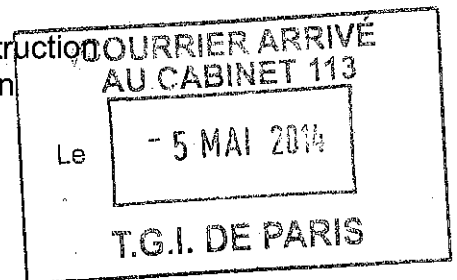


# **RAPPORT DE CONTRE-EXPERTISE**

Accident du  
**VOL AF 447**  
le 1er juin 2009

Sur l'ordonnance de commission d'expert de  
Madame Sylvia Zimmermann, Vice-Président chargé de l'instruction  
Madame Sabine Kheris, Vice-Président chargé de l'instruction



**M. Claude NICOLLIER**  
Expert ayant prêté serment

**Mme Claudine OOSTERLINCK**  
Expert agréé par la Cour de Cassation

**M. Jean-Charles FOUCHÉ**  
Expert ayant prêté serment

**M. Pierre WANNAZ**  
Expert ayant prêté serment

**M. François KELLER**  
Expert ayant prêté serment

Le 30 avril 2014



## Table des matières

GLOSSAIRE	5
1 INTRODUCTION	15
1.1 LA MISSION	15
1.2 LE COLLEGE D'EXPERTS	17
1.3 DEROULEMENT DE LA MISSION ET CHRONOLOGIE DES OPERATIONS	19
2 LES CAUSES DE L'ACCIDENT ET LES FACTEURS CONTRIBUTIFS	21
2.1 LES ELEMENTS ET MOYENS A DISPOSITION DES EXPERTS	21
2.1.1 Analyse factuelle du vol AF447 à partir des données enregistrées	21
2.1.2 Analyse du son extrait de la visualisation RESEDA	33
2.1.3 Vols de démonstration réalisés sur A330-200 avec tout le collège d'experts	35
2.2 LES CAUSES DE L'ACCIDENT	57
2.3 FACTEURS CONTRIBUTIFS	57
3 REPONSES AUX QUESTIONS DE LA MISSION	61
3.1 DETERMINER LES CAUSES DE L'ACCIDENT ET HIERARCHISER LES FACTEURS CONTRIBUTIFS	61
3.2 DIRE SI L'ACCIDENT AURAIT PU ETRE EVITE, ET DANS L'affIRMATIVE PAR QUELS MOYENS	61
3.3 ANALYSE DU COMPTE RENDU DES OPERATIONS DE DEMONSTRATION SUR AIRBUS A340 PAR LE PRECEDENT COLLEGE D'EXPERTS	65
3.3.1 L'appréciation pour les trois experts pilotes, du pilotage manuel en loi NORMAL et ALTERNATE à haute altitude	65
3.3.2 La perception du phénomène « Deterrent Buffet » au poste de pilotage et dans la cabine passagers	66
3.3.3 L'application des procédures « IAS douteuse » et « STALL WARNING » à haute altitude	67
4 QUESTIONS TECHNIQUES COMPLEMENTAIRES SOULEVEES PAR LA DEMANDE DE CONTRE-EXPERTISE D'AIRBUS	69
4.1 L'UTILISATION DU RADAR ET LE CHOIX DE LA ROUTE	69
4.1.1 La Zone de Convergence Inter Tropicale (ZCIT)	69
4.1.2 Remarques concernant les déviations effectuées par les différents vols la nuit de l'accident	71
4.1.3 Réflexions concernant la compréhension de la situation météorologique par l'équipage	74
4.2 LA FORMATION INITIALE ET CONTINUE DES PILOTES	77
4.2.1 La qualification de type A330	77
4.2.2 Les entraînements et contrôles périodiques	81
4.2.3 Les points relatifs à la formation évoqués dans les conclusions de la mission en matière de Sécurité des Vols (Rapport Colin)	83
4.3 LE RETOUR D'EXPERIENCE CHEZ AIR FRANCE	85
4.4 LE ROLE DU COMMANDANT DE BORD	87
4.4.1 Sur la composition de l'équipage renforcé	87
4.4.2 Sur le briefing spécifique aux vols en équipage renforcé	88
4.4.3 L'absence et le retour du CDB	90
4.5 FACTEURS HUMAINS ET, DANS CETTE OPTIQUE, ANALYSE DES AUTRES INCIDENTS ANEMOMETRIQUES CHEZ AIR FRANCE	91
4.5.1 Consignes opérationnelles	93
4.5.2 La trajectoire	99
4.5.3 Répartition des rôles et hiérarchie	122
4.5.4 Communication	124

4.6	EXPLOITATION DE L'INCIDENT D'AIR CARAÏBES ATLANTIQUE SOUS L'ANGLE DES FACTEURS HUMAINS.....	129
4.6.1	Déroulement chronologique de l'incident .....	129
4.6.2	Réaction de l'équipage .....	130
5	OBSERVATIONS COMPLEMENTAIRES SUR LES QUESTIONS POSEES PAR DES PARTIES CIVILES	133
5.1	SUR LA NOTE DE LA SCP JAKUBOWICZ, MALLET-GUY ET ASSOCIES EN DATE DU 21 FEVRIER 2014 OU «LES PARTIES CIVILES ENTENDENT REAFFIRMER [...] UN CERTAIN NOMBRE D'EVIDENCES» .....	133
5.1.1	Le blocage des sondes .....	133
5.1.2	L'incohérence des vitesses .....	133
5.2	SUR LA REPOSE D'AIR FRANCE AUX QUESTIONS DU PRESENT COLLEGE D'EXPERTS.....	135
5.2.1	L'usage du FCTM.....	135
5.2.2	La formation dispensée aux pilotes suppléants et quels étaient les textes qui la mettaient en œuvre .....	137
5.2.3	La suite donnée aux ASR.....	138
5.3	SUR LES OBSERVATIONS PRÉSENTÉES PAR LES CONSEILS D'AIRBUS LE 25 AVRIL 2014 .....	139
6	CONCLUSION	141



**Glossaire**

ADR	Air Data Reference (Référence de données barométriques et anémométriques)
AF	Air France
ALTN 2B	Loi de contrôle de vol dégradée
AGL	Above Ground Level (Au-dessus du sol)
ANTI ICE	Système d'anti-givrage
AOA	Angle Of Attack (Incidence)
AP ou A/P	Auto Pilot (Pilote automatique)
ASR	Air Safety Report (Rapport d'événement engageant la sécurité)
Assiette	Voir en fin de ce glossaire
ATA	Air Transport Association (Association de transport aérien)
ATC	Air Traffic Control (Contrôle du trafic aérien)
ATHR	AutoThrust (Auto manette, application automatique de la poussée)
ATPL	Airline Transport Pilot License (Licence de Pilote de Ligne)
BEA	Bureau Enquêtes et Analyses
CAS	Calibrated Airspeed (Vitesse conventionnelle)
CB ou Cb	Cumulonimbus (Nuage d'orage à forte extension verticale)
CDB	Commandant de Bord
CD	Compact Disk
CDG	Charles de Gaulle (Aéroport)
CEFA	Cockpit Emulation for Flight Data Analysis à Raedersheim (France)
C/L	Checklist
CLB	Climb (Position des manettes de puissance)
CVR	Cockpit Voice Recorder (Enregistreur des conversations et des bruit dans le cockpit)
DFDR	Digital Flight Data Recorder (Enregistreur des paramètres avion)
DGA	Direction Générale de l'Armement

DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
DV	Directeur de Vol
EASA	European Aviation Safety Agency (Agence Européenne de Sécurité de l'Aviation)
ECAM	Electronic Centralized Aircraft Monitoring (Surveillance électronique de paramètres et annonceur d'alarmes)
ECP	Entraînement et Contrôle Périodique (Séance d'entraînement au simulateur)
EFCS	Electronic Flight Control System (Système de commandes de vol électronique)
EMBD	Embedded (noyé dans une masse de nuages, pour un CB)
ENG	Engine (Moteur)
EPA	Epreuve Pratique d'Aptitude
EPR	Engine Pressure Ratio (Rapport de pression de l'air entre la sortie de la turbine et l'entrée du compresseur)
ETOPS	Extended-Range Twin-Engine Operational Performance Standards
EU-OPS	voir OPS1
EWD	Engine Warning Display (Ecran de visualisation des paramètres moteur et des alarmes)
FCOM	Flight Crew Operational Manual (Manuel des opérations de l'équipage)
FCTM	Flight Crew Training Manual (Manuel de l'entraînement de l'équipage)
FCU	Flight Control Unit (Interface de sélection et affichage des modes PA/DV)
FD	Flight Director (Directeur de vol équipé de barres de tendance)
FDR	Flight Data Recorder (Enregistreur de paramètres avion)
FE	Flight Examiner (Contrôleur du personnel navigant)
FFS	Full Flight Simulator (Simulateur de vol équipé de visualisation et d'une plateforme mobile)
FL	Flight Level (Niveau de Vol)
FMA	Flight Mode Annunciator (Panneau annonceur des modes de vol)

FMS	Flight Management System (Système de gestion du vol)
F/O	First Officer (Copilote)
FPV	Flight Path Vector (Birdie!) – affichage de trajectoire instantanée (route et pente)
FTD	Flight Training Device (Simulateur de formation)
G	Facteur de charge (Nombre exprimé en proportion de l'accélération à la surface terrestre)
GEN.OPS	Manuel de la Compagnie Air France qui regroupe les consignes opérationnelles
GPS	Global Positioning System (Système de localisation précise par satellite)
Green Dot	Vitesse minimum opérationnelle en configuration lisse
GSAC	Groupement pour la Sécurité de l'Aviation Civile
GTA	Gendarmerie des Transports Aériens
HDG	Heading (Cap)
IAC	Information Aéronautiques Complémentaires
IAS	Indicated Air Speed (Vitesse indiquée)
IMC	Instrument Meteorological Conditions (Conditions de vol aux instruments)
Incidence	Voir en fin de ce glossaire
IRS	Inertial Reference System (Système de référence inertielle)
ITCZ	InterTropical Convergence Zone (Zone de convergence intertropicale)
JAR	Joint Aviation Regulations (Réglementation Européenne)
KTS	Knots (Nœud = unité de vitesse: 1 mille marin par heure)
MAC	Manuel Aéronautique Complémentaire
MCDU	Multipurpose Control & Display Unit (Clavier et écran multifonctions)
MTOW	Maximum Take Off Weight (Masse maximale au décollage)
ND	Navigation Display (Ecran de navigation de la planche de bord)
NORM	Loi de contrôle de vol normale

NY	Accélération selon l'axe Y (latéral). Nombre exprimé en proportion de l'accélération à la surface terrestre
NZ	Accélération selon l'axe Z (vertical). Nombre exprimé en proportion de l'accélération à la surface terrestre
N1	Taux de rotation du premier étage du compresseur (en % du maximum)
OMN	Officier Mécanicien Navigant
OPL	Officier pilote (Copilote)
OPL1	Officier pilote suppléant du CDB
OPS	Opérations
OPS1	Arrêté du 12 mai 1997 relatif aux conditions techniques d'exploitation d'avions par une entreprise de transport aérien remplacé par l'EU-OPS
OSV	Officier de Sécurité des Vols
PA	Pilote Automatique
Pente	Voir en fin de ce glossaire
PF	Pilot Flying (Pilote en fonction, en charge du pilotage et de la trajectoire)
PFD	Primary Flight Display (Afficheur des paramètres primaires de pilotage)
PHC	Probe Heat Computer (Calculateur de réchauffage des sondes anémométriques)
PL	Pilote de Ligne
PN	Personnel Navigant
PNC	Personnel Navigant Commercial
PNF	Pilot Non Flying (Pilote non en fonction)
PNT	Personnel Navigant Technique (Pilotes)
QRH	Quick Reference Handbook (Livret de procédures rapides)
QT	Qualification de Type
REC MAX	Niveau de vol maximum recommandé

RESEDA	REStitution des Enregistreurs D'Accident (Laboratoire spécialisé de la DGA)
RMP	Radio Management Panel (Panneau des commandes de radiocommunication)
RNP	Required Navigation Performance (Performance de navigation requise)
SD	System Display (Ecran de visualisation des systèmes)
SIGMET	Message météorologique informant de phénomènes significatifs
SNPL	Syndicat National des Pilotes de Ligne
SPD	Speed (Vitesse)
STALL	Décrochage (Perte de sustentation)
STPA	Service Technique des Programmes Aéronautiques
SW	STALL Warning (Alarme avant décrochage)
TAT	Total Air Temperature (Température totale)
THR	Thrust (Poussée)
THRLK	Thrust Lock (Poussée figée)
TOGA	Take Off / Go Around (Position maximum des manettes de poussée au décollage ou en remise de gaz)
TU	Technique Utilisation (Manuel)
TU	Temps Universel (GMT)
UAS	Unreliable Airspeed (Vitesse douteuse)
VD	Design Dive Speed (Vitesse maximale, à ne jamais dépasser)
V2	Vitesse de sécurité au décollage
VREF	Vitesse de référence
VS	Vertical Speed (Vitesse Verticale)
ZAC	Altitude de sécurité au décollage
ZCIT	Zone de Convergence Intertropicale

**Assiette** : L'Assiette (Pitch Angle en anglais) est l'angle entre l'axe du fuselage et le plan horizontal. L'assiette est visible sur l'horizon artificiel (ou indicateur d'attitude) comme l'angle entre la représentation de l'axe du fuselage, au centre de l'instrument, et la barre de l'horizon (voir illustrations du PFD au paragraphe 4.5.2).

**Incidence** : L'Incidence d'un avion (Angle of Attack en anglais) est l'angle entre l'axe du fuselage et le vecteur vitesse de l'avion, ou la direction de sa trajectoire, à inclinaison nulle.

**Pente** : La Pente (Flight Path Angle en anglais) est l'angle entre le vecteur vitesse de l'avion ou la direction de sa trajectoire et le plan horizontal.

## Glossaire des termes et des abréviations utilisés dans le chapitre 2.1

Paramètre	Libellé	Unité	Signe positif
A/THR	Auto-manette		
ALT	Altitude	ft	
ALTITUDE	Altitude	ft	
AOA	Incidence	deg	vecteur vitesse sous l'axe avion
AOA1	Incidence issue de l'ADIRU1	deg	vecteur vitesse sous l'axe avion
AOAIRS1	Incidence issue de l'IRS1	deg	vecteur vitesse sous l'axe avion
AOAIRS3	Incidence issue de l'IRS3	deg	vecteur vitesse sous l'axe avion
AP	Pilote Automatique		
AP1E	Booléen de couplage au PA		
Assiette	Assiette longitudinale	deg	à cabrer
ATHRE	Booléen de couplage à l'auto-manette		
C	Centrage	%	
CAS	Vitesse conventionnelle	kt	
CAS1	Vitesse conventionnelle issue de l'ADIRU1	kt	
CAS3	Vitesse conventionnelle issue de l'ADIRU3	kt	
cdg	Centre de gravité		
CLB	Régime moteur CLB	%	
CLB	CLIMB		
CVR	Enregistreur sonore cockpit		
DDMR	Déplacement manche droite en profondeur	deg	à piquer, vers l'avant
DFDR	Enregistreur des paramètres avion		
DV	Directeurs de vol		
ELEVATOR	Braquage de la gouverne de profondeur	deg	à piquer, bord de fuite vers le bas
FD	Directeurs de vol		
FD1_ENGA	Booléen d'affichage des directeurs de vol		
FDR	Enregistreur des paramètres avion		
FPAIRS	Pente issue du vote des IRS	deg	à monter
g	accélération de la pesanteur	m/s <sup>2</sup>	
HP1	Altitude	ft	
Inclinaison	Angle de gîte	deg	aile droite basse

LAT_ACCEL	Accélération latérale	g	accélération à droite
LATG1	Accéléromètre latéral IRS1	g	accélération à droite
LATG3	Accéléromètre latéral IRS3	g	accélération à droite
M	Mach		
m	masse	kg	
MNADC	Mach		
N1_ACT	Régime du compresseur moteur	%	
NYCDG	Accéléromètre latéral au voisinage du cdg	g	accélération à droite
NYF	Accéléromètre latéral siège pilote droite	g	accélération à droite
NZ	Facteur de charge vertical avion au cdg	g	accélération vers le haut
NZCDG	Accéléromètre vertical au voisinage du cdg	g	accélération vers le haut
NZF	Accéléromètre vertical siège pilote droite	g	accélération vers le haut
PA	Pilote Automatique		
PFD	Afficheur des paramètres primaires de pilotage		
PITCH	Assiette longitudinale votée	deg	à cabrer
PITCH1	Assiette longitudinale issue de l'IRS1	deg	à cabrer
PTCH	Assiette longitudinale votée	deg	à cabrer
ROLL	Angle de gîte	deg	aile droite basse
Roulis	Angle de gîte	deg	aile droite basse
STAB	Braquage du plan horizontal	deg	à piquer, bord de fuite vers le bas
STABILIZER	Braquage du plan horizontal	deg	à piquer, bord de fuite vers le bas
STALL	Alarme avant décrochage		
STALL_WARN	Alarme avant décrochage		
STALLW	Alarme avant décrochage		
STICK_PITCH_FO	Déplacement manche droite en profondeur	deg	à piquer, vers l'avant
STICK_PITCH_CPT	Déplacement manche gauche en profondeur	deg	à piquer, vers l'avant
STKPC	Déplacement manche gauche en profondeur	deg	à piquer, vers l'avant
STKPF	Déplacement manche droite en profondeur	deg	à piquer, vers l'avant
SW	Alarme avant décrochage		
THR_RESOL	Position de la manette des gaz	deg	
THRLK	Figeage du régime moteur		



D8944-11

<b>TOGA</b>	Régime moteur TOGA	%	
<b>TOGA</b>	Take-Off and Go-Around		
<b>VGPS</b>	Vitesse sol issue du GPS	kt	
<b>VRTG</b>	Facteur de charge vertical avion	g	accélération vers le haut
<b>VRTG1</b>	Accéléromètre vertical IRS1	g	accélération vers le haut
<b>VRTG3</b>	Accéléromètre vertical IRS3	g	accélération vers le haut

D 8944-12  
(page vierge)

## 1 Introduction

### 1.1 La mission

L'ordonnance de commission d'experts du 17 avril 2013 figure dans son intégralité en Annexe 1.1-A

Seul le contenu de la mission est reproduit ci-après :

« Nous avons l'honneur de vous prier de bien vouloir prendre connaissance du dossier, et notamment du rapport d'expertise déposé le 29 juin 2012 par

MM. Alain de VALENCE de la MINARDIERE, Eric BRODBECK, Michel BEYRIS, Charles MAGNE et Hubert ARNOULD (D 6715 à D 6718) et de la demande de contre-expertise déposée par la société AIRBUS (D 7401 à D 7423)

Vous voudrez bien apporter une réponse à l'ensemble des points soulevés par la Société AIRBUS, étant précisé par ailleurs qu'à la suite des demandes de certaines parties civiles figurant au dossier, un complément d'expertise a été ordonné le 15 mars dernier, et est actuellement en cours.

Plus généralement, vous voudrez bien :

- déterminer les causes de l'accident de l'AIRBUS A330-200, vol AF 447, qui s'est produit dans la nuit du 31 mai au 1<sup>er</sup> juin 2009 entre RIO DE JANEIRO et PARIS CHARLES DE GAULLE, et hiérarchiser les facteurs contributifs ;
- dire si l'accident aurait pu être évité, et dans l'affirmative par quels moyens

Par ailleurs, il conviendra de :

- vous procurer tous les enregistrements relatifs au vol de démonstration sur Airbus A340 auquel ont participé, le 10 mai 2012, certains Experts du précédent collège, et qui sont détenus par la Société AIRBUS,
- les exploiter et vérifier si le compte-rendu des opérations figurant dans le rapport du 29 juin 2012 (D6716/313 et suivantes) est ou non fidèle au déroulement du vol,
- dans la négative, préciser les points qu'il conviendrait de rectifier.

Plus généralement, vous voudrez bien faire toutes observations utiles à la manifestation de la vérité.

Vous voudrez bien utiliser, dans toute la mesure du possible, les résultats des études, analyses et investigations déjà effectuées par le précédent collège.

Si des investigations complémentaires se révélaient nécessaires, il y aurait lieu de les solliciter auprès de nous, et leurs coûts devraient nous être préalablement soumis pour accord. »

D8944-14

(page vierge)

## 1.2 Le collège d'experts

Les experts ont choisi de travailler collégalement sur l'ensemble des sujets soulevés par la mission, quelles que soient les spécialités fines de chacun. Celles-ci couvraient un large spectre de compétences et d'expérience professionnelle, ce qui a permis à ce collège d'analyser en profondeur les circonstances ayant conduit à cet accident. Ceci n'a pas toujours été facile, à cause de l'engagement professionnel assez lourd de tous les membres de notre collège, en parallèle avec l'effort de collecte et d'analyse des données relatives à l'accident, de nos réunions et discussions, et de la rédaction du présent rapport.

Pour deux membres de notre collège, cet engagement professionnel a par ailleurs été bénéficiaire pour notre travail, il s'agit de deux commandants de bord sur Airbus A330/340, engagés dans le réseau long-courrier d'une compagnie aérienne, qui ont continué leur engagement de pilotes de ligne à 100% pendant toute la durée de l'accomplissement de notre mission. Cela leur conférait, dans le cadre de notre travail, une qualification fraîche et précieuse de pilotes sur des avions identiques ou très semblables à l'avion accidenté.

Les qualifications de pilotes de ligne, d'instructeurs de pilotes de ligne, d'engagement sur des enquêtes judiciaires passées, d'ingénieur spécialisé dans la dynamique du vol, et de pilote d'essais, formaient une palette de compétences bien adaptée à l'accomplissement de notre tâche.

Le curriculum vitae de chacun des experts est joint en Annexe 1.2-A.

- M. Claude NICOLLIER, expert ayant prêté serment
- Mme Claudine OOSTERLINCK, expert agréé par la Cour de Cassation
- M. Jean-Charles FOUCHÉ, expert ayant prêté serment
- M. Pierre WANNAZ, expert ayant prêté serment
- M. François KELLER, expert ayant prêté serment

D8944-16  
(page vierge)

### 1.3 Déroulement de la mission et chronologie des opérations

2013

Date	Objet
17 avril	Réception ordonnance commission expert
22 avril	Réception du dossier sur CD
23 avril	Réception audition P. Goudou
11 juillet	Réunion experts à Paris
25 juillet	Visite Reseda
31 juillet	Réception note M. Goudou EASA
02 septembre	Fourniture données DFDR et visu RESEDA
09 septembre	Visite CEFA (modèle de visualisation)
16 et 17 septembre.	Réunion experts à Lausanne
17 septembre	Demande pièces à Airbus
25 septembre	Réception des planches du vol A340/1550
11 octobre	Envoi par Airbus des pièces demandées
25 octobre	Réception note Stewarts Law
18 novembre	Visite Reseda
19 novembre	Réunion experts Roissy Charles de Gaulle
21 novembre	Planche RESEDA
16 décembre	Visite au BEA et présentation animation BEA
17 et 18 décembre	Réunion experts à Paris
18 décembre	Réception note Stewarts Law (D7817 à D7837)
19 décembre	Visite chez Airbus à Toulouse
20 décembre	Réception lettre Entraide et Solidarité du 18 décembre

2014

Date	Object
13 janvier	Adaptation visu RESEDA
15. janvier	Réception note SNPL
15 janvier	Réception du CR de la réunion Airbus le 19 décembre
16 janvier	Adaptation visu RESEDA
20 et 21 janvier	Réunion experts à Lausanne
28 janvier	Adaptation visu RESEDA
9 au 11 février	Simulateur et vol 330 chez Airbus à Toulouse
13 février	Réception de toutes les données du vol du 10 février
19 février	Réception PV interrogatoire et Note des conseils d'AIRBUS
13 mars	Adaptations visu et planches RESEDA
15 et 16 mars	Simulateur et second vol A 330 Airbus à Toulouse
19 mars	Questions à Air France
18 mars	Réception des premières données du vol du 16 mars
20 mars	Réception de toutes les données du vol du 16 mars
27 mars	Adaptations visu et planches RESEDA
3,4 et 5 avril	Réunion experts à Lausanne
08 avril	Réception CD ROM avec pièces CR4539 à 5669

08 avril	Réception observations conseils Air France
09 avril	Fourniture DFDR du vol du 16 mars par RESEDA
15 avril	Réception réponse Air France aux questions du collège
17, 18 et 19 avril	Réunion experts à Lausanne (partielle)
24 et 25 avril	Réunion experts à Lausanne (partielle)
25 avril	Réception des observations des conseils d'Airbus
29 avril	Réunion experts à Lausanne (partielle)
30 avril	Réunion experts à Lausanne (partielle)



## 2 Les causes de l'accident et les facteurs contributifs

### 2.1 Les éléments et moyens à disposition des experts

#### 2.1.1 Analyse factuelle du vol AF447 à partir des données enregistrées

Nous allons reprendre l'enchaînement des événements principaux survenus après la déconnexion du pilote automatique, et analyser chacun de ceux-ci dans les trois phases suivantes :

- Phase 1 : entre 02:10:05 et 02:10:48, de la déconnexion du pilote automatique à la stabilisation d'altitude au niveau 375.
- Phase 2 : entre 02:10:48 et 02:11:30, de l'alarme «STALL Warning» permanente au décrochage «profond».
- Phase 3 : entre 02:11:30 et 02:14:30, décrochage «profond».

Les paramètres de la mécanique du vol de l'avion et de son pilotage, sont observables sous deux formes complémentaires :

- Une animation vidéo, réalisée par le laboratoire RESEDA à partir des données enregistrées dans le Digital Flight Data Recorder (DFDR) et du calcul des positions des réticules des directeurs de vol (FD), montrant une image simplifiée des afficheurs Primary Flight Display (PFD) gauche et PFD droite (incluant les FD), les actions de pilotage aux 2 manches en profondeur et gauchissement, un indicateur d'incidence (AOA) et de facteur de charge (G), l'afficheur ECAM, les deux voyants/poussoirs MASTER WARNING et MASTER CAUTION, la position du Plan Horizontal (STAB), avec l'affichage des paroles des pilote, ainsi qu'une vue extérieure de l'appareil.

La planche suivante présente une image de la visualisation, 3 secondes après la déconnexion du PA, à 02:10:08,5, au tout début de la Phase 1.

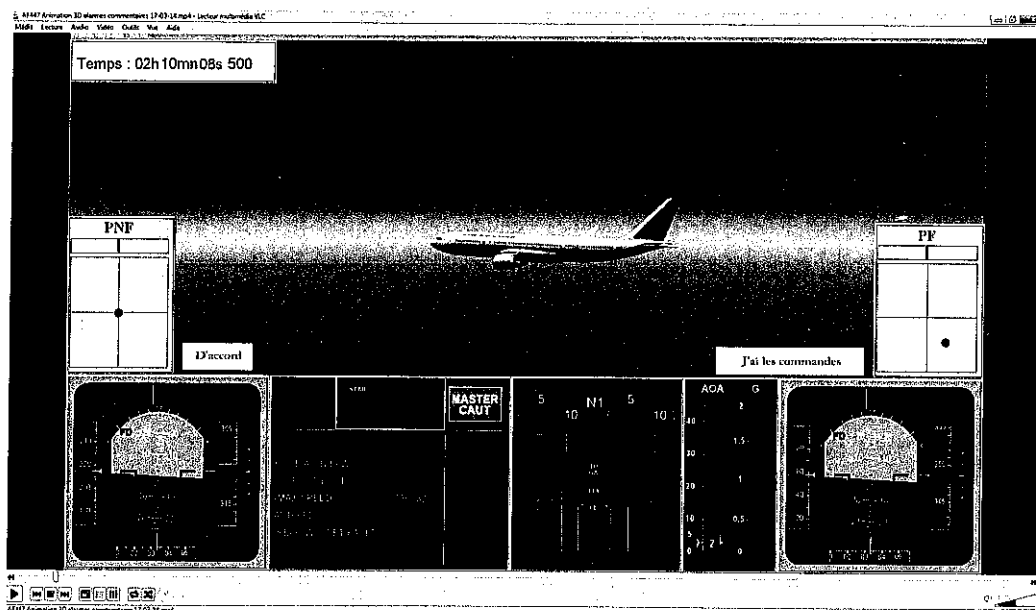
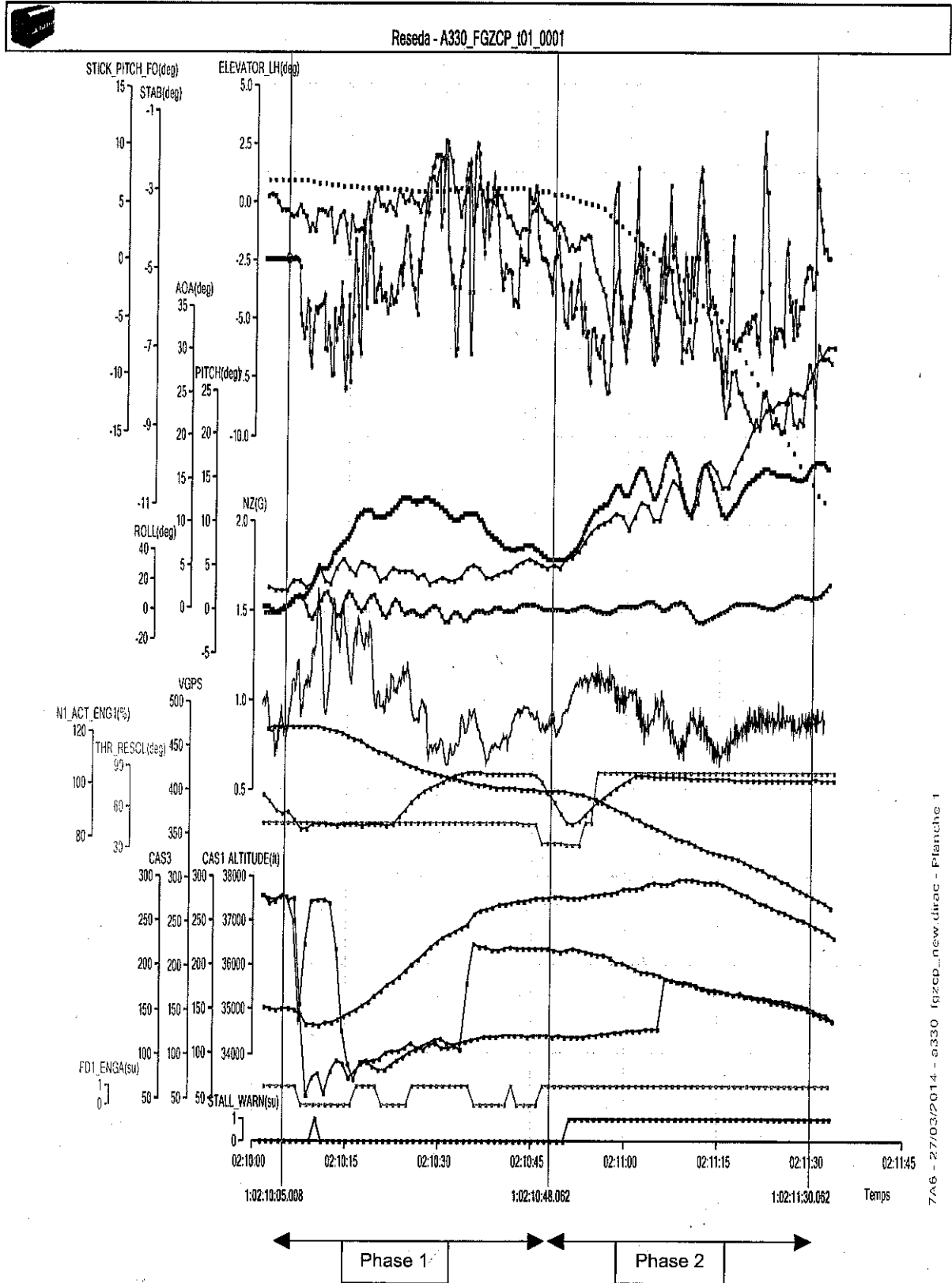


Planche 2.1

- Quelques planches, montrant sous forme de courbes tracées en fonction du temps, l'évolution des paramètres enregistrés dans le DFDR. Pour les deux premières phases, les paramètres importants du vol sont présentés sur la planche 2.2 ci-dessous. Pour la phase 3, sur la planche 2.10.



746 - 27/03/2014 - a330 fgzcp...new.drac - Planche 1

Planche 2.2

### 2.1.1.1 Phase 1, de 02:10:05 à 02:10:48 (Planche générale 2.2)

Dès les premières secondes, une réaction à cabrer sur le manche induit un facteur de charge atteignant 1,6 g en pointe et 1,4 g en moyenne pendant environ 10 secondes et implique une vitesse verticale de plus de 6000ft/mn (100ft/s) au bout de 10s. Cette action de pilotage conduit l'avion :

- à dépasser transitoirement l'incidence maximale praticable à Mach élevé, et donc quelques alarmes auditives «STALL Warning»,
- à atteindre une assiette d'environ 12°, et donc à décélérer en montant, de plus avec une poussée faible et sans avoir touché à la manette des gaz comme demandé à l'ECAM (la poussée est figée : THRLLK).

Pour essayer de déterminer l'objectif de pilotage du pilote en longitudinal, il faut savoir s'il existe une loi de pilotage qui conduit à la même action sur le manche que celle du pilote aux commandes. La loi la plus simple est une loi de type P-I-D (Proportionnel-Intégré-Dérivé), bien connue des spécialistes de contrôle, et base de tout pilotage, qu'il soit manuel ou automatique.

En faisant l'hypothèse que le pilote tient par exemple, une assiette de consigne  $\theta_c$ , une loi de pilotage simple s'écrit :

$$dmc = G1 \times (\theta - \theta_c) + G2 \times q, \text{ avec :}$$

dmc : manche commandé par la loi de pilotage,

$\theta$  : assiette longitudinale,

$\theta_c$  : assiette de consigne,

q : vitesse de tangage, dérivée de l'assiette longitudinale,

G1 et G2 sont les gains de la loi, en oubliant le terme intégré car l'estimation est faite à court terme,

il s'agit alors de déterminer les valeurs de  $\theta_c$ , G1 et G2 qui permettent de retrouver les actions du pilote sur le manche en profondeur.

Après quelques itérations d'identification, on trouve que les valeurs :

$$\theta_c = 12^\circ \pm 1^\circ$$

$$G1 = 3 \quad (3 \text{ degrés de manche par degré d'écart en assiette})$$

$$G2 = 1s \quad (1 \text{ degré de manche par degré par seconde de vitesse de tangage})$$

permettent d'être cohérent des actions du pilote, dans un intervalle de temps d'un peu plus de 10 secondes, pendant lequel on reste proche de la valeur de consigne (hypothèse des petits mouvements).

La planche 2.3 illustre ce résultat entre les instants 02:10:15 et 02:10:27 (T=15s et T=27s sur le tracé) où l'on peut comparer l'ordre pilote enregistré (en bleu et appelé STICK\_PITCH\_FO) avec le résultat du calcul précédent de dmc (en rouge), jusqu'à ce que le Pilot Non Flying (PNF) lui conseille de «redescendre».

A partir de l'instant où le pilote pousse sur le manche pour diminuer son assiette (manche positif à piquer) la loi obtenue précédemment n'est bien sûr plus valable, d'où l'écart entre les deux courbes à partir de 02:10:28 (T=28s).

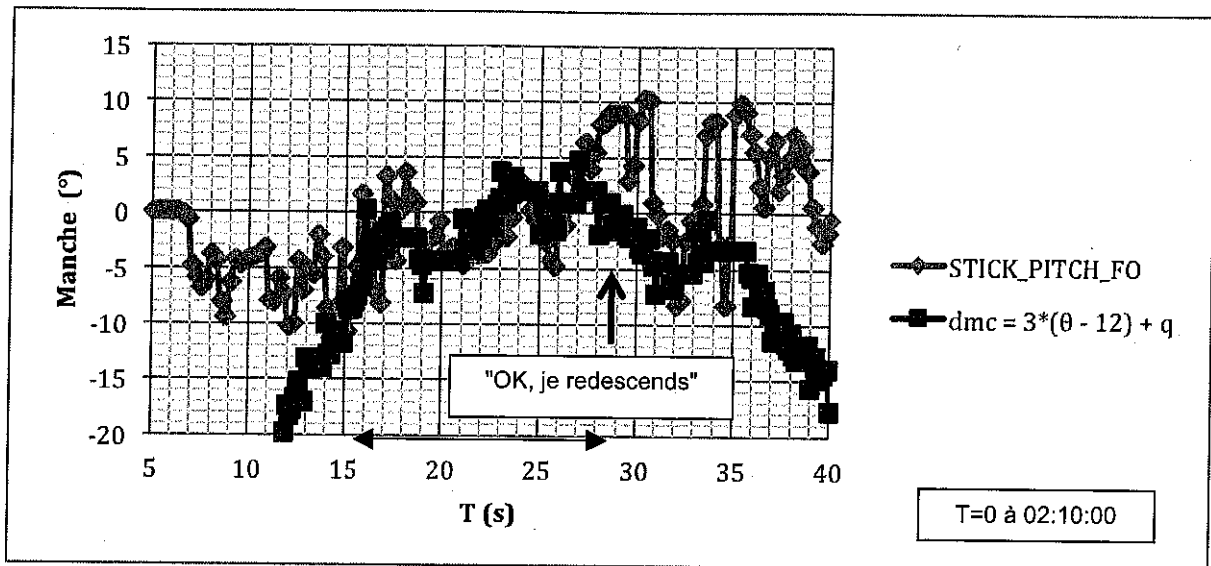


Planche 2.3

On montre donc que, dès le début le pilote agit sur le manche en profondeur pour tenir une assiette d'environ  $12^\circ$  et ne tient compte des directeurs de vol ni de 02:10:17 à 02:10:20 où ils demandent à piquer, ni de 02:10:26 à 02:10:28, quand la tenue d'assiette est contrecarrée par le conseil du PNF.

Simultanément avec la réduction d'assiette, le pilote commande la sortie du mode THRLK par appui sur le bouton «ATHR disconnect», ce qui a pour effet d'augmenter la poussée jusqu'au régime «CLB» et ainsi réduire la diminution de vitesse. Mais, alors que l'assiette diminue et que la vitesse devrait augmenter, le pilote réduit les gaz (à l'instant 02:10:46), empêchant toute augmentation de vitesse.

C'est à cet instant que la deuxième information de vitesse (la CAS2 affichée normalement sur le PFD2 à droite) redevient correcte. L'information de vitesse affichée sur le PFD1 à gauche (CAS1) étant correcte depuis 02:10:35, l'équipage peut alors disposer de 2 informations cohérentes entre elles et cohérentes de la diminution de vitesse GPS. Elles sont donc fortement crédibles et devraient permettre à l'équipage de les prendre en compte.

Quant à la sonde 3 (CAS3 pour l'instrument secours), elle restera incorrecte jusqu'à 02:11:07. Malheureusement, c'est celle que l'équipage a affiché sur le PFD2 par action sur le commutateur AIR DATA F/O ON 3.

A la fin de cette phase (02:10:48), l'avion se retrouve dans l'état suivant, comparé à l'état initial de la croisière (02:10:00) :

	02:10:00	02:10:48	Ecart
Altitude (ft)	35000	37500	+ 2500
Vitesse conventionnelle (kt)	280	215 / 220	- 65 / - 60
Vitesse GPS (kt)	470	400	-70
Mach	0,82	0,68	- 0,14
Régime moteur N1 (%)	97	93 en diminution.	- 4 en diminution
Assiette (°)	2,5	5,6	+ 3,1
Incidence (°)	2,5	5	+ 2,5
Pente (°)	0	0,6	+0,6
Vitesse verticale (ft/mn)	0	400	+ 400

Ce point de vol est proche de la limite du domaine dans lequel l'avion possède une marge de manœuvre suffisante. Toute évolution doit être réalisée très doucement, avec le minimum de facteur de charge et donc peu de manche à cabrer. En ce point, la poussée CLB et une assiette d'environ 5°, assurent la stabilisation de la trajectoire (voir compte-rendu des essais réalisés en vol de démonstration sur A330-200, §2.1.3).

