parameters affecting take-off. During certification, take-off distances are established carrying out the manufacturer's recommended take-off procedure, which is described in the operational documentation. The application of the manufacturer take-off technique is fundamental to ensure that the required take-off performance is achieved (e.g. a take-off path with adequate clearance from obstacles).

**Recommendation(s):**

The Agency recommends operators of 4-engine wide-body aeroplanes, and ATOs providing relevant flight training, to assess whether their operating procedures may be affected by the identified safety issue. If so, they should apply their hazard identification and risk management processes, as follows:

This is information only. Recommendations are not mandatory.



An agency of the European Union

TE.CAP.00117-006 © European Aviation Safety Agency. All rights reserved. ISO9001 Certified.  
Proprietary document. Copies are not controlled. Confirm revision status through the EASA-Internet/intranet.

Page 1 of 2

- identify whether slow rotation rate on take-off is a hazard in their operation (e.g. through the analysis of FDM, occurrence reports, training & checking activities);
- if a hazard is identified, assess the associated risks, in particular on airports with limitative runways; and
- if these risks are assessed as not acceptable, establish controls to mitigate the risks to an acceptable level. These controls may include the provision of ad-hoc training on rotation techniques based on aeroplane manufacturer's operational documentation. The unintended introduction of additional risks (e.g. tail strikes) should also be considered when analysing possible mitigating measures; the involvement of the manufacturer may be useful in determining such measures.

The Agency also recommends the relevant competent authorities to consider this SIB as part of the continuing oversight of applicable operators and ATOs.

The Agency will consider the need for additional actions that may be triggered from any further lesson learnt in the course of the investigation or the thorough analysis of the safety issue.

At this time, the safety concern described in this SIB does not warrant the issuance of an operational directive under Regulation (EU) [965/2012](#), Annex II, ARO.GEN.135(c).

**Contact(s):**

For further information contact the EASA Safety Information Section, Certification Directorate.

E-mail: [ADs@easa.europa.eu](mailto:ADs@easa.europa.eu).

---

This is information only. Recommendations are not mandatory.



An agency of the European Union

TE.CAP.00117-006 © European Aviation Safety Agency. All rights reserved. ISO9001 Certified.  
Proprietary document. Copies are not controlled. Confirm revision status through the EASA-Internet/intranet.

Page 2 of 2

## Annexe 4

### Safety Information Bulletin n°2017-20 publié le 27 Novembre 2017

CUSTOMER SERVICES DIRECTORATE  
1 ROND POINT MAURICE BELLONTE  
31707 BLAIGNAC CEDEX FRANCE  
TELEPHONE + 33 (0)5 61 83 33 33



#### OPERATIONS TRAINING TRANSMISSION - OTT

TO: All A340 Operators

SUBJECT: ATA 00 – A340 ROTATION TECHNIQUE

OUR REF.: 999.0109/17 Rev 00 dated 13-DEC-2017

APPLICABLE AIRCRAFT: This OTT is applicable to A340-200, A340-300, A340-500, and A340-600 aircraft.

**Notice:** This OTT provides Operators with recommendations on training techniques or training programs. These training recommendations aim to enhance the efficiency or safety of operations. It is each Operator's responsibility to distribute the information contained in this OTT to ensure application of the training recommendations in the Operator's own training department or any training organization where their crews are trained.

#### 1. PURPOSE

This OTT provides training recommendations to Operators and Approved Training Organizations (ATO)s on the rotation technique to be used during A340 type rating and recurrent training.

This document provides guidance to emphasize the following:

- The proper way to perform the rotation.
- The proper way to monitor the rotation using all cues that are available to the flight crew: sidestick handling, external visual references, aircraft behaviour.

#### 2. DESCRIPTION

On A340 aircraft, some cases of inappropriate rotation rate during takeoff occurred in service. During these events, the inappropriate rotation performed by the flight crew led to a significant increase of the takeoff run and take off distance.

Data analysis of the events revealed that, on A340, the flight crew have a tendency to achieve a slow rotation rate combined with a tendency to release the sidestick during the rotation.

#### 3. ROTATION TECHNIQUE

An appropriate rotation technique ensures that:

- The takeoff performance (takeoff run and take off distance) is fulfilled,
- The tailstrike margin is ensured.

This paragraph emphasizes the correct rotation technique:

- To initiate the rotation, the PF applies a positive backward sidestick input.



## OPERATIONS TRAINING TRANSMISSION - OTT

---

When the aircraft rotates, the PF should achieve an aircraft rotation rate of approximately 3° per second, resulting in a continuous pitch increase toward a pitch attitude of 12.5°.

During the rotation, the aircraft will lift off approximately at 10° of pitch attitude, typically 4 or 5 seconds after the initiation of the rotation.

After the lift off, the PF should target a pitch of 12.5°.

- To monitor the rotation, the PF uses the outside visual references. Then, once airborne, the PF controls the pitch attitude target on the PFD.

### 4. OPERATIONAL DOCUMENTATION AMENDMENT

The FCTM PR-NP-SOP will be amended to further emphasize the recommended rotation technique.

The amended FCTM content will be published with the associated FCTM Main Change, by the first quarter of 2018.

The FCTM amendment is applicable to all Airbus aircraft. However, this OTT is sent to A340 Operators only, in order to emphasize the rotation technique following several reported events.

### 5. TRAINING

We recommend that during Type Rating training, Cross Crew Qualification (CCQ) or Recurrent training, the instructors assess the flight crew for the correct rotation technique as per the technique described in above chapter 3 and amended FCTM.

For any questions about the operational content of this OTT, please use [TechRequest Flight Operations Domain](#) on AirbusWorld.

Best regards,

# BEA

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

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

[www.bea.aero](http://www.bea.aero)

