

6.2.4 DE L'ARRIVÉE DE L'OPL DE RENFORT À LA PREMIÈRE ALARME

Description factuelle :

Le CdB dit « *Bon allez, je me casse* » et quitte la place gauche. L'OPL David ROBERT s'installe à sa place pour assurer la fonction PNF (Pilote Non en Fonction) et, dans ces conditions, l'OPL PF Pierre BONIN (OPL1 dénomination GEN.OPS) reste en place droite et assume la suppléance du Commandant de Bord pendant que ce dernier va prendre son repos.

L'OPL PF en place droite (Pierre BONIN) débute un briefing pour exposer la situation (02h00.33 à 02h01.23), le CdB étant toujours présent dans le poste de pilotage. « *Ben le petit gain de turbulence que tu viens de voir, on va, on devrait retrouver la même devant en fait, mais dans la couche, malheureusement on ne peut pas trop monter pour l'instant parce que les températures diminuent moins vite que prévu. Donc ce qui nous fait des REC Max un peu trop bas quoi, pour aller chercher le trois sept, c'est bien dommage, sinon on est en contact HF avec ATLANTICO, primary et back up, le LOGON a échoué avec DAKAR, on a bien entendu le contact avec le Dispatch* ».

Il y a ensuite un échange sur les fréquences HF à contacter et l'OPL PF demande au CdB: « *Tu veux bien me rappeler les fréquences exactement, ce que ça a donné s'il te plait* » (02h01.26).

Dans le même temps, à **02h01.29**, un des deux pilotes fait une tentative de LOGON avec DAKAR, mais celle-ci échoue (idem 01h33.54)

02.01.29	AFD FI AF0447/AN F-GZCP DT QXT AOW2 010201 J27A - AFN/FMHAFR447, .F- GZCP, , 020123/FPON01554W031056, 1/FCOADS, 01/FCOATC, 017542
----------	--

02.01.29	AFU AN F-GZCP/MA 354A - /DKRCAYA.AFN/FMHAFR447, .F-GZCP/FAK4, GOOOC89D
----------	--

Le CdB répond : « *Euh 6649 5565 et après c'est 6535* » et il quitte ensuite le poste de pilotage (02h01.58).

Le briefing se poursuit avec des informations sur les points d'appui (aérodromes de déroutement éventuels) « *Pour l'instant, en cas de problème ce serait demi tour sur Natal où il fait beau* » et les conditions d'accrochage en raison de la masse d'air chaude. « *La Convergence Intertropicale, voilà on est dedans entre SALPU et TASIL* ».

A 02h05.54 l'OPL PF propose de prévenir le PNC de la zone de turbulence éventuelle située sur la trajectoire: « *On va les appeler derrière pour leur dire quand même, parce que..* ». C'est l'OPL PF qui appelle : « *...dis moi, dans 2 minutes là, on devait attaquer une zone ou ça devrait bouger un peu plus que maintenant, faudrait vous méfier là* ».

En réponse le PNC propose de faire asseoir les autres PNC en fonction et l'OPL poursuit : « *Ben je*

pense que ce serait pas mal, tu préviens les copains,.....Je te rappelle dès qu'on est sorti de là ».

L'OPL PF fait remarquer que la température de la masse d'air est élevée (02h06.40) : « *Standard plus 13....heureusement qu'on est en 330.... on ferait pas les malins avec un 340.. plein, moins 42, on utilisera pas les ANTI ICE ce sera toujours ça de pris ,...On va être vraiment être à la limite de la couche, c'est dommage, je suis sûr qu'avec un trois six zéro non standard ce serait pas mal*».

A 02h08.07, l'OPL PNF propose à partir de l'image radar : « *Tu veux pas altérer un peu à gauche éventuellement* », le bruit de fond devient plus important dans le poste de pilotage signalant que la turbulence augmente.

L'OPL PF procède en sélection manuelle à une variation de cap (438) vers la gauche de 11°5.

Alors que le PNF utilise le radar (02h08.12): « *Ben tu vois à vingt avec lesce que j'appelle en manuel, ah non on est en calibré.....C'est moi qui viens de passer en max..* ».

Développement :

Alors que l'OPL de renfort David ROBERT arrive dans le poste de pilotage le CdB cède sa place et reste sur le siège observateur pendant que l'OPL (PF) initie un briefing de la situation à l'OPL (PNF David ROBERT).