Ce point de vol correspond aussi au point de vol auquel l'équipage du vol AF 471 vers Caracas, le 22 juillet 2011, s'est retrouvé après une réaction inadaptée lors d'un dépassement intempestif de la vitesse en croisière (gradient de vent), pilote automatique et auto manette enclenchés, après avoir tout déconnecté et tiré sur le manche en affichant une assiette de 12° pendant environ 20 secondes, en suivant ainsi une trajectoire très semblable à celle suivie par le vol AF 447. A la différence du vol AF 447, le système de commandes était en loi NORMAL - donc avion protégé en incidence et vitesse - et l'équipage a réagi, surpris de se retrouver aussi haut à vitesse aussi basse, en affichant une assiette voisine de zéro pour redescendre au bon niveau de croisière et reprendre de la vitesse.

Dans cette phase, contrairement à la profondeur pour laquelle il n'y a pas de changement de loi de pilotage de NORMAL à ALTERNATE, le gauchissement est en loi DIRECT. Ce qui modifie les sensations de pilotage (voir compte rendu des essais réalisés en vol de démonstration sur A330-200, §2.1.3) et peut surprendre un pilote qui ne l'a jamais expérimenté en vol. Cet effet de surprise a pu induire quelques oscillations de roulis qui se calment progressivement au bout d'une vingtaine de secondes et n'apparaissent plus par la suite.

La planche 2.4 présente une image de la situation de l'avion, à la fin de la Phase 1.

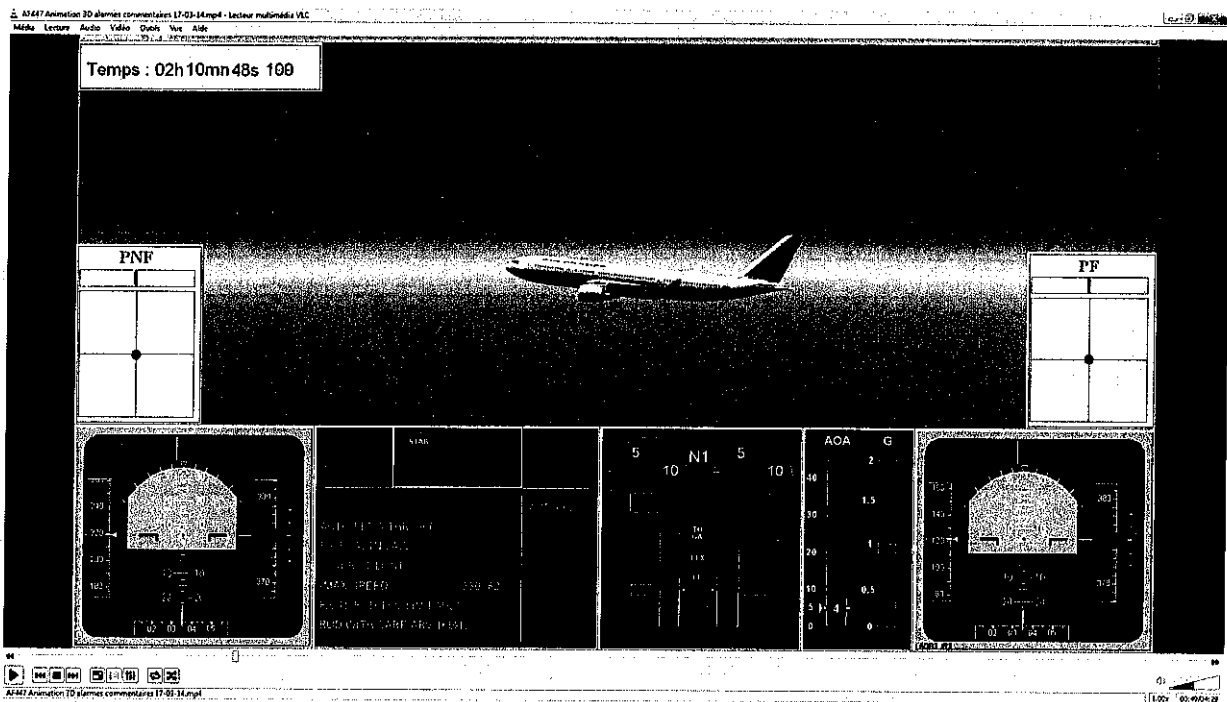


Planche 2.4

### 2.1.1.2 Phase 2, de 02:10:48 à 02:11:30 (Planche générale 2.2)

Comme constaté à la fin de la phase précédente, alors que la trajectoire de l'avion est quasiment stabilisée et reste pilotable malgré la trop faible vitesse par rapport à la vitesse normale de croisière à cette altitude, le pilote tire sur le manche et déclenche le «STALL WARNING» (à 02:10:51).

Suite à l'activation de cette alarme, le pilote tire plus de 50% de la butée à cabrer du manche jusqu'à rendre la main brutalement lorsque l'assiette atteint 15°.

Comme lors de la prise d'assiette de 12° dans la «Phase 1», il est possible de déterminer l'objectif de pilotage en cherchant s'il existe 3 valeurs de  $\theta_c$ , G1 et G2 qui permettent de reconstituer l'ordre manche réalisé par le pilote en profondeur :

$$dmc = G1 \times (\theta - \theta_c) + G2 \times q.$$

En suivant le processus décrit dans la «Phase 1», après quelques itérations, on trouve que les valeurs :

$$\theta_c = 15^\circ \pm 1^\circ$$

$$G1 = 2 \quad (2 \text{ degrés de manche par degré d'écart en assiette)}$$

$$G2 = 1s \quad (1 \text{ degré de manche par degré par seconde de vitesse de tangage)}$$

permettent d'être cohérent des actions du pilote, dans un intervalle de temps d'au moins 30 secondes, pendant lequel on reste proche de la valeur de consigne (hypothèse des petits mouvements).

La planche 2.5 illustre ce résultat entre les instants 02:10:55 et 02:11:35 (T=-5s et T=35s sur le tracé) où l'on peut comparer l'ordre pilote enregistré (en bleu et appelé STICK\_PITCH\_FO) avec le résultat du calcul précédent de dmc (en rouge).

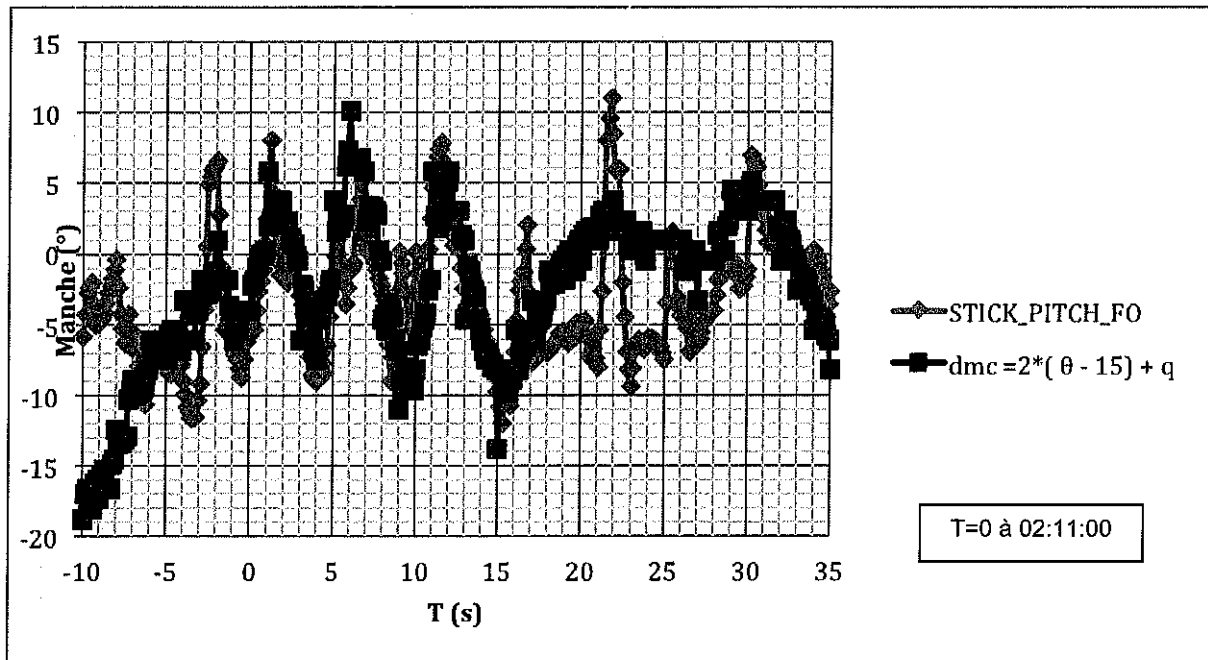


Planche 2.5

La comparaison est très bonne et le résultat surprenant, montre donc que, dès le début de l'alarme «STALL WARNING», simultanément avec le déplacement de la manette en position «TOGA», le pilote cherche à maintenir une assiette d'environ 15° et ne tient pas compte des directeurs de vol (FD) qu'il a laissé affichés.

Ce pilotage est de plus en plus difficile, parce que, dans cette phase, l'incidence croît de 6° à plus de 30°. Jusqu'à 02:11:15, l'avion semble bien répondre aux actions de pilotage (voir planche 2.2 et zoom planche 2.6), mais au delà de cet instant (incidence supérieure à 15°), la réponse semble plus molle. Cette diminution de réponse de l'avion doit pouvoir être attribuée à une perte d'efficacité certaine des gouvernes aérodynamiques (profondeur et gauchissement) à très grande incidence (supérieure à 20°).

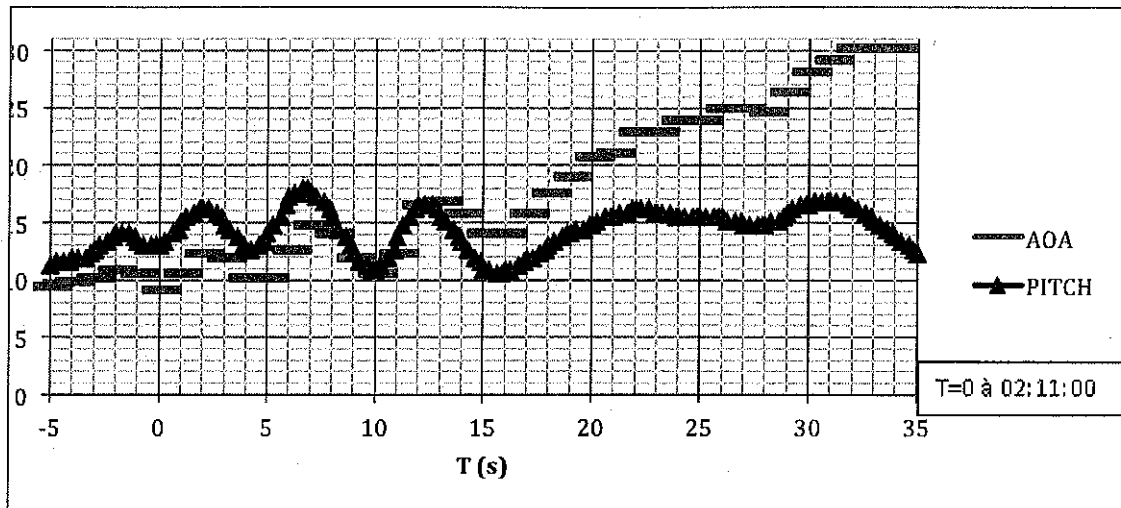


Planche 2.6

Une des conséquences de cette augmentation d'incidence, signalée par une alarme sonore «STALL», est l'apparition d'un «buffeting» important au niveau du poste de pilotage au delà d'une incidence d'environ  $10^\circ$  (voir compte-rendu des essais réalisés en vol de démonstration sur A330-200, §2.1.3). Ce «buffeting» d'origine aérodynamique induit des vibrations importantes de la structure de l'avion, qui sont qualifiées de dissuasives («deterrent buffeting» en anglais) au niveau du poste de pilotage. Il est beaucoup moins sensible dès que l'on est dans la cabine et en particulier au voisinage du centre de gravité. Comme le paramètre d'accélération verticale enregistré dans le DFDR vient d'un capteur situé près du centre de gravité, les informations qu'il fournit ne sont pas représentatives des sensations accélérométriques au niveau du poste de pilotage.

Néanmoins, l'observation fine du signal fourni par ce capteur montre une différence notable dans l'allure du signal au delà de l'instant 02:10:55, le tracé semblant «s'épaissir». Ce signal est tracé (en g sur la planche 2.7) sur un intervalle assez long pour avoir un échantillon représentatif : on peut distinguer un comportement avant 02:10:55 et un comportement après, qui dure jusqu'à la fin de l'enregistrement.

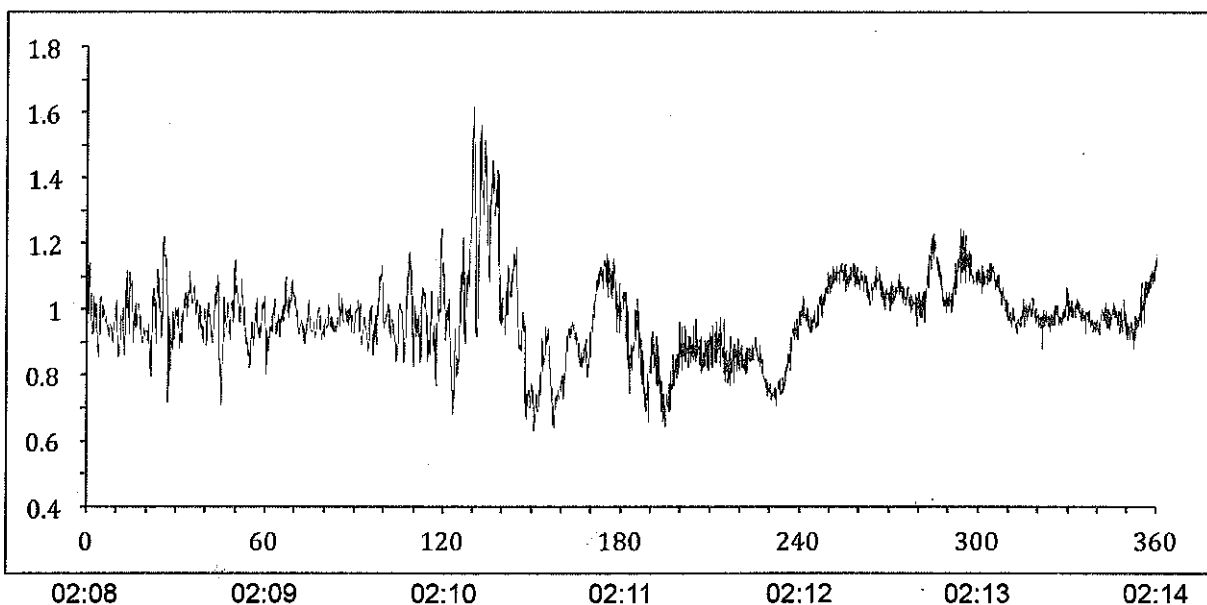


Planche 2.7



Alors qu'avant l'instant 02:10:05, le signal ne contient que de la basse fréquence liée à la turbulence atmosphérique, puis entre 02:10:05 et 02:10:55 la superposition de la turbulence atmosphérique avec l'effet des actions de pilotage, au delà de 02:10:55 viennent s'ajouter des fréquences élevées qui ne peuvent provenir que de vibrations de la structure avion induites par le «buffeting» au delà du décrochage. Il est donc fortement probable que le «buffeting» dissuasif ait duré jusqu'à l'impact (voir §2.1.3.2.2).

Une autre conséquence de la forte prise d'assiette est la forte décélération obtenue par suite de l'augmentation de traînée liée à la pente (l'avion monte jusqu'à 37900ft à 02:11:10) et à l'augmentation d'incidence (l'avion est en ALTERNATE LAW et donc non protégé en incidence). Cette décélération importante est de -2kt/s pour la vitesse conventionnelle (CAS) et -3kt/s pour la vitesse GPS. Un zoom de l'évolution de ces vitesses ainsi que la position de la manette des gaz et le régime des moteurs (N1\_ACT) sont présentés sur la planche 2.8.

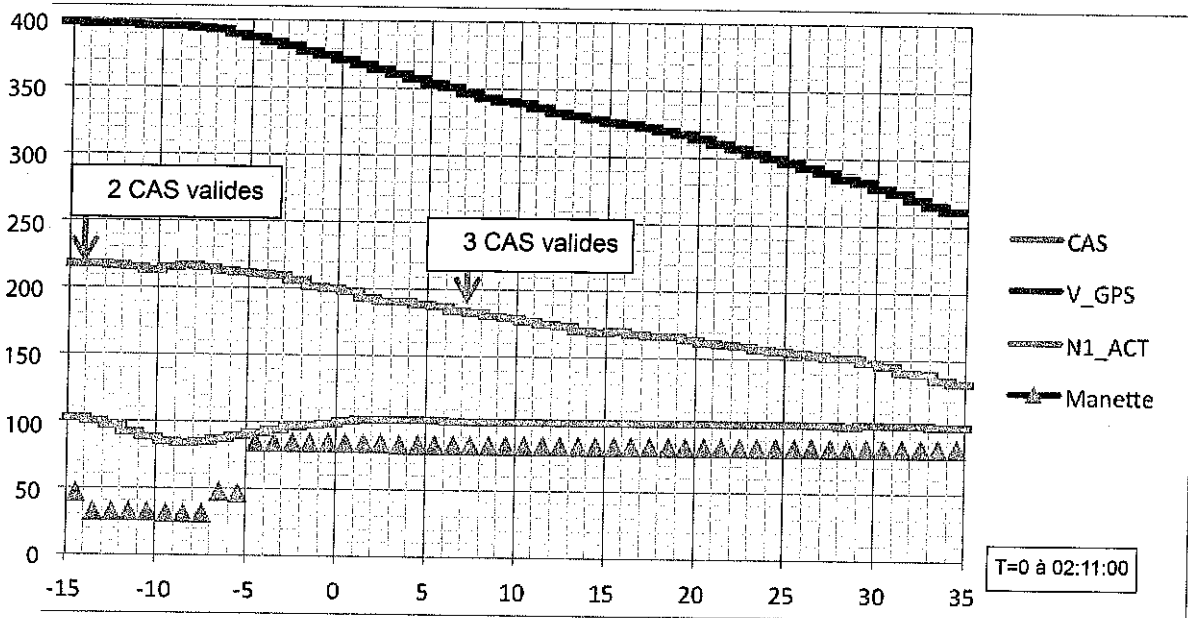


Planche 2.8

A la fin de cette «Phase 2» à 02:11:30, l'état de l'avion est le suivant :

	02:10:00	02:11:30	Ecart
Altitude (ft)	35000	36900	+ 1400
Vitesse conventionnelle (kt)	280	150	-130
Vitesse GPS (kt)	470	280	-190
Mach	0,82	0,48	-0,34
Régime moteur N1 (%)	97	101	+4
Assiette (°)	2,5	16	+ 13,5
Incidence (°)	2,5	28	+ 25,5
Pente (°)	0	12	- 12
Vitesse verticale (ft/mn)	0	-4000	- 4000

Toutes les informations de vitesse sont redevenues valides depuis 02:11:07, instant auquel la trajectoire de l'avion était à pente quasi nulle vers 38000ft, avec une incidence inférieure à 15°.

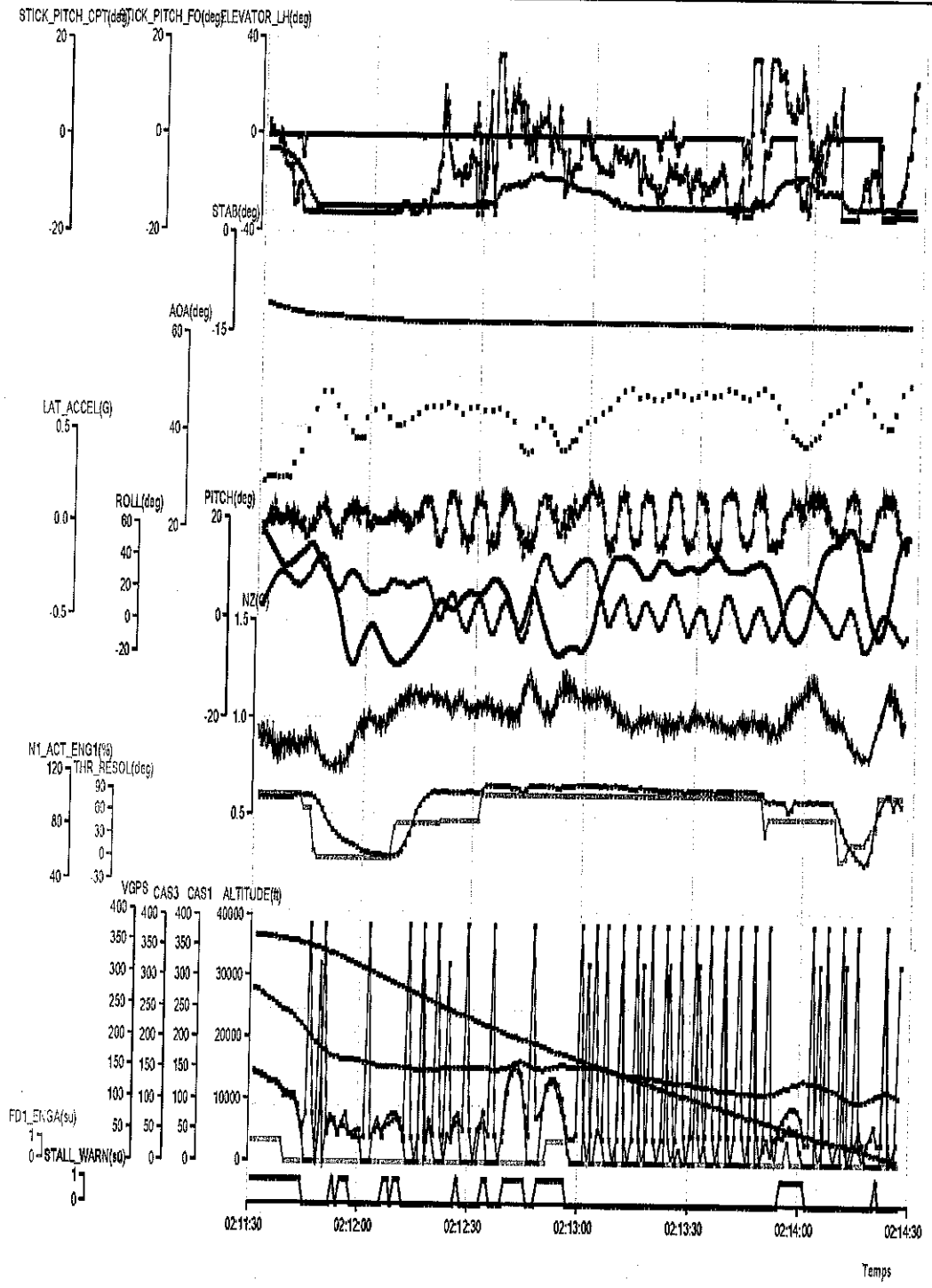


Planche 2.9

### 2.1.1.3 Phase 3, de 02:11:30 à 02:14:27 (Planche générale 2.10)

Tandis que pendant les deux premières phases, de 02:10:05 à 02:11:30, l'inclinaison est restée dans une plage faible de  $[-10^\circ, +10^\circ]$ , à partir de 02:11:30 l'incidence mesurée atteint environ  $30^\circ$  et l'avion s'incline alors jusqu'à  $40^\circ$ . A cause de cette inclinaison l'objectif de  $15^\circ$  d'assiette n'est plus atteignable sans tirer sur le manche en butée à cabrer, ce qui contribue à l'augmentation d'incidence au delà de  $40^\circ$  mesurés (l'étalonnage des girouettes n'a sans doute pas été conçu pour que la mesure d'incidence reste précise à de telles valeurs).

Reseda - A330\_FGZCP\_t01\_0001



7A.5 - 09/04/2014 - a330\_fgzcpl\_new.dirac - Planche 1

Planche 2.10

Une fois atteinte une incidence voisine de 40°, la pilotabilité de l'avion semble être fortement dégradée par :

- la perte d'efficacité des gouvernes aérodynamiques en profondeur et gauchissement,
- la perte de stabilité aérodynamique longitudinale et transversale,
- des effets aérodynamiques non linéaires pouvant conduire à des comportements non pilotables.

De ce fait, le comportement général de l'avion ressemble fortement à une oscillation non linéaire de type «cycle limite».

On peut aussi constater qu'au dessus de l'incidence de 40°, les mesures de vitesse «décrochent», puis «raccrochent» lorsque celle ci repasse en dessous, ce qui perturbe l'affichage de ces vitesses sur les PFD et perturbe aussi l'émission de l'alarme «STALL WARNING».

La seule manœuvre qui aurait - peut être - permis de s'en sortir aurait consisté à diminuer l'incidence en poussant le manche en butée à piquer pendant suffisamment longtemps pour que l'incidence revienne dans une plage raisonnable. Encore aurait-il fallu que la pente atteinte ne soit pas trop importante et ne conduise pas à dépasser la vitesse maximum (VD), ou ne conduise pas à impacter le sol par manque de facteur de charge pour incurver la trajectoire.

## 2.1.2 Analyse du son extrait de la visualisation RESEDA

Le tracé du signal enregistré est présenté en fonction du temps sur la planche 2.11, depuis 02:09:50.

On peut remarquer :

- de 02:09:50 à 02:10:50 (quasiment toute la «Phase 1»), un niveau de signal correspondant aux activités de pilotage résultant des différentes alarmes (à partir de l'instant 02:10:05),

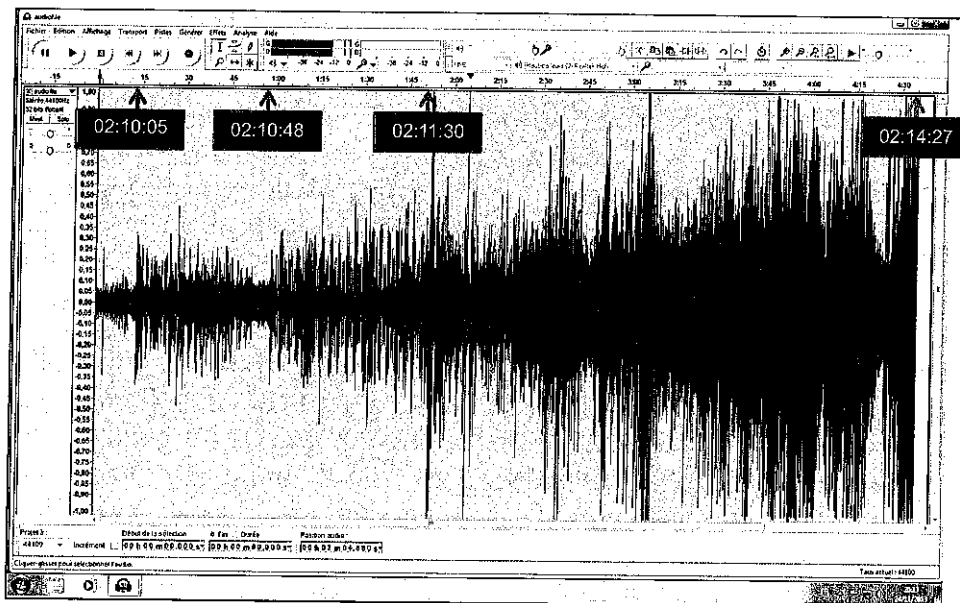


Planche 2.11

- de 02:10:50 à 02:11:30 («Phase 2»), un niveau de signal représentatif de l'alarme bi-tons «STALL WARNING», associée à l'augmentation du bruit ambiant engendrée par le «buffeting»,
- de 02:11:30 à 02:14:27 («Phase 3»), un niveau global de signal qui ne fait que croître avec le temps, noyé dans le «buffeting».

Ce même signal est représenté en fonction de la fréquence (en Hertz), de 30Hz à 6000Hz (bande de fréquence audible).

Quatre spectres de fréquences ont été calculés pour chaque tranche d'une minute depuis 02:09:50 et tracés sur la planche 2.12.

On remarquera :

- l'augmentation notable du niveau - environ 20dB - du signal basse fréquence (en dessous de 200Hz) entre la première et la quatrième minute. Les modes que l'on peut observer vers 50Hz, 80-90Hz, 100-120Hz, doivent correspondre à des harmoniques de modes propres excités par un bruit tel que celui produit par le «buffeting»,

- une augmentation nettement moins sensible du niveau - environ 10 dB - du signal haute fréquence (de 400Hz à 3000Hz). Les raies observées, correspondent aux fréquences des différentes alarmes (bi-tons ou tri-tons).

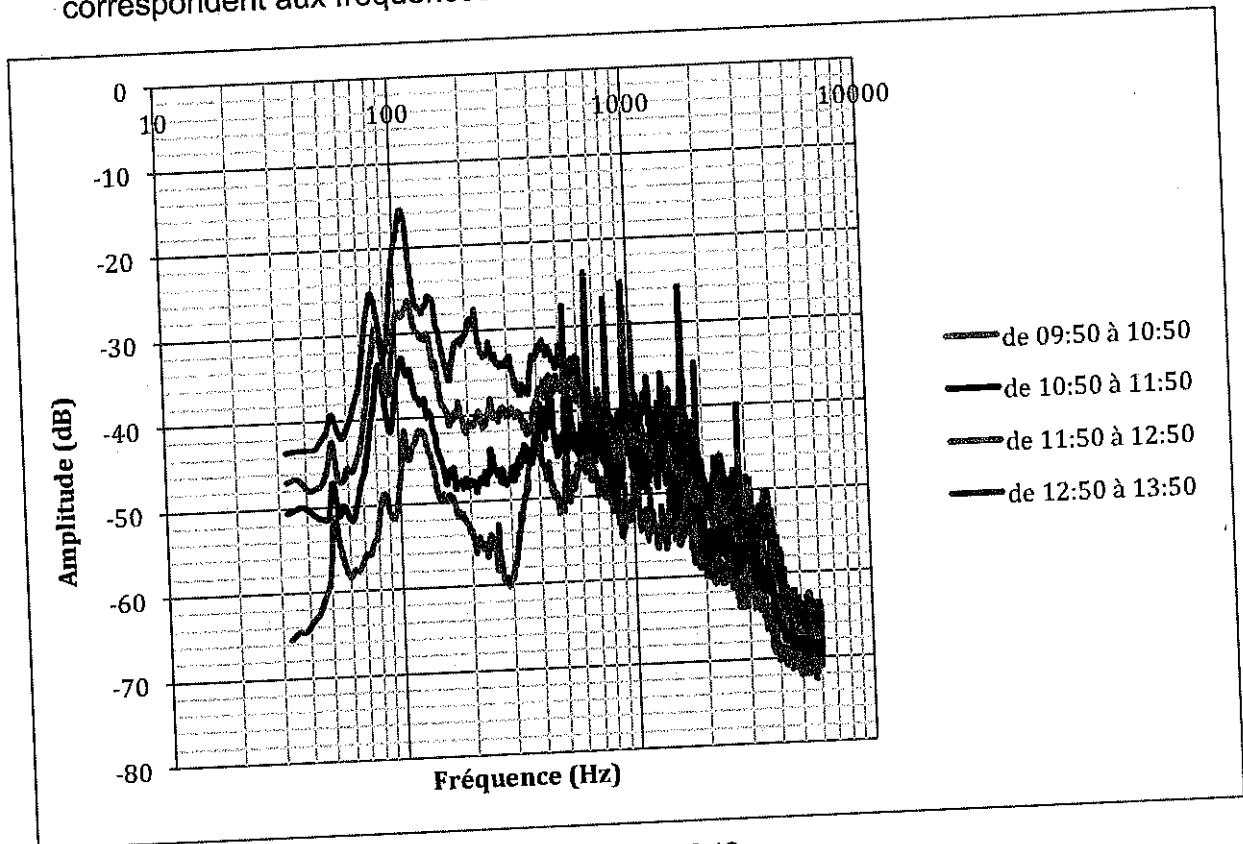


Planche 2.12

### 2.1.3 Vols de démonstration réalisés sur A330-200 avec tout le collège d'experts

#### Préambule

Dès le début de notre enquête, les experts Keller et Wannaz, tout deux pilotes sur A330-300 et A340-300 et ayant piloté des A330-200, ont exprimé des doutes quant à la représentativité des conclusions tirées du vol effectué sur A340.

La pilotabilité en assiette et en roulis, à basse altitude, où les pilotes ont l'habitude de piloter à la main, est quelque peu différente entre ces 2 types d'avion. On constate parfois, dans une plage de vitesse inférieure à 250kt et la vitesse finale d'approche soit environ 130kt, spécialement lors de la formation sur A330-200, une tendance à des oscillations en assiette ou en roulis induites par le pilote.

Ce phénomène est rare ou même quasiment absent sur l'A340-300 ainsi que sur l'A330-300. Au vu de la connaissance de cette problématique, un vol en A330-200 nous a paru nécessaire.

En plus de ces caractéristiques de comportement, il nous a également paru important de vérifier en vol la cohérence et la validité des check-lists à disposition des pilotes ainsi que le résultat de ces manipulations sur le type d'avion correspondant, ceci dans des conditions de masse et de centrage équivalentes à celles de l'avion accidenté. Nous avons, entre autre, des doutes quant à la procédure «IAS douteuse» au dessus du FL100 qui recommandait une poussée CLB avec une assiette de 5°. Ce type de manœuvre est assez éloigné de ce qui est pratiqué en vol de ligne et nous désirions une démonstration de cette procédure afin de vérifier qu'elle ne mette pas l'avion en danger en l'amenant finalement hors de son enveloppe de vol lorsqu'on évolue à des altitudes proches du maximum recommandé (REC MAX). En plus de ces considérations, étant donné que la procédure «Alarme STALL» a été modifiée entre temps et qu'elle est maintenant différente de celle de l'époque (censée être connue par les pilotes du vol AF 447), nous voulions tester la validité de la procédure en vigueur à la date de l'accident. Nous avons appliqué celle-ci dans des conditions de masse et de centrage correspondant à celles du vol AF 447, depuis un vol stabilisé d'abord, puis après une ressource effectuée dans des conditions de très basse énergie à haute altitude. Notre but principal dans ces conditions était de vérifier si l'effet cabreur de l'augmentation de poussée des réacteurs (assez important à basse altitude) pouvait être contré sans trop de difficultés dans les conditions du vol AF 447.

Un autre point que nous nous devons d'éclaircir était la pilotabilité de l'A330-200 en loi de contrôle dégradée ALTN2B. En effet, nos expériences de vol en loi dégradées se limitent à des exercices en simulateur, essentiellement effectués à des altitudes relativement basses. De plus, la reproduction des mouvements et des accélérations d'un avion par un simulateur de vol est faite de manière très approximative et incomplète ce qui induit des perceptions sensorielles ne correspondant souvent pas ou peu à celles provoquées au cours d'un vol réel.

Afin de nous rapprocher au maximum des conditions de vol de l'AF 447, nous avons effectué de nuit les exercices de pilotabilité en vol avec la loi ALTN2B lors de notre premier vol. Nous ne disposions ainsi d'aucune aide visuelle supplémentaire (de

type vision périphérique des paramètres extérieurs) susceptible de fournir certains éléments facilitant la stabilisation et seuls les instruments de bord pouvaient donner des références concrètes.

Lors de notre deuxième vol, sur un avion instrumenté, il nous a été offert la possibilité d'expérimenter en vol l'apparition du «deterrent buffet». Ce phénomène est quasiment inconnu des pilotes de ligne en opération. En effet, apparaissant bien après l'alarme STALL persistante, il ne fait plus partie du cursus de formation, car en agissant selon les procédures, on ne devrait jamais atteindre ce domaine de vol. Le comportement de l'avion était intéressant à découvrir car nous en ignorions l'effet dissuasif et surtout la méthode recommandée pour sortir de cette situation.

La procédure IAS douteuse faisant appel à la table «Vol en atmosphère turbulente», nous avons également demandé à valider les valeurs de cette table, ainsi qu'à voir si la correction d'altitude (reprise de 400 ft) effectuée en affichant les valeurs de la table étaient correctes et si suite à la reprise d'altitude les paramètres de vols continuaient à assurer des éléments de vol stables et sûrs.

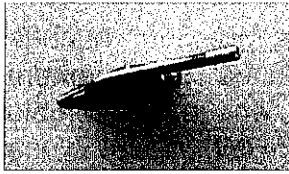
Nous avons également effectué une manœuvre de synthèse reproduisant le plus fidèlement possible la trajectoire induite par les pilotes du vol AF 447. Ceci afin de voir les ordres manche à donner, ainsi que pour ressentir les accélérations subies (lesquelles, de nuit, sans autres références, sont susceptibles d'avoir une influence sur la perception sensorielle des pilotes). Nous voulions également expérimenter la validité de la procédure de sortie de «STALL» après une trajectoire aussi «dynamique».

#### 2.1.3.1 Vol sur l'A330-243 MSN1496 F-WWTP, le 10 février 2014 à Toulouse, en partie de nuit.





Configuration particulière avion :



Tube de Pitot n°2 bouché et son dégivrage inhibé pour tout le vol

Configuration systèmes :

- ATA 27 : FCPC P7/M16
- ATA 31 : FWC T1

### Remarques

- La loi ALTN a été activée en coupant l'ADR3 et en activant l'ADR2 qui est bouchée (double panne d'ADR). La loi ALTN2B s'active alors lorsque la vitesse vue par le Pitot 2 (via les orifices de drainage) dépasse un certain seuil et que les 3 ADR deviennent incohérentes. Cette transition en ALTN2B étant irréversible, on retrouve des informations de vitesse valables au PFD2 pour le bon déroulement des essais, en réactivant l'ADR3.
- La liste des paramètres utilisés dans les paragraphes suivants et issus de l'installation d'essais en vol de l'avion, est fournie en Annexe 2.1-A.

#### 2.1.3.1.1 Essais principaux réalisés et commentaires

1. Prise en mains, évaluation des Qualités de Vol en loi NORMAL, autour de  $M=0,81$ , entre 35000 et 38000ft.

Quelques manœuvres sont réalisées en longitudinal et transversal afin de se familiariser avec l'avion et avoir une base de comparaison pour les essais suivants.

Commentaires pilotes : «Tâche: effectuer des virages de 30° enchainés, et des variations d'altitude de + ou - 1000ft. »

« L'impression aux commandes reflète une grande stabilité, et la possibilité d'effectuer des affichages de paramètres précis, si l'on maîtrise la technique de pilotage qui est celle de l'Airbus 320. Je n'ai pas noté de grande différence avec ce dernier. Le pilotage est «confortable», la réponse à la demande est satisfaisante.»

«J'ai utilisé le «bird» en mode FPA (Flight Path Angle) et je considère que son utilisation est un «plus» pour la précision du maintien des paramètres lorsque l'on vole à la main.»

2. Prise en mains, évaluation des Qualités de Vol en loi ALTN2B, autour de  $M=0,81$ , entre 35000 et 38000ft

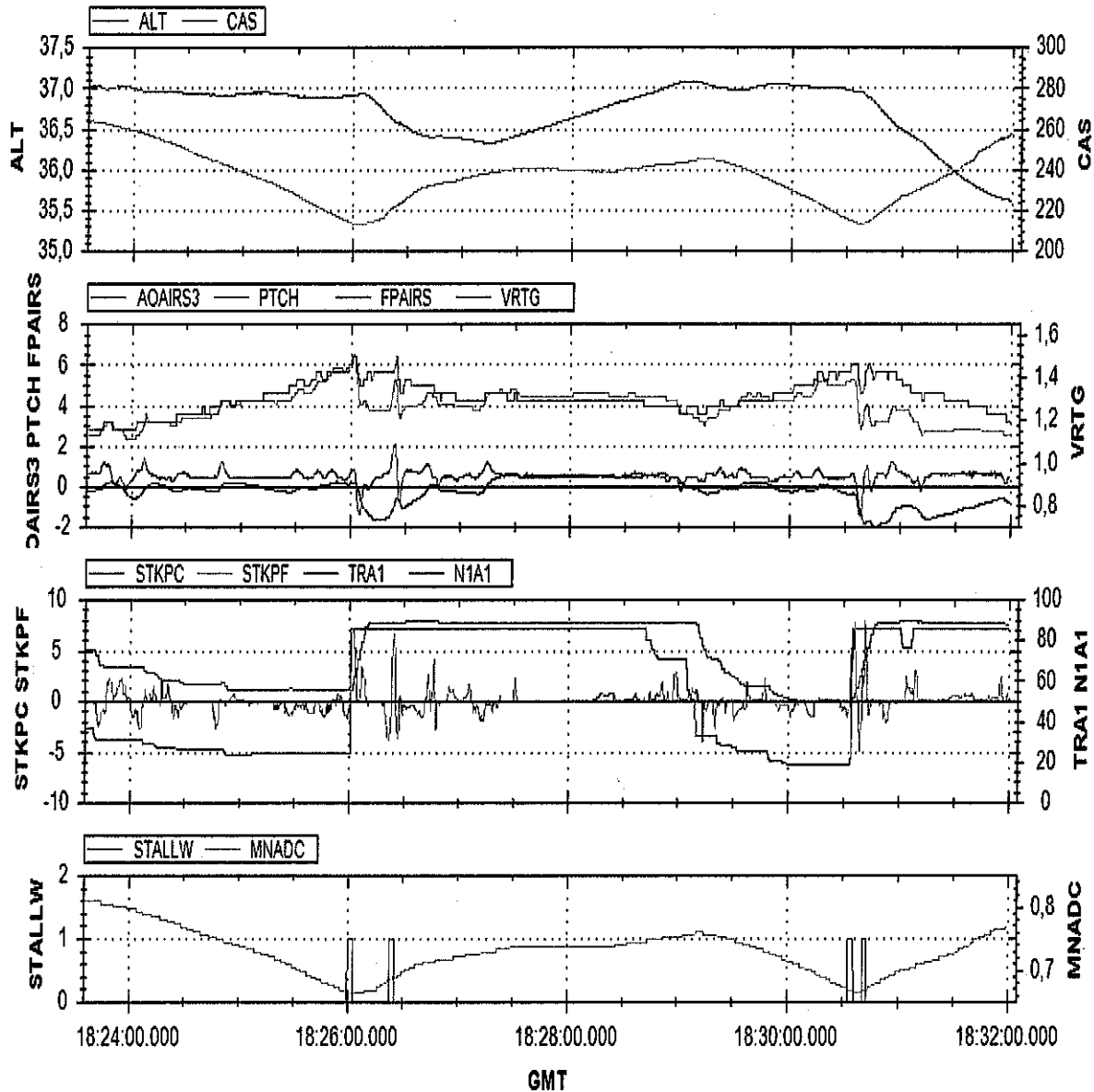
Commentaires pilotes : «La loi de vol ALTN2B ne présente aucune difficulté majeure de pilotage. Le contrôle en assiette est pratiquement identique à celui de la loi normale. Le contrôle en roulis semble étonnamment plus précis qu'en loi normale et l'avion fait preuve d'une bonne stabilité propre. Lorsque des impulsions plus agressives en roulis sont effectuées, il en résulte une perception d'accélération latérale pouvant être interprétées comme des mouvements de lacet. En résumé, cette loi ALTN2B n'est pas un facteur pouvant justifier une «vision tunnelisée» accaparant toutes les ressources du pilote.»

«Je n'ai ressenti aucune différence s'agissant du contrôle longitudinal, la réponse à la demande est correcte ; sans action sur le manche, l'assiette reste stable. »

« En inclinaison, une légère sensation de lacet ou d'accélération latérale. Si l'on conserve un pilotage souple et une demande progressive, comme il est normal de le faire en transport aérien, la réponse latérale est sans grande différence avec la loi normale, si ce n'est cette sensation d'accélération latérale qui ne rend pas pour autant la tâche de pilotage difficile. Il semble qu'une action plus brusque sur le stick amène une réaction latérale plus marquée, qui n'est cependant pas de nature à générer une inquiétude quant au maintien du contrôle latéral de l'avion.»

3. Evaluation du comportement jusqu'à l'incidence d'activation du «STALL WARNING», en décélération, vers  $M=0,7$ , 37000ft. Point 9 de l'ordre de vol.

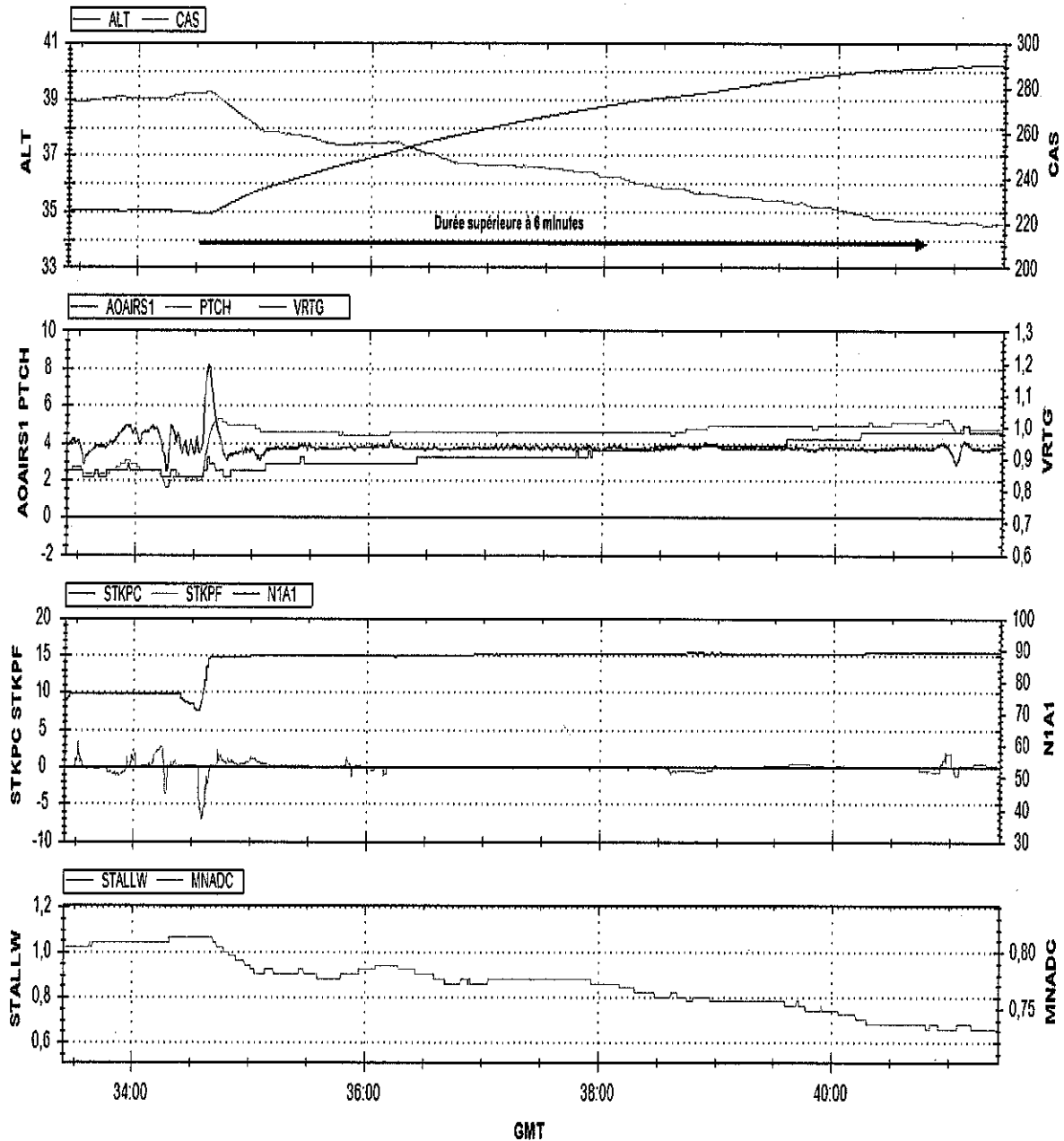
### Essai 09 - High AOA recovery - ALTN2B



Commentaires pilotes : «L'application de la procédure «STALL WARNING», telle que mentionnée dans le FCOM AF a permis un rétablissement rapide et sans problème de trajectoire.»

4. Evaluation de la procédure «IAS douteuse» en appliquant les actions réflexe («Memory Items») à M=0,81, 35000ft. Point 10.1 de l'ordre de vol. Essai réalisé de nuit.

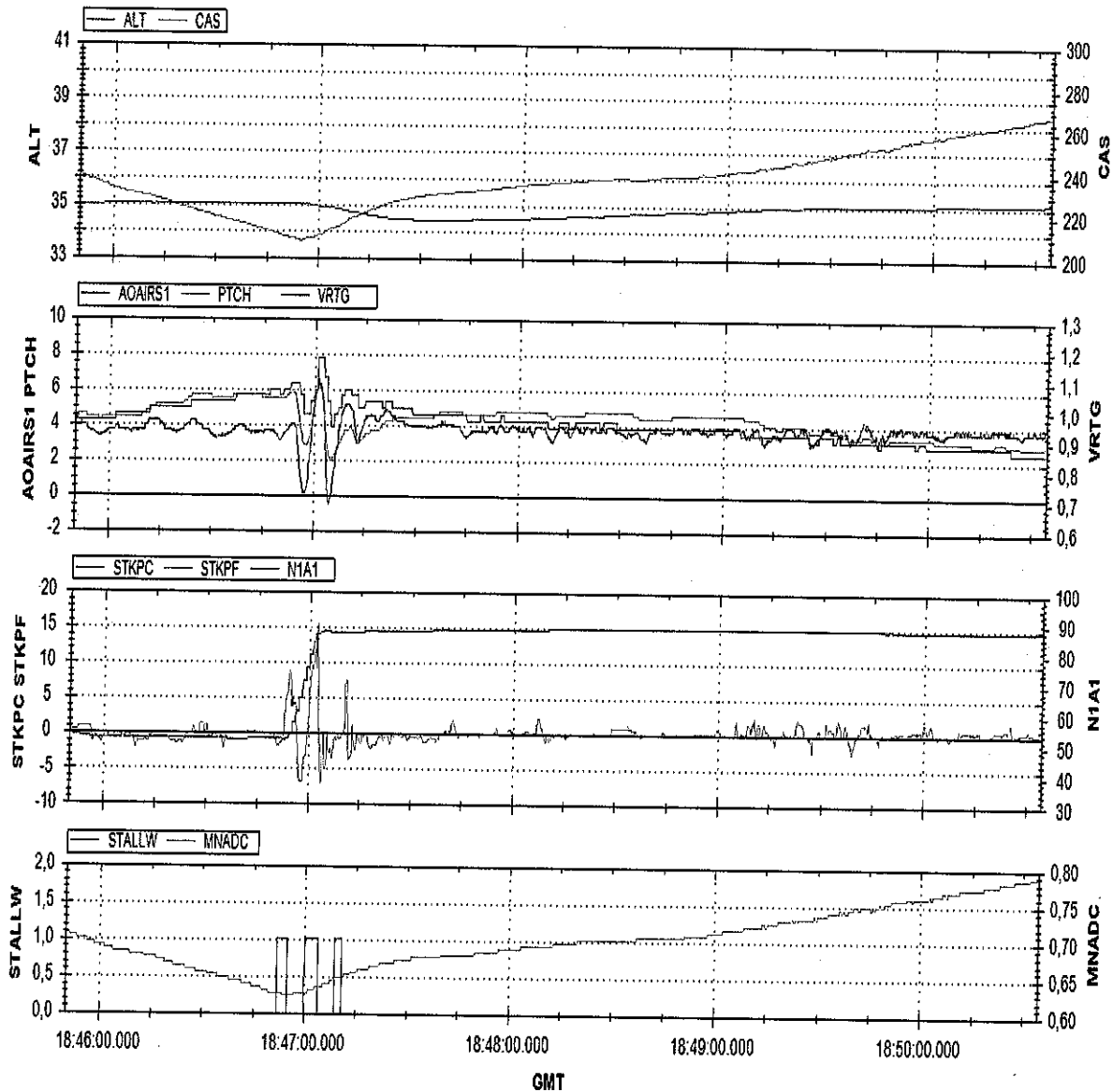
### Essai 10-1 UAS Memory Items - ALTN2B



Commentaires pilotes : «Cet essai démontre la validité de cette procédure au dessus du niveau 100. En affichant la poussée CLB et en maintenant une assiette de 5°, l'avion vole plusieurs minutes sur une trajectoire parfaitement stable, en légère montée.»

5. Evaluation de la procédure «Unreliable Air Speed» (UAS) en appliquant les actions réflexe («Memory Items») à l'activation du «STALL WARNING» en décélération à poussée réduite, à 35000ft. Point 10.2 de l'ordre de vol. Essai réalisé de nuit.

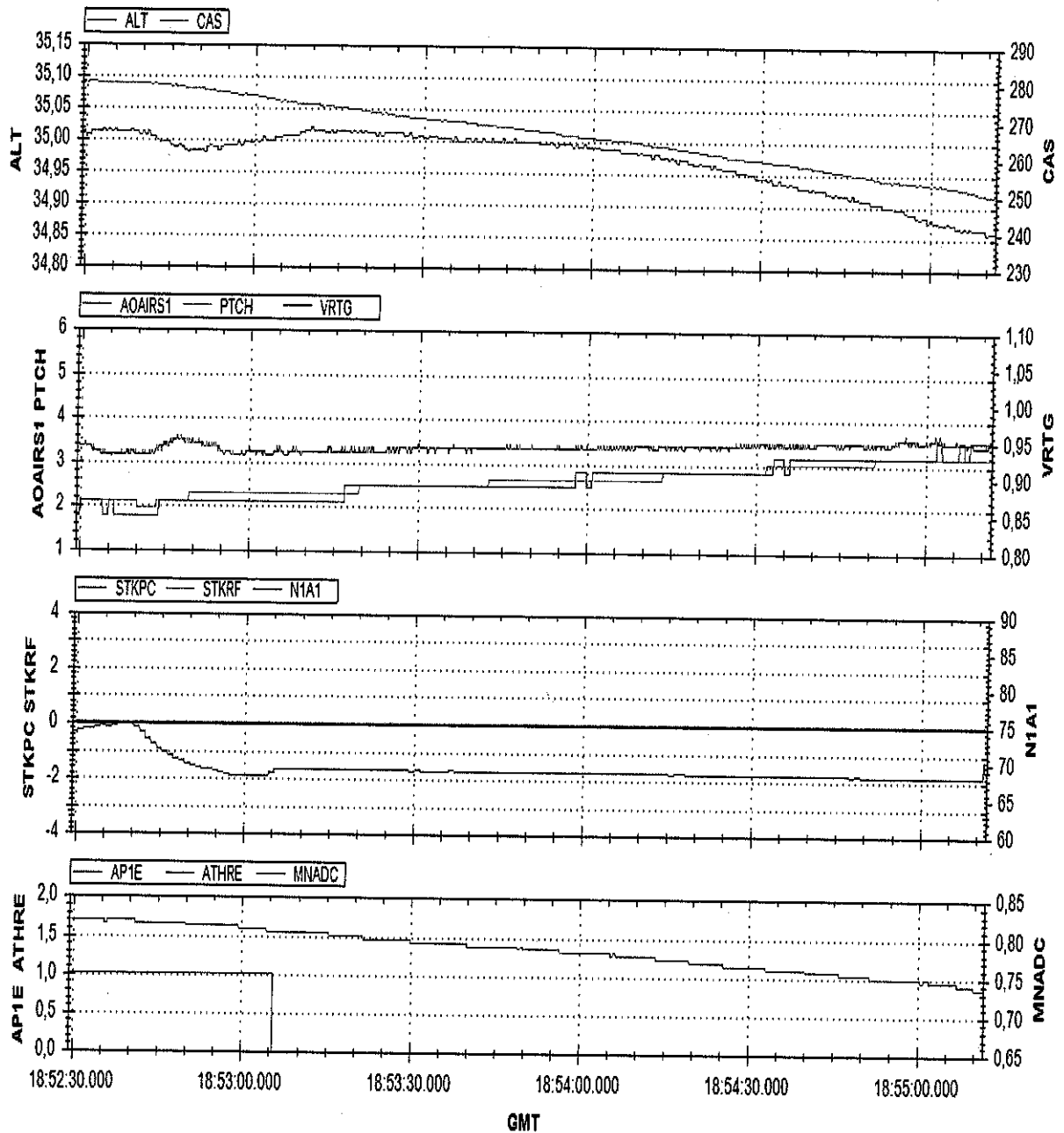
## Essai 10-2 UAS Memory Items - ALTN2B



Commentaires pilotes : «L'application de la même procédure qu'au point précédent, à partir de l'activation de l'alarme «STALL WARNING» a présenté une légère difficulté de stabilisation initiale en assiette (résultant d'une impulsion initiale trop importante ayant amené à une assiette inférieure à la valeur cible), mais une fois l'assiette stabilisée, la vitesse de l'avion augmente et la trajectoire ne présente aucune difficulté de contrôle.»

6. Maintien des paramètres de contrôle lors de «UAS». Point 11 de l'ordre de vol.  
Essai réalisé de nuit.

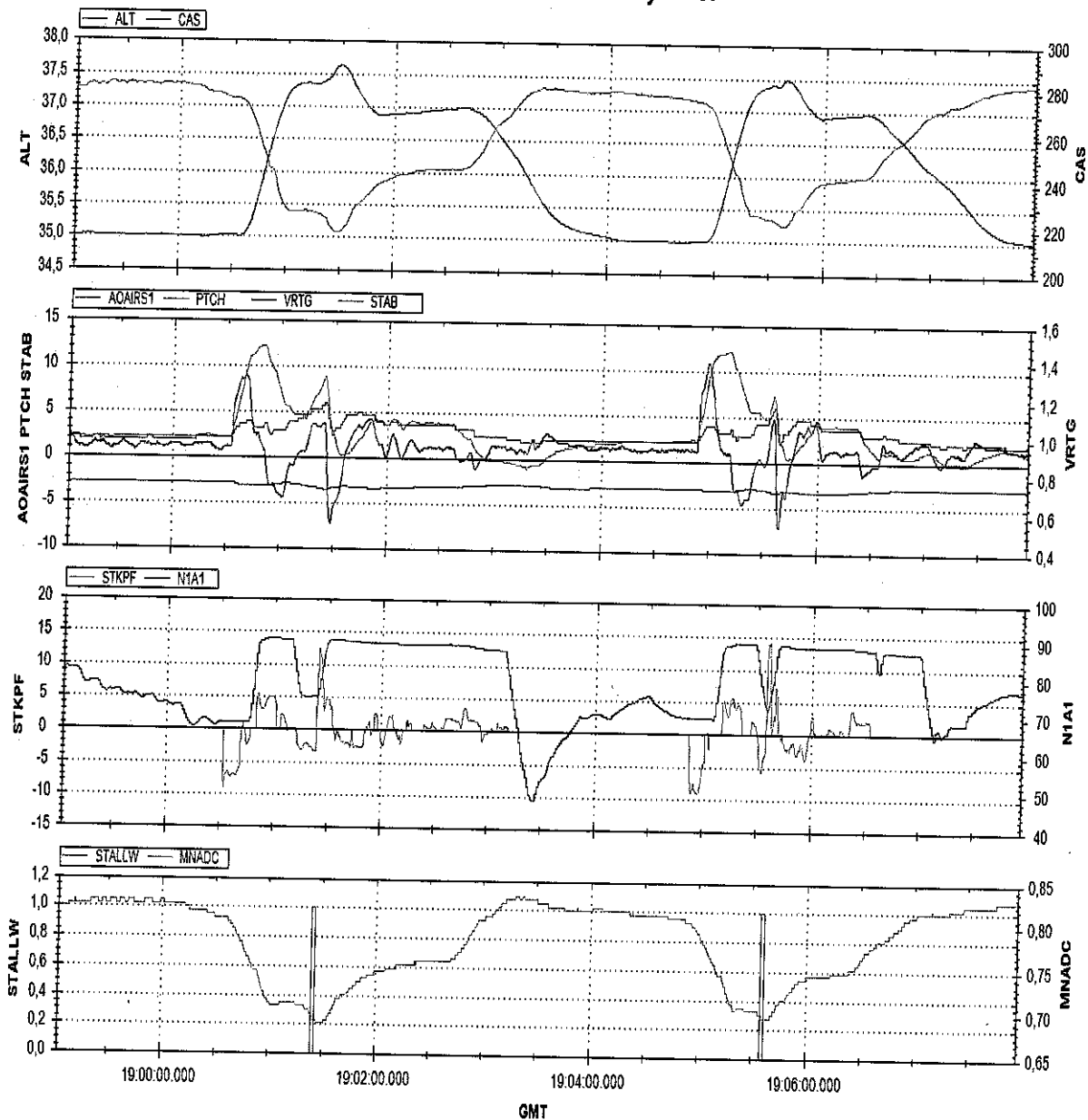
### Essai 11 - UAS Hands Off



Commentaires pilotes : «La trajectoire est restée stable pendant les 120 secondes qu'ont duré l'essai.»

7. Manœuvres de synthèse de l'enchaînement des phases de prise d'assiette, montée, stabilisation, prise d'incidence, depuis M=0,81, 35000ft. Point 12 de l'ordre d'essai. Essai réalisé de nuit.

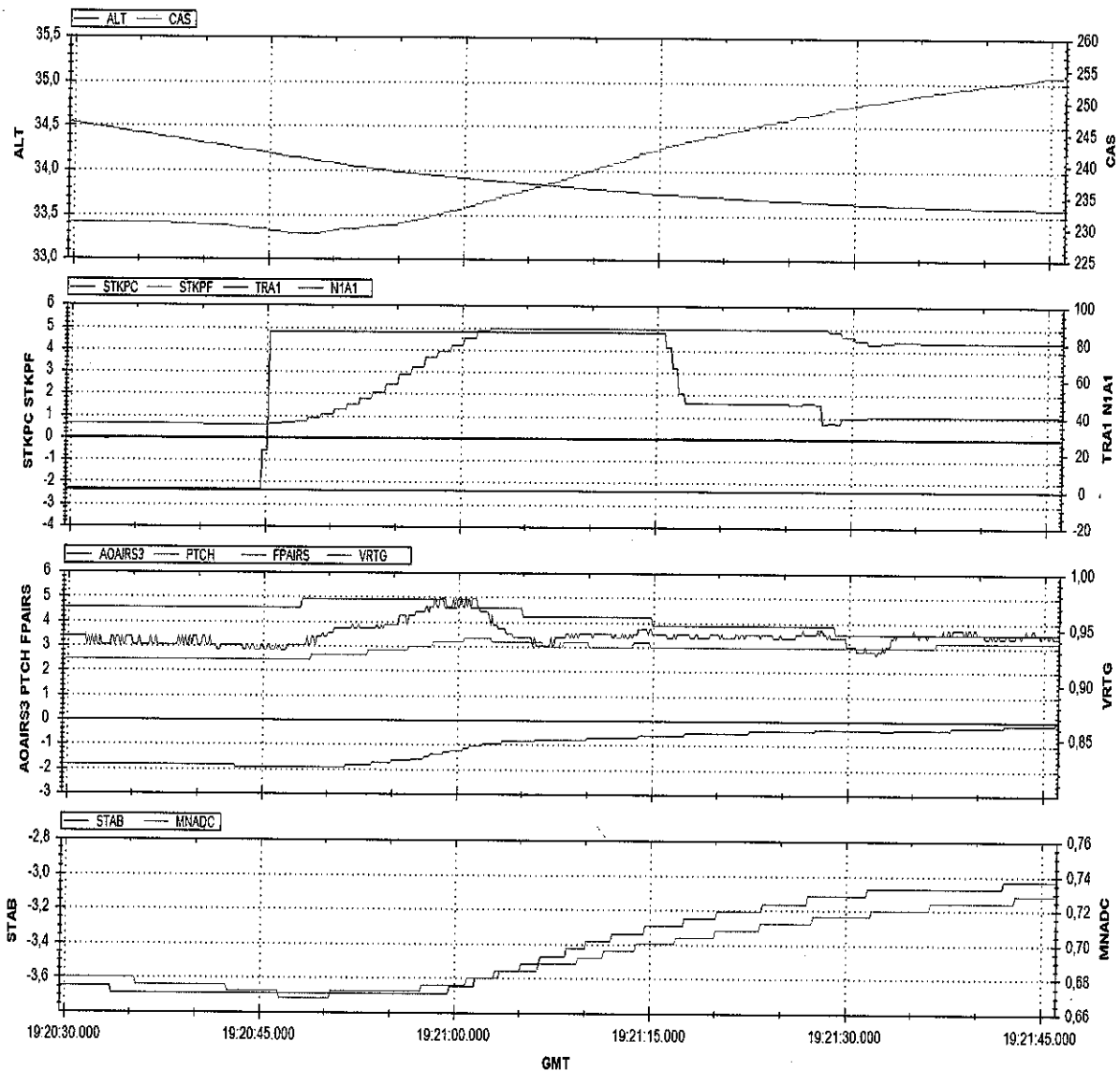
## Essai 12 - Manœuvres de synthèse



Commentaires pilotes : «Manœuvres réalisées par les pilotes d'essais, montrant une trajectoire très proche de celle du F-GZCP. La récupération avec «TOGA et pousser sur le manche» lorsque le «STALL WARNING» s'active, rétablit rapidement la trajectoire et ne semble pas poser de problème majeur de pilotage. Cette manœuvre sera répétée jusqu'au «buffeting» dissuasif par les pilotes experts lors du vol sur avion d'essais.»

8. Evaluation de l'effet d'un échelon de poussée IDLE =>TOGA à M=0,69. Point 14 de l'ordre de vol. Essai réalisé de nuit.

Essai 14 - IDLE=&gt;TOGA - ALTN2B



Commentaires pilotes : «L'application de TOGA à partir de IDLE à Green Dot -10kt, n'a qu'un effet négligeable sur l'assiette et la trajectoire de l'avion.»

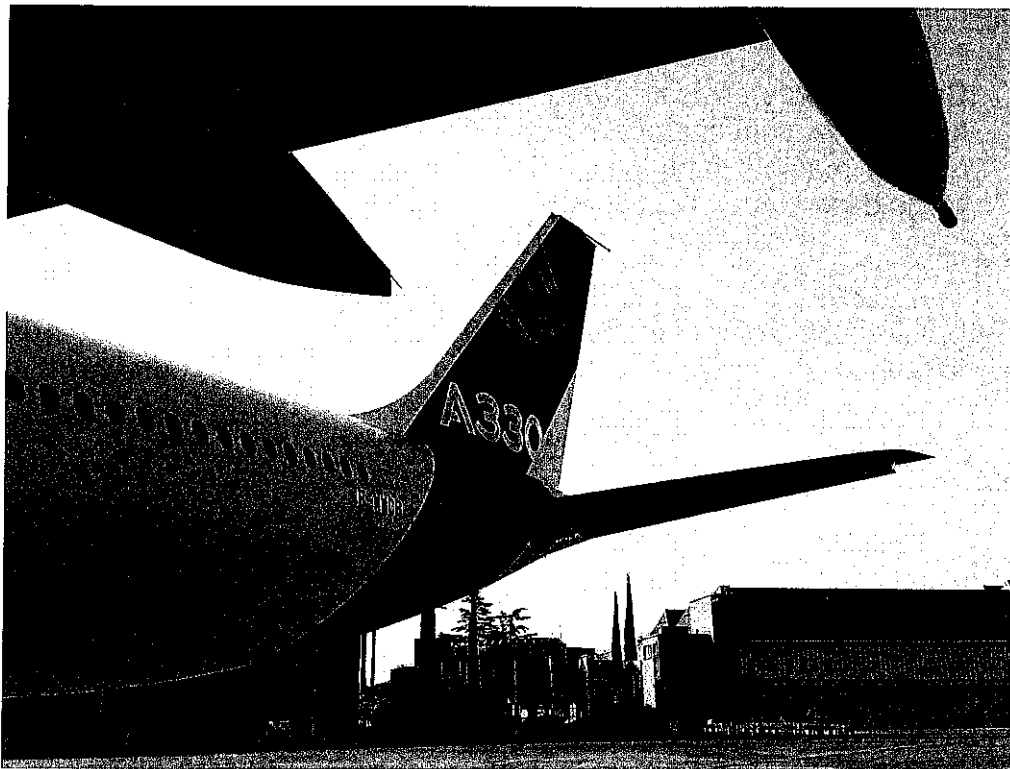
### 2.1.3.1.2 Conclusions après ces essais

Aucune des manœuvres n'a abouti à une situation critique, à des difficultés de pilotage ou à une trajectoire non maîtrisable, en mode dégradé ALTN2B et en utilisant les procédures en vigueur à l'époque.

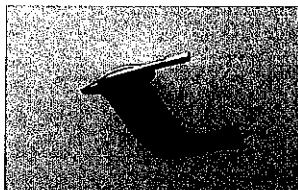
Le compte-rendu de vol écrit par «Airbus Flight Division» est disponible en Annexe 2.1-B.



### 2.1.3.2 Vol sur l'A330-203 MSN871 F-WWCB, le 16 mars 2014 à Toulouse



Configuration particulière avion :



Tube de Pitot n°2 bouché et son dégivrage inhibé pour tout le vol

Configuration systèmes :

- ATA 27 : FCPC P7/M16
- ATA 31 : FWC T1

#### Remarques

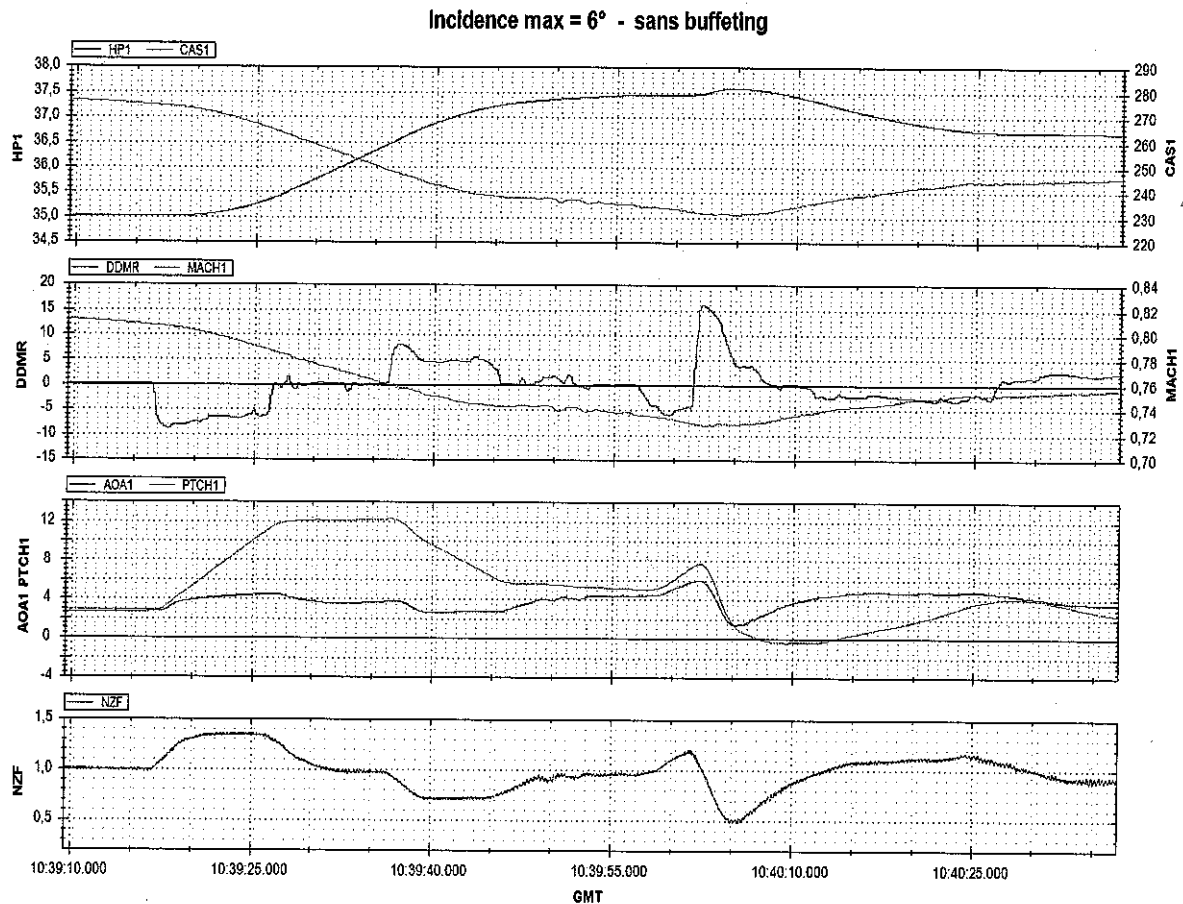
- La loi ALTN a été activée en coupant l'ADR3 et en activant l'ADR2 qui est bouchée (double panne d'ADR). La loi ALTN2B s'active alors lorsque la vitesse vue par le Pitot 2 (via les orifices de drainage) dépasse un certain seuil et que les 3 ADR deviennent incohérentes. Cette transition en ALTN2B étant irréversible, on retrouve des informations de vitesse valables au PFD2 pour le bon déroulement des essais, en réactivant l'ADR3.
- La liste des paramètres utilisés dans les paragraphes suivants et issus de l'installation d'essais en vol de l'avion, est fournie en Annexe 2.1-C.

### 2.1.3.2.1 Essais principaux réalisés et commentaires :

1. Application de la table N1 du FCOM en conditions de turbulence sévère.

Commentaires pilotes : «Les valeurs de la procédure «Vol en atmosphère turbulente» sont correctes et la correction d'altitude réalisée ne modifie que de manière marginale les paramètres de vols qui restent dans une plage de vol tout à fait contrôlée.»

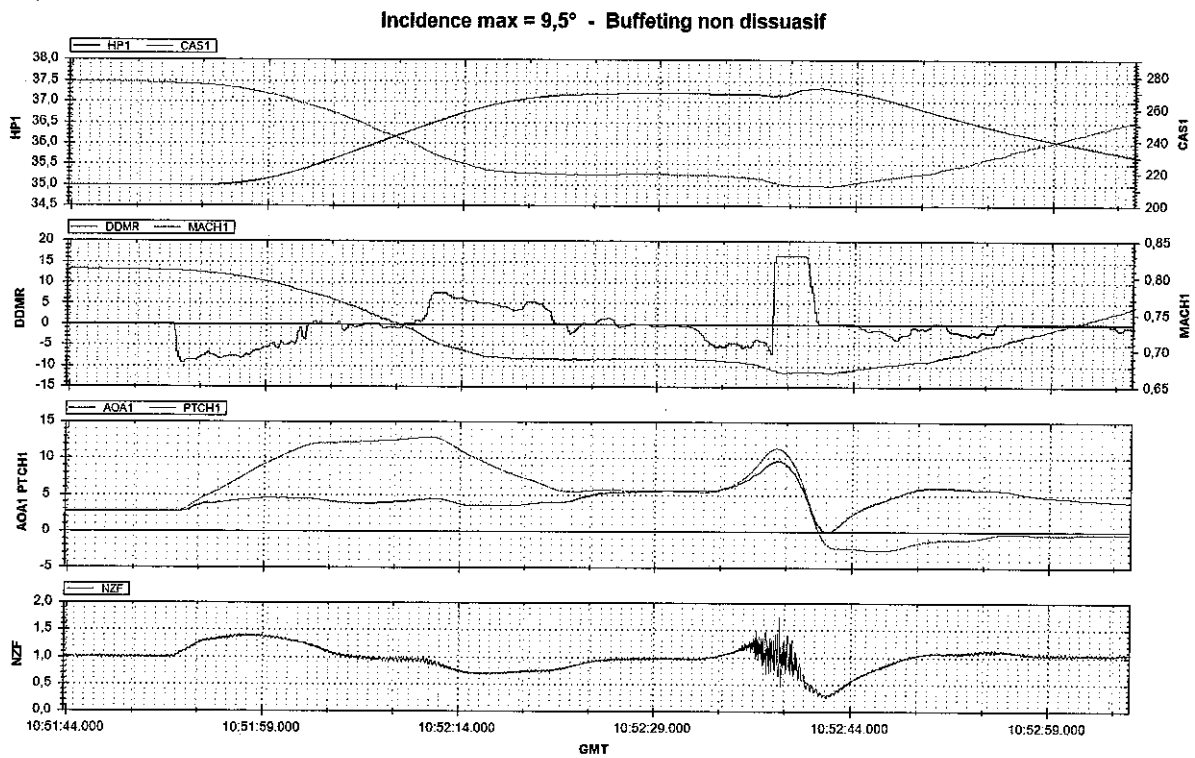
2. Manœuvre de synthèse avec récupération à l'activation du «STALL WARNING», sans «buffeting» (récupération vers 6° d'incidence). Essai 11.1 de l'ordre de vol.



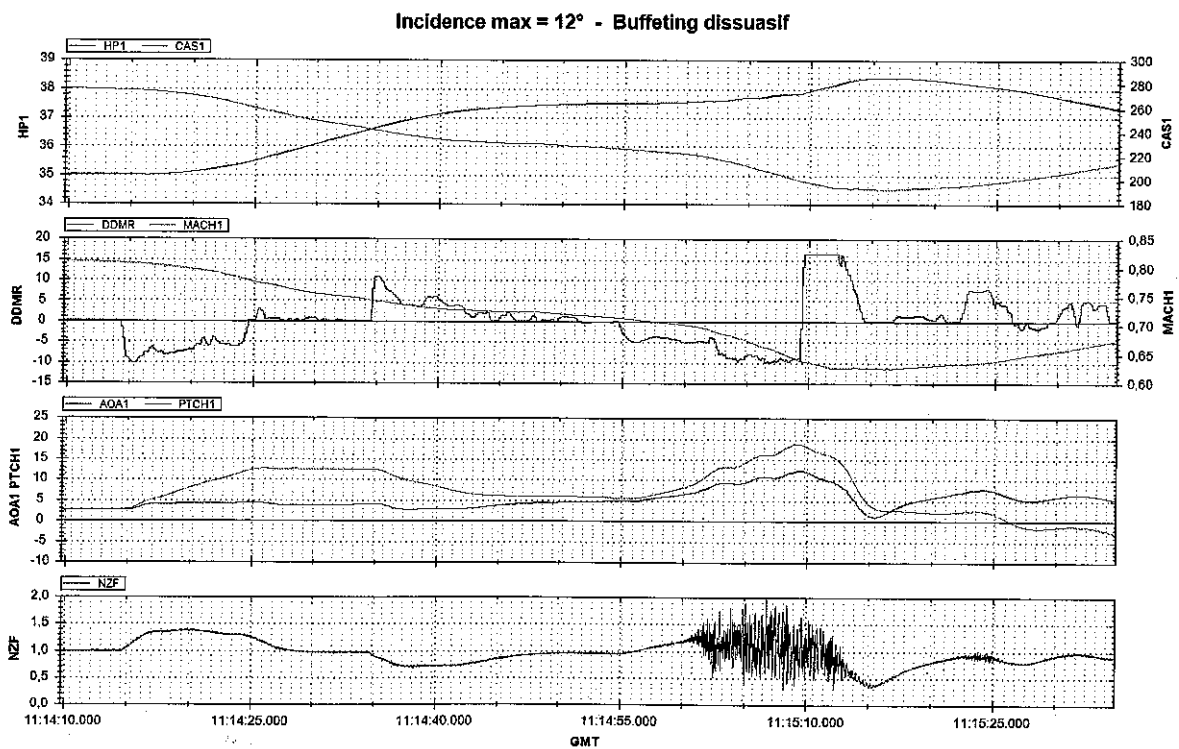
Commentaires pilotes : «Ayant effectué la manœuvre de synthèse décrite au bloc 11.1 «recovery at SW», j'ai constaté que la récupération du SW ne présentait pour moi aucune difficulté, à condition de diminuer franchement l'assiette ; nous avons utilisé la procédure de récupération du décrochage en vigueur jusqu'en 2010, et la poussée TOGA appliquée à cette altitude ne contre pas l'ordre à piquer donné au moyen du side stick. »

« En ce qui concerne le pilotage en roulis – qui peut s'assimiler à une loi directe sur cet axe en ALTN2B – je n'ai pas ressenti de difficulté à maintenir les ailes horizontales et n'ai pas eu d'impression de déstabilisation latérale.»

3. Manœuvre de synthèse avec récupération à l'activation du «STALL WARNING» plus 1°, avec «buffeting» non dissuasif (récupération vers 7° d'incidence). Essai 11.1 de l'ordre de vol.



4. Manœuvre de synthèse avec récupération à l'activation du «STALL WARNING» plus 5°, avec «buffeting» dissuasif (récupération vers 12° d'incidence). Essai 11.2 de l'ordre de vol.



Commentaires pilotes : «La procédure Alarme «STALL» de l'époque, pratiquée depuis le vol horizontal ou après la manœuvre de synthèse n'a présenté aucune difficulté particulière. Tout au plus, une fois l'attitude diminuée et après disparition de l'alarme sonore, le fait d'effectuer la ressource avec une prise d'assiette un peu trop rapide et donc une augmentation du facteur de charge légèrement excessive peut réactiver de manière intermittente une nouvelle alarme «STALL». Instinctivement, le fait de «rendre la main» fera disparaître cette alarme temporaire.»