Cette procédure n'est pas celle qui est préconisée dans la documentation Air France (GEN OPS 02 01 01 02 page 3)

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.

L'OPL (PF) persiste dans sa logique d'atteindre un niveau de vol supérieur en rappelant la température extérieure supérieure à la température standard qui a pour conséquence des performances diminuées.

L'OPL (PF) exploite l'image radar et agit en prévenant le PNC de turbulence à venir.

L'OPL (PNF) prend en compte la situation et propose d'éviter cette zone de turbulence potentielle par un évitement latéral au lieu d'un évitement par le haut que les performances de l'avion ne permettent pas.

Commentaire d'experts : Le CdB est passif lors de la relève et laisse le PF faire le briefing.

Le PF, conscient de l'importance de la masse nuageuse, informe le PNC.

Le PNF analyse la situation et prend l'initiative du choix de l'évitement latéral.

6.2.5 DE LA PREMIÈRE ALARME AU DÉCROCHAGE

Les experts ont fait le choix de diviser ces six minutes vingt sept en séquences de courte durée afin d'analyser dans le détail :

- Les conversations extraites du CVR (Cockpit Voice Recoder) pour mettre en évidence le comportement individuel et collectif de l'équipage, la communication au sein de l'équipage et l'environnement sonore dans le cockpit.
- Les données extraites du FDR (Flight Data Recorder) pour mettre en évidence :
 - Les informations disponibles et visibles dans le cockpit
 - L'état de l'avion et des systèmes à la suite de la déconnexion du pilote automatique
 - Les effets sur le comportement de l'avion des actions de pilotage

Chacune de ces séquences est présentée avec une base de temps qui reprend fidèlement les conversations extraites du CVR (OPL PNF : noir, OPL PF : bleu, CdB : magenta) ainsi que les alarmes sonores (C-Chord — , STALL — , Gong Mono coup —) et une sélection, avec la même base de temps, de courbes représentatives de la séquence, extraites, puis décodées, du FDR.

Convention de signe des courbes issues du FDR

ROLL	POSITIVE	RIGHT WING DOWN
PITCH	POSITIVE	NOSE UP
STICK ROLL	POSITIVE	GAUCHE
STICK PITCH	POSITIVE	NOSE DOWN
ELEVATOR	POSITIVE	NOSE DOWN
STICK INOP	INOPERATIVE	1
FD ENGAGED	ENGAGED	1
MASTER WARNING	ACTIVE	1
MASTER CAUTION	ACTIVE	1
F-SW-IRS3 F/O	F/O SWITCHED ON	IRS3=1, IRS2=0
F-SW-FM1 F/O	F/O SWITCHED ON	FM1=1, FM2=0
F-SW-ADR3 F/O	F/O SWITCHED ON	ADR3=1, ADR2=0
THR LKD	LOCKED	1
WING ANTI ICE	ON	1
ALT ARM	ARMED	1
STALL WARNING	ACTIVE	1

Glossaire des abréviations utilisées en ordonnées des courbes

AIRSPPEED ISIS	Vitesse indiquée sur l'instrument de secours ISIS
ALT ACQ CRZ	Fonction acquisition d'altitude de croisière sélectionnée sur le FMA
ALT ARMED	Fonction capture d'altitude sur le FMA
ANTI ICE ON	Anti-givrage Nacelles actif
AOA	Angle Off Attack (Incidence)
CAS	Vitesse corrigée (Calibrated Airspeed)
ELEVATOR	Position de la gouverne de profondeur
F-SW IRS/ADR-FO	Basculement du commutateur IRS ou ADR sur F/O (coté droit)
FD	Flight Director (barres de tendance du PFD)
HEADING	CAP
MAST CAUT	Voyant Master Caution (Ambre)
MAST WARN	Voyant Master Warning (Rouge)
N1 ACT	Régime moteur
N1 CMD	Poussée commandée
ND 40NM/80NM	Echelle maximum sur le Navigation Display
NORM ACCEL	Accélération verticale
PITCH	Assiette
ROLL	Inclinaison (Roulis)
STABILIZER POS ou STAB	Position du plan horizontal réglable
STALL WARN	Alarme sonore active voix synthétique « STALL,STALL »
STICK INOP CPT/FO	Manche désactivé à gauche ou à droite
STICK PITCH CPT/FO	Action sur le manche en Tangage (CPT= manche de gauche, FO= manche de droite)
STICK ROLL CPT/FO	Action sur le manche en Roulis (CPT= manche de gauche, FO= manche de droite)
THR RESOL	Position de la manette de poussée
VERT SPEED	Vitesse verticale
WING ANTI ICE	Anti-givrage ailes actif
HRS	Hauteur mesurée par la Radio Sonde
PF : Bleu	Pilote en place droite
PNF : Noir	Pilote en place gauche
CdB : Magenta	