«Depuis le «deterrent buffet», il nous a été demandé d'effectuer une diminution d'assiette immédiate en poussant le manche jusqu'à la butée avant dès que l'ingénieur d'essai annonçait «recover» dans l'interphone. Cette manœuvre est un peu plus dynamique que celle effectuée lors de la récupération depuis le «STALL».»

«Nous avons constaté, que les vibrations du «deterrent buffet» sont d'une amplitude et d'une intensité largement supérieures à tous les phénomènes de «buffeting» normalement connus. Ces vibrations sont très dissuasives et la logique voudrait que l'on «rende la main» immédiatement afin de retrouver un état de vol plus stable et hors vibrations. La contrôlabilité de l'avion ne nous a pas semblé réduite et nous pouvons donc la qualifier de saine.»

«La diminution appliquée à l'assiette puis la reprise d'une trajectoire de vol normale nous amène aux mêmes conclusions que celles exposées plus haut pour les manœuvres de «STALL».»

Le compte-rendu de vol écrit par «Airbus Flight Division» est disponible en Annexe 2.1-D.

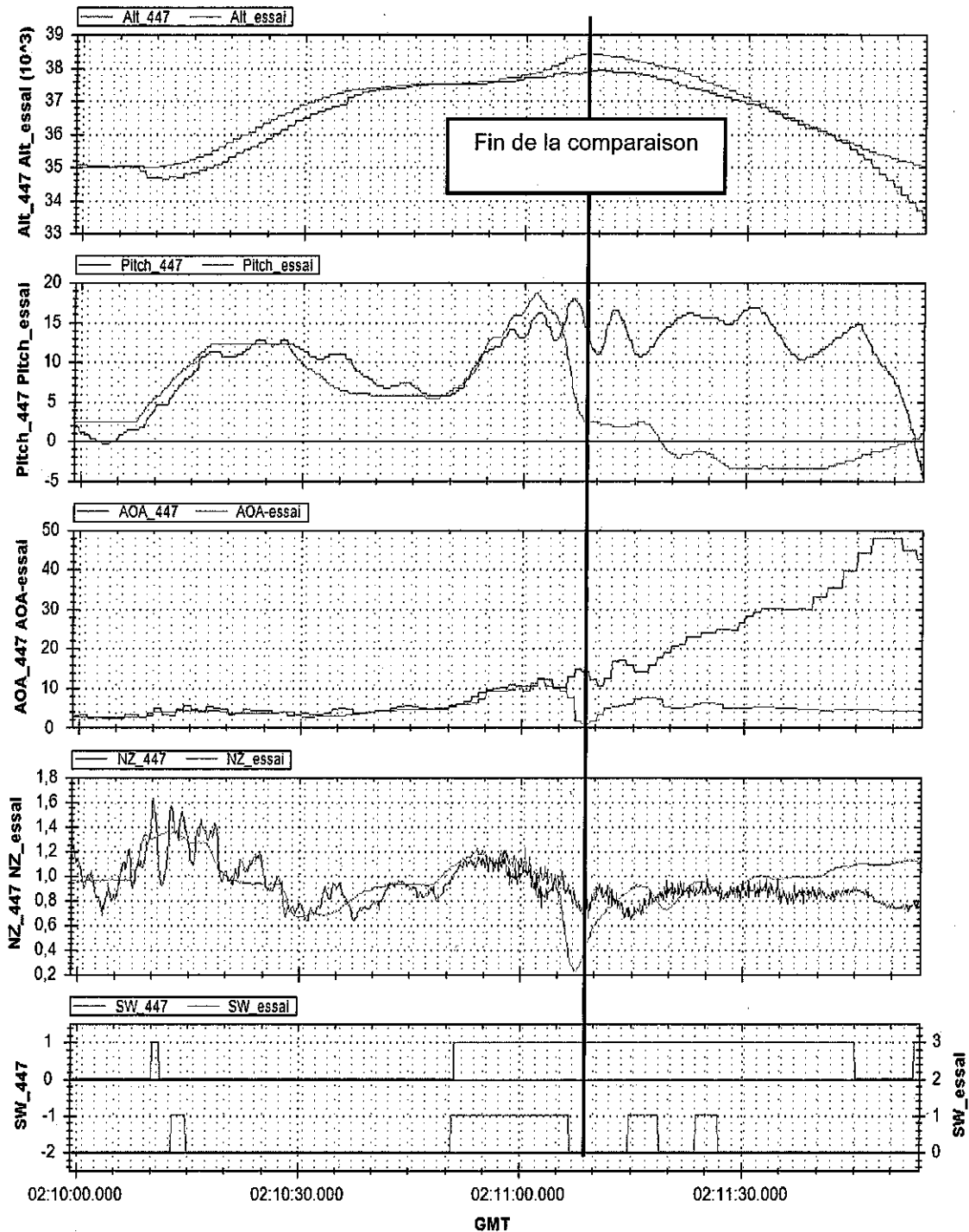
### 2.1.3.2.2 Comparaison avec le vol AF 447

Cette dernière manœuvre dite «de synthèse» est très comparable à la trajectoire globale que l'avion F-GZCP a suivi, dans toute la «Phase 1» et au tout début de la «Phase 2», lors de la prise d'assiette, peu avant 02:11:00.

Sur la planche suivante on trace les paramètres du F-GZCP en bleu et ceux de l'A330 d'essai (recalé en temps), en magenta. On notera :

- les écarts d'altitude sont très faibles si l'on tient compte de l'erreur d'altitude sur le F-GZCP pendant les 30 premières secondes,
- les écarts d'assiette sont faibles,
- les écarts d'incidence sont très faibles,
- la valeur moyenne du facteur de charge vertical est respectée, et le buffeting entre 02:10:50 et 02:11:10, vu par le capteur enregistré dans le DFDR est tout à fait comparable et prouve que l'avion F-GZCP a subi le même buffeting dissuasif que l'A330 d'essais, ce buffeting disparaît avec la diminution d'incidence de l'avion d'essais mais pas sur le F-GZCP.
- les instants d'activation de l'alarme «STALL WARNING» sont cohérents.

## Comparaison F-GZCP / A330 essai



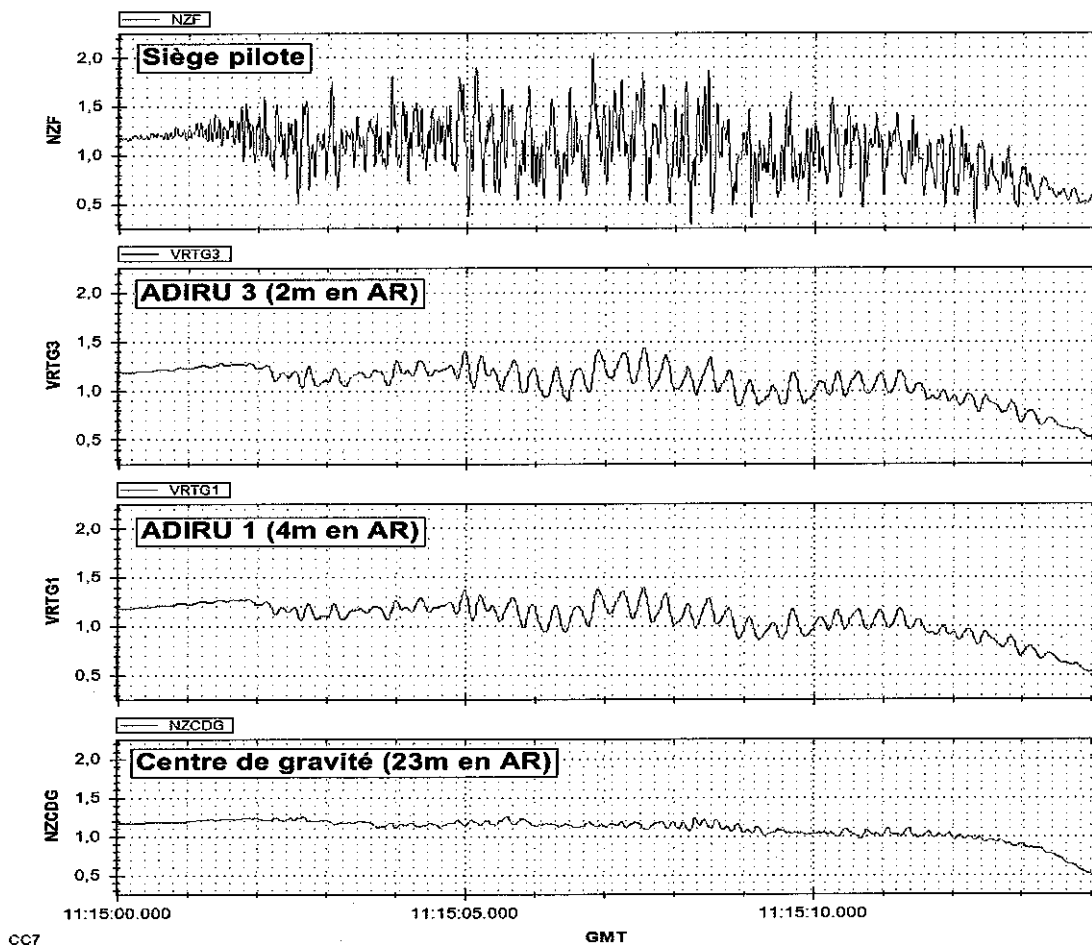
## 2.1.3.2.3 Analyse des vibrations dues au buffeting

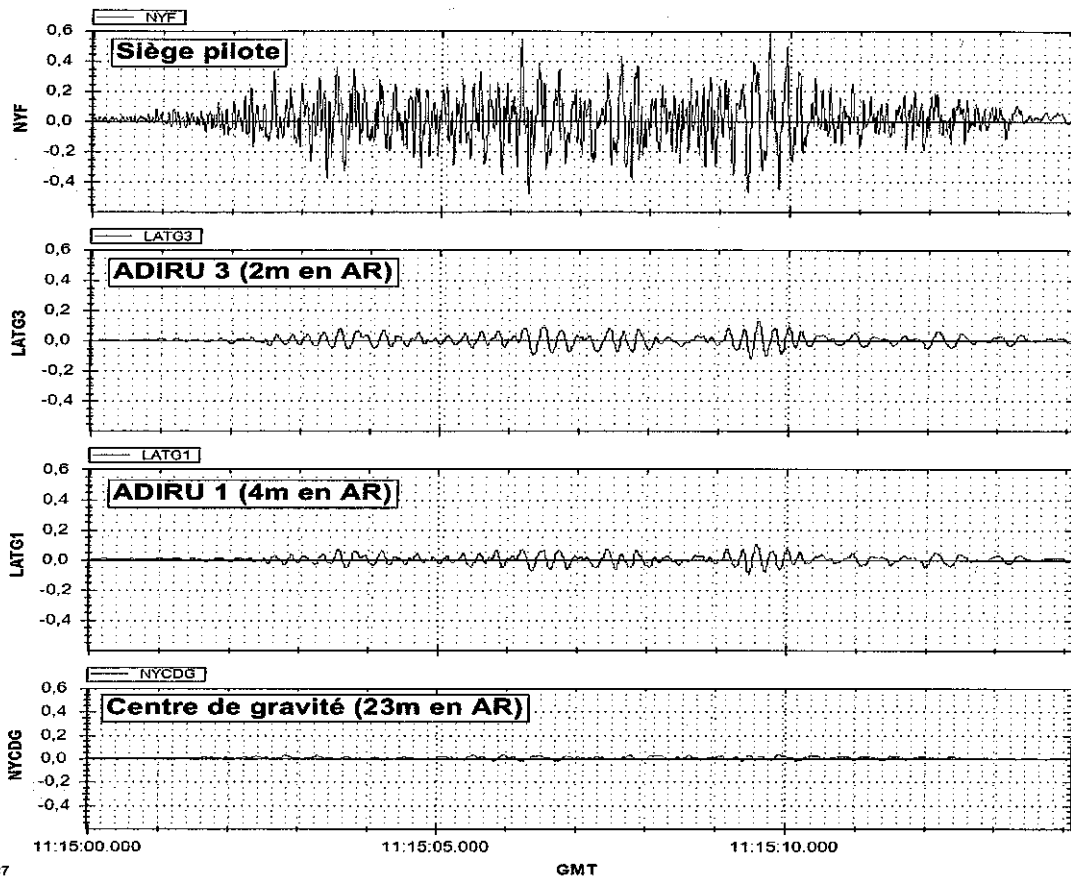
Lors du vol réalisé sur l'avion instrumenté, des capteurs ont été installés, en plus des capteurs propres à l'avion, pour préciser les niveaux des sensations accélémétriques en différents points lors du buffeting. Les capteurs disponibles sont donc situés :

- au niveau du siège pilote,
- dans la centrale à inertie numéro 3, à environ 2m en arrière du pilote,
- dans les centrales à inertie n°1 et 2, à environ 4m en arrière du pilote,
- au voisinage du centre de gravité et du capteur enregistré dans le FDR, à environ 23m en arrière du pilote.

### 2.1.3.2.3.1 Dans le domaine temporel en fonction de l'emplacement des capteurs

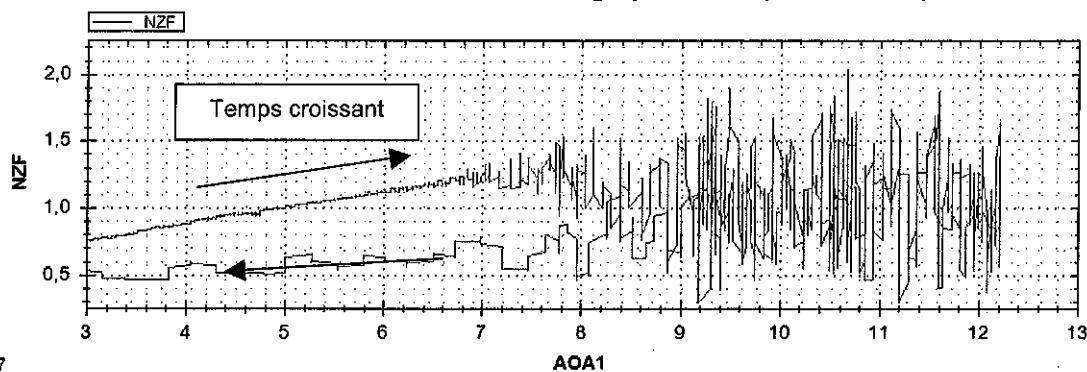
Les tracés suivants permettent de comparer - aux mêmes échelles - les niveaux d'accélération verticale (NZ), puis d'accélération latérale (NY), ressentis aux différents points considérés. La décroissance est très rapide au fur et à mesure que l'on se déplace vers l'arrière du poste de pilotage.





Le tracé de l'accélération verticale mesurée au pied du siège pilote en fonction de l'incidence, sur la planche suivante permet de constater l'évolution relative de ces 2 paramètres.

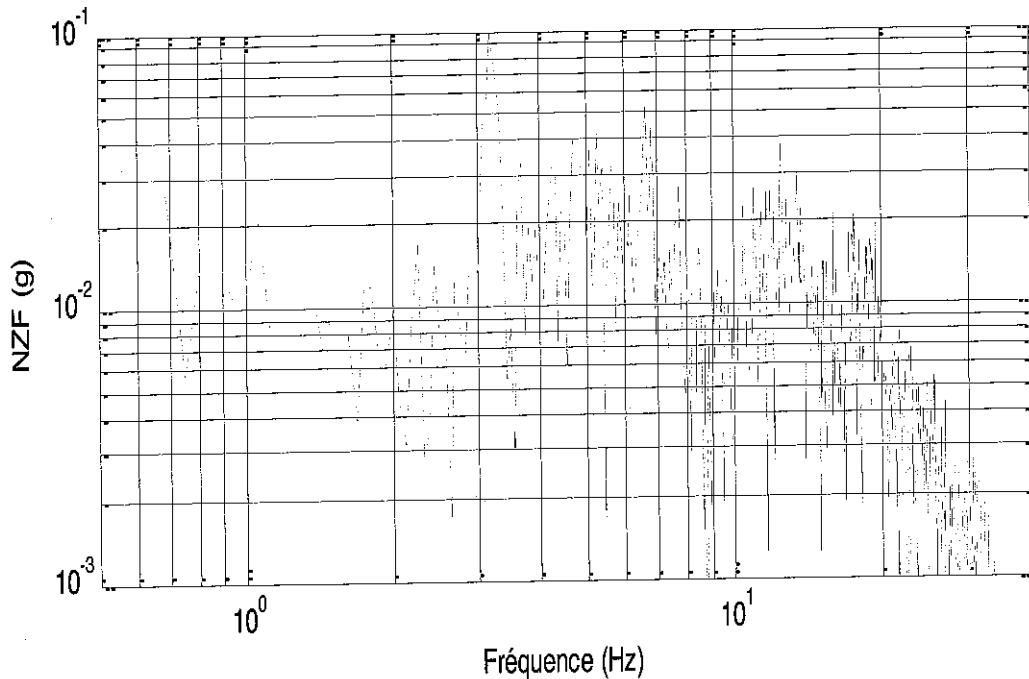
Accélération verticale siège pilote = f ( incidence )



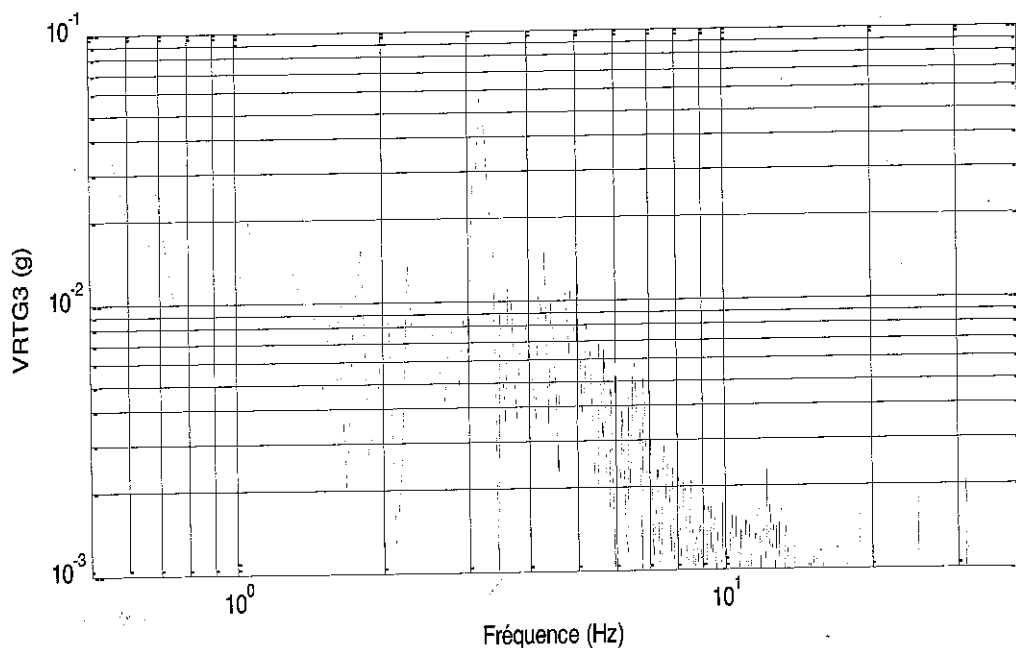
Le temps s'écoule tout d'abord de la gauche vers la droite dans la phase où le facteur de charge est proportionnel à l'incidence, puis un peu avant 7° d'incidence le buffeting commence à apparaître, puis devient «naissant» vers 7,5° et enfin «dissuasif» au delà d'environ 9°. Il se maintient jusqu'à l'incidence maximale atteinte et pendant le rendu de main jusqu'à ce que l'incidence soit passée en dessous de 7°. Les oscillations constatées à des incidences inférieures à 7° sont dues au transitoire d'amortissement des modes souples de l'avion, qui durent un certain temps.

### 2.1.3.2.3.2 Dans le domaine fréquentiel

L'analyse spectrale de cette accélération verticale montre un mode dominant vers 3,2Hz, qui correspond à la fréquence du premier mode souple de vibrations du fuselage («flexion2 nœuds fuselage»). Il existe d'autres modes souples entre 4Hz et 7Hz puis entre 10Hz et 20Hz non identifiés et dont la contribution au signal est relativement faible.

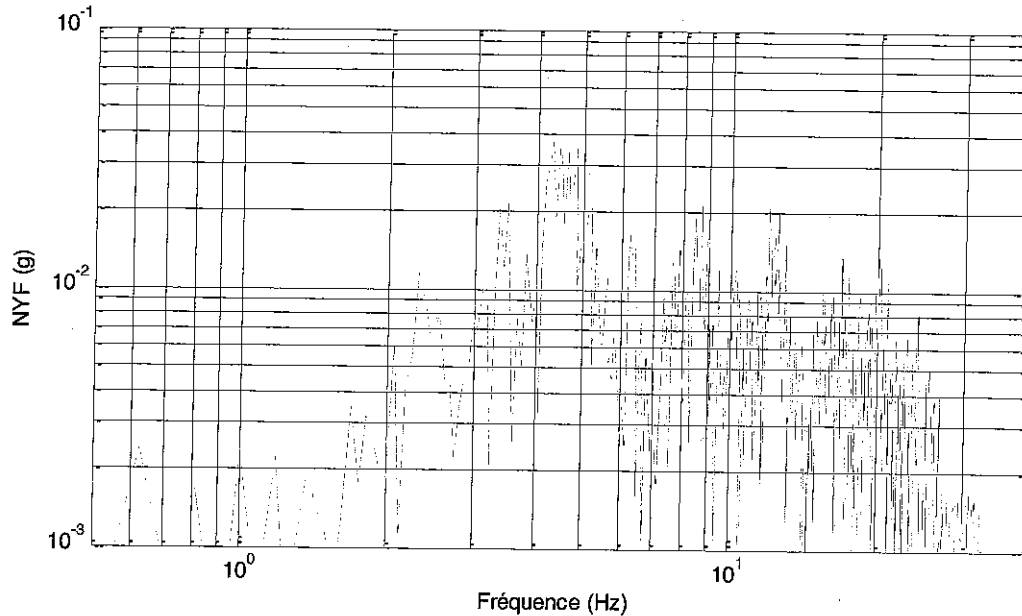


C'est ce même mode à 3,2Hz que l'on ressent à différents niveaux dans tout le fuselage. Par exemple, le spectre du signal issu de l'ADIRU3 le montre presque pur sur la planche suivante :





Par contre, le mouvement latéral détecté par l'accéléromètre situé en pied de siège pilote (NYF), montre sur la planche suivante, une énergie plus étalée dans le domaine spectral, avec un pic entre 4Hz et 5Hz, là où doit se situer le mode «2 nœuds latéral fuselage».



#### 2.1.3.2.3.3 Informations fournies aux pilotes

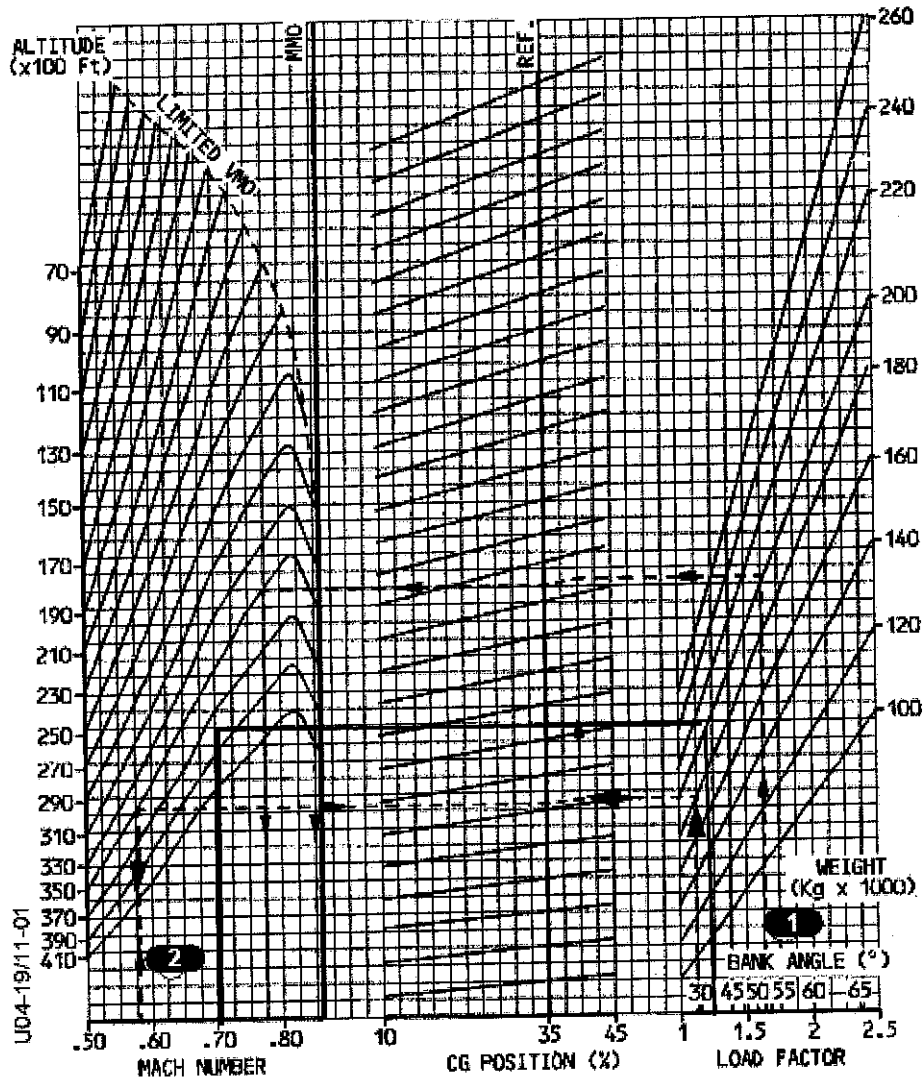
Le domaine de vol où l'on constate le buffeting en configuration «tout rentré», est en parfait accord avec les informations fournies dans le Manuel d'exploitation A330TU, chapitre 4 «performances générales», paragraphe «croisière» qui débute page 04.01.21.01, à la page 04.01.21.08. On peut y vérifier que, à Mach 0,7, Z=38000ft, c=30% et m=205tonnes, le buffeting apparaît vers 1,15g, proche de la limite d'évolution de 1,1g (ou 30° d'inclinaison). Voir planche suivante.

**A330**  
AIR FRANCE  
OA.NT

Performances Générales  
**CROISIERE**

TU 04.01.21. 08  
27 DEC 01

**BUFFETING - LIMITES D'EVOLUTION  
CONFIGURATION TOUT RENTRE**



**EXEMPLES**

Données	Résultats
Niveau de vol ..... 350	Le buffeting se produit avec une inclinaison de 52° ou 1.65 g
Masse avion ..... 200 t	<b>1</b> Buffeting basse vitesse ..... M = 0.775
Centrage ..... 40 %	Buffeting haute vitesse ..... M = 0.85
	<b>2</b> Limites d'évolutions 1,1 g (ou 30°) ..... M = 0.58

### 2.1.3.3 Conclusions générales suite à ces 2 vols de démonstration

Les buts de ces deux vols de démonstration étaient de vérifier la validité des check-lists et des procédures en vigueur ainsi que les qualités de vol de l'A330-200 à haute altitude, spécialement en loi de vol dégradée ALTN2B. Ceci lors de diverses manœuvres et en variant les valeurs de poussée moteur.

En ce qui concerne les qualités de vol, nos doutes ont été levés sur la question de l'influence de la poussée et du couple cabreur observé à basse altitude lorsqu'on augmente celle-ci. Ce facteur n'affecte pas la contrôlabilité aux altitudes correspondantes é celles où le vol AF 447 a effectué ses variations de poussée.

Notre autre incertitude concernant la tendance observée sur l'A330 à effectuer des oscillations induites par le pilote plus importantes que sur l'A340 à basse altitude, et notre méconnaissance du comportement en loi de vol ALTN2B à haute altitude a également pu être levée. Le contrôle de l'avion en loi ALTN2B ne diffère que très peu de la loi normale au niveau du comportement en pilotage et ne présente aucune difficulté particulière. Elle n'est pas un facteur pouvant justifier un effet de « tunnelisation » ou une tétanisation du pilote aux commandes.

Nous avons également émis quelques doutes au sujet du bien-fondé des check-lists en usage à l'époque de l'accident et voulions vérifier le comportement de l'avion lors de l'application des valeurs indiquées dans ces check-lists puisque certaines d'entre elles ont subi des changements parfois importants depuis 2009.

Notre constatation est que l'usage des valeurs indiquées dans ces documents ainsi que l'application des manœuvres préconisées nous ont permis de rétablir la trajectoire, ou lorsque nous affichions des valeurs de poussées, de stabiliser et maintenir l'A330 dans une enveloppe de vol saine et sans problème de contrôlabilité.

En dehors de quelques corrections légèrement excessives lors du rétablissement de la manœuvre de décrochage et qui n'ont finalement généré que des inconvénients de confort ou une réactivation furtive de l'alarme de décrochage, la pilotabilité de l'avion dans l'ensemble de l'enveloppe qui nous a été proposée et dont le spectre va largement au-delà de celui d'une opération de ligne standard n'a posé aucun problème particulier.

Nous pouvons affirmer que la pilotabilité de l'A330 dans ces conditions ne présentait pas de difficultés particulières.

D8944-54

(page vierge)

## 2.2 Les causes de l'accident

L'accident est dû à la perte de contrôle de l'avion suite à la réaction inappropriée de l'équipage après la perte momentanée des indications de vitesse. L'équipage n'a appliqué ni la procédure « IAS douteuse », ni la procédure « Alarme STALL » à l'activation de celle-ci.

## 2.3 Facteurs contributifs

Les facteurs contributifs sont hiérarchisés ci-après par ordre d'importance décroissante :

1. L'absence d'analyse
2. La non compréhension de la situation
3. La répartition des tâches
4. Le retour d'expérience chez Air France
5. La formation
6. Le classement de l'alarme « STALL »
7. Le recours probable à des notions ou des valeurs antérieurement apprises (biais cognitif), mais non adaptées à la situation
8. Le stress
9. L'ECAM (Electronic Centralised Aircraft Monitor)
10. La complexité du choix des check-lists/procédures
11. Le rôle du CDB (Commandant De Bord)
12. La fatigue
13. La traversée de la ZCIT (Zone de Convergence Inter Tropicale)
14. La correction d'altitude en fonction du nombre de Mach

### 1. L'absence d'analyse

L'absence d'analyse structurée de la panne présente.

### 2. La non compréhension de la situation

Le manque total de compréhension de la situation (situation awareness), malgré l'identification de la perte des affichages de vitesse.

Par la suite, les pilotes n'ont pas réalisé qu'après environ une minute les vitesses sont redevenues correctes, à un moment où l'avion était encore récupérable.

Les vibrations et le bruit aérodynamique sont apparemment interprétés comme liés à une vitesse excessive par l'OPL1.

Cette perte de compréhension de la situation pousse l'équipage à effectuer des actions désordonnées, non coordonnées, et à éprouver un sentiment d'impuissance face à la situation.

### 3. La répartition des tâches

La répartition des tâches dans le cockpit après une panne selon la doctrine Air France a été suivie très brièvement, avant d'être abandonnée au profit d'une gestion désordonnée de la situation, avec absence de leadership du pilote assis en place droite (désigné suppléant du commandant), et coaching des éléments de vol par le pilote assis en place gauche, qui néglige les tâches qui lui sont dévolues.

La focalisation des deux pilotes sur des éléments de trajectoire n'a plus permis au pilote de renfort (siège de gauche) de faire appel à des éléments de vol objectifs et des sources d'information fiables (assiette, poussée) ainsi que leur référence dans le QRH (Quick Reference Handbook).

Le fait de confier la responsabilité de commandement au pilote en siège droite, qui est aussi le pilote en fonction, engendre un déséquilibre marquant dans les charges de travail. De plus le traitement des check-lists dans cette configuration d'équipage implique pour les deux pilotes l'exécution des tâches depuis un siège opposé à celui qu'ils occupent normalement (Réf. § 4.4).

### 4. Le retour d'expérience chez Air France

L'absence de directives claires de la part d'Air France malgré plusieurs cas analogues faisant suite à des givrages des sondes Pitot et donc un retour d'expérience insuffisant.

Ces différents cas ont tous eu lieu à haute altitude et, dans la quasi totalité de ceux-ci, aucune procédure existante telle que publiée n'a été appelée.

L'information envoyée par l'OSV (Officier de Sécurité de Vol) « Anomalie anémométrique A330/A340 » datée du 6.11.2008 suite à plusieurs incidents de pertes d'indication des vitesses est lacunaire. Elle ne préconise aucune procédure spécifique et n'évoque jamais la procédure « IAS douteuse ». Son contenu peut induire en erreur quand il mentionne initialement la présence d'annonce furtive ou persistante « STALL » puis, dans la phrase suivante, cite notamment le fait que les équipages ne déclarent aucune sensation d'approche de « STALL » malgré l'apparition de cette l'alarme.

### 5. La formation

L'insuffisance de la formation des pilotes dans l'application de la procédure « IAS douteuse » en croisière ainsi que sur le comportement de l'avion à haute altitude lors de la perte des indications de vitesse.

Les entraînements effectués à basse altitude ne tiennent pas compte des restrictions liées à une enveloppe de vol bien plus restreinte lorsque l'on vole à haute altitude.

Les pilotes disposant déjà d'une qualification de base complète de type A320 ou A340, n'ont plus été entraînés de manière systématique, lors de leur qualification de

type sur A330, aux problèmes liés à des pertes d'indication de vitesse ou d'approche de décrochage. Ces points ont été traités uniquement lors leur qualification initiale.

## **6. Le classement de l'alarme « STALL »**

Le fait que l'alarme « STALL » soit classée dans les procédures anormales complémentaires et ne figure pas comme une manœuvre d'urgence (à effectuer de mémoire).

## **7. Le recours probable à des notions ou des valeurs antérieurement apprises (biais cognitif), mais non adaptées à la situation**

Lors de la perte des informations de vitesse, une valeur cible d'environ 12° semble avoir été prise et suivie, correspondant à une valeur existante dans diverses procédures (12.5°), mais inadéquate à cette altitude.

Lors de l'apparition de l'alarme « STALL », une valeur cible d'assiette de 15° semble avoir été prise et suivie, correspondant à la valeur publiée de la procédure « IAS douteuse » réalisée à basse altitude, mais totalement inadéquate à ce niveau de croisière.

## **8. Le stress**

Situation de panique et de blocage qui empêchait l'équipage de réfléchir de manière rationnelle et d'analyser la situation avec les éléments disponibles.

La conséquence est une perte complète de la vision d'ensemble, en partie liée à une focalisation des deux pilotes sur leur perception de la trajectoire verticale.

## **9. L'ECAM (Electronic Centralised Aircraft Monitor)**

L'ECAM affiche une cascade de pannes, à la suite de la perte des données de vitesse, mais ne fait pas apparaître un message clair « Unreliable Airspeed », parce que non-existant.

Le traitement de l'ECAM ne s'est pas fait selon les règles de l'art et la cause de la panne à l'origine de ces messages multiples n'ayant pas été établie, le recours à une procédure QRH/Papier n'a pas eu lieu.

## **10. La complexité du choix des check-lists/procédures**

La complexité trouvée dans la documentation, qui offre plusieurs possibilités d'entrée afin d'effectuer une check-list correspondant au « Vol avec IAS douteuse » ainsi que leurs différences.

Ces multiples possibilités ne contribuent pas à faciliter la décision quant à la procédure à utiliser.

### **11. Le rôle du CDB (Commandant De Bord)**

Attitude du CDB lors de la passation de pouvoir, non contributive à la responsabilisation du pilote suppléant quant à sa fonction.

Attitude discutable du CDB qui quitte le cockpit malgré les questions que se pose le pilote suppléant à l'approche de la ZCIT.

### **12. La fatigue**

La fatigue inévitable, après un décollage le soir et 4 heures de vol de nuit.

### **13. La traversée de la ZCIT**

Passage au travers d'une zone à forte densité de cristaux de glace entraînant l'obstruction temporaire des 3 sondes Pitot.

### **14. La correction d'altitude en fonction du nombre de Mach**

La disparition de cette correction d'altitude, lors de la perte de l'indication de vitesse (mal ou pas connue des pilotes), a modifié l'altitude indiquée d'environ 400 ft, contribuant à l'effet de surprise et vraisemblablement à la manœuvre initiale vers le haut.



### 3 Réponses aux questions de la mission

#### 3.1 Déterminer les causes de l'accident et hiérarchiser les facteurs contributifs

Voir paragraphes 2.2 et 2.3

#### 3.2 Dire si l'accident aurait pu être évité, et dans l'affirmative par quels moyens

La réponse est un oui sans équivoque et ce à au moins 3 occasions :

**1 - Après la perte des indications de vitesse et de la déconnexion du pilote automatique qui en a résulté :** ne rien changer à la trajectoire (puisque à ce moment la conduite du vol n'était pas affectée dangereusement selon les termes du QRH), seule une indication erronée de légère perte d'altitude était notable et celle-ci pouvait être corrigée par une légère prise d'assiette (+1° à +2° au maximum).

Les éléments de trajectoire étaient stables et laissaient aux pilotes suffisamment de temps pour chercher, selon la/les procédures QRH, les valeurs d'assiette et de puissance moteur correspondant à l'altitude et à la masse de l'avion.

#### CROISIERE

- Ajuster le N1 de manière à maintenir un niveau de vol avec une assiette constante. Lorsque le temps le permet, se reporter au tableau "VOL EN TURBULENCE" (QRH) et ajuster l'assiette pour maintenir le niveau de vol.

CONFIGURATION LISSE				
		< à 160t	160 t à 190 t	> à 190 t
FL	VITESSE	ASSIETTE (°) / POUSSÉE (% N1)		
< au FL 250	240 kt	2.5 / 68.1	4 / 72.6	5 / 75.7
FL 250 - FL 370	260 kt	2 / 83.9	3 / 87.9	3.5 / 90.0
> au FL 370	M 0.80	2 / 90.0	2.5 / 93.4	3 / 94.3

A330/340		Procédures normales		TU 02.03.30. 03										
AIR FRANCE		Utilisation particulière		31 JUL 09										
O.A.N.T		VOL EN ATMOSPHERE TURBULENTE		A330										
2.1. Affichage de la poussée pour la vitesse recommandée (A330)														
➤ Si turbulence modérée : possibilité de réduction vers la vitesse recommandée.														
➤ Si turbulence forte : sélectionner une vitesse $\leq$ à la vitesse recommandée.														
N1 requis pour la vitesse recommandée														
FL	IAS ou Mach	MASSE (t)												
		120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
410	0.80	89.2	90.1	91.1	92.1	93.5	95.2							
390	0.80	88.2	88.9	89.7	90.6	91.6	92.6	94	95.7					
370	0.80	87.3	87.9	88.6	89.3	90.1	91	91.9	92.0	94.3	95.0			
350	260	85.2	85.9	86.6	87.4	88.2	89	90	90.0	91.0	93.1	94.0	96.1	

Ces valeurs auraient permis une poursuite du vol sans difficulté durant la phase transitoire de la perte des données de vitesse.

La procédure a été confirmée lors des vols de démonstration.

**2 - Après la prise d'assiette initiale jusqu'à l'apparition de l'alarme « STALL » persistante:** dans cette phase, la trajectoire pilotée manuellement par l'équipage présentait potentiellement des risques car les paramètres de vol s'écartaient de manière importante de ceux d'un vol de croisière ou de légère montée.

L'application de la procédure d'urgence (à savoir par cœur) demandant, à cette altitude (rubrique « Au dessus du FL100 »), d'appliquer le couple poussée/assiette CLB/5° était une solution garantissant à l'avion de rester dans une enveloppe de vol correcte.

VOL AVEC IAS DOUTEUSE / ADR CHECK PROC	
Effectuer les actions immédiates suivantes (Manoeuvre d'urgence) :	
- AP / FD .....	OFF
- A/THR .....	OFF
- POUSSEE / ASSIETTE .....	AFFICHEES
➤ Si la panne survient avant la réduction de poussée :	
- POUSSEE / ASSIETTE .....	TOGA / 15°
➤ Si la panne survient après la réduction de poussée :	
○ Au dessous du FL 100	
- POUSSEE / ASSIETTE .....	CLB / 10°
○ Au dessus du FL 100	
- POUSSEE / ASSIETTE .....	CLB / 5°
- VOLETS .....	CONFIG MAINTENUE
- SPEED BRAKES .....	VERIFIES RENTRES
- TRAIN .....	RENTRE

La procédure a été confirmée lors des vols de démonstration.

3 - À partir du déclenchement de l'alarme « STALL » persistante : par l'application de la procédure correspondante « Alarme STALL » demandant durant cette phase de vol : TOGA / Assiette longitudinale réduite.

La période durant laquelle cette procédure garantissait un rétablissement, commence lors de la première alarme « STALL » persistante à 02:10:51 et s'étend en tout cas jusqu'à 02:11:11 et vraisemblablement encore quelques secondes durant lesquelles cette manœuvre devait être efficace.

**A330/340**AIR FRANCE  
OA.NTProcédures anormales  
complémentaires  
ATA 27 - COMMANDES DE VOLTU 03.03.27. 01  
15 FEB 07**ALARME "STALL"**

Cette alarme peut apparaître en loi ALTERNATE ou DIRECTE à l'approche du décrochage : une voix synthétique "STALL, STALL, STALL" retentit accompagnée d'une alarme sonore (cricket). Cependant une fausse alarme "STALL" peut retentir en loi normale juste après le décollage si une sonde AOA est endommagée. Dans ce cas, le pilote doit immédiatement reprendre une vitesse opérationnelle normale en agissant sur les commandes :

## ➤ Au décollage :

PF MANETTES DE POUSSEE.....TO.GA

## En même temps :

PF ASSIETTE LONGITUDINALE..... 12.5°

PF INCLINAISON.....AILES HORIZONTALES

PF SPEED BRAKES ..... VERIFIES RENTRES

*Note : Une fois que la trajectoire et la vitesse sont rétablies, si l'alarme est toujours active, la considérer comme une fausse alarme.*

## ➤ Dans toutes les autres phases :

PF MANETTES DE POUSSEE.....TO.GA

## En même temps :

PF ASSIETTE LONGITUDINALE.....REDUITE

PF INCLINAISON.....AILES HORIZONTALES

PF SPEED BRAKES ..... VERIFIES RENTRES

La procédure a été confirmée lors des vols de démonstration.

Au delà de 02:11:20, lorsque l'incidence dépasse environ 20°, l'avion se trouve constamment en dehors du domaine de vol exploré et connu. A partir de cet instant, il n'est plus possible de se prononcer de manière absolue et formelle sur une éventuelle possibilité de reprise de contrôle.

On notera que toutes les procédures citées ci-dessus font appel aux paramètres poussée-assiette qui sont les éléments fondamentaux de la pratique du vol aux instruments et qui, indépendamment des procédures publiées par les constructeurs, devraient être présents à l'esprit des pilotes quelle que soit la phase de vol. Ces éléments font partie des principes de base dans la formation au vol sans visibilité.

### 3.3 Analyse du compte rendu des opérations de démonstration sur Airbus A340 par le précédent collège d'experts

Le but de ce vol de démonstration, réalisé sur A340 par le précédent collège d'experts, était d'évaluer :

- l'appréciation, pour les trois experts pilotes, du pilotage manuel en loi normale, alternate et directe à basse et haute altitude.
- la perception du phénomène « Buffet Deterrent » au poste de pilotage et dans la cabine passagers.
- l'application des procédures « IAS douteuse » et « STALL WARNING » à haute altitude.

#### 3.3.1 L'appréciation pour les trois experts pilotes, du pilotage manuel en loi NORMAL et ALTERNATE à haute altitude

Notre collègue a été surpris par 2 points :

1. Le vol de démonstration a été réalisé sur un A340 alors que le vol AF 447 était un A330-200. Les écarts de comportement entre ces 2 avions, constatés habituellement par les pilotes peuvent être sensibles.
2. Vis-à-vis de l'appréciation du pilotage en lois NORMAL et ALTN2B, les pilotes expérimentés A330 du précédent collège écrivent :

« Le pilotage latéral en haute altitude est plus sensible qu'en basse altitude, que l'on soit en loi normale ou anormale mais demeure aisé. »

« En loi anormale, le pilotage latéral est sensible et peut mener à l'instabilité si le pilotage est nerveux. Pour autant, dès que l'on diminue l'action sur le manche, la stabilité est à nouveau atteinte en quelques oscillations. »

« Comparativement à des avions classiques, le pilotage de l'avion en ALTN2 reste très aisé. »

En revanche, les commentaires d'un pilote non expérimenté A330, évoquent une façon de piloter surprenante et jamais appliquée par des pilotes :

« Compte tenu des valeurs importantes de vitesse verticale liée à la vitesse élevée (M.80), le pilotage peut être désordonné dès que l'on cherche à maîtriser la trajectoire avec seulement le paramètre de vitesse verticale lu sur le variomètre »

Le sens de la première partie de la phrase reste obscur, et la deuxième partie expose des façons de piloter inhabituelles : en effet, l'information de vitesse verticale n'a jamais été affichée pour pouvoir être utilisée comme paramètre primaire dans une boucle de pilotage. Les seuls paramètres utilisables sont l'assiette longitudinale ou mieux, la pente, ainsi que la poussée.

De façon étrange, aucun de ces commentaires n'a été repris tel quel dans les conclusions.

### **3.3.2 La perception du phénomène « Deterrent Buffet » au poste de pilotage et dans la cabine passagers**

Il est écrit :

« Le « Buffet Onset » est un état transitoire qui n'a pu être identifié lors de la décélération à 1kt/s, il a été perçu lors d'une prise d'assiette franche vers 12°. Il consiste en une légère vibration aérodynamique de basse fréquence (environ 4 à 5Hz). »

Il est tout à fait normal de ne pas avoir pu identifier le « Buffet Onset » en pratiquant des décélérations à 1kt/s et en réagissant en poussant sur le manche 3 secondes après l'activation de l'alarme « STALL », car cette manœuvre est utilisée en essais pour démontrer que, en faisant cette manœuvre, il n'y a aucun « buffet » ni aucun symptôme lié au décrochage.

Lorsque le « buffet onset » a été détecté, ce n'est pas une prise d'assiette qui le déclenche, mais une prise d'incidence au delà d'environ 6°, vers Mach=0,7, tel qu'on peut le relever sur les enregistrements du vol.

Ce que l'on perçoit lors de ce « buffet onset » n'est pas une vibration aérodynamique, ce sont les vibrations structurales du fuselage, excitées par le bruit aérodynamique sur les surfaces portantes, lié aux décollements de l'écoulement.

Par la suite, il est dit, à propos du « Buffeting Deterrent » :

« La dimension « Deterrent » [...] est liée au Mach, cette dimension diminue fortement dès que le Mach diminue. »

« L'intensité du phénomène est liée au Mach d'une part et au taux de décélération (ici 1kt/s). Les valeurs étant différentes pour le vol AF 447, il est probable qu'il y ait eu une diminution sensible et rapide des effets, ce qui explique que l'équipage technique n'en ait pas fait état et que l'équipage commercial n'ait pas appelé le cockpit à ce sujet. »

A haute altitude (voir planche du Manuel d'exploitation TU 04.01.21.08), on observe que les limites d'évolution liées au buffeting, en dessous de Mach=0.81, sont des limites liées aux décollements et non aux ondes de choc sur la voilure, comme on doit pouvoir en observer au delà.

Les phénomènes observés (entre Mach=0.67 et Mach=0.64), ne diminuent donc pas fortement dès que le Mach diminue et ne sont pas liés à la vitesse de décélération

mais à la valeur de l'incidence, qui est le paramètre primordial. Sur le vol AF 447 il est donc fortement probable qu'il n'y ait pas eu de diminution sensible et rapide des effets, comme écrit ci-dessus.

Si l'équipage commercial n'a pas appelé le cockpit à ce sujet, c'est certainement parce que les vibrations liées à ce buffeting ont été ressenties comme de la turbulence faible en cabine passagers (voir planche du § 7.4.3.2 page 316 du rapport du précédent collège d'experts, pour l'effet ressenti au centre de la cabine passagers par rapport au poste de pilotage).

### 3.3.3 L'application des procédures « IAS douteuse » et « STALL WARNING » à haute altitude

L'exploitation des enregistrements des paramètres du vol de démonstration permet de vérifier que, comme écrit dans le rapport :

- après déclenchement du pilote automatique suite à la perte des informations de vitesse,

Sans application de procédure, ni action sur le manche ou la poussée :

« l'avion est resté en ligne de vol, avec un écart d'altitude insignifiant (300ft) pendant plus de deux minutes ».

Avec application de la procédure « IAS douteuse » :

« l'avion pouvait tenir cette position pendant plusieurs minutes sans l'activation de l'alarme « STALL WARNING » ».

Ces deux conclusions sont très importantes vis-à-vis de la situation rencontrée et prouvent que, sans action particulière du pilote pour modifier la trajectoire, ou en appliquant la procédure « IAS douteuse », la trajectoire de l'avion aurait été quasiment conservée pendant un intervalle de temps d'au moins deux minutes, laissant suffisamment de temps aux informations de vitesse pour revenir (au bout de 40s, la CAS1 et la CAS2 étaient devenues valides et comparables et au bout de 62s les 3 CAS l'étaient).

- après l'activation de l'alarme « STALL »,
  - « Dès les débuts de son activation (l'alarme « STALL »), l'alarme est annulée par une simple action de quelques degrés à piquer. L'avion réagit immédiatement à cette sollicitation. »
  - « Par contre, sans réaction de la part des pilotes, en loi ALTERNATE ou directe, il n'existe pas d'autre filet de protection. »

L'exploitation de la bande son des enregistrements vidéo d'ambiance réalisés pendant le vol de démonstration, montre aussi que l'alarme « STALL » semble avoir un niveau suffisant et en tout cas immanquable, même dans les cas où d'autres alarmes sont présentes, car « STALL » est prioritaire.

En conclusion, les constats précédents, essentiels vis-à-vis de l'enchaînement des événements sont reformulés dans les conclusions de la manière suivante :

« 3.1 La procédure « IAS douteuse », procédure non ECAM, bien qu'adaptée à la situation, était inadéquate au vu des symptômes perceptibles. »

« 3.3 Les conditions d'application de la procédure « STALL WARNING » définies dans la documentation, n'étaient pas adaptées à l'urgence de la situation. »

Ainsi exprimées, les conclusions du précédent collège ne traduisent plus fidèlement les constats faits en vol.



## 4 Questions techniques complémentaires soulevées par la demande de contre-expertise d'Airbus

### 4.1 L'utilisation du radar et le choix de la route

A posteriori, en analysant le résultat du « givrage » qui a eu lieu sur l'avion accidenté, il est judicieux d'analyser avec détail la trajectoire choisie par les pilotes du vol AF 447.

Il est effectivement de notre devoir de nous poser la question et de comprendre si les choix effectués par l'équipage ont été judicieux et corrects par rapport à la situation météorologique perçue et les stratégies en vigueur pour éviter une situation dangereuse.

#### 4.1.1 La Zone de Convergence Inter Tropicale (ZCIT)

Le vol AF 447 a été planifié sur une route qui le faisait passer à travers la ZCIT. La route planifiée qu'il a reçue est une route tout à fait normale et habituelle.

La traversée de la ZCIT est une procédure usuelle et pratiquée régulièrement par les équipages. Le choix de la route n'a pas pu constituer une surprise pour les pilotes. De plus, le vol aller a forcément aussi traversé cette zone en direction du Brésil. Sa position générale et son extension dépendant de la saison, elle ne varie que très peu en quelques jours. L'équipage savait ce qui l'attendait durant le vol.

Les pilotes, afin de connaître la position de cette zone par rapport à leur trajectoire de vol planifié, sont en possession de données météorologiques (cartes synoptiques de prévisions) ainsi que de photographies satellites (voir planches 4.1 et 4.2).

Au vu de la carte émise le soir de l'accident, la ZCIT est parfaitement visible et bien localisée, légèrement au nord de la pointe est du Brésil et s'étend jusqu'au sud de la côte ouest-africaine.

Il y est mentionné la présence de Cb (Cumulo-Nimbus, des nuages d'orages), ceux-ci étant isolés dans la masse nuageuse (ISOL EMBD CB) et leur extension verticale pouvant monter jusqu'au FL500.

Une telle carte synoptique ne présente aucun caractère alarmant et est typique de la situation de vol normalement anticipée dans ces régions et à cette période.

Selon notre analyse, une telle situation météorologique ne présentait aucune raison nécessitant une demande de changement de route aux planificateurs de vol, ni même une anticipation de problèmes sérieux à venir. Ces données sont déjà connues lors de la phase de planification du vol. La position de la zone de convergence intertropicale est ainsi normalement connue et sa situation géographique peut-être anticipée lors de la planification du vol.

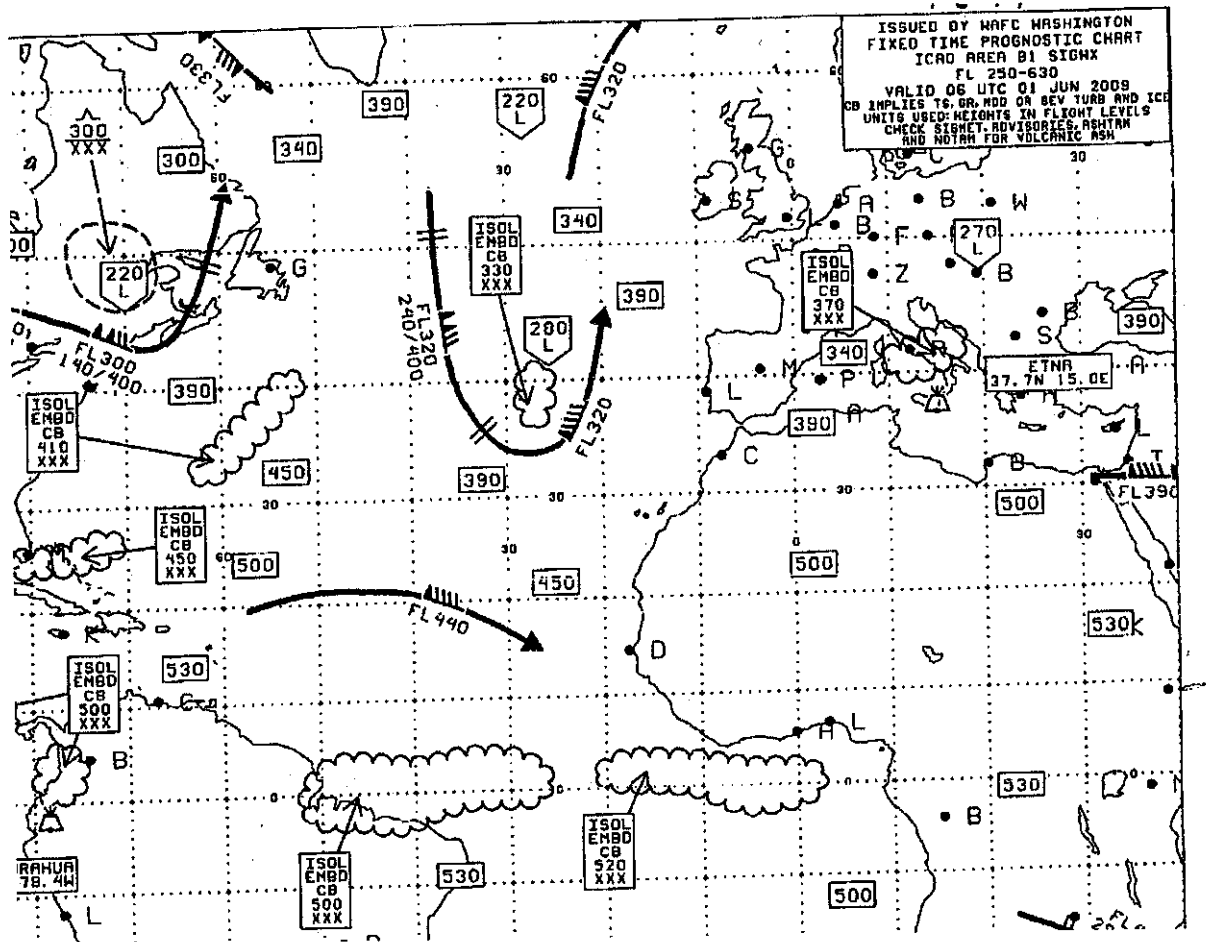


Planche 4.1

Carte synoptique de prévisions pour le 1er juin 2009 à 0600Z

Dans la pratique, la zone de convergence intertropicale s'étendant sur une large surface, elle est bien visible sur les cartes satellites et les cartes synoptiques de météorologie générale.

Malheureusement, si la répartition horizontale est facile à déterminer, la densité ainsi que l'extension verticale des nuages constituant cette zone de convergence intertropicale, sont quasiment impossibles à déduire avec les moyens mis à disposition avant le vol.

Dans la zone intertropicale, la dynamique du développement vertical des cellules nuageuses et/ou orageuses peut être très rapide. Pour cette raison, une anticipation de la trajectoire devra être faite de manière attentive durant le vol au moyen du radar de bord.

Il nous a été possible de voir différents types de représentations réalisées par diverses sources montrant les routes de divers vols lors de la traversée de la zone de convergence intertropicale. Ces représentations très instructives quant à la position de la zone intertropicale par rapport aux voies aériennes ne sont, malheureusement, qu'une situation tronquée et incomplète de la réalité. Elles pourraient inciter à penser que l'équipage a effectué un choix peu judicieux.

En effet, le fonds météorologique de ces cartes est une situation météorologique à caractère globale et non locale, alors que les différentes trajectoires des avions sont

dynamiques et ont plusieurs minutes d'écart. Il est fort probable que l'extension verticale du nuage change de manière importante dans l'intervalle de temps considéré

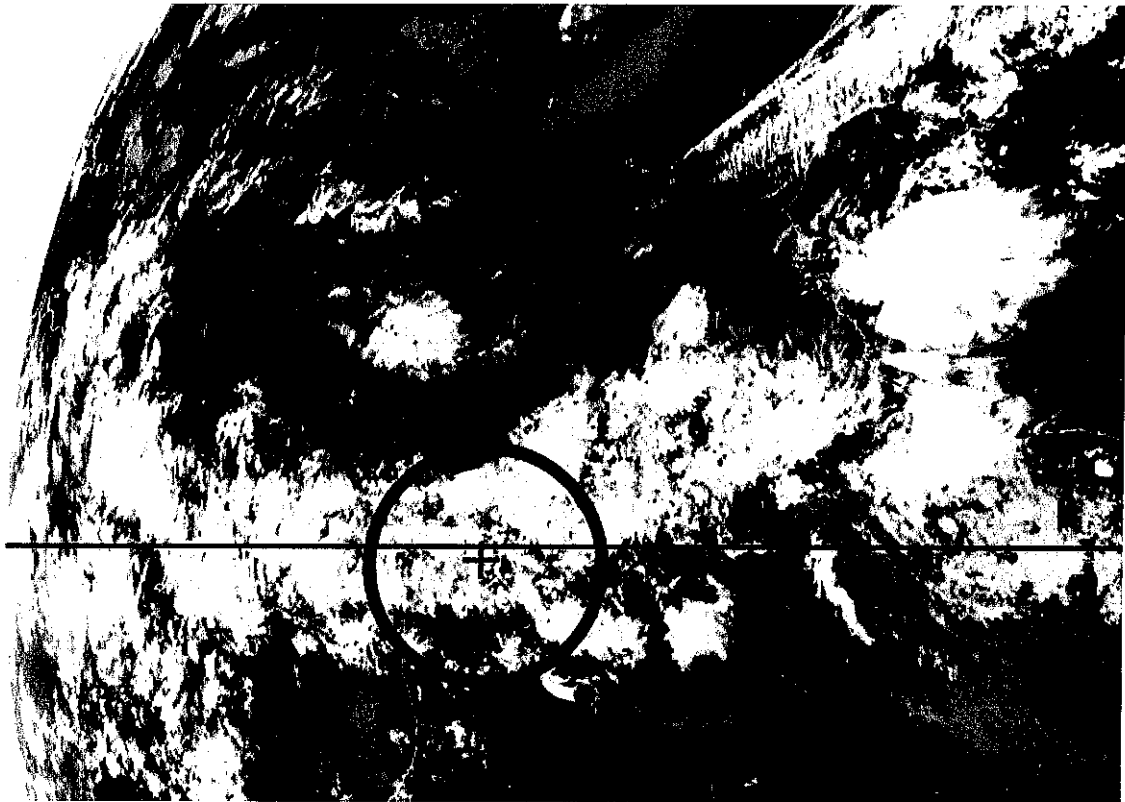


Planche 4.2

Photo Infra Rouge satellite Météosat le 1er juin 2009 à 0000Z  
Le cercle représente approximativement la région de l'ITCZ traversé par le vol AF 447.

L'usage d'une telle représentation peut-être trompeur ou constitue une base incomplète pour tirer des conclusions sur le choix des déviations nécessaires, celles-ci devant s'effectuer de manière tactique et dynamique en fonction de ce que constate l'équipage sur son radar météorologique.

#### **4.1.2 Remarques concernant les déviations effectuées par les différents vols la nuit de l'accident.**

Au vu des réserves de carburant à disposition, ceci spécialement en début de vol, l'équipage disposait de suffisamment de carburant pour effectuer des déviations importantes.

On peut voir sur les représentations des trajectoires, ou constater après lecture des différents témoignages des autres avions dans la région que tous ont dû effectuer des déviations de trajectoire afin d'éviter des cellules nuageuses présentes sur la route (voir planche 4.3).

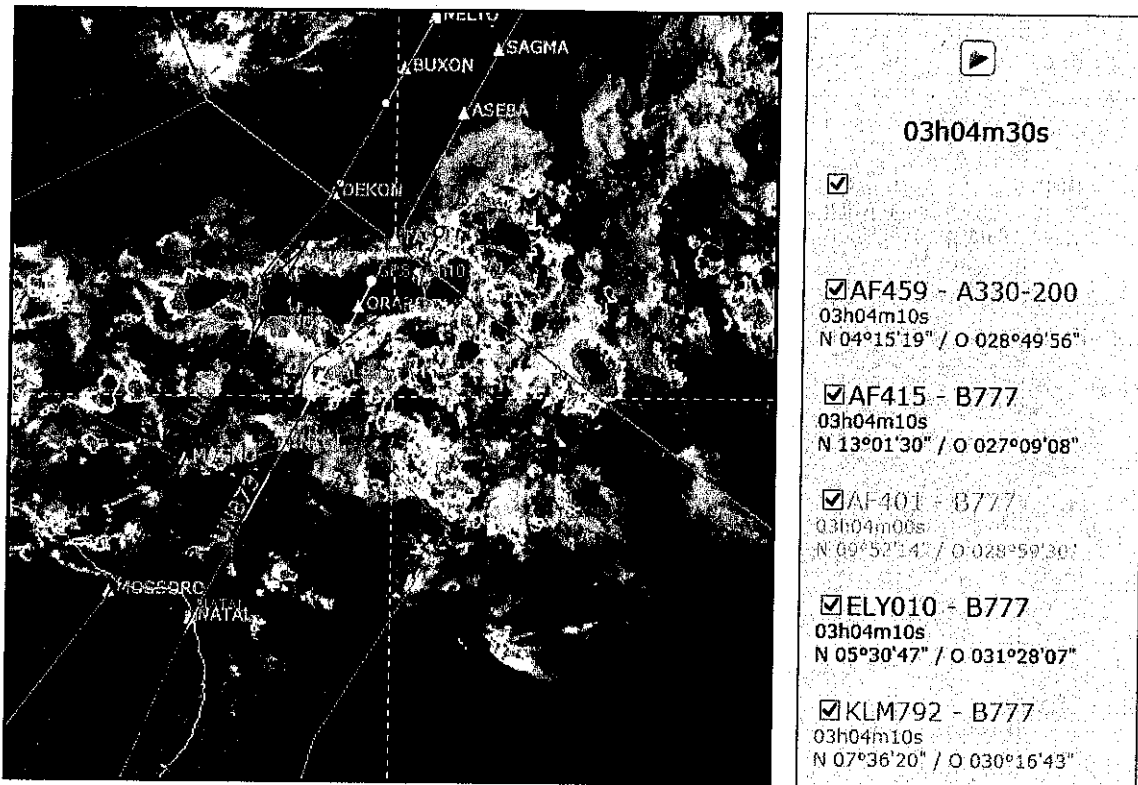


Planche 4.3  
Trajectoires des vols

D'une manière générale, ce qui est tout à fait normal, il n'existe pas de stratégie idéale d'évitement commune à tous les avions. Les trajectoires constatées sur la voie aérienne UN873 ainsi que sur la voie aérienne parallèle UN866 présentent toutes des déviations nécessaires lors du passage de la zone de convergence intertropicale actuelle.

Il est également avéré que quelques minutes d'écart, sur une route identique, nécessiteront peut-être une stratégie d'évitement assez différente en raison de l'extension verticale rapide et variable des nuages.

Vers 02:08 lorsque l'OPL étudie la situation météorologique à l'aide du radar, après avoir changé la sensibilité de celui-ci en passant sur le gain maximum, le vent enregistré est de 030°/20kt environ, celui-ci va ensuite varier vers la droite.

La lecture du vent à l'aide des instruments de navigation est cohérente avec les informations de vent qui peuvent être extraits de la carte des vents en altitude faisant partie du dossier de planification de vol (voir planche 4.4).

Au vu des interviews ayant été réalisées, on peut constater que, de manière générale, les avions ayant effectué des déviations vers la gauche - déviation les positionnant dans le vent et en amont des obstacles - pouvaient se permettre des déviations moins importantes de trajectoire, que les avions qui choisissaient une trajectoire d'évitement vers la droite et qui de ce fait se positionnaient en aval des obstacles, sous le vent avec le risque de subir des turbulences à une distance plus importante des nuages.

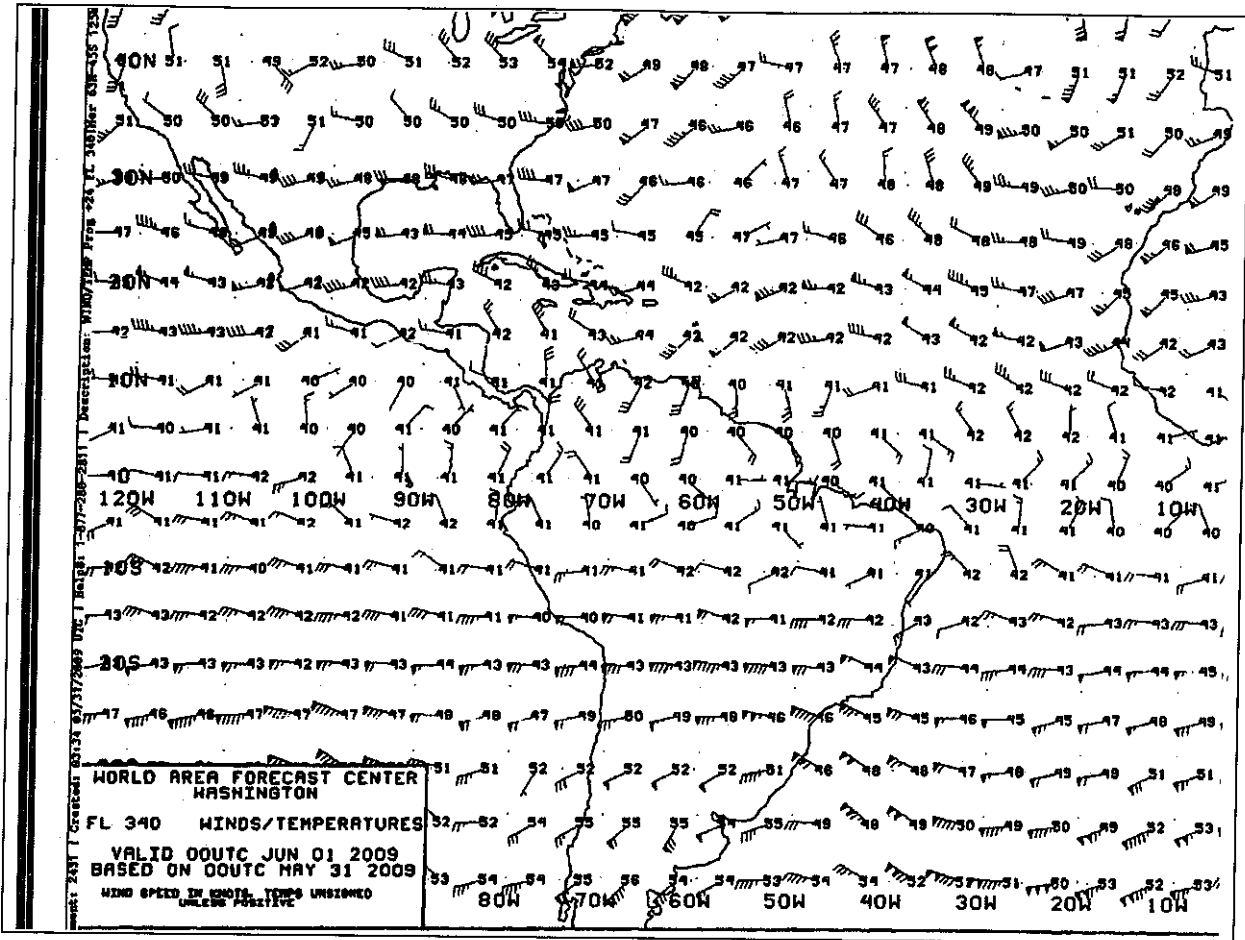


Planche 4.4

Carte de prévisions du vent et de la température au niveau 340  
 Pour le 1er juin 2009 à 0000Z, émise le 31 mai 2009 à 0000Z

On constate que la trajectoire du vol AF 447 a été modifiée de 12° vers la gauche, sur suggestion de l'OPL. Au vu des documents à disposition, ne disposant pas d'un enregistrement des images radar, il n'est pas possible de se prononcer de manière absolue et de déterminer si ce choix était le seul et le plus pertinent.

Néanmoins, le vol AF 447 ayant opté pour une modification de trajectoire en déviant vers la gauche, a fait partie des équipages optant pour passer en amont des obstacles (par rapport au vent constaté) et permettre une déviation de route inférieure à une déviation par la droite.

Il nous est également impossible de déterminer la stratégie (pour autant qu'elle ait été possible) envisagée par l'équipage au-delà de la déviation initiale car nous ne le constatons pas sur l'enregistrement des voix du cockpit. Lors de traversée du ZCIT, des changements à court terme de la stratégie d'évitement sont souvent nécessaires. Des échos, initialement cachés au radar derrière d'autres échos importants, ou alors liés à des développements verticaux rapides des masses nuageuses dans la verticale, peuvent apparaître soudainement.

Les stratégies d'évitement dépendent entre autres de la forme des échos, du vent ainsi que des échos plus lointains détectés par le radar. Actuellement, seul l'expérience de vol permet aux pilotes une interprétation judicieuse de l'image du radar et des stratégies d'évitement des masses nuageuses. Les modélisations

existant au simulateur ne sont que des représentations ponctuelles et fixes d'une situation météorologique typique. Elles sont utiles pour inciter les stagiaires à utiliser le radar dans l'apprentissage et la détermination d'une trajectoire d'évitement, mais elles ne sont pas représentatives pour s'entraîner à la traversée des zones de forte extension nuageuse présentant une grande dynamique de changement.

#### **4.1.3 Réflexions concernant la compréhension de la situation météorologique par l'équipage**

Nous constatons que l'équipage présente une activité normale et compatible avec ce genre de situation météorologique. Il est avéré qu'à 00:30 l'équipage a reçu du centre des opérations Air France une mise à jour de la position de la ZCIT. Sur les enregistrements des voix du cockpit, il y a diverses réflexions qui sont faites sur la possibilité de voler plus haut, ceci vraisemblablement afin de se trouver au-dessus des nuages. Parfois, de nuit, lorsque les cellules orageuse sont actives, il est relativement facile des les repérer visuellement, on est alors en meilleure position pour pouvoir faire des évitements inférieurs en distance latérale.

Sur le DFDR, il est possible de constater que différents changements de mode ont été effectués au niveau du radar ceci spécialement entre 01:45 et 02:00. Ce sont essentiellement des changements de modes de distance. Ceci démontre que l'équipage anticipait la situation et analysait régulièrement les images de son radar à l'approche de la zone. Lors de l'arrivée du deuxième copilote, quelques mentions en rapport avec la météo ont eu lieu.

L'OPL a également commuté le radar sur le gain maximum (depuis sa position normale calibrée), cette action est judicieuse et cohérente, particulièrement en approche d'une zone importante de nuages et de précipitations, ou le retour des échos de l'image radar donne parfois une image assez uniforme (échos vert-ambre), peu représentative. Le passage en gain supérieur permet parfois de mieux isoler des centres d'activité important qui apparaissent alors en rouge.

Peu de temps avant la perte des indications de vitesse, les pilotes ont informé le personnel de cabine qu'ils allaient probablement subir quelques turbulences. Ceci démontre qu'une analyse de la situation à venir a été réalisée par l'équipage.

En approche de la zone, la vitesse de vol à été diminuée de M 0.82 à M 0.80, ceci est conforme aux procédure, la consultation du QRH aurait donné une vitesse de 260 kts (M 0.80 étant valable de FL370-410). Nous pensons que cette valeur de Mach non conforme à la valeur du QRH est néanmoins une vitesse sensée en rapport avec les conditions de vol à venir.

Nous n'avons pas trouvé de mentions de l'équipage ni de données relatives à l'enregistrement de l'ambiance cockpit montrant des turbulences importantes, des bruits d'impact de grêle ou même d'impact de foudre, qui auraient été les indices évidents d'une entrée dans une tête de cumulo-nimbus. Il nous a semblé percevoir quelques bruits d'impact de pluie ou de petits cristaux de glace quelques secondes avant la déconnexion de l'autopilote, démontrant la pénétration dans une zone à forte densité de cristaux de glace qui ne présentait pas de conditions extrêmes à première vue.

En conclusion, et au vu de tout ce que nous avons exposé ci-dessus, nous ne sommes pas en mesure de déterminer avec certitude si la trajectoire du vol Air France 447 a été le meilleur choix à disposition.

Par contre, rien ne permet d'affirmer que l'équipage n'était pas conscient de la problématique météorologique et qu'il ait agi avec négligence en approche de la zone de convergence intertropicale. Bien au contraire, tout semble démontrer qu'un suivi de l'image radar et qu'une anticipation de la trajectoire en accord avec les règles de l'art a eu lieu.

D8944-74  
(page vierge)



## 4.2 La formation initiale et continue des pilotes

### 4.2.1 La qualification de type A330

Nom	Marc DUBOIS	Pierre BONIN	David ROBERT
Date de qualification A330	2006	2008	2002
Autres approbations de qualification	A340 : 2007 valable  A320 : 2001-2007	A340 : 2008 valable  A320 : 2004-2008	A340. : 2002 valable  A320 : 1998-2001
Sessions	2 FTD / 6 FFS / 1 EPA	2 FFS / 1 EPA	2 FFS / 1 EPA

FFS : Full Flight Simulator

FTD : Flight Training Device

EPA : Epreuve Pratique d'Aptitude

#### CDB : Marc DUBOIS

Au vu de la fiche récapitulative (Annexe 4.2-A), le CDB a effectué sa qualification sur A330 en 2006.

Le programme de formation pour sa qualification A330 a été approuvé par le centre de formation technique du personnel navigant Air France le 15 mai 2006.

Le programme de formation lui étant destiné est basé sur le fait qu'il dispose déjà d'une qualification de type A320 et qu'il ne changera pas de fonction (Commandant de bord).

Ce programme de formation ne représente pas une qualification de type complète, c'est un cours restreint qui va se baser essentiellement sur des cours théoriques ainsi que des formations pratiques en simulateur (2 sessions FTD, 6 sessions FFS et 1 EPA).

Cette formation utilise tous les acquis de connaissance de l'A320 et se focalise essentiellement sur les différences techniques et opérationnelles entre ces deux types d'avions.

Cette pratique est usuelle vu les similitudes techniques et opérationnelles des avions de la famille A320-330-340 et est appelée dans d'autres compagnies « Cours de différence ».

Le cours comporte :

- Partie théorique -> validée par un questionnaire
- Partie opérationnelle comprenant une formation au simulateur.

Cette formation, en dehors des exercices liés à la descente en urgence et l'exercice ETOPS, s'effectue toujours à des altitudes relativement basses, ceci afin d'optimiser l'usage de la session et de traiter un nombre maximum de problèmes ou de situations aux abords de l'aérodrome et de s'y poser.

Le syllabus de formation pratique mentionne les références suivantes:

- JAR 3.4.07 Système antigivrage et dégivrage.
- JAR 3.8 Reconnaissance rapide et mesures préventives prises à l'approche de décrochage (jusqu'à activation de l'avertisseur de décrochage) en configuration de décollage (volets position de décollage), en configuration de croisière et en configuration atterrissage (volets en position d'atterrissage, train sorti).
- JAR 3.8.1 Sortie de décrochage complet ou après activation de l'avertisseur de décrochage, en configuration de montée, croisière et approche.

Aucune de ces 3 procédures n'a fait partie d'un exercice pratique durant la formation dispensée aux stagiaires durant le cours de transition A330.

Par la suite, le CDB Marc DUBOIS effectuera en juillet-août 2007 sa qualification sur A340.

Ce cours est également un cours de différence, celui-ci est plus restreint vu les similitudes encore plus importantes entre le A330 et l'A340.

### **OPL 1 : Pierre BONIN**

Au vu de la fiche récapitulative (Annexe 4.2-B), l'OPL 1 a effectué sa qualification sur A330 en 2008.

Le programme de formation pour sa qualification A330 a été approuvé par le centre de formation technique du personnel navigant Air France le 15 mai 2006 avec une correction de programme en date du 8 novembre 2007, validée le 7 décembre 2007.

Le programme de formation lui étant destiné est basé sur le fait qu'il dispose déjà d'une qualification de type A340 et qu'il ne changera pas de fonction (Copilote).

Ce programme de formation ne représente pas une qualification de type complète, c'est un cours restreint qui va se baser essentiellement sur des cours théoriques ainsi que des formations pratiques en simulateur (2 sessions FFS + 1 EPA).

Cette formation utilise tous les acquis de connaissance de l'A340 et focalise essentiellement sur les différences techniques et opérationnelles entre ces deux types d'avions.

Cette pratique est usuelle vu les similitudes techniques et opérationnelles des avions de la famille A320-330-340 et est appelé dans d'autres compagnies « Cours de différence ».

Le cours comporte :

- Partie théorique -> validée par un questionnaire
- Partie opérationnelle comprenant une formation au simulateur.

Cette formation, en dehors des exercices liés à la descente en urgence et l'exercice ETOPS, s'effectue toujours à des altitudes relativement basses, ceci afin d'optimiser l'usage de la session et de traiter un nombre maximum de problèmes ou de situations aux abords de l'aérodrome et de s'y poser.

Le syllabus de formation pratique mentionne les références suivantes:

- JAR 3.4.07 Système antigivrage et dégivrage
- JAR 3.8 Reconnaissance préventive et contre-mesures de l'approche de décrochage (jusqu'à activation des dispositifs avertisseurs de décrochage) en configuration de décollage (volets position de décollage), en configuration de croisière et en configuration atterrissage (volets en position d'atterrissage, train sorti)
- JAR 3.8.1 Sortie de décrochage complet ou après activation de l'avertisseur de décrochage, en configuration de montée, croisière et approche.

Aucune de ces 3 procédures n'a fait partie d'un exercice pratique durant la formation dispensée aux stagiaires durant les cours de transition A340 et A330 qu'il a effectué.

#### **OPL : David ROBERT**

Au vu de la fiche récapitulative (Annexe 4.2-C), l'OPL a effectué sa qualification sur A330 en 2002.

Le programme de formation pour sa qualification A330 a été approuvé par le centre de formation technique du personnel navigant Air France le 7.10.2002.

Le programme de formation lui étant destiné est basé sur le fait qu'il dispose déjà d'une qualification de type A340 et qu'il ne changera pas de fonction (Copilote).

Ce programme de formation ne représente pas une qualification de type complète, c'est un cours restreint qui va se baser essentiellement sur des cours théoriques ainsi que des formations pratiques en simulateur (2 sessions FFS + 1 EPA).

Cette formation utilise tous les acquis de connaissance de l'A340 et se focalise essentiellement sur les différences techniques et opérationnelles entre ces deux types d'avions.