DG76/

6.2.5.1 02h08.00 à 02h10.04

Description factuelle :

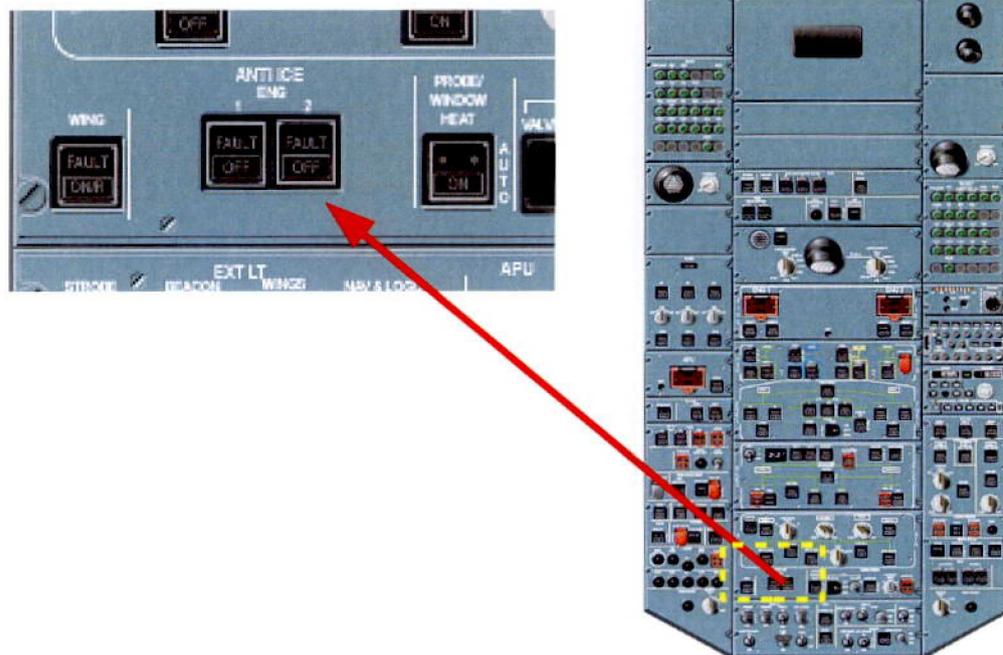
Depuis 02h08.12, l'avion est en altération de cap de 11° par la gauche (en mode HDG⁵). Il rencontre des conditions turbulentes.

A 02h09.53 l'OPL PF change l'échelle de son ND de 80 vers 40 Nm.

A 02h09.55, l'OPL PNF utilise le mode Mach « sélectionné », affiche Mach 0,80 et annonce « *Voilà, je réduis un peu* »

A 02h10.00, afin de réduire la vitesse (de 0.82 à 0,80) le système ATHR réduit la poussée de 96% à 84%.

A 02h10.01, Le système ENG Anti Ice (dégivrage moteurs) est sélectionné sur ON associé au commentaire « *Ça coûte rien* ».



A 02h10.04, l'OPL PF propose « *Tu veux qu'on mette sur Ignition Start ?* »

⁵ HDG : Heading, cap

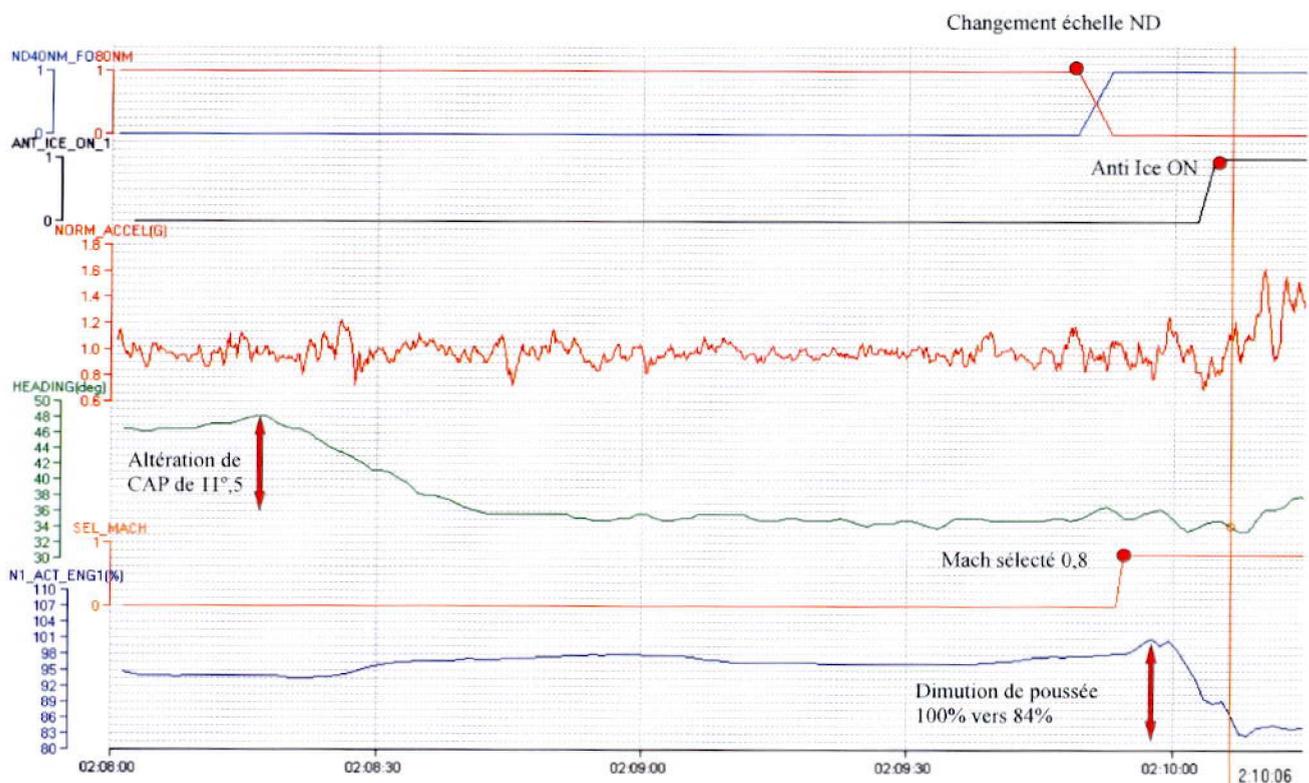
D6716

02:08:00 02:08:30 02:09:00 02:09:30 02:10:00 2:10:06

voilà, je te réduis un peu

Ça coute rien

Tu veux qu'on mette sur Ignition Start ?



Développement :

L'équipage est en cheminement dans la masse nuageuse, la perception des éléments extérieurs et le diagnostic qui en est fait, conduit l'équipage à mener des actions qui sont cohérentes avec les pratiques standard, (altération de cap, changement d'échelle du radar et réduction de vitesse).

La manipulation des systèmes Anti Ice, qui semble en désaccord avec leurs préoccupations précédentes (2h06.52 « moins 42°, on n'utilisera pas les Anti Ice, c'est toujours ça de pris »), répond actuellement à une nouvelle priorité qui est le vol au sein de la masse nuageuse.

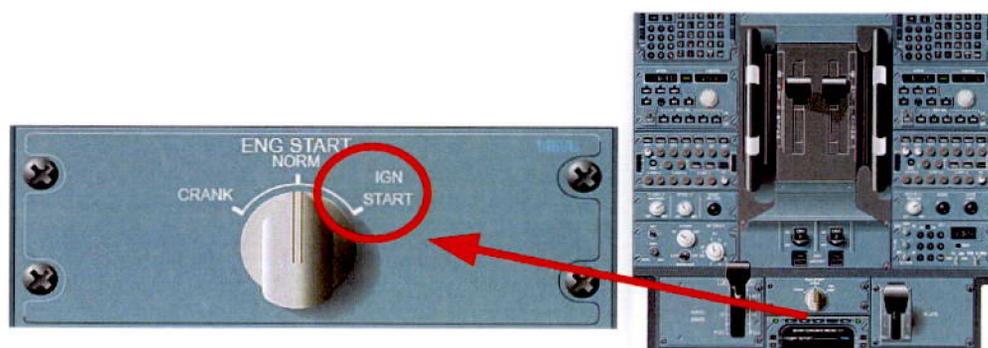
En effet l'utilisation du système Anti Ice a été perçue antérieurement comme une pénalisation de la performance pour atteindre un niveau supérieur alors que la décision de l'activer à cet instant est

une réponse à la pénétration dans une zone nuageuse et turbulente, dans la seule intention de protéger les moteurs, ce qui est une pratique réflexe.