Cette pratique est usuelle vu les similitudes techniques et opérationnelles des avions de la famille A320-330-340 et est appelé dans d'autres compagnies « Cours de différence ».

Le cours comporte :

- Partie théorique -> validée par un questionnaire
- Partie opérationnelle comprenant une formation simulateur.

Cette formation, en dehors des exercices liés à la descente en urgence et l'exercice ETOPS, s'effectue toujours à des altitudes relativement basses, ceci afin d'optimiser l'usage de la session et de traiter un nombre maximum de problèmes ou de situations aux abords de l'aérodrome et de s'y poser.

Le syllabus de formation pratique mentionne les références suivantes :

- JAR 3.4.07 Système antigivrage et dégivrage.
- JAR 3.8 Reconnaissance préventive et contre-mesures de l'approche de décrochage (jusqu'à activation des dispositifs avertisseurs de décrochage) en configuration de décollage (volets position de décollage), en configuration de croisière et en configuration atterrissage (volets en position d'atterrissage, train sorti)
- JAR 3.8.1 Sortie de décrochage complet ou après activation de l'avertisseur de décrochage, en configuration de montée, croisière et approche.

Aucune de ces 3 procédures n'a fait partie d'un exercice pratique durant la formation dispensée aux stagiaires durant le cours de transition A330.

Remarque :

Le fait qu'il n'y a pas eu d'entraînement spécifique aux points JAR 3.4.07, 3.8 et 3.8.1 lors de la qualification technique de type A330 est vraisemblablement lié au fait que les procédures à appliquer sont identiques à celles entraînées sur l'A320.

Par contre, il n'y a pas eu d'entraînement spécifique lors de la qualification technique sur A340 ou A330 à la différence de comportement de ces types par rapport à l'A320 due à l'inertie par exemple, ou à la différence de calage de l'alarme « STALL ». Aucun rafraîchissement des connaissances concernant les approches de décrochage n'a donc eu lieu lors de leurs qualifications de type « Wide-body ».

#### 4.2.2 Les entraînements et contrôles périodiques

Nous avons examiné les programmes des entraînements et contrôles périodiques des trois dernières saisons d'instruction. La saison d'instruction commence le 1er novembre de chaque année et se termine le 30 octobre de l'année suivante.

##### Saison 2006-2007:

**Séance simulateur C13/C33:** la 3ème partie concerne l'aptitude OPL à la suppléance CDB. Sont effectués les exercices suivants:

- TCAS adjust vertical speed (item 3.5)
- Remise de gaz décidée par l'OPL (item 3.7)
- Approche du décrochage (item 3.8)

Remarque : cette approche du décrochage est effectuée à basse altitude lors d'une remise de gaz, associée à un cisaillement de vent et l'incapacitation du CDB.

**Séance simulateur C23:** Dans la première partie, un exercice concerne l'aptitude OPL à la suppléance CDB:

- Feu GTR OPL seul au poste (item 1.10)

Remarque : le livret stagiaire (pièce C-EQUIP-36) et le livret instructeur (pièce C-EQUIP-39) comportent une annexe « facteurs humains » consacrée principalement au stress.

##### Saison 2007-2008:

**Séance simulateur C13/C33:** identique à la saison 2006-2007

**Séance simulateur C 23:** identique à la saison précédente

Réf: pièces C-EQUIP-38 et C-EQUIP-35

##### Saison 2008-2009:

**Séance de simulateur E33:** Cette séance comporte un exercice nécessitant l'application d'une procédure « IAS douteuse » mais réalisé à basse altitude.

- Décollage piste 10 (item 3.1) puis IAS douteuse (item 3.2)

**Séance de simulateur C33:** Cet exercice est destiné à l'OPL en croisière supplantant du CDB.

- Descente d'urgence OPL en suppléance CDB (item 5.1)

Le livret instructeur (pièce C-EQUIP-37) fait état de la difficulté pour les deux OPL de réaliser des actions liées à la descente d'urgence depuis une place inhabituelle.

PAGE B2	A330 / A340 ENTRAÎNEMENT CONTRÔLE PÉRIODIQUE LIVRET INSTRUCTEUR	<b>AIR FRANCE</b>
AFR-AV-334-I-ECPP-0-3a-0803	SIMULATEUR MODULE C33	QA.AV

5 <sup>ème</sup> partie : OPL EN CROISIÈRE - SUPPLÉANCE CDB		
ITEM	PANNES	POINTS CLÉS
5.1	Descente d'urgence OPL en suppléance CDB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne pas se lancer tout de suite dans une descente d'urgence ; essayer de contrôler l'altitude cabine.</li> <li>• Difficulté pour les 2 OPL de réaliser des actions liées à la descente d'urgence : OPL place gauche connaît les actions mais n'est pas à sa place ; OPL place droite fait les actions normalement dévolues au CDB</li> </ul>

**Séance de simulateur C23:** une séance prévoit une panne pitot OPL en conditions givrantes. Le livret instructeur mentionne en point-clé « risque d'avoir des IAS erronées ». Cet exercice est réalisé à basse altitude :

- panne Pitot OPL en conditions givrantes (item 6.9)

Remarques :

- Lorsqu'une panne pouvant entraîner l'application d'une procédure « IAS douteuse » est effectuée, elle l'est toujours à basse altitude. Aucun entraînement, ni à la perte des références de vitesse, ni à l'approche du décrochage, n'est effectué à haute altitude
- Un exercice proposé dans le cadre d'un équipage renforcé (deux OPL au poste) prévoit le cas de la descente d'urgence et souligne la difficulté d'effectuer les actions depuis une place inhabituelle, mais aucun exercice ne couvre le cas de l'OPL de renfort qui devrait effectuer une manœuvre d'urgence depuis la place gauche (absence ou « incapacitation » de l'OPL 1)

6 <sup>ème</sup> partie : EXERCICES DIVISION - ENTRAINEMENT - OPL PF		
ITEM	PANNES	POINTS CLÉS
6.8	Décollage avion léger	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risque d'avoir des IAS erronées.</li> </ul>
6.9	Panne pilot OPL en conditions givrantes	
6.10	Approche ILS 27R A/P OFF	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Annonce précise pour l'approche interrompue</li> <li>• Assiette 10°</li> <li>• Faible gain d'altitude à masse faible</li> </ul>
6.11	Atterrissage interrompu à 20ft	

#### 4.2.3 Les points relatifs à la formation évoqués dans les conclusions de la mission en matière de Sécurité des Vols (Rapport Colin)

A la suite d'une lettre adressée le 28 octobre 2005 à Monsieur Jean-Michel COLIN par Monsieur Gilbert ROVETTO (alors Directeur Général Adjoint des Opérations Aériennes) (Annexe 4.2-D) une mission a été chargée d'étudier notamment le travail d'identification des priorités d'action de prévention en matière de sécurité des vols.

Les conclusions de ce rapport ont été présentées le 21 juin 2006, et figurent en pièce C-EQUIP-23

Le paragraphe 5.4.2. traite des séances de simulateur et identifie certains points à améliorer :

- les séances ne contiennent pas suffisamment d'exercices de pilotage :

##### 5.4.2 Séances de simulateurs (C, E)

Le nombre d'exercices est, de façon unanime, jugé trop important ; le choix des exercices est trop contraint du fait de multiples demandes internes et externes. Le résultat de ces contraintes est une séance ressentie comme étant très éloignée de la « vraie vie ».

Le contenu de ces séances est trop figé, trop contraint, il impose la réalisation d'un trop grand nombre de C/L dont le traitement est effectué de façon automatique. Il n'y a pas suffisamment d'exercices de pilotage alors que des insuffisances en terme de pilotage sont constatées par la plupart des instructeurs et de l'encadrement de proximité.

Le bon sens aéronautique, les ordres de grandeur, l'organisation en situation anormale, les règles de l'art, la bonne représentation des situations, le comportement décisionnel, ne sont pas assez déclinés dans le contenu des séances actuelles.

Des demandes de LOFT(s) aléatoires d'une durée plus importante que la durée actuelle ont été formulées par beaucoup d'instructeurs pour améliorer les capacités de jugement des équipages.

Ces points clairement identifiés recourent nos constatations concernant le fait que tous les exercices sont effectués à basse altitude, éloignant ainsi les stagiaires d'autres problématiques qui peuvent notamment se rencontrer à haute altitude.



### 4.3 Le retour d'expérience chez Air France

L'organisation du retour d'expérience à Air France est traitée dans le rapport d'expertise judiciaire du premier collège d'experts, déposé le 29 juin 2012. (Réf. p.31 à 35).

Il est rappelé que le Système Qualité, qui implique le retour de l'information, répond à une obligation réglementaire définie dans la réglementation européenne EU-OPS :

« L'exploitant met en place un système qualité et désigne un responsable de la qualité chargé de surveiller la conformité avec les procédures requises, et leur adéquation pour assurer la sécurité des pratiques opérationnelles sûres et la navigabilité des avions. Ce contrôle doit comporter un système de retour de l'information au dirigeant responsable afin que les mesures correctes nécessaires soient prises. »

En matière de sécurité des vols, le premier maillon de la chaîne est l'ASR (Air Safety Report), qui est un compte rendu de tout événement concernant la sécurité des vols.

Le Service Prévention et Analyse des vols en est destinataire, en assure l'exploitation et est responsable de la distribution aux destinataires concernés.

Au sein de la division de vol A330/A340, l'Officier de Sécurité des Vols est chargé de l'information sur la sécurité des vols au sein de la division. Il participe à la classification des ASR et reçoit les équipages qui se présentent spontanément à la suite d'un incident.

Le rapport du premier collège déposé le 29 juin 2012 présente (pp.80 à 92 § 4.2.4) une « Etude sur le vécu des événements par les équipages d'Air France » ayant expérimenté des incidents de givrage de sondes anémométriques. Nous analysons une partie de ces événements dans le paragraphe 4.5 du présent rapport.

S'agissant du retour des ASR (§ 4.2.4.3.6.2 page 91), il est mentionné :

« 78% des pilotes n'ont eu aucun retour ou réponse de l'exploitant (Air France)

22% ont eu une réponse ou un entretien avec un responsable de division suite à leur demande.

Beaucoup se sont plaints d'un contact difficile (au sens de difficile à joindre) avec leurs responsables de division »

Le rapport du 29 juin 2012 précise également :

« A l'époque du déroulement des incidents, les équipages n'étaient pas préparés à les affronter. Ils estiment que la révision des procédures « Vol avec IAS douteuse » après décollage n'ont rien en commun avec le déroulement du phénomène et les perturbations associées »

De plus, dans le rapport de la Mission sur la Sécurité des vols (rapport Colin) publié en juin 2006 (cf. § 4.2.3) nous trouvons entre autres une recommandation relative à une amélioration du système de retour d'expérience :

### 1.3.3 Le système de retour d'expérience et les rapports d'incidents

Sur les supports de retour d'expérience et les rapports d'incidents, la commission estime que :

- le contenu des rapports ne reflète pas exactement et complètement dans un certain nombre de cas le déroulement de l'accident,
- l'entreprise ne peut fonder son analyse des risques aériens et des stratégies de prévention en matière de sécurité des vols, sur l'analyse des seuls ASR et REX.

En résumé la commission constate l'absence d'une véritable analyse intégrée des accidents, incidents classés et des retours d'expérience volontaires.

Le point de vue d'Air France :

Selon les informations fournies par Air France, le retour d'expérience est un sujet auquel la compagnie accorde toute son attention :

« La procédure de traitement des ASR est l'un des vecteurs de la politique de retour d'expérience de la compagnie et est décrite dans la procédure locale » (cote D05511)

Le document compagnie reproduit en Annexe 4.3-A, donne les détails sur la procédure de retour d'expérience.

En conclusion, nous constatons une différence de la perception du retour d'expérience entre les équipages et la compagnie. De plus, le rapport Colin relève une analyse lacunaire des incidents/accidents et du retour d'expérience de la part d'Air France.

## 4.4 Le rôle du Commandant de bord

### 4.4.1 Sur la composition de l'équipage renforcé

L'organisation du vol en équipage renforcé est décrit dans le document GEN.OPS, 01.04.01.00, page 1, paragraphe 3.1 (Annexe 4.4-A).

### 3. COMPOSITIONS PARTICULIERES

#### 3.1. RELEVÉ EN VOL DE L'EQUIPAGE

Pour permettre la prise d'un repos hors du poste de pilotage, au dessus du FL200, sur certains vols longue distance, l'équipage de base est renforcé par un ou plusieurs PNT :

L'équipage est alors composé :

- d'un "commandant de bord" : CDB,
- d'un "pilote suppléant" du CDB : OPL ou autre CDB,
- d'un ou deux "pilote(s) de renfort" : OPL ou autre CDB.
- **Le pilote suppléant** est le remplaçant du CDB. En son absence, il prend les décisions opérationnelles nécessaires à la conduite du vol selon les consignes laissées par ce dernier.
- Lorsqu'un OPL est le pilote suppléant, il est désigné "OPL1".

L'OPL1 est titulaire de l'ATPL ou du PL pratique.

L'OPL1 reste assis en place droite et assure de cette place la fonction "PF". Il exécute les tâches annotées "C" des check-lists et procédures urgence-secours.

Lorsque la conduite du vol est déléguée à l'OPL1, le pilote de renfort (OPL) assis à gauche exécute les tâches annotées "P" des check-lists et procédures urgence-secours.

- Lorsqu'un autre CDB est le pilote suppléant, il est assis en place gauche et la répartition des tâches est standard.
- **Le pilote de renfort** remplace le pilote qui s'absente du poste de pilotage pour prendre son tour de repos. Tout Commandant de bord qualifié sur le type avion et à jour des exigences d'Entraînement et de Contrôle Périodique peut être utilisé comme pilote de renfort, assis en place droite au dessus du FL200.

Il revient au CDB, dès la préparation du vol, de répartir les tâches de chacun et de délimiter le domaine d'intervention possible du ou des "pilotes de renfort" durant le vol quand l'équipage de base est aux commandes.

L'équipage du vol AF 447 est composé : d'un commandant de bord (CDB), et de deux OPL

- Le **commandant** Marc DUBOIS
- le **pilote suppléant** est le remplaçant du CDB, qui en son absence prend les décisions opérationnelles. Dans le cas du vol AF 447 Pierre BONIN occupait la fonction d'OPL 1.
- le **pilote de renfort** remplace le pilote qui s'absente du poste pour prendre son tour de repos. Sur le vol AF 447, cette fonction était assurée par David ROBERT.

Les rôles de chacun (choix du pilote suppléant et du pilote de renfort) sont définis par le CDB de manière consensuelle après concertation entre les trois PNT.

L'extrait du GEN.OPS ci-dessus (01.04.01.00 paragraphe 3.1) précise en outre :

« Il revient au CDB, dès la préparation du vol, de répartir les tâches de chacun et de délimiter le domaine d'intervention possible du ou des « pilotes de renfort » durant le vol quand l'équipage de base est aux commandes. »

Remarque :

Des PNT Air France nous ont déclaré choisir généralement l'OPL le plus expérimenté pour remplir la fonction d'OPL 1, ce qui n'a pas été le choix de Marc DUBOIS. Pour d'autres CDB Air France, l'expérience des OPL ne rentrait pas en ligne de compte, la répartition des rôles restant purement consensuelle.

#### 4.4.2 Sur le briefing spécifique aux vols en équipage renforcé

Le chapitre 02.01.01.02 (p.3) du GEN.OPS, partie « consignes opérationnelles équipage », définit ce briefing (Annexe 4.4-B)

#### 4.3. BRIEFING SPECIFIQUE AUX VOLS EN EQUIPAGE RENFORCE

Il porte en particulier sur :

- Route : suivi et moyen utilisé. Autorisation ATC et fréquence de contact.
- Avion : Etat avion. Point de la consommation carburant, du carburant restant et configuration du circuit.
- Météorologie : informations recueillies.

**Avant toute absence prolongée du poste de pilotage, le CDB désigne son remplaçant (cf. GENERALITES-COMPOSITION DE L'EQUIPAGE-COMPOSITIONS PARTICULIERES), confirme la nouvelle répartition des tâches et précise aux pilotes les conditions nécessitant son retour au poste de pilotage.**

De plus, la lettre d'accompagnement de la révision du 12 mars 2009 (Annexe 4.4-C) mentionne au titre des nouveautés la refonte du paragraphe dévolu au briefing, en

mettant l'accent sur le fait qu'il est laissé toute latitude au CDB de s'adapter aux conditions du jour.

**NOUVEAUTES :**

Les points suivants constituent les évolutions de doctrine dans le domaine des "consignes opérationnelles", indépendamment de la refonte du Manuel. Ces points ont été traités dans le cadre de questions soumises au Groupe Normes et Standards ou de demandes spécifiques de la DGAC.

**☐ EQUIPAGE - FONCTIONNEMENT DE L'EQUIPAGE PNT - 02.01.01.02**

Lors du briefing spécifique aux vols en équipage renforcé, il est demandé au CDB, lorsqu'il s'absente, de préciser aux pilotes les conditions qui nécessitent son retour au poste de pilotage. Il ne s'agit pas d'être exhaustif, c'est du reste impossible, mais de laisser au CDB le soin d'exprimer son exigence, en fonction des conditions du jour.

Sur le vol AF 447, ce point de procédure n'a pas été totalement respecté :

- Si le CDB a bien désigné son remplaçant (Pierre BONIN), et si on admet que la répartition des tâches est implicite puisque conforme au GEN.OPS, il n'a pas précisé explicitement les conditions nécessitant son retour au poste de pilotage.

Le briefing a été effectué par l'OPL1, auquel le CDB a assisté de manière passive et partielle: une inquiétude exprimée antérieurement par l'OPL1 « on a un truc droit devant » a attiré une réponse laconique du CDB « oui j'ai vu ça » ; cette réponse semble clore l'échange sur le sujet et est en tout état de cause perçue comme telle par l'OPL1. Aucun développement n'y est fourni.

Tout en étant conforme à la réglementation, on peut se poser la question quant au choix fait par Air France pour la répartition des rôles en équipage renforcé qui est différent de la pratique constatée dans d'autres compagnies.

En effet, lors d'une composition non standard d'équipage (pas de CDB sur le siège de gauche), nous constatons chez Air France que la totalité de l'opération est dédiée au pilote en siège de droite (OPL1). Celui-ci est à la fois le PF et reçoit en plus la fonction décisionnelle et organisationnelle du CDB.

La nouvelle fonction en tant que OPL1 lui demandera d'effectuer depuis le siège de droite, des points de check-list se faisant habituellement depuis la gauche, de plus, le pilote en siège de gauche sera appelé à effectuer les points de check-list qu'il effectue normalement depuis son siège de droite.

Cette nouvelle constellation (géographique), qui semble simple au premier abord, est malgré tout une complication du travail des pilotes, surtout dans un environnement aussi complexe que le cockpit. L'être humain fonctionnant beaucoup sur des habitudes et des routines, la procédure utilisée à l'époque ne laissait aucun des pilotes dans sa position habituelle, son rôle usuel, ses routines éprouvées et sa fonction nominale.

Le fait de faire travailler dans cette configuration est un processus fortement consommateur au niveau des ressources cognitives, particulièrement lorsqu'un incident perturbe le fonctionnement de routine, qui lui est peu influencé par cette répartition d'équipage.

La transmission de pouvoir s'est faite de manière particulièrement informelle, lorsque le commandant est parti se reposer. Il semble que c'est suite à sa question « Qui est ce qui pose ? C'est toi, il va prendre ma place, tu es PL toi ? » que la décision ait été prise.

Une décision de confort, liée semble-t-il, à l'atterrissage et non à l'expérience ou à toute autre considération opérationnelle. Le fait qu'il demande si le copilote est PL quasiment au moment de quitter le cockpit démontre également qu'il n'y a pas eu de réflexion quant à l'attribution des rôles, puisque le commandant semblait ne pas être au courant des qualifications respectives de ses collaborateurs.

Cette manière de déléguer sa responsabilité, en approche d'une zone météorologique dont les premières complications sont partiellement déjà anticipées, n'a pas été contributive à responsabiliser l'OPL1 dans sa nouvelle fonction. D'ailleurs, quelques minutes plus tard, lors de la perte des indications de vitesse, on peut constater que l'OPL (plus expérimenté) va effectivement prendre le leadership et commencer à coacher l'OPL1.

#### **4.4.3 L'absence et le retour du CDB**

Le commandant quitte le poste de pilotage à 02:01:58 ; la première alarme (déconnexion de l'AP) se produit à 02:10:05 et l'OPL de renfort appelle le CDB à 02:10:50. Le CDB entre dans le poste à 02:11:44. On constate donc que le CDB a rejoint le cockpit très rapidement et qu'il ne pouvait pas se trouver en phase de sommeil à peine 10 minutes après l'avoir quitté. Lorsqu'il entre dans le poste, l'avion a une assiette de  $+15^\circ$  et une inclinaison à droite supérieure à  $30^\circ$  en augmentation; en 14 secondes, l'assiette passe à  $-10^\circ$ , toujours avec une inclinaison à droite de  $30^\circ$ . L'avion est déjà largement en dehors du domaine de vol avec un taux de descente élevé et une incidence de l'ordre de  $40^\circ$ . L'alarme « STALL » retentit de manière intermittente suivant que la vitesse se trouve au-dessus ou au-dessous de 60 kt.

Les OPL ne donnent que de informations lacunaires au CDB lorsqu'il entre dans le poste de pilotage. Celui-ci peut difficilement faire une analyse rapide et correcte de la situation, compte tenu des paramètres affichés sur les instruments. En conséquence, son absence d'intervention initiale suite à son retour au poste de pilotage est parfaitement compréhensible.

En conclusion, compte tenu des éléments exposés ci-dessus, à la fois les directives d'Air France et le choix effectués par le CDB, ont été des facteurs de la dégradation des performances de l'équipage lors d'une situation délicate.

#### 4.5 Facteurs humains et, dans cette optique, analyse des autres incidents anémométriques chez Air France :

Nous avons pu prendre connaissance des détails de 8 autres incidents ayant entraîné des pertes d'indications de vitesse et/ou des alarmes de décrochage, au sein de la compagnie Air France, au cours des années précédant l'accident.

Il s'agit des vols :

- AF152 du 02.09.2004
- AF279 du 14.07.2008
- AF422 du 07.08.2008
- AF908 du 16.08.2008
- AF101 du 20.08.2008
- AF012 du 31.10.2008
- AF459 du 30.03.2009
- AF607 du 31.03.2009

Un tableau comparatif de ces différents incidents se trouve en Annexe 4.5-A.

Une comparaison précise, détaillée et exacte de tous les incidents n'est pas possible, les données étant extraites de chaque ASR envoyé à la suite de l'incident par l'équipage. Le niveau des détails ainsi que la description des incidents rapportés dans les ASR sont laissés à l'interprétation de l'équipage et de ce fait toutes les données mentionnées ne sont pas décrites, ni structurées de manière similaire dans les différents rapports.

Néanmoins, le tableau comparatif permet de tirer un certain nombre de conclusions car, là où elles sont disponibles, les données recueillies présentent de nombreuses similitudes.

D'une manière générale nous constatons que :

- Ces incidents ont eu lieu dans les nuages, souvent à proximité de Cb.
- Ils ont eu lieu en présence de turbulence légère à forte.
- Ils se sont produits à des altitudes élevées (FL310-FL380)
- Leur durée a été limitée (entre 1 et 5 minutes)
- Ils se sont produits avec un équipage standard CDB et OPL.

#### Comportements de l'avion constatés :

- Fortes variations de la vitesse indiquée
- Déconnexion du pilote automatique et de l'auto-manette
- Passage en loi de vol ALTN
- Messages ECAM multiples
- Dans 5 cas, apparition furtive de l'alarme « STALL »

#### Réactions constatées lors de ces incidents :

- Exécution de la procédure correspondante ou rendu de la main lors de l'apparition de l'alarme « STALL », entraînant une diminution d'incidence
- Mise en descente légère dans 3 cas
- Trajectoire assurée avec l'assiette de l'avion
- Environ la moitié des équipages seulement a appliqué la procédure ou une partie de la procédure « IAS douteuse ».

#### Facteurs humains :

Au niveau des facteurs humains en général, nous sommes amenés à nous poser la question de savoir quelles peuvent être les raisons qui poussent certains équipages à ne pas suivre les règles et procédures publiées dans les documents de la compagnie pour le traitement d'un problème ou d'une anomalie.

Afin de mieux comprendre la problématique du vol AF 447 dans un environnement dynamique, une demande de visualisation a été faite à RESEDA. Le descriptif de l'animation RESEDA se trouve au chapitre 2.1.1. Cet outil nous a été très utile afin de comprendre le déroulement des actions de l'équipage jusqu'à l'impact, en temps réel et en corrélation avec les dialogues enregistrés dans le poste de pilotage.



#### 4.5.1 Consignes opérationnelles

Nous trouvons, dans la documentation d'Air France à disposition des pilotes et se rapportant au traitement des pannes, les points suivants :

#### GEN.OPS CONSIGNES OPERATIONNELLES PROCEDURES EN VOL

### 2. TRAITEMENT DES PANNES

#### *Méthode de traitement d'une panne*

Tout PNT qui constate une anomalie, que celle-ci soit effective ou en cours d'établissement, doit en informer sans délai le reste de l'équipage. Pendant la phase de décollage, l'annonce d'anomalie jugée comme secondaire peut être différée jusqu'au franchissement de la ZAC.

Le CDB doit, avant toute autre action, s'assurer de la trajectoire de l'avion et définir la répartition des tâches.

La panne doit être ensuite traitée suivant la séquence suivante :

- Confirmation de la nature de la panne
- Application des check-lists ou procédures anormales et éventuellement réinitialisation des systèmes (suivant le MANEX B),
- Bilan technique, opérationnel et commercial,
- Décision sur la suite du vol
- Information : ATC, équipage PNC, compagnie (CCO, Maintenance, ...), passagers.

### 4. CHECK-LIST ET MANOEUVRES D'URGENCE

#### 4.1. CHECK-LIST

La C/L (check-list) constitue le moyen de vérifier que certaines opérations essentielles à la sécurité ont bien été effectuées. Elle est exécutée conformément au MANEX B.

Le pilote qui lit la C/L, ne passe à l'item suivant qu'après avoir reçu la réponse correcte à l'item en cours, et l'avoir vérifié lui-même.

Lorsque la C/L est terminée, l'annonce "C/L ... terminée" est effectuée.

Les interruptions de C/L doivent être évitées, sauf pour exécution d'une tâche jugée plus prioritaire, dans ce cas, annoncer clairement "C/L arrêtée à ...". ou reprendre entièrement la C/L.

#### 4.2. MANOEUVRE D'URGENCE

Le contenu et la répartition des tâches d'une manœuvre d'urgence doivent être connus de mémoire par tous les PNT.

#### 4.1.4. Décision

Processus conscient, délibéré et partagé par lequel, un projet, un projet d'action, une trajectoire, etc. est arrêté(e) ou modifié(e).

Une décision pertinente suppose, une bonne conscience :

- de la situation, en particulier dans un contexte dynamique à évolution rapide,
- des butées temporelles,
- des conséquences des différents choix et solutions envisageables.

Un processus de prise de décision standard comprend les étapes suivantes :

- 1- **Le recueil des informations** : collecte de toutes les informations disponibles
- 2- **L'analyse de la situation** : recherche des éléments pertinents, examen des conséquences directes et indirectes de ces éléments.
- 3- **Le recensement des solutions** : construction de scénarios possibles ; chacun des scénarios devra être développé jusqu'à son terme et faire l'objet d'une évaluation des risques, des avantages, inconvénients.
- 4- **La décision** : choix de la solution optimale après bilan opérationnel, commercial et humain. Description du projet d'action par phase de vol.
- 5- **L'information** : information des parties prenantes par phase de vol.

Pendant toute l'élaboration de la décision, deux notions doivent être conservées à l'esprit en permanence :

**La gestion du temps** : garder la conscience du "temps qui passe", se fixer des butées de prise de décision, baliser le compte à rebours, définir des priorités et s'y tenir.

**Le travail en équipage** : partager l'analyse de la situation en annonçant clairement sa vision du problème et en sollicitant les avis des autres.

**A330/340 MANUEL D'EXPLOITATION PARTIE UTILISATION :****4. TRAITEMENT D'UNE PROCEDURE ANORMALE**

Les procédures de secours ne peuvent pas couvrir toutes les situations et ne doivent pas dispenser les pilotes d'exercer leur bon sens.

**4.1. MANOEUVRE D'URGENCE**

Elle est systématiquement effectuée de mémoire selon une répartition des tâches spécifique.

Face à une situation qui nécessite de la part de l'équipage une réaction immédiate, le contrôle mutuel devient secondaire sauf dans le cas d'un pompage réacteur qui conduit à une réduction de poussée.

C'est toujours le CDB qu'il soit PF ou PNF qui appelle la réalisation d'une manoeuvre d'urgence en annonçant son titre :

exemple: "WINDSHEAR TOGA".

Il n'y a pas d'annonce particulière pour clôturer la réalisation d'une manoeuvre d'urgence.

**4.2. PROCEDURE D'URGENCE / SECOURS**

Une procédure d'urgence/secours est présentée à l'équipage sous forme de check-list ECAM ou papier.

Les check-lists papier sont reprises dans le QRH.

**4.2.1. Traitement de la panne**

- Lorsque la check-list apparaît à l'ECAM:
  - . annoncer le titre de la check list sans le traduire
  - . le PNF arrête l'alarme sonore si elle demeure, et réarme le Master Warning ou Master Caution avec l'accord tacite du PF.
- Identifier la panne par cohérence entre E/WD, SD et toutes indications locales.
- Le CDB doit déterminer rapidement la TRAJECTOIRE à suivre, et le pilote qui l'assure, s'il ne l'a déjà fixée au cours d'un briefing préalable.
- En fonction des circonstances, le CDB peut changer le pilote aux commandes par l'annonce "j'ai les commandes" ou "à toi les commandes".
- De même, si le copilote est dans l'incapacité d'assurer son rôle de PF, il annonce "à toi les commandes".

**A330/340 MANUEL D'EXPLOITATION PARTIE UTILISATION PROCEDURES ANORMALES PREAMBULE :**

- Le PF assure la trajectoire de l'avion. Il est recommandé d'utiliser l'AP :
  - . en cas de panne réacteur (CAT2 / CAT3 comprises), sauf au décollage si la trajectoire (N-1) mentionne un virage avant la ZAC avec une inclinaison requise  $< 25^\circ$ .

Les FD peuvent néanmoins être utilisés en pilotage manuel en ne suivant que les ordres en profondeur (aide à la tenue de V2).

  - . dans les autres cas de panne, jusqu'à 500 ft AGL dans tous les modes, même si l'AP n'a pas été certifié dans toutes les configurations et n'est pas garanti. **Le pilote doit avoir alors une vigilance extrême et dégager l'AP si l'avion dévie de la trajectoire désirée.**
- Le CDB déclenche la check-list urgence (rouge à l'ECAM) lorsque:
  - . la trajectoire est stabilisée et
  - . le train rentré verrouillé et
  - . au-dessus de 400 ft AAL

en annonçant "CHECK-LIST ECAM" ou "CHECK-LIST ... titre de la check-list papier".
- Le CDB déclenche la check-list de secours (ambre à l'ECAM):
  - . au dessus de la **ZAC**,
  - . après réalisation du guide Décollage sauf cas particulier laissé à l'appréciation du CDB,
  - . après consultation des RCT,
  - . en annonçant "CHECK-LIST ECAM" ou "CHECK-LIST ... titre de la check-list papier".

*Note : Si le message "REFER TO QRH PROC" apparait après le titre de la C/L ECAM, celle-ci sera effectuée en utilisant les pages ANOMALIES ECAM / REFER TO QRH du QRH.*

- Pendant le traitement de la panne, le PF est chargé des fonctions pilotage, navigation, et surveille l'exécution de la check-list.

*Note : Dès que le PF a assuré la trajectoire et effectué les actions qui le concernent, le PNF transmet à l'ATC un message adapté à la panne si un changement de trajectoire s'impose. C'est en particulier le cas de la trajectoire de panne et de la ZAC au décollage. Dans les autres cas, le message peut être différé.*

- Le PNF exécute la check-list et surveille la trajectoire.
- Quand le PNF a effectué tous les items de la C/L ECAM il demande au PF: "Pour clearer ?"
- Le PF vérifie que tous les items de la C/L ont été effectués et répond "Clear".

### 2.3. DEFINITIONS

- **Manoeuvre d'urgence**

Actions immédiates de l'équipage effectuées de mémoire lorsque la sécurité du vol est directement compromise.

*Note : Les manoeuvres d'urgence ne sont rappelées dans le QRH que pour le maintien individuel des compétences.*

- **Procédure d'urgence**

Actions de l'équipage effectuées en "do list" lorsque la sécurité du vol est directement compromise:

- . Configuration dangereuse ou en limite du domaine de vol
- . Panne d'un système dégradant la sécurité du vol.

Les procédures urgence ECAM sont liées à un message d'alarme rouge accompagné du voyant MASTER WARN et d'un gong répétitif.

- **Procédure de secours**

Actions de l'équipage effectuées en "do list", lorsque la sécurité du vol n'est pas directement compromise:

- . Panne d'un système n'ayant pas de conséquence immédiate sur la sécurité du vol.
- . Panne induisant une perte de redondance ou une dégradation d'un système.

Les procédures de secours ECAM sont liées à un message d'alarme ambre accompagné ou non du voyant MASTER CAUT et du gong monocoup.

- **Procédure anormales complémentaires**

Procédure anormale liée à une dégradation d'un système avion et ne nécessitant pas l'application d'une procédure urgence ou secours.

## 2. GENERALITES

### 2.1. SYMBOLOGIE

Dans le cas où une répartition particulière des tâches est nécessaire la symbologie est identique à celle des procédures normales.

Les titres des procédures développées sont présentés avec la symbologie suivante:

Manoeuvre d'urgence

TITRE

Urgence ECAM

TITRE

Urgence non ECAM

TITRE

Secours ECAM

TITRE

Secours non ECAM

TITRE

### 2.2. CODES

A l'intérieur des procédures on trouvera :

**ATTENTION**

Consigne ayant un caractère important.

- Note : Information, conseil ou information

Les symboles suivants :

- Entrée conditionnelle de premier niveau
- Entrée conditionnelle de deuxième niveau
- ◆ Entrée conditionnelle de troisième niveau

Les prescriptions du GEN.OPS relatives au traitement des pannes sont claires, simples et de plus, l'entraînement de ces méthodes de travail est régulièrement réalisé par les pilotes au simulateur.

Dans tous les cas de figure, en cas de panne, la première action à réaliser est d'assurer la trajectoire. Ceci est mentionné dans un document comme étant du ressort du commandant et ailleurs dans la documentation comme étant une priorité du PF. Nous n'interprétons pas cette différence comme importante, car c'est effectivement le rôle du PF d'assurer la trajectoire de l'avion, mais le commandant, en tant que responsable de l'opération, doit également, s'il est PNF, s'assurer que le PF est en mesure de gérer correctement la trajectoire. Si ce n'est pas le cas, ou à sa convenance, il est appelé à répartir les tâches et les rôles dans le cockpit de manière différente.

## 4.5.2 La trajectoire

Une des tâches attribuées au CDB (dans le cas du vol AF 447 à l'OPL1), était d'assurer une trajectoire qui maintienne l'appareil dans un domaine de vol acceptable et ne mette pas celui-ci en péril.

Nous trouvons dans le MAC Air France les paragraphes suivants :

### REGLE J "Priorité à la trajectoire"

Le contrôle de la trajectoire prime tout.

#### J1/ Comportement

En toute phase, en vol comme au sol, c'est le contrôle de la trajectoire qui doit être assuré en priorité ; toute autre action ne doit être entreprise à court terme, que si elle facilite ou ne gêne en rien ce contrôle ou si elle est nécessaire et indispensable pour assurer une trajectoire sûre à long terme.

Contrôle de l'avion après panne : parmi les automatismes encore disponibles, utiliser ceux qui sont adaptés pour dégager de la disponibilité.

- Toujours préciser la répartition des tâches (Pilotage, Navigation, Télécom).
- Savoir gérer les interruptions de tâche : PNC, radio, JPS...ou vagabondage de l'esprit.

#### J3 /

Contrôle de la trajectoire : passe par

- le contrôle machine, pilotage de base de l'avion, en particulier, symétrie du vol et assiette.
- la lecture du FMA ou des PAM (c'est ce qui va arriver).

#### ATTENTION

La position FMS est virtuelle : il faut valider la carte régulièrement.

L'utilisation du PA ne dispense pas de la surveillance des paramètres primaires de pilotage.

Ne jamais suivre aveuglément les instructions du contrôle.

Rester critique !

### REGLE E "Réfléchir avant d'agir"

Avant toute action non urgente, en envisager les conséquences.

#### E1/ Comportement

Il y a souvent des précautions à prendre avant de mettre en oeuvre un système ou d'entreprendre certaines actions ou plans d'actions. La grande majorité des actions n'a pas à être prise dans l'urgence, et mérite une réflexion.

Les émotions peuvent entraîner des actions ou des décisions trop rapides et irréfléchies. Il est prudent de laisser passer l'émotion ; cela peut prendre un peu de temps, mais en vol le temps est compté et le temps disponible varie en fonction de l'urgence de la situation.

Nous constatons qu'à l'exception du vol AF 447, toutes les trajectoires choisies, consécutives à la perte des indications de vitesse et du pilote automatique par les autres équipages, ont été contrôlées et n'ont pas présenté de difficultés majeures.

Le maintien de l'assiette et le contrôle manuel de la poussée, ou alors une légère mise en descente, étaient toutes deux des stratégies de trajectoire valables. La mise en descente présentant également l'avantage, spécialement à haute altitude, d'ouvrir l'enveloppe de vol et de gagner en marge de sécurité lors d'une indication de vitesse douteuse.

La mise en montée très rapide dans le cas du vol AF 447, après la déconnexion du pilote automatique, est une réaction quasiment incompréhensible, alors que quelques minutes auparavant, la problématique de l'altitude de croisière avait été évoquée (vers 01:50 le fait de ne pas pouvoir monter au FL370 en raison de la température trop élevée).

Lors de la perte des indications de vitesse, il est fort probable qu'une variation de l'altitude indiquée se soit produite dans chaque cas, celle-ci étant affectée par la perte de la compensation de Mach. Une seule mention spécifique est faite dans les ASR à ce sujet, mais aucun ASR ne mentionne la méthode utilisée pour corriger cette variation d'altitude.

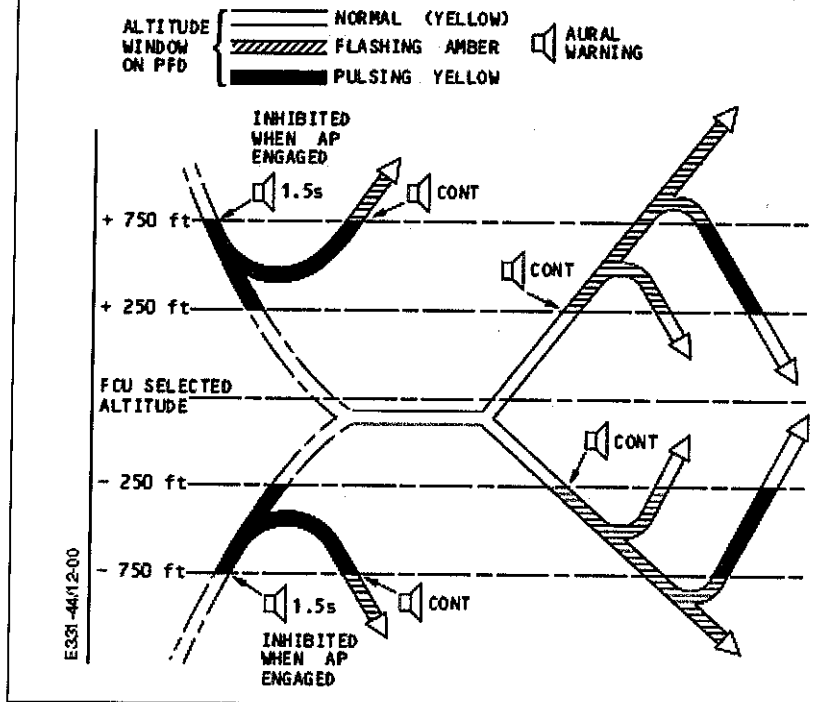
Le phénomène de perte de la compensation de Mach n'est pas expliqué de manière claire dans la documentation et il est quasiment inconnu de la majorité des pilotes.

Il est évidemment facile, au calme et hors de l'environnement dynamique que représente un cockpit en cas de panne, de réaliser que l'avion n'a pas pu, d'un seul coup, perdre 400 ft. Il ne s'agit que d'une d'indication modifiée sans changement d'altitude réelle. Par contre, l'alarme de déviation d'altitude (liée à un écart excessif entre la valeur d'altitude indiquée et celle affichée sur le FCU) va sonner. Dans le cas du vol AF 447, on entend cette alarme immédiatement après le désengagement du pilote automatique. Cette alarme sonore est un facteur de stress supplémentaire. Elle a été présente et persistante dès le moment où la compensation Mach a été perdue et jusqu'à l'alarme « STALL » (qui occulte l'alarme de déviation d'altitude), avec une courte interruption au début de la ressource, lorsqu'ils sont à nouveau passés dans la bande de tolérance de l'altitude sélectionnée.



## 12.ALERTE ALTITUDE

L'alarme alerte altitude est générée par le FWC (alarme sonore spécifique et le clignotement jaune ou ambre de la fenêtre d'altitude du PFD) lorsque l'avion s'approche ou s'éloigne du niveau de vol ou de l'altitude sélectionnée. Cette alarme est basée sur la comparaison d'altitude (ADIRS) avec l'altitude présélectionnée au FCU.

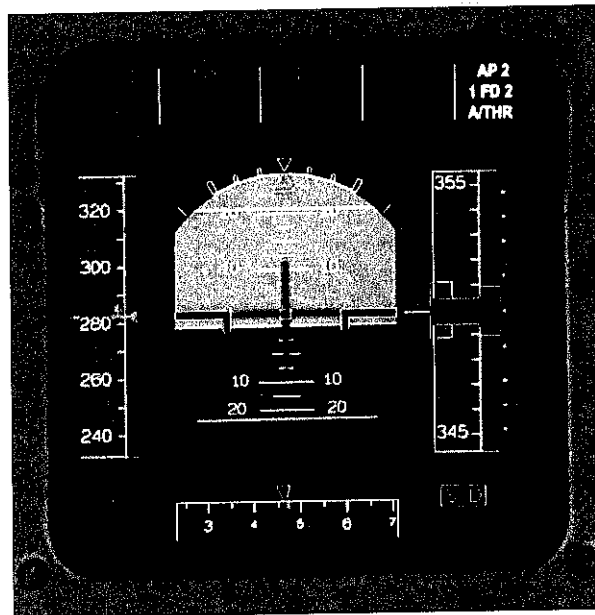


La succession des alarmes, arrivant quasiment simultanément (environ 5 secondes), a indiscutablement été un facteur de stress :

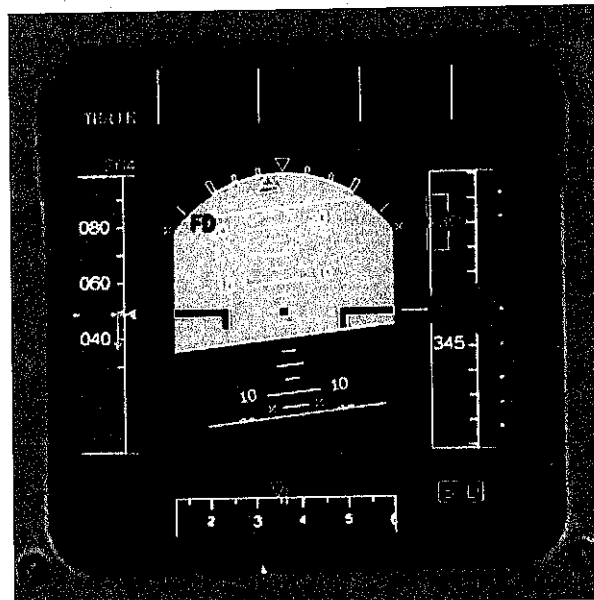
- Charge de cavalerie liée à la perte du pilote automatique
- Master Caution de l'ECAM
- C-Chord lié à l'alerte altitude
- Alarme « STALL »

La déviation constatée de l'ordre de 400 ft a peut-être incité le pilote à effectuer une correction de trajectoire vers le haut, afin de remonter au niveau de vol initial, soit le FL350.

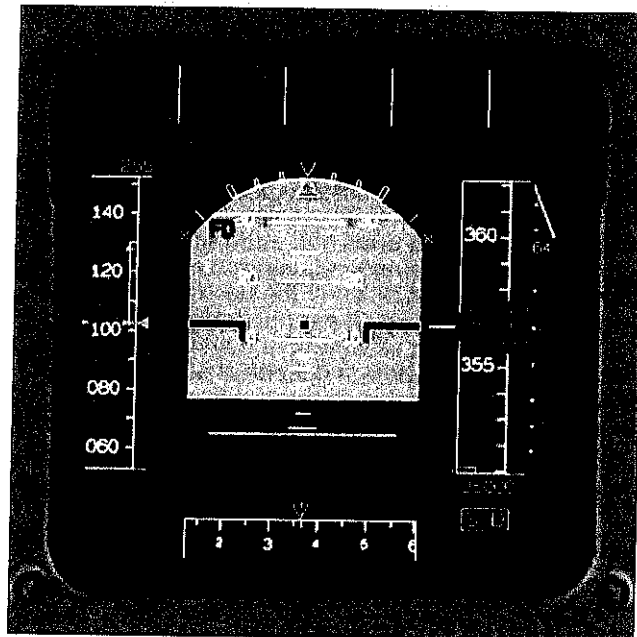
En vol de croisière, le PFD indique une assiette d'environ 2.5-3° :



Selon les règles de l'art, une correction doit être proportionnelle à l'amplitude de l'écart constaté. Dans les conditions du vol AF 447, pour la déviation d'altitude indiquée, une augmentation d'assiette d'environ 1-2° aurait été adéquate.



Or, après une quinzaine de secondes, l'assiette de l'avion est de l'ordre de 12.5°.



Une telle assiette ne peut être maintenue bien longtemps à cette altitude.

Les seules procédures appelant à la tenue de paramètres de vol correspondant à environ 12° d'assiette et l'application de la poussée TOGA, sont la procédure IAS douteuse avant réduction de la poussée (donc juste après le décollage) publiées pour l'A340 et non pour l'A330, ainsi que la procédure Alarme « STALL » au décollage (la valeur demandée étant de 12.5°).

#### IAS DOUTEUSE

SI CONDUITE DU VOL AFFECTEE DANGEREUSEMENT,  
le CDB annonce "IAS DOUTEUSE", effectuer les actions immédiates  
suivantes :

PF	AP .....	OFF
C/P	FD 1 et 2 .....	OFF
PF	A/THR .....	OFF
PF	POUSSEE / ASSIETTE .....	SELECTEES

➤ Avant la réduction de poussée :

- POUSSEE / ASSIETTE (A330) .....	TOGA / 15°
- POUSSEE / ASSIETTE (A340) .....	TOGA / 12°5

**A330/340**AIR FRANCE  
OA.NTProcédures anormales  
complémentaires  
ATA 27 - COMMANDES DE VOLTU 03.03.27. 01  
15 FEB 07**ALARME "STALL"**

Cette alarme peut apparaître en loi ALTERNATE ou DIRECTE à l'approche du décrochage : une voix synthétique "STALL, STALL, STALL" retentit accompagnée d'une alarme sonore (cricket). Cependant une fausse alarme "STALL" peut retentir en loi normale juste après le décollage si une sonde AOA est endommagée. Dans ce cas, le pilote doit immédiatement reprendre une vitesse opérationnelle normale en agissant sur les commandes :

➤ **Au décollage :**PF **MANETTES DE POUSSEE.....TO.GA****En même temps :**PF **ASSIETTE LONGITUDINALE..... 12.5°**PF **INCLINAISON.....AILES HORIZONTALES**PF **SPEED BRAKES..... VERIFIES RENTRES**

Ces deux procédures sont totalement inadaptées dans ce cas de figure et à cette altitude.

Deux options s'offraient directement à l'équipage à ce moment :

- ne rien modifier à la trajectoire - l'avion étant équilibré et la poussée gelée à la dernière valeur précédant la déconnexion de l'auto-manette, la trajectoire reste stable. Il a été démontré que plusieurs minutes étaient alors à disposition de l'équipage pour chercher dans le QRH les couples assiette/poussée permettant, même à très long terme, de conserver l'appareil dans une enveloppe de vol sûre.
- appliquer les valeurs de la procédure d'urgence « IAS douteuse » au dessus du FL100, soit une assiette de 5° et CLB.

● **Au dessus du FL 100****- POUSSEE / ASSIETTE .....CLB / 5°**

Une troisième option existait également, ceci de manière proactive, qui aurait facilité la tâche de l'équipage en fournissant par avance des éléments de vol stable. Il s'agit de l'application des paramètres de vols liée à la table « Vol en atmosphère turbulente ». Cette table est à disposition des pilotes dans le QRH et son descriptif, dans les « Procédures normales », prescrit au point 1 GENERALITES : lorsque l'avion entre dans une zone de forte turbulence, le pilote DOIT SELECTER la vitesse indiquée dans le tableau.

Un recours à cette table aurait, dans un premier temps, également permis d'afficher une valeur de poussée garantissant le maintien de paramètres de vol sains.

La validité de la valeur de N1 correspondante a été vérifiée lors du vol de démonstration.

<b>A330/340</b>	<b>Procédures normales</b>	<b>TU 02.03.30. 01</b>
AIR FRANCE	<b>Utilisation particulière</b>	<b>31 JUL 08</b>
OA.NT	<b>VOL EN ATMOSPHERE TURBULENTE</b>	
<b>1. GENERALITES</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les vitesses/mach de pénétration en turbulence sont définies pour assurer la portance nécessaire au facteur de charge provoqué par la rafale verticale tout en limitant au mieux les contraintes structurales.</li> <li>- Ainsi, lorsque l'avion entre dans une zone de forte turbulence, le pilote <b>DOIT SELECTER</b> la vitesse en turbulence définie dans le tableau ci-après. Si la vitesse donnée par le tableau est entre VLS et Green Dot, le pilote devra descendre à un niveau inférieur (cas d'un avion lourd proche de MAX ALT).</li> <li>- Dans une zone de turbulence modérée, le pilote peut réduire la vitesse sans descendre en dessous de la vitesse en turbulence définie dans le tableau ci-après.</li> </ul>		
Avant d'entrer dans une zone de turbulence connue, arrimer tous les objets et équipements qui pourraient constituer un danger.		
<b>2. ENTREE DANS UNE ZONE DE TURBULENCE</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Si turbulences faibles : <i>Intensité inférieure à modérée.</i></li> </ul>		
C	SEAT BELTS .....	ON
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Si turbulences modérées : <i>De légers changements de vitesse, et/ou d'assiette, et/ou d'altitude de l'aéronef peuvent se produire, mais l'appareil reste constamment sous contrôle.</i></li> </ul>		
C	SEAT BELTS .....	ON
C	CHEF DE CABINE .....	PREVENU
PF	IAS/MACH .....	SELECTE
<i>Le PF réduit la Vitesse/Mach sans descendre sous la Vitesse/Mach recommandée dans le tableau ci-après.</i>		

<b>A330/340</b>		Procédures normales										TU 02.03.30. 03		
AIR FRANCE		Utilisation particulière										31 JUL 08		
OA.NT		VOL EN ATMOSPHERE TURBULENTE										<b>A330</b>		
2.1. Affichage de la poussée pour la vitesse recommandée (A330)														
➤ Si turbulence modérée : possibilité de réduction vers la vitesse recommandée.														
➤ Si turbulence forte : sélectionner une vitesse $\leq$ à la vitesse recommandée.														
N1 requis pour la vitesse recommandée														
FL	IAS ou Mach	MASSE (t)												
		120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
410	0.80	89.2	90.1	91.1	92.1	93.5	95.2							
390	0.80	88.2	88.9	89.7	90.6	91.6	92.6	94	95.7					
370	0.80	87.3	87.9	88.6	89.3	90.1	91	91.9	92.9	94.3	95.9			
350	260	85.2	85.9	86.6	87.4	88.2	89	90	90.9	91.9	93.1	94.6	96.1	
330	260	83.9	84.5	85.2	85.9	86.7	87.6	88.5	89.4	90.4	91.4	92.4	93.7	95
310	260	82.4	83.1	83.8	84.5	85.2	86	86.8	87.8	88.8	89.8	90.8	91.9	92.9
290	260	81	81.6	82.2	83	83.7	84.5	85.3	86.1	87.1	88.1	89.1	90.1	91.2
270	260	79.8	80.3	80.9	81.5	82.2	83	83.8	84.7	85.5	86.4	87.4	88.4	89.5
250	260	78.2	78.7	79.4	80.1	80.8	81.4	82.2	83	83.9	84.9	85.8	86.7	87.7
200	240	71.4	72.1	72.9	73.7	74.5	75.5	76.5	77.5	78.5	79.6	80.8	81.8	83
150	240	67.5	68.2	68.9	69.6	70.5	71.4	72.3	73.3	74.2	75.2	76.3	77.5	78.5
100	240	63.4	64.1	64.9	65.6	66.5	67.4	68.4	69.3	70.2	71.1	72.1	73.2	74.3
50	240	59.4	60.2	60.9	61.6	62.4	63.3	64.2	65.2	66.1	67.1	68.1	69.2	70.3

Les exercices au simulateur, essentiellement pratiqués à basse altitude, ne préparaient pas de manière efficace les équipages aux conséquences/manœuvres suivantes :

- À la perte de la compensation de Mach et l'effet de surprise résultant.
- À la faible marge de manœuvre vers le haut et la très faible marge de manœuvre en incidence, avant l'activation de l'alarme « STALL ».
- Au caractère transitoire, de durée relativement courte, des phénomènes d'obstruction des tubes Pitot.
- À l'application des valeurs poussée/assiette à des altitudes où se produisaient de manière occasionnelle ces phénomènes d'obstruction, qu'il s'agisse des valeurs de la procédure d'urgence, ou de la table du QRH pour le vol en croisière.
- À une sensibilisation, lors d'une manœuvre de sortie de décrochage après avoir réduit l'assiette, de la finesse de pilotage avec laquelle la ressource doit être exécutée afin d'éviter de déclencher à nouveau l'alarme « STALL ».

Nous trouvons également dans le MAC, sous « MAÎTRISE DES RISQUES OPERATIONNELS / Perte de contrôle avion » l'extrait suivant (FAST, page 6) :

An airplane stall is characterized by any one (or a combination) of the following conditions:

- Buffeting.
- Lack of pitch authority.
- Lack of roll control.
- Inability to arrest descent rate.

These conditions are usually accompanied by a continuous stall warning. A

Dans le cas du vol AF 447 on constate la présence quasi continue de l'ensemble des conditions mentionnées ci-dessus à partir du moment où l'alarme « STALL » persistante est déclenchée.

En conclusion, nous pouvons dire que, pour la trajectoire, malgré un entraînement non optimal pour ce cas de figure, aucun autre équipage d'Air France :

- n'a procédé à une manœuvre vers le haut.
- n'a manœuvré de manière brusque et aucune déstabilisation de la trajectoire n'a été constatée.
- n'a fini par se trouver dans un état énergétique aussi bas et en situation de décrochage profond.

La déstabilisation importante dans le cas du vol AF 447 a été provoquée par une réaction inadéquate du PF et son action directe en commande manuelle. Par la suite, la non reconnaissance d'une situation de décrochage n'a pas permis à l'équipage de déclencher la/les procédures adéquates pour ramener l'avion dans une enveloppe de vol sûre, de manière à être apte à en reprendre le contrôle.

### 4.5.3 Analyse / Méthodologie dans la résolution d'une panne

Pour traiter un problème de manière appropriée, il faut avoir analysé et trouvé la nature réelle de ce problème, afin d'appliquer la procédure correcte.

Dans la documentation d'Air France, en dehors de ce qui a déjà été mentionné ci-dessus, on trouve le paragraphe suivant en rapport avec le traitement et l'analyse de pannes:

#### 3.2. Lecture des check-lists

Les check-lists normales sont lues par :

- l'OPL à la demande du CDB lorsque l'avion ne se déplace pas par ses propres moyens.
- le PNF à la demande du PF dans les autres cas.

Le lecteur de la check-list reprendra le titre de la C/L avant sa lecture.

Lorsque la lecture de la check-list est terminée, le lecteur annonce "CHECK-LIST.....TERMINEE"

*Note : La conduite du vol sera réalisée de façon à ce que la lecture des check-lists ne soit pas interrompue.*

*Chaque fois qu'une check-list est interrompue, l'équipage doit s'assurer que cette lecture est reprise à l'endroit où elle a été stoppée.*

Dans le MAC Air France nous trouvons aussi le paragraphe suivant :

#### REGLE Y "Confirmer le diagnostic"

Se donner les moyens d'analyser sûrement l'origine réelle du problème à traiter.

##### Y1/ Comportement

Dans les systèmes complexes, un diagnostic d'anomalie ou de panne n'est pas toujours facile, car la grande intégration des sous-systèmes peut masquer l'origine véritable des ennuis.

Toute erreur de diagnostic entraînant sur une fausse piste, elle provoquera une dépense d'énergie inutile, et pourra générer d'autres problèmes qui viendront compliquer les premiers.

Il est donc essentiel de prendre du temps pour confirmer un diagnostic par des informations croisées.

##### Y2/ Préparation

Connaître les moyens redondants d'accès à l'information. Ne pas hésiter à dépenser de l'énergie pour capter l'élément pertinent qui rassure ou permet une quasi certitude.

Il existe toujours plusieurs voies séparées pour obtenir la même information ou des informations analogues. Leur connaissance (localisation des interlocuteurs, codes informatiques, documentation de bord, d'escala ...) et l'actualisation de cette connaissance sont indispensables.

##### Y3/ Gestion du vol

Les conséquences d'une analyse trop rapide ou incomplète peuvent être caractéristiques.

Ne pas se fier à une intuition. Certains symptômes peuvent être trompeurs.

Exemples :

- les vibrations, dont l'origine, cellule ou moteurs, n'est pas forcément évidente,
- un déséquilibre carburant qui peut être dû à une fuite.

C'est la "boucle de retour" qui permettra d'évaluer in fine la valeur du diagnostic effectué en vol.



Ainsi que concernant le traitement non ECAM :

#### **4.3. PROCEDURE ANORMALE COMPLEMENTAIRE**

Le traitement standard d'une procédure anormale complémentaire est le suivant :

Lecture complète par le PNF (OPL au sol) de la procédure puis réalisation de la procédure en "do list" avec contrôle mutuel.

Dans le cas de figure du vol AF 447, contrairement à la grande majorité des pannes auxquelles les équipages sont confrontés, l'ECAM n'est pas en mesure de donner la raison de l'origine des multiples pannes qu'il affiche. Les messages apparaissant sur l'ECAM ne sont que des conséquences de la panne primaire, soit la perte des indications de vitesse.

La succession rapide d'alertes auditives et celles colorées sur l'ECAM, ainsi que sur les indicateurs lumineux « MASTER WARNING » et « MASTER CAUTION », ont un effet focalisateur important.

Malgré cela, on constate que très rapidement après le déclenchement du pilote automatique à 02:10:16, le PNF annonce clairement « On a perdu les vitesses ».

Par la suite, le PNF va lire les titres de différents points affichés à L' ECAM.

On s'aperçoit que le point 4.2.1 cité ci-dessus, qui demande d'identifier la panne par cohérence entre E/WD (Engine and Warning Display), SD (System Display) et toutes les indications locales, ne s'est pas déroulé d'une manière claire entre les deux pilotes. Une mise à niveau de la compréhension de la situation par les deux pilotes, ainsi que de leur perception de la panne ne s'est pas faite.

On constate un manque d'informations mutuel, chacun restant dans sa perception de la situation et sans échange permettant une mise en commun :

- des constatations techniques,
- de la trajectoire à assurer,
- de la réalisation d'une perception commune en vue des actions à réaliser et de la mise en place d'une stratégie de résolution,
- d'une répartition claire des rôles,
- d'une analyse des priorités.

Ainsi dépourvu d'une compréhension mutuelle de la situation, l'équipage du vol AF 447 s'est trouvé à agir initialement de manière désordonnée et surtout non coordonnée.

Il n'est pas possible de savoir de quelle manière a eu lieu le traitement des points de check-list apparaissant sur l'ECAM. Tout ce que l'on peut affirmer, c'est que si des actions ont eu lieu, elles n'ont pas été réalisées selon la procédure et les consignes d'utilisation :

### 3. CONSIGNES D'UTILISATION

#### 3.1. Déclenchement des guides et des check-lists

- Les guides de mémoire sont déclenchés par la chronologie des phases de vol ou par l'annonce "ACTIONS....".
- Les check-lists sont déclenchées par l'annonce "CHECK-LIST....".

*Note : En fonction de sa charge de travail, le PF, s'il le juge nécessaire, a la possibilité de demander au PNF l'exécution d'une action de son ressort.*

#### 3.2. Lecture des check-lists

Les check-lists normales sont lues par :

- l'OPL à la demande du CDB lorsque l'avion ne se déplace pas par ses propres moyens.
- le PNF à la demande du PF dans les autres cas.

Le lecteur de la check-list reprendra le titre de la C/L avant sa lecture.

Lorsque la lecture de la check-list est terminée, le lecteur annonce "CHECK-LIST.....TERMINEE"

*Note : La conduite du vol sera réalisée de façon à ce que la lecture des check-lists ne soit pas interrompue.*

*Chaque fois qu'une check-list est interrompue, l'équipage doit s'assurer que cette lecture est reprise à l'endroit où elle a été stoppée.*

Ce manque de communication et les actions non coordonnées dans le traitement de la panne auront également lieu par la suite, quand le PNF effectuera des manipulations hors check-list, sans en informer le PF de manière claire. A 02:10:40, lors de la permutation de AIR DATA de NORM à F/O ON 3, on entend « je te mets en ATT » et tout de suite après le passage de ATT HDG de NORM à F/O ON 3.

De manière générale, il est curieux de constater dans la comparaison des incidents Air France analysés, que dans plus de la moitié des cas, le traitement de la panne ne s'est pas effectué selon une procédure publiée « IAS douteuse ». En dehors du vol AF 447, il semble que la compréhension du problème, une fois l'effet de surprise passé, s'est faite correctement et que les équipages ont compris que le problème original était lié à une perte des indications de vitesse. Ainsi, en toute logique, après avoir garanti une trajectoire de vol saine, il aurait été judicieux de faire appel à la procédure QRH «IAS douteuse». Hors, nous constatons que cette dernière n'a souvent pas été appliquée. Nous envisageons deux hypothèses afin de l'expliquer :

1. Le temps investi par l'équipage pour assurer une trajectoire ne mettant pas en danger l'avion, puis pour analyser les causes de la panne et enfin pour traiter les premiers points de la cascade de messages de l'ECAM dans l'espoir d'identifier la panne réelle (ou y puiser des indices utiles à la compréhension de la panne) est suffisamment long pour que les indications de vitesse soient à nouveau

utilisables. De ce fait, le recours à une procédure n'est plus nécessaire. Ce cas de figure est décrit dans deux ASR.

- La complexité potentielle du traitement de cette panne, à l'aide de la documentation disponible, peut être déroutante pour les équipages. Comme mentionné, la cause réelle n'étant pas indiquée de manière directe comme à l'habitude, et l'ECAM ne proposant rien pour le traitement de la panne primaire, le recours à une procédure papier QRH ou FCOM est alors nécessaire.

Si on regarde de plus près et en détail les différentes check-lists, on s'aperçoit qu'elles sont d'une certaine complexité, qu'elles présentent quelques différences et possèdent diverses possibilités d'entrées pour débiter le travail de résolution de panne.

### Nous trouvons dans le QRH :

Sous manœuvres d'urgence

<b>QRH A330</b> AIR FRANCE OA.NT	<b>DIVERS</b> <b>MANOEUVRES D'URGENCE</b>	<b>04.40.02</b> 31 JUL 08
<b>IAS DOUTEUSE</b>		
SI CONDUITE DU VOL AFFECTEE DANGEREUSEMENT, le CDB annonce "IAS DOUTEUSE", effectuer les actions immédiates suivantes :		

Également dans le QRH, sous procédures urgence / secours

<b>QRH A330</b> AIR FRANCE OA.NT	<b>PROCEDURES URGENCE / SECOURS</b> <b>ATA 34 - NAVIGATION</b>	<b>01.34.04</b> 10 MAY 07
<b>VOL AVEC IAS DOUTEUSE / ADR CHECK PROC</b>		
Effectuer les actions immédiates suivantes (Manoeuvre d'urgence) :		
-----		
- AP / FD ..... OFF		

Cette procédure se trouve détaillée sur 4 pages et ne contient pas la note initiale « SI CONDUITE DE VOL AFFECTEE DANGEREUSEMENT ».

Dans le QRH, les données sont spécifiques et les valeurs publiées ne concernent que l'A330.

Dans le Manuel d'exploitation d'Air France, partie utilisation :

<b>A330/340</b>	<b>Procédures anormales</b>	<b>TU 03.01.01.03</b>
AIR FRANCE	<b>MANOEUVRES D'URGENCE</b>	<b>15 FEB 07</b>
OA.NT		

<b>IAS DOUTEUSE</b>	
<p>SI CONDUITE DU VOL AFFECTEE DANGEREUSEMENT, le CDB annonce "IAS DOUTEUSE", effectuer les actions immédiates suivantes :</p>	
PF	AP ..... OFF
C/P	FD 1 et 2 ..... OFF
PF	A/THR ..... OFF
PF	POUSSEE / ASSIETTE ..... SELECTEES
<p>➤ Avant la réduction de poussée :</p>	
	- POUSSEE / ASSIETTE (A330) ..... TOGA / 15°
	- POUSSEE / ASSIETTE (A340) ..... TOGA / 12°5
<p>➤ Après la réduction de poussée :</p>	
	● Au dessous du FL 100
	- POUSSEE / ASSIETTE ..... CLB / 10°
	● Au dessus du FL 100
	- POUSSEE / ASSIETTE ..... CLB / 5°
PNF	VOLETS ..... CONFIG MAINTENUE
PNF	SPEED BRAKES ..... VERIFIES RENTRES
PNF	TRAIN ..... RENTRE
<p><b>Respecter les alarmes décrochage.</b> LORSQUE LA TRAJECTOIRE EST STABILISEE, se référer à la procédure URGENCE / SECOURS non ECAM "VOL AVEC IAS DOUTEUSE / ADR CHECK PROC" (QRH 1.34.xx ou TU 03.02.34.1XX).</p>	

Il s'agit des mêmes actions que dans le QRH, sauf que les valeurs sont ici à la fois publiées pour l'A330 et à l'A340.

Dans le Manuel d'exploitation d'Air France, la procédure appelée VOL AVEC IAS DOUTEUSE/ADR CHECK PROC

**A330/340**

AIR FRANCE  
OA.NT

Procédures anormales  
**URGENCE / SECOURS**  
ATA 34 - NAVIGATION

TU 03.02.34. 143

28 SEP 06

**A330**

**VOL AVEC IAS DOUTEUSE / ADR CHECK PROC (A330)**

Une indication erronée de la vitesse peut être la conséquence de l'endommagement du radome ou d'un défaut de sonde pitot ou de prise statique (panne réchauffage, obstruction, déformation etc...).

Si les prises de pression statique sont affectées, l'altitude affichée peut être erronée. Des indications anémométriques erronées ne peuvent pas être détectées par les ADIRU. Les calculateurs des commandes de vol et de guidage (FG) rejettent normalement les ADR fournissant des vitesse / altitude erronées, à condition qu'un écart significatif soit détecté.

Toutefois, ils ne seront pas capables de rejeter deux altitudes ou vitesses erronées qui dérivent parallèlement et d'une même grandeur. Dans ce cas exceptionnel, les systèmes avion considéreront la source correcte comme étant fautive, et la rejeteront. Les calculateurs des commandes de vol et de guidage utiliseront les deux ADR incorrectes pour leurs calculs.

Par conséquent, dans toutes les situations d'indications anémométriques erronées, l'équipage doit identifier la (ou les) ADR en défaut, et la (ou les) sélectionner sur OFF (selon la procédure ADR CHECK PROC). Si toutes les ADR donnent des informations erronées, garder une ADR sur ON pour conserver la protection Stall Warning. Pendant la durée de l'identification de la panne, les lois de commandes de vol pouvant être affectées, il est recommandé de manoeuvrer l'avion avec précaution jusqu'à ce que les ADR soient sélectionnées sur OFF.

- **Les informations de vitesse ou d'altitude erronées, qui peuvent être mises en évidence par :**
  - a la suite d'une alarme ECAM F/CTL ADR DISAGREE, s'il y a un écart de vitesse (>16kt) entre les 2 ADR restantes
  - des écarts de vitesse entre les ADR 1, 2, 3 et l'anémomètre de secours, ou
  - des indications de vitesse ou d'altitude gelées, fluctuantes, croissant / décroissant inopinément, ou
  - une corrélation anormale des paramètres de vol basiques (vitesse, assiette, poussée, taux de montée), ou
  - un comportement anormal des AP / FD / ATHR, ou
  - une incohérence entre la hauteur radio sonde et l'altitude barométrique, ou
  - une réduction du bruit aérodynamique avec une vitesse qui augmente, ou un accroissement du bruit aérodynamique avec une vitesse qui diminue, ou
  - l'impossibilité de sortir les trains d'atterrissage par la commande normale des trains, ou
  - une alarme STALL ou OVERSPEED, ou un message ECAM Flap RELIEF en contradiction avec au moins une des vitesses indiquées; dans ce cas :
    - tenir compte de l'alarme décrochage qui peut être déclenchée en loi alternatée ou directe. Fonction de l'angle d'incidence; cette alarme n'est pas affectée par des indications anémométriques erronées.



**A330/340**AIR FRANCE  
OA.NTProcédures anormales  
URGENCE / SECOURS  
ATA 34 - NAVIGATIONTU 03.02.34. 144  
28 SEP 06  
**A330**

- selon la panne, l'alarme OVERSPEED peut être fausse ou avérée. Le BUFFETING, associé à l'alarme OVERSPEED VFE, est un symptôme de survitesse réelle.

**Règles d'application de la procédure :**

- Si les informations erronées de vitesse ou d'altitude n'affectent pas la sécurité du vol (trajectoire stabilisée), identifier la ou les ADR en défaut et la mettre sur OFF. Pour cela il est nécessaire de comparer les vitesses avec celles des tableaux de vitesse ou vol en turbulence.
- Si la sécurité du vol est affectée (toutes les indications de vitesse sont erronées, ou si l'indication de vitesse fausse ne peut être clairement identifiée), sélectionner deux ADR sur OFF pour éviter que les lois de commandes de vol reçoivent des informations erronées des indications anémométrique et appliquer la procédure suivante.
  - . Appliquer les actions immédiates (équivalent de la manoeuvre d'urgence) : AP/FD/ATHR OFF, poussée et attitude,
  - . Une fois stabilisé, en fonction de la phase de vol, afficher une poussée et une assiette et déterminer la ou les ADR en défaut.
  - . Si la ou les ADR en défaut ne peuvent être identifiées, sélectionner deux ADR sur OFF

**ATTENTION**

*En cas de détérioration du radome, la traînée sera augmentée et par conséquent le N1 sera augmenté de 3 % (CRZ) ou 1,5 % (APP). Le FF augmentera d'environ 13 %.*



**A330/340**AIR FRANCE  
O.A.N.TProcédures anormales  
**URGENCE / SECOURS**  
**ATA 34 - NAVIGATION**TU 03.02.34. 146  
12 MAR 09  
**A330****POUSSEE / ASSIETTE pour le FL d'attente**

BECS / VOILETS SORTIS				
		Au dessous de 160t	160t à 190t	Au dessus de 190t
CONF	VITESSE	ASSIETTE (°) / POUSSEE (% N1)		
3	F	7 / 64.3	7.5 / 70.7	7.5 / 76.3
2	F	8.5 / 62.4	9 / 69.2	9 / 75
1 + F	S	6 / 60.5	6 / 66.9	6 / 72.7
1	S	9 / 59.5	9 / 65.7	9 / 71.6

CONFIGURATION LISSE				
FL	VITESSE	ASSIETTE (°) / POUSSEE (% N1)		
Au dessous FL 250	240 kt	2.5 / 68.1	4 / 72.6	5 / 75.7
FL 250 à FL 370	260 kt	2 / 83.9	3 / 87.9	3.5 / 90.0
Au dessus FL 370	M 0.80	2 / 90.0	2.5 / 93.4	3 / 94.3

LORSQUE LA TRAJECTOIRE EST STABILISEE
---------------------------------------

- PROBE / WINDOW HEAT ..... ON

**Recommandations :**

- Respecter l'alarme STALL et ignorer le message STATUS "RISK OF UNDUE STALL WARNING" affiché à l'ECAM.
- Pour contrôler la vitesse se référer à la vitesse sol des IRS ou des GPS

Si les indications d'altitude sont affectées.

- Ne pas utiliser le FPV et/ou la V/S, ils ne sont pas fiables.
- L'altitude transmise par le transpondeur à l'ATC n'est pas fiable, informer le contrôle aérien.
- Utiliser l'altitude GPS sur la page GPS Monitor du MCDU : les variations d'altitude peuvent être utilisées pour le contrôle de l'altitude de vol. Cette indication est indépendante de toutes informations anémométriques.
- Utiliser la hauteur radio sonde.



**A330/340**

AIR FRANCE  
OA.NT

Procédures anormales  
**URGENCE / SECOURS**  
ATA 34 - NAVIGATION

TU 03.02.34. 145  
12 MAR 09  
**A330**

**Effectuer les actions immédiates suivantes (Manoeuvre d'urgence):**

- AP / FD ..... OFF
- A/THR ..... OFF
- POUSSEE / ASSIETTE ..... SELECTEES

➤ Si la panne survient avant la réduction de poussée :

- POUSSEE / ASSIETTE ..... TOGA / 15°

➤ Si la panne survient après la réduction de poussée :

● Au dessous du FL 100

- POUSSEE / ASSIETTE ..... CLB / 10°

● Au dessus du FL 100

- POUSSEE / ASSIETTE ..... CLB / 5°

- VOLETS ..... CONFIG MAINTENUE
- SPEED BRAKES ..... VERIFIES RENTRES
- TRAIN ..... RENTRE

■ A l'altitude de sécurité ou d'attente effectuer un palier.

- ALTITUDE GPS ..... AFFICHEE AU MCDU
- ATTITUDE / POUSSEE ..... AJUSTEES

*Ajuster l'assiette et la poussée en fonction du tableau ci-après.*





# A330/340

AIR FRANCE  
O.A.N.T

Procédures anormales  
**URGENCE / SECOURS**  
ATA 34 - NAVIGATION

TU 03.02.34. 148  
12 MAR 09  
**A330**

- **Retour vers l'aéroport de décollage :**  
Il est préférable de garder la configuration de décollage.  
Se référer aux tableaux ci-après pour Approches initiale et intermédiaire et Approche finale.
- **Après décollage, si le vol est poursuivi :**  
Monter à l'altitude de sécurité ou à l'altitude du circuit d'attente
  - POUSSEE.....CLB
  - VOLETS ..... RENTRES  
 Une fois la poussée CLB affichée, rentrer les volets de la position 3 ou 2 vers 1.  
 Lorsque l'assiette est inférieure à l'assiette de la vitesse S (Cf tableau - POUSSEE / ASSIETTE pour le FL d'attente ci-dessus) les volets peuvent être rentrés de la position 1 à 0.  
 Une fois en configuration lisse, se référer aux tableaux ci-après pour la montée, croisière, descente et l'approche.
- **Autres cas :**  
Se référer aux tableaux ci-après pour la montée, croisière, descente et l'approche.

**MONTEE**

- Afficher la poussée CLB.

CONFIGURATION LISSE				
		< à 160t	160 t à 190 t	> à 190 t
FL	VITESSE	ASSIETTE (°) / POUSSEE (% N1)		
< au FL 100	240 kt	12.5 / CLB	11 / CLB	10.5 / CLB
FL 100 - FL 150		10.5 / CLB	9.5 / CLB	9 / CLB
FL 150 - FL 200		10.5 / CLB	8.5 / CLB	8.5 / CLB
FL 200 - FL 250		7.5 / CLB	7.5 / CLB	7.5 / CLB
FL 250 - FL 300	260 kt	5.5 / CLB	5 / CLB	5.5 / CLB
FL 300 - FL 370		4 / CLB	4 / CLB	4.5 / CLB
> au FL 370	M 0.80	3.5 / CLB	3.5 / CLB	3.5 / CLB



**A330/340**AIR FRANCE  
OA.NTProcédures anormales  
**URGENCE / SECOURS**  
ATA 34 - NAVIGATION

TU 03.02.34. 147

12 MAR 09

**A330****ATTENTION**

*En cas de détérioration du radome, la traînée sera augmentée et par conséquent le N1 sera augmenté de 3 % (CRZ) ou 1,5 % (APP).  
Le FF augmentera d'environ 13 %.*

**- ADR EN DEFAULT..... DETERMINEE(S)**

*Comparer toutes les indications de vitesse avec celles des tableaux du QRH :*

*- VITESSES d'utilisation pour les vitesses F ou S (QRH 02.01.XX).*

*- VOL EN TURBULENCE pour les vitesses en configuration lisse (QRH 03.10.01).*

➤ **Si les informations d'au moins une ADR sont fiables :**

**- ADR EN DEFAULT ..... OFF**

**- ADR RESTANTE (S)..... VERIFIEE(S)**

*Vérifier les autres sources pour valider l'ADR restante:*

*- GPS : altitude*

*- GPS et IRS : vitesse sol (prenant en compte l'altitude et les effets du vent),*

➤ **Si les ADR en défaut ne peuvent être identifiées ou si toutes les ADR sont en défaut :**

**- UNE ADR ..... LAISSEE SUR ON**

*Conserver une ADR sur ON, pour garder la protection Stall Warning.*

**- DEUX ADR ..... OFF**

*Cela évite que les lois de commandes de vol soient affectées en utilisant deux sources cohérentes mais non fiable provenant des ADRs.*

**- EFIS DMC SWITCHING ..... COMME NECESSAIRE**



**A330/340**AIR FRANCE  
OA.NTProcédures anormales  
**URGENCE / SECOURS**  
ATA 34 - NAVIGATION

TU 03.02.34. 149

15 FEB 07

**A330****CROISIERE**

- Ajuster le N1 de manière à maintenir un niveau de vol avec une assiette constante. Lorsque le temps le permet, se reporter au tableau "VOL EN TURBULENCE" (QRH) et ajuster l'assiette pour maintenir le niveau de vol.

CONFIGURATION LISSE				
		< à 160t	160 t à 190 t	> à 190t
FL	VITESSE	ASSIETTE (°) / POUSSEE (% N1)		
< au FL 250	240 kt	2.5 / 68.1	4 / 72.6	5 / 75.7
FL 250 - FL 370	260 kt	2 / 83.9	3 / 87.9	3.5 / 90.0
> au FL 370	M 0.80	2 / 90.0	2.5 / 93.4	3 / 94.3

**DESCENTE**

- Afficher la poussée IDLE

CONFIGURATION LISSE				
		< à 160t	160 t à 190 t	> à 190t
FL	VITESSE	ASSIETTE (°) / POUSSEE (% N1)		
> au FL 370	M 0.80	- 0.5 / IDLE	0 / IDLE	1 / IDLE
FL 370 - FL 250	260 kt	- 1 / IDLE	0.5 / IDLE	1.5 / IDLE
FL 250 - FL 100	240 kt	- 0.5 / IDLE	0.5 / IDLE	2 / IDLE
< au FL 100	240 kt	- 0.5 / IDLE	0.5 / IDLE	2.5 / IDLE
< au FL 100	G - DOT	2.5 / IDLE	2.5 / IDLE	2.5 / IDLE



**A330/340**AIR FRANCE  
O.A.N.TProcédures anormales  
**URGENCE / SECOURS**  
ATA 34 - NAVIGATION

TU 03.02.34. 150

15 FEB 07

**A330****APPROCHES INITIALE ET INTERMEDIAIRE EN PALIER**

- La phase d'approche entre Green Dot et la configuration finale (CONF 3) est effectuée en palier.

EN PALIER TRAIN RENTRE				
		< à 160t	160 t à 190 t	> à 190t
CONF	VITESSE	ASSIETTE (°) / POUSSEE (% N1)		
0	G-DOT	5 / 55.3	5.5 / 61.5	5 / 67.4
1	S	9 / 59.5	9 / 65.8	9 / 71.7
1 + F (a)	S	6 / 60.5	6 / 66.9	6 / 72.7
2	F	6 / 64.0	6 / 69.2	6 / 75.0
EN PALIER TRAIN SORTI (b)				
3	F	6.5 / 69.1	6.5 / 75.4	6.5 / 81.5

(a) Etant donné que la vitesse est incertaine, le SFCC peut sélectionner la CONF 1 + F au lieu de la CONF 1

(b) Si la vitesse fournie par les ADR est supérieur à 280kts, il sera nécessaire d'effectuer une sortie du train par gravité.

**APPROCHE FINALE SELON UNE PENTE DE - 3°**

TRAIN SORTI				
		< à 160t	160 t à 190 t	> à 190t
CONF	VITESSE	ASSIETTE (°) / POUSSEE (% N1)		
3	VLS + 10	4 / 48.2	4 / 53.2	4.5 / 59.0

**ATTERRISSAGE**

- DISTANCE D'ATTERRISSAGE..... DETERMINEE

*Se reporter au tableau de corrections après panne DOUBLE ADR  
FAULT Cf TU 03.02.90.1xx ou QRH.*

Cette check-list est une des plus longues existant dans la documentation de l'A330. Elle est précédée d'un long préambule très complet, ainsi que de différents points d'entrée à partir desquels elle peut être commencée. De ce fait, elle ne se traite pas de manière strictement linéaire en commençant par le début de la première page et en s'arrêtant à la dernière ligne.

Vu la longueur de l'introduction, qui est très riche en informations utiles, puis du choix nécessaire à réaliser pour entrer au point de départ correct, il est évident que les équipages doivent connaître la structure et les points initiaux mentionnés dans le préambule.

Les différents choix qu'offre la documentation d'Air France à ses équipages, les quelques différences rédactionnelles que l'on retrouve, ainsi que la complexité inhérente à ces procédures peuvent représenter des obstacles de compréhension, une hésitation quant à la procédure à initier, ainsi qu'un risque d'erreur au vu des différents points d'entrée possibles.

Il est surprenant que le traitement d'une procédure aussi complexe et potentiellement intimidante ne fasse pas partie d'un point de formation spécifique.

Nous pouvons dire que pour l'analyse et le traitement de cette panne :

- Les équipages d'Air France autres que celui du vol AF 447 ont été à même de comprendre la nature du problème et de commencer un processus de traitement.
- La procédure publiée « IAS douteuse » et ses différentes variantes sont complexes et déroutantes pour un pilote qui n'a pas compris de manière détaillée les différents choix à sa disposition, ainsi que les explications préalables indiquées dans le manuel d'exploitation.

La perte d'indication de vitesse a été annoncée par l'OPL dans le cas du vol AF 447. Elle n'a pas été le résultat d'une analyse cohérente, mais plutôt d'une constatation spontanée du PNF. Suite à ce manque d'analyse et de compréhension de la panne, aucune check-list ou action cohérente dans cette situation n'a été commencée par l'équipage. Seuls quelques points hors check-list et sans communication claire ont été effectués par le PNF.

### 4.5.3 Répartition des rôles et hiérarchie

Dans la documentation Air France nous trouvons :

#### 3. REPARTITION DES TACHES ET CONTROLE MUTUEL

Tout pilote qui détecte une anomalie, qu'elle soit effectivement déclarée ou en cours d'établissement, doit immédiatement en informer l'autre pilote.

##### **Avion arrêté**

Au sol, PARK BRK sur ON, l'OPL lit les items de la check-list, le CDB les exécute. Dans ce cas l'OPL surveille les actions effectuées par le CDB (contrôle mutuel allégé).

##### **Avion en mouvement ou en vol**

Durant le roulage, il est recommandé d'arrêter l'avion afin de rendre plus disponible l'équipage.

L'avion en mouvement ou en vol, le PNF lit chaque item avec sa réponse sur l'ECAM ou sur le QRH, puis exécute l'action demandée, en respectant les principes de contrôle mutuel.

##### **ATTENTION**

*Cas particulier :*

*Les manettes de poussée sont toujours réduites par le PF après vérification du PNF*

Par l'émission de messages d'information et leur parfaite compréhension, le contrôle mutuel est un facteur primordial de sécurité.

En équipage à deux, le respect de ce principe est essentiel et plus particulièrement encore pour la réalisation des check-lists d'urgence ou de secours.

En conséquence, toute action ayant une incidence sur la trajectoire ou sur l'état d'un système doit être annoncée par le pilote qui l'effectue et vérifiée par l'autre pilote.

Le principe général du contrôle mutuel est le suivant:

- . lecture et préparation à l'action par le PNF
- . approbation par le PF
- . exécution de l'action par le PNF.

Il est clair qu'un certain nombre des points mentionnés ici recourent le chapitre précédent.

Dans la quasi totalité des incidents analysés (à l'exception de 2 cas où aucun détail n'était précisé), les équipages étaient standard, soit composés d'un commandant en siège de gauche et d'un copilote en siège de droite.

La composition d'équipage du vol AF 447 était légale et réglementaire quant aux prescriptions en vigueur. Indépendamment de l'aspect légal de la composition de l'équipage, la constellation de cockpit opéré par deux copilotes est intéressante sous plusieurs aspects.

#### 4.5.3.1 Le choix de l'OPL1

Il semble que le choix de l'OPL1, fait par le commandant, ait eu lieu juste avant que celui-ci ne quitte le cockpit. Au moment du choix de l'OPL1, aucune réflexion n'est faite concernant la zone convective à traverser, alors que l'on constate, de la part du copilote, quelques réflexions montrant sa préoccupation en rapport avec la zone se présentant devant eux.

Il apparaît que seul un aspect de confort lié à la personne appelée à effectuer l'atterrissage à Paris ait été le facteur de décision. A aucun moment, ni l'expérience de vol, ni la perception du copilote par rapport à cette responsabilité n'ont été évoquées.

#### 4.5.3.2 L'organisation « géographique » et la méthode de travail en équipage renforcé chez Air France

Contrairement à ce qui se passe dans d'autres compagnies, Air France a choisi la variante qui consiste à nommer comme OPL1, le pilote assis en siège de droite. A gauche se trouve alors le pilote de renfort. Le choix de garder celui-ci comme PF en siège de droite est un choix judicieux, car il reste ainsi à la position correspondant à son poste de travail habituel. Par contre, cette organisation confie à un seul homme, le moins expérimenté dans le cas du vol AF 447, la fonction de gestion de la trajectoire du vol et des opérations, en général liées à la fonction de commandant remplaçant.

De manière subtile, cette inversion géographique du pôle de décision dans un cockpit est un facteur à ne pas négliger. Dans la quasi totalité des cas, lors des entraînements et bien souvent dans la réalité, lorsqu'un événement imprévu doit être traité, le « lead » est immédiatement pris par le CDB depuis le siège de gauche. A l'instruction des futurs commandants, un vieux dicton dit que : quand un copilote est face à un problème, il tourne son regard vers la gauche et voit son commandant. Quand il se trouve lui même à gauche lors de son stage de formation de commandant et qu'il oriente sa tête comme à l'habitude, il ne voit que son reflet dans la vitre et doit assumer seul sa responsabilité !

#### 4.5.3.3 L'autorité, la hiérarchie dans le cockpit et la responsabilisation de l'OPL1

En nommant le copilote le moins expérimenté comme son remplaçant, le commandant a créé une situation délicate. En effet, le pilote de renfort était à la fois plus expérimenté (sur A330 également plus expérimenté que le commandant) et était également cadre CCO de la compagnie.

Le fait que le commandant n'ait pas effectué de briefing et quitte le cockpit en lâchant comme seule phrase « Je me casse » n'a pas contribué à responsabiliser l'OPL1 et à instaurer une hiérarchie claire, autre que la fonction publiée de manière réglementaire.

En conclusion, le vol AF 447 semble être le seul cas où l'on rencontre une constellation sans commandant de bord dans le cockpit, la fonction étant alors déléguée à l'OPL1. Nous pouvons dire que le choix et la manière peu formelle de désigner l'OPL1 n'a pas contribué à responsabiliser celui-ci dans sa fonction de leader.

La constellation géographique, dans ce cas de figure où le pilote suppléant avait un poids hiérarchique implicitement plus lourd de par son expérience et sa fonction administrative chez AF, n'a pas facilité la tâche de leader de l'OPL1. Très rapidement on constate, lors de la panne, que le « leadership » est perdu par l'OPL1 qui ne va pas organiser son cockpit, ne va pas procéder à une distribution des tâches et ne procédera à aucune analyse de la panne.

Après quelques secondes, il va passer sous l'influence des indications de correction de trajectoire que lui recommandera le pilote de renfort après la déstabilisation et ne démontrera plus aucun « leadership ». La redondance nécessaire au fonctionnement d'un équipage à deux a complètement disparu dès le moment où l'OPL1 s'est mis à subir l'influence des ordres de trajectoire.

#### 4.5.4 Communication

Dans un cockpit, l'échange des informations est une tâche primordiale. Il est d'autant plus important lors d'une situation inattendue, spécialement lors d'une panne et de son traitement.

Il est avéré que la résolution ou les actions entreprises lors de ce genre de cas dépendent de la perception de la situation. Une erreur de perception ou une incompréhension sont susceptibles de générer des réactions inadéquates au vu de la réalité factuelle.

En cockpit à deux, l'échange mutuel des informations est indispensable, particulièrement lorsqu'un des pilotes est absorbé par le pilotage et que l'autre a pour tâche d'identifier, puis d'effectuer des manipulations de type technique.

On trouve dans le MAC :

##### H3/ Gestion du vol

Cette règle est l'une des plus difficiles à mettre en oeuvre.

Elle implique en effet une hiérarchisation très rapide des tâches à accomplir ce qui suppose :

- l'inventaire rapide des tâches : tout ce qu'il y a à faire.
- la perception des liaisons des tâches entre elles : dans quel ordre le faire.

Le temps d'analyse est souvent bref, c'est donc par la connaissance des procédures et en activant des réflexes éduqués par le "déjà vu" ou par le "déjà fait" que l'organisme s'opère.

##### H4/ Citations

- Le point commun chez les survivants : le bon sens.
- Les meilleurs pilotes que j'ai eu l'occasion de contrôler sont ceux qui étaient capables de voir l'essentiel sans se polariser sur quoi que ce soit.

##### K3/ Gestion du vol

La conduite du vol est menée à partir des procédures standard compagnie :



- elles sont demandées par des annonces standards : facilitent la communication, recentrent l'équipage autour d'un projet d'action commun.
- elles ont un impact très favorable sur la synergie de l'équipage : le travail "personnalisé" engendre très rapidement des tensions pouvant aboutir à des crises graves et dangereuses.
- tout fonctionnement s'écartant de la routine (panne - procédure anormale) doit provoquer le processus suivant :
  - . poser la question : "Existe-t-il une procédure pour traiter ce problème ?"
  - . la trouver et l'appliquer.

#### M4/ Citations

- Maintenez la redondance dans le cockpit. Le PNF (et l'OMN) doit contrôler les actions du PF et l'alerter sur d'éventuelles erreurs.
- Que chacun sache ce que vous pensez, ce que vous envisagez et ce que vous faites.
- N'essayez pas de tout faire vous-même.
- Plus vous partagerez l'information avec les membres d'équipage, plus ils partageront avec vous et vous alerteront si vous commettez une erreur.

Dans le cas du vol AF 447, nous constatons que des échanges normaux et pertinents ont été effectués durant la phase de vol précédant la panne. La qualité et la pertinence de la communication dans le cockpit vont totalement s'effondrer à la suite de la panne. Des éléments d'informations importants ne sont pas effectués en vérification croisée comme le demande les procédures (actions hors check-list, sans information et acquiescement mutuel par exemple).

Le pilote de renfort va faire des constatations quant à la trajectoire et très vite devenir plus directif :

- « On a perdu les vitesses »

Il annonce quelques points liés à l'ECAM puis :

- « Fais attention à ta vitesse »
- « Tu stabilises »
- « Tu redescends »
- « Selon les 3 tu montes, donc tu redescends »
- « Redescends »
- « Doucement »
- « Je te mets en ATT »
- « Surtout essaye de toucher le moins possible les commandes en latéral »

À 02:11:25, la communication change et on entend la question :

- « Tu comprends ou pas ce qui se passe ? »

15 secondes plus tard, c'est à nouveau un ordre lié à la trajectoire qui est donné, et le pilote de renfort reprend les commandes !

- « Commandes à gauche »

Lors du retour du commandant au poste à 02:11:43, aucun statut de l'historique (vol, panne, indications sur l'ECAM, actions effectuées etc.) n'est fait. On entend :

- « J'ai l'impression qu'on a une vitesse de fou »
- « Je ne sais pas, je ne sais pas ce qui se passe »
- « On perd le contrôle de l'avion là »
- « On a tout perdu le contrôle de l'avion on ne comprend rien »
- « On a tout tenté »
- « On n'a aucune indication qui soit valable »

Ce dernier bloc de conversation, après le retour du commandant au poste de pilotage est particulièrement significatif. Le commandant n'est pas mis au courant de la ressource vers le haut qui a été réalisée. Quand il entre dans le cockpit, l'avion se trouve à une altitude proche de celle qu'il connaissait au moment où il avait quitté le poste. Le statut de la panne ou les symptômes de la panne ne lui sont pas communiqués.

Seule l'impression subjective des deux pilotes est communiquée.

Ce genre d'échange d'informations n'est pas contributif à une bonne compréhension et une analyse indépendante de la situation. Le commandant ne dispose alors que d'une information instantanée, non complète et teintée de subjectivité. Dans ces conditions, il lui est très difficile de reprendre de manière indépendante un travail d'analyse, afin de saisir et comprendre la situation.

Une phrase est importante ici : « On n'a aucune indication qui soit valable ». Cette phrase démontre que les copilotes ne se sont pas donné les moyens de chercher et de trouver, dans leur situation, les indications qui restaient cohérentes malgré la panne et qui auraient été des informations parfaitement fiables et utilisables, capables de garantir des éléments de vol ne mettant pas en péril leur avion.

À 02:12:14

- « Qu'est ce que t'en penses, qu'est ce que t'en penses qu'est ce qu'il faut faire ? »

La seule réponse vient du CDB : « Je sais là, ça descend »

Ensuite ne suivent que des commentaires liés à la perception de la trajectoire, mais aucune réflexion n'est faite sur le recours possible à d'autres éléments de vol, ou à une compréhension quelconque de la situation ou du décrochage.

À 02:13:41

On entend de la part du pilote de renfort : « remonte, remonte, remonte, remonte » à quoi l'OPL1 répond « Mais je suis à cabrer depuis tout à l'heure ».

Le CDB répond alors « Non, non, non ne remonte pas », puis à 02:14:06 « Attention, tu cabres là, tu cabres », il est très vraisemblable qu'il réalise seulement à ce moment (ne voyant pas la position du manche de l'OPL1) qu'ils sont en situation énergétique basse.

Le CDB a peut-être compris alors la situation de décrochage, mais à plus de 40° d'incidence et ceci à 5000 pieds, il était bien trop tard pour sauver la situation.

Nous constatons que de manière quasiment synchrone à la panne, la communication ne s'est plus réalisée de manière adéquate pour garantir un échange d'informations apte à assurer un niveau mutuel de compréhension de la situation. L'arrivée du commandant n'a pas réussi à briser la logique de communication existante. La situation n'a pas pu être comprise et un sentiment de capitulation face à cette situation est ressenti !

D8944-126

(page vierge)

## 4.6 Exploitation de l'incident d'Air Caraïbes Atlantique sous l'angle des facteurs humains

Nous avons effectué une analyse du vol Air Caraïbes Atlantique du 27 août 2008 réalisé par l'Airbus A330 F-OFDF entre Fort de France et Paris Orly.

### Sources :

1. Procès verbal d'audition R. Sirven responsable formation de la compagnie, cote CR 423 (Annexe 4.6-A)
2. Note compagnie diffusée au sein d'Air Caraïbes, (Annexe 4.6-B)

### 4.6.1 Déroulement chronologique de l'incident

M. Sirven occupait la place droite en qualité d'instructeur, la place gauche étant occupée par un commandant de bord stagiaire en instruction qui était PF (pilote en fonction).

Dès le départ il avait été décidé de rester à une altitude inférieure à l'altitude optimale, l'équipage étant conscient d'une formation convective intertropicale.

A l'entrée dans la zone concernée, les actions suivantes ont été effectuées :

- Activation de tous les dégivrages
- déconnexion de l'A/THR

Dès lors les séquences suivantes sont apparues :

22:22:09 application de la procédure  
Sévère Turbulence  
Réduction à Mach 0,8

22:22:36 la TAT augmente de  $-14^{\circ}$  à  $-5^{\circ}$

22:22:59 diminution très rapide:  
1) de la CAS : 273 kt à 85 kt  
2) du Mach: 0,8 à 0,26  
3) de l'altitude: 35000 à 34700 ft

Déconnexion FD 1 et 2 et AP 2  
ECAM rouge AUTO FLT AP OFF  
Master Warning  
Cavalry charge

Messages ECAM F/CTL ADR Disagree,  
F/CTL ALTN LAW,

F/CTL RUD TRV LIM FAULT,  
 AUTO FLT REAC W/S DET FAULT,  
 ENG 1 EPR MODE FAULT  
 ENG 2 EPR MODE FAULT  
 EPR MODE FAULT  
 Master Caution/Single chime  
 SPD LIM RED FLAG sur speed scale

22:23:36 et 22:23:45 alarme «STALL»  
 avec cricket et Master Warning

22:24:25 la CAS augmente de 111 à 275 kt  
 Le Mach revient à Mach 0,8  
 L'altitude passe de 34200ft à 34500 ft

#### 4.6.2 Réaction de l'équipage

Effet de surprise du CDB stagiaire sous stress.

L'instructeur recentre son stagiaire :

« Je l'ai donc remis dans la boucle en lui disant « l'avion vole » ».

L'équipage était sensibilisé sur le risque de perte des indications anémométriques :

« Dans le cadre de l'instruction à Air Caraïbes... je rappelle aux pilotes le pilotage basique sans Badin. Il se trouve qu'auparavant ... lors de la formation du commandant de bord stagiaire nous avons déjà abordé le pilotage sans indication de vitesse. Ce qui m'a mis dans une position de non surprise, comme préparé à ce genre de situation. J'ai fait voler l'avion en affichant une assiette correspondant à cette altitude et le pré-affichage de la poussée du moteur. »

Sitôt le maintien de la trajectoire assuré, l'instructeur a fait appeler la check-list pertinente.

« La première règle est de faire voler l'avion. Une fois que la trajectoire a été assurée, oui il existe des ECAM et des check-lists papier. J'ai fait appeler la check-list unreliable speed indication en demandant au stagiaire de sortir le QRH »

Ceci est cohérent avec la décision de ne pas exécuter immédiatement la check-list « alarme STALL », l'action entreprise ayant eu pour objectif principal d'empêcher l'avion de se trouver dans une situation de décrochage réel.

Durée estimée de l'événement avant le retour au fonctionnement normal des Pitot : 2 minutes.

La note analytique interne de la compagnie détaille les RESET effectués, qui n'entraînent qu'une récupération partielle des éléments de l'EFCS car la loi ALTN2 est verrouillée.

## Comparaison avec le vol AF 447

	Air Caraïbes	AF 447
<b>Réduction de vitesse en prévision de la turbulence</b>	Oui: Mach 0,8	Oui: Mach 0,8
<b>Stress de l'équipage</b>	Ressenti par le stagiaire mais rapidement maîtrisé	Oui, réaction de stress conjoncturel en augmentation jusqu'à l'accident
<b>Effet de surprise</b>	Oui pour le stagiaire Non pour l'instructeur	Effet de surprise total
<b>Compréhension de la situation</b>	Totale	Aucune compréhension de la situation du début à la fin
<b>Priorité à la trajectoire</b>	Oui, en pleine conscience par les pré-affichages adéquats	Modification de la trajectoire sans conscience de la réalité de celle-ci, pilotage heurté sans recherche d'affichage de paramètres cohérents. Pas de priorité annoncée à la trajectoire
<b>Appel à une procédure</b>	Oui, dès la trajectoire maîtrisée appel de la procédure « unreliable airspeed indication »	Non
<b>Préparation mentale à un incident de ce type</b>	Oui, par une formation axée sur le pilotage sans référence anémométrique	Non, pas de formation spécifique à la perte des vitesses en altitude dans le maintien périodique des compétences tel qu'effectué avant le 1er juin 2009

Le traitement de cet incident fait ressortir l'importance de connaître et appliquer les paramètres de croisière, ce qui permet de garder le contrôle de l'avion, de diminuer le stress, de diagnostiquer la panne et d'appeler la procédure correspondante. Le stress additionnel provoqué par l'effet de surprise est ainsi contré, ce d'autant plus que le temps que se donne l'équipage permet généralement le retour à la normale des l'affichages de vitesse.

D8944-130

(page vierge)



## 5 Observations complémentaires sur les questions posées par des parties civiles

### 5.1 Sur la note de la SCP Jakubowicz, Mallet-Guy et Associés en date du 21 février 2014 où «les Parties Civiles entendent réaffirmer [...] un certain nombre d'évidences».

#### 5.1.1 Le blocage des sondes

« Le blocage des sondes Pitot Thalès AA par des cristaux de glace est un défaut :

- **Non éliminé** par le constructeur et le régulateur, en violation du paragraphe JAR25-1309(a) qui exige que les équipements d'un avion fonctionnent dans toutes les conditions prévisibles.
- **Non signalé** par une alarme spécifique, en violation du paragraphe JAR25-1309(c) qui exige qu'un «Warning» informe l'équipage de tout fonctionnement dangereux d'un système afin qu'il puisse prendre les mesures correctives appropriées.
- **Non pris en compte** par une limitation spécifique, en violation du paragraphe JAR25-1524 qui exige que toutes les limitations de fonctionnement des systèmes soient établies
- **Non pris en compte** par une procédure spécifique, en violation du paragraphe JAR25-1585, qui exige qu'une procédure soit établie pour tous les mauvais fonctionnements des systèmes. »

Dans les chapitres précédents de ce rapport, il a été montré que l'obstruction des sondes Pitot par des cristaux de glace n'était pas la cause de l'accident.

Les «évidences» ci-dessus, déduites d'une traduction du règlement JAR25, sont sans aucun fondement et ne sont qu'une interprétation d'items isolés de ce règlement.

#### 5.1.2 L'incohérence des vitesses

« L'incohérence des vitesses mesurées (résultant du blocage)

- **a généré** l'incompréhension des pilotes qui ont été dans l'incapacité d'effectuer leur tâche (...)
- **a entraîné** un contrôle de l'avion difficile ... avec le risque pour l'avion de sortir de son domaine de vol. »

Sur le point un, les pilotes ont très rapidement constaté l'incohérence des indications de vitesse « on a perdu les vitesses ». Malgré cette constatation, leur réaction a été inappropriée. Les éléments de trajectoire étant stables (avion équilibré et poussée figée à la dernière valeur), leur maintien (aucune action de la part de l'équipage) aurait permis de garder l'avion à l'intérieur de son enveloppe de vol.

Sur le second point, nous confirmons que le maintien des paramètres de vol existants était aisé. De plus, nous avons constaté et démontré que le contrôle de l'avion en loi de vol ALTN2B ne présentait lui non plus aucune difficulté particulière (voir chapitre 2.1.3). La sortie du domaine de vol effectuée lors du vol AF 447 est la conséquence de la réaction inappropriée de l'équipage suite à la perte des indications de vitesse et non à l'incohérence de celles-ci.

## 5.2 Sur la réponse d'Air France aux questions du présent collègue d'experts

### 5.2.1 L'usage du FCTM

Au cours de nos recherches, nous avons trouvé dans le FCTM original mis à disposition des compagnies, dans sa version JAN09/07, une description exhaustive de la procédure « Unreliable Airspeed » selon la dénomination Airbus (Annexe 5.2-A).

Ce document traite des raisons et des conséquences d'une « Unreliable Airspeed » dans différents cas de figure et surtout inclut un chapitre détaillant la méthodologie à appliquer pour cette procédure.

Ne connaissant pas la méthode utilisée par AF pour faire connaître ce contenu à ses pilotes, nous avons posé la question suivante :

« Comment était utilisé le FCTM (Flight Crew Training Manual) chez AIR FRANCE à l'époque de l'accident du vol AF 447 ? S'il n'était pas remis aux pilotes, comment le contenu pédagogique de ce document spécifique à chaque type d'avion était-il transmis aux pilotes ? »

La réponse d'Air France :

« Le FCTM du constructeur n'était pas remis aux équipages de la compagnie à l'époque de l'accident. Il était utilisé par les rédacteurs des manuels TU et les rédacteurs des services de formation qui en extrayaient les éléments pertinents pour la rédaction des manuels tels que le manuel de formation et d'entraînement A330/340 et les livrets de briefing des ECP.

Le contenu du FCTM sort du strict cadre de la formation et de l'entraînement. Sa date de parution (janvier 2005) est largement postérieure à la sortie du TU et du manuel de formation de la compagnie. AIR FRANCE n'a pas jugé utile de l'adapter car il n'apportait pas d'éléments nouveaux aux contenus des manuels de la compagnie. Dans tous les cas, il ne pouvait être utilisé en l'état car le FCTM repose sur une doctrine d'exploitation AIRBUS qui implique l'utilisation du FCOM et par conséquent une répartition des tâches propre au constructeur. AIR FRANCE avait sa propre doctrine d'exploitation qui était commune pour tous les avions en service à la compagnie. Pour des raisons de cohérence et de clarté avec le TU AF, le FCTM du constructeur ne pouvait être utilisé directement par les équipages AIR FRANCE. »

Ce que nous avons trouvé dans le manuel d'entraînement et de formation A330/A340 concernant la procédure « IAS douteuse » selon la dénomination AF se limite à la page ci-dessous.

Page 90	<b>A.330-340 - QUALIFICATION DE TYPE BRIEFINGS</b>	<b>AIR FRANCE</b> Centre de Formation Technique du Personnel Navigant
AFR-QT-334+BFG-0-24-0812	<b>MANŒUVRES D'URGENCE</b>	<b>OA.QT</b>

**IAS DOUTEUSE**

(Ref : QRH 04.40.02, TU 03.01.01.03, 03.02.34.143/150)

**Introduction**

Sur avions classiques, des indications erronées de la vitesse ont conduit à des pertes de contrôle en vol suite à une non-détection par l'équipage de la panne (défaut de sonde pitot ou de sonde statique, panne réchauffage, ...) : un buffeting basse vitesse réel a ainsi pu être interprété comme un buffeting haute vitesse (cas d'une indication de vitesse supérieure à l'IAS réelle), l'augmentation de l'assiette par l'équipage a alors conduit au décrochage.

Sur notre avion, dans la plupart des cas, une panne ou une information erronée sera détectée par l'ECAM, les calculateurs FMGEC rejettent les ADR fournissant des vitesses/altitudes erronées : les informations présentées à l'équipage permettent d'assurer la trajectoire en sécurité.

Toutefois, les FMGEC ne seront pas capables de rejeter deux altitudes/vitesses erronées dérivant parallèlement d'une même valeur ; dans ce cas exceptionnel, les systèmes avion considèrent la source correcte comme étant fautive, et la rejettent. Les calculateurs de commandes de vol et de guidage utilisent les 2 ADR incorrectes pour leurs calculs. Dans ce cas, l'équipage devra :

- soit déclencher la Manœuvre d'Urgence « IAS DOUTEUSE » s'il estime la conduite du vol affectée dangereusement (ex. : phase de montée initiale, remise de gaz, etc.).
- soit déclencher la C/L NON ECAM « vol avec IAS douteuse/ADR CHECK PROC » si la trajectoire est stabilisée et la conduite du vol assurée en sécurité.

**Réalisation de la Manœuvre d'Urgence****Objectif :**

Préserver la sécurité de l'avion et préparer la transition vers un vol stabilisé.

**Comment ?**

retour à un mode de pilotage basique : AP, ATHR et FD OFF.  
couple Assiette/Poussée cohérent avec la phase de vol.  
volets : configuration maintenue.  
SPEED BRAKES, TRAIN : rentrés.

**Ce qui peut aider :**

la G/S (générée par les GPIRS).  
l'altitude GPS (page GPS monitor du MCDU).  
la hauteur radio-sonde.  
l'alarme STALL.

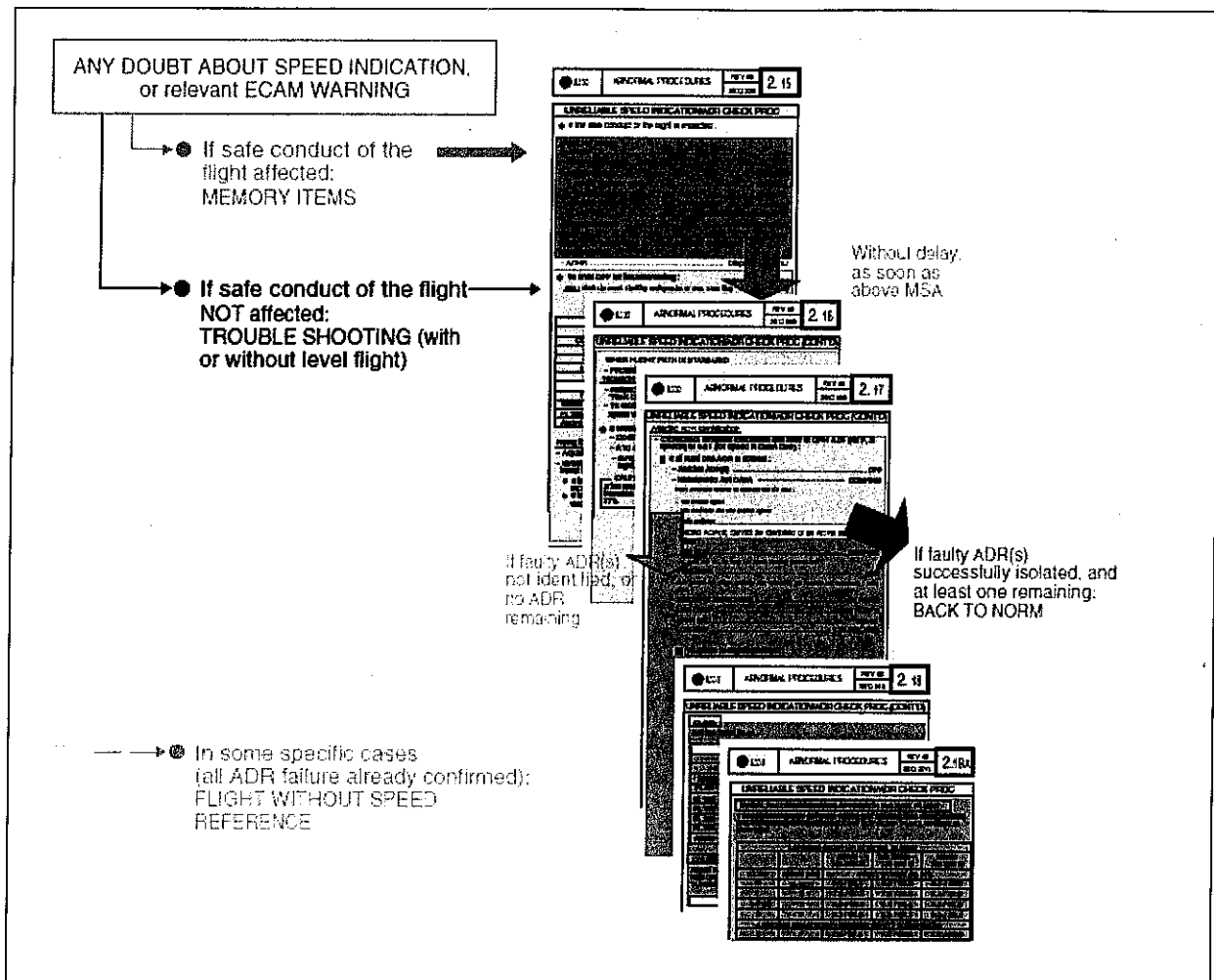
**Ce qui n'aide pas :**

le FPV (bird) et la V/S : ne sont pas fiables.  
absence d'alarmes ECAM ou fausses alarmes : ex. l'alarme OVERSPEED pourra être fautive ou avérée.

**Facteurs humains**

conscience de la situation.  
situation de stress élevée due à la présence d'alarmes (fausses ou avérées) et d'informations primaires erronées sans détection par l'ECAM.  
coordination PEQ : capitale pour la bonne exécution de la C/L NON ECAM « ADR CHECK PROC ».

Nous constatons que cette page est très largement simplifiée par rapport au document du FCTM et ne comporte pas la page spécifique à une meilleure compréhension de la logique de fonctionnement de la checklist « Unreliable Airspeed » présentée ci dessous.



## 5.2.2 La formation dispensée aux pilotes suppléants et quels étaient les textes qui la mettaient en œuvre

Cette question a fait l'objet d'une note (code D04885) en date du 13 septembre 2011, Il y est rappelé la réglementation OPS 1.

La compagnie souligne que l'OPS 1 n'impose aucune formation spécifique.

« On peut constater que la réglementation n'évoque, pour assurer la suppléance de la fonction "commandement", que des conditions de qualification et de compétence. Il n'y est nullement précisé la méthode de désignation, la position du pilote suppléant ni une quelconque formation à donner aux pilotes susceptibles d'assurer cette fonction. »

Dans le chapitre consacré à la formation (chapitre 4.2) nous rappelons les actions de formation suivies par les deux OPL du vol AF 447.

## **5.2.3 La suite donnée aux ASR**

### **5.2.3.1 En matière de retour aux équipages concernés**

La compagnie précise que :

« Tous les ASR n'ont pas vocation à recevoir une réponse. Les ASR ont pour fonction première d'assurer une remontée de l'information des équipages vers la compagnie et/ou l'Autorité, et non pas d'apporter une réponse systématique à ses rédacteurs. C'est dans cet esprit que le formulaire contient une case à cocher : « réponse demandée », ce qui implique que la réponse n'est pas systématique. »

Ceci confirme notre rappel (chapitre 4.3) de l'étude réalisée par le premier collègue auprès des équipages à l'origine des ASR portant sur des incidents de références anémométriques :

« 22% ont eu une réponse ou un entretien avec un responsable de division suite à leur demande. »

### **5.2.3.2 En matière d'orientation de la politique de formation dans l'optique de la prévention des accidents ayant donné lieu à ces ASR**

La politique de la compagnie en la matière a été développée dans le mémorandum figurant à la procédure sous la cote D05511 et exploité par le premier collègue d'experts dans leur rapport du 29 juin 2012.

S'agissant des incidents liés au givrage des sondes Pitot, la compagnie rappelle à nouveau, dans sa réponse, sa position exposée dans le mémorandum cité ci-dessus :

« En ce qui concerne les événements liés au givrage des sondes Pitot, les procédures décrites dans les deux documents ci-dessus (NB : documents figurant sous cote D05511 – extraits en Annexe 5.2-B) ont été appliquées et ont conduit la compagnie à ne pas considérer ces événements comme des incidents graves après analyse des ASR. Cette appréciation a d'ailleurs été confirmée par le constructeur à plusieurs reprises et par l'autorité européenne. Cette analyse s'appuie sur les éléments suivants :

- la durée extrêmement brève de ces incidents, en particulier dit temps d'absence d'indications de vitesse,
- L'absence de début de perte de contrôle, l'avion étant toujours resté dans son domaine de vol,

- AIR FRANCE, dans cette année 2008 n'avait eu que 5 incidents de ce type : On ne peut présager de ce qu'aurait été l'analyse d'AIR FRANCE si elle avait été informée par l'Autorité et le constructeur de la réaction d'Air Caraïbes,
- l'Autorité n'a jamais fait part de ses doutes sur la qualification de ces incidents et n'a pas estimé devoir informer la compagnie des incidents de AC qui pourtant n'avait pas la même appréciation,
- le constructeur a confirmé que ces incidents anémométriques ne conduisaient pas à des « unsafe conditions ». »

### **5.3 Sur les observations présentées par les conseils d'Airbus le 25 avril 2014**

Nous avons reçu le 25 avril à 17:30 un document présentant les observations des conseils d'Airbus suite à l'interrogatoire du 5 février.

Le délai de remise de notre rapport étant trop proche pour que nous puissions traiter point par point ce document ; nous en avons pris connaissance et constaté qu'il n'était pas de nature à modifier les conclusions du présent rapport.

D 8944-138  
(page merge)



## 6 Conclusion

Nous avons accompli notre mission avec pour objectif la manifestation de la vérité. Nous avons travaillé dans un esprit de collégialité et les étapes principales de notre effort d'analyse ont été accomplies par notre collègue dans son ensemble.

Il a été déterminé par notre collègue d'experts que l'accident est dû à la perte de contrôle de l'avion suite à la réaction inappropriée de l'équipage après la perte momentanée des indications de vitesse. L'équipage n'a appliqué ni la procédure « IAS douteuse », ni la procédure « Alarme STALL » à l'activation de celle-ci.

Les facteurs contributifs suivants, dans leur ordre d'importance, ont été déterminés par notre collègue d'experts (voir paragraphe 2.3 pour les détails) :

- L'absence d'analyse structurée de la panne présente
- La non compréhension de la situation
- La répartition des tâches dans le cockpit qui n'a pas été appliquée de manière rigoureuse
- Le retour d'expérience insuffisant malgré plusieurs incidents précédents relatifs à des givrages de sondes Pitot
- La formation des pilotes, insuffisante dans l'application de la procédure « IAS douteuse » et sur le comportement de l'avion à haute altitude après la perte des indications de vitesse
- Le classement de l'alarme « STALL » qui ne figure pas comme une procédure d'urgence
- Le recours probable à des notions ou valeurs antérieurement apprises (biais cognitif), mais non adaptées à la situation
- Le stress et, en conséquence, la perte de la vision d'ensemble
- La cascade de pannes indiquées sur l'ECAM et l'absence du message clair « Unreliable Airspeed »
- La complexité du choix des checklists et procédures
- Le rôle du Commandant de Bord, et son attitude non contributive à la responsabilisation du pilote suppléant lors de la passation de pouvoir
- La fatigue
- La traversée de la Zone de Convergence Intertropicale
- La correction d'altitude en fonction du nombre de Mach

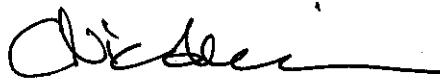
L'analyse des données dont nous disposions pour accomplir notre mission, la visualisation RESEDA et les deux vols de démonstration sur Airbus A330, ont clairement établi la prédominance de facteurs humains dans les causes de l'accident et dans les facteurs contributifs. Nous avons aussi déterminé que l'accident aurait pu être évité, et ceci par quelques actions appropriées de l'équipage, y compris par l'application de la procédure « IAS douteuse » en temps voulu, ou, plus tard, de la procédure « Alarme STALL ». Ces procédures ont été vérifiées lors des vols de démonstration comme étant parfaitement adéquates si exécutées correctement par l'équipage.

Nous soussignés,

- Claude NICOLLIER
- Claudine OOSTERLINCK,
- Jean-Charles FOUCHE,
- Pierre WANNAZ,
- François KELLER,

experts commis par Madame Sylvia ZIMMERMANN et Madame Sabine KHERIS, Vice-Présidents chargés de l'instruction, certifions exact et sincère tout ce que ci-dessus avons dressé et clôturons notre rapport suite à une mission que nous avons remplie personnellement.

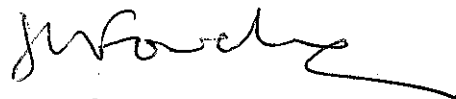
Fait à Paris le 30 avril 2014



Claude NICOLLIER



Claudine OOSTERLINCK



Jean-Charles FOUCHE



Pierre WANNAZ



François KELLER

# **ANNEXES DU RAPPORT DE CONTRE-EXPERTISE**

Accident du  
**VOL AF 447**  
le 1er juin 2009

Sur l'ordonnance de commission d'expert de  
Madame Sylvia Zimmermann, Vice-Président chargé de l'instruction  
Madame Sabine Kheris, Vice-Président chargé de l'instruction

**M. Claude NICOLLIER**

Expert ayant prêté serment

**Mme Claudine OOSTERLINCK**

Expert agréé par la Cour de Cassation

**M. Jean-Charles FOUCHÉ**

Expert ayant prêté serment

**M. Pierre WANNAZ**

Expert ayant prêté serment

**M. François KELLER**

Expert ayant prêté serment

Le 30 avril 2014

D8944-143

Page intentionnellement laissée blanche.