La demande d'activation de l'IGNITION START⁶ répond à la même logique de prévention des conditions givrantes.

Par contre cette action n'est requise que lors d'une alarme SEVERE ICE DETECTED⁷(379), qui concerne le givrage de la voilure et des moteurs, ce qui n'est pas le cas en l'occurrence. Ce système de dégivrage voilure et moteurs est totalement indépendant du système de dégivrage des PITOTS ; il est alimenté électriquement et fonctionne en permanence. Il en est fait état également dans la procédure VOL EN ATMOSPHERE TURBULENTE(380) , mais pour rappeler que ce n'est pas nécessaire.

Ceci est une pratique réflexe, c'est un modèle mental hérité d'autres avions, mais qui n'apparaît pas dans la documentation A330.



Commentaire d'experts : Les actions de l'équipage sont en lien avec l'environnement constaté et aux informations disponibles mais ne répondent pas une procédure en vigueur sur ce type d'avion.

6 Ignition Start : allumeurs en fonctionnement continu pour éviter l'extinction réacteur.

7 Severe ice detected : Givrage fort détecté

6.2.5.2 02h10.04 à 02h10.14

Description factuelle :

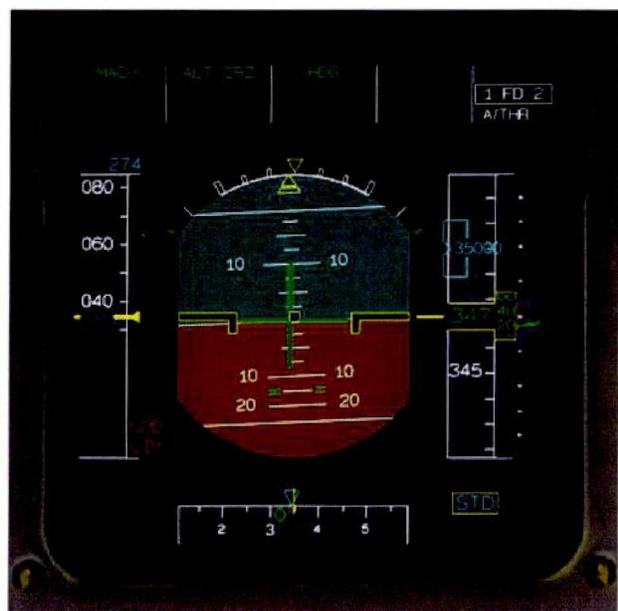
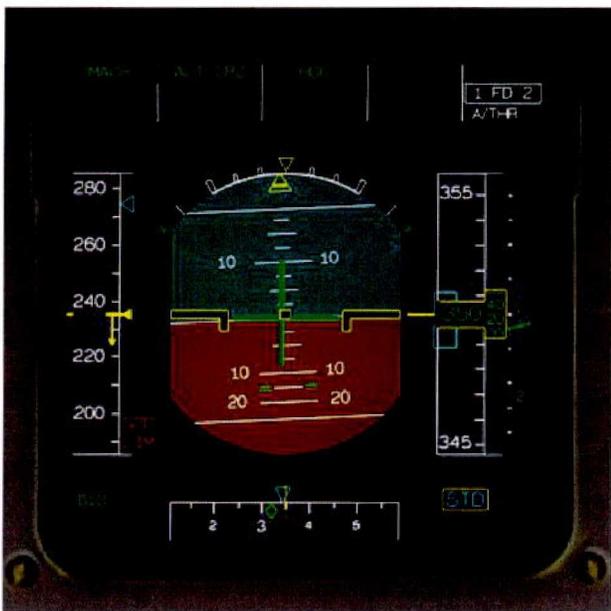
A 02h10.05.039 : La déconnexion du pilote automatique est accompagnée de l'alarme Cavalry Charge.

A 02h10.07 : l'OPL PF annonce « *J'ai les commandes* », puis annule l'alarme par pression du bouton poussoir de manche.

PFD Gauche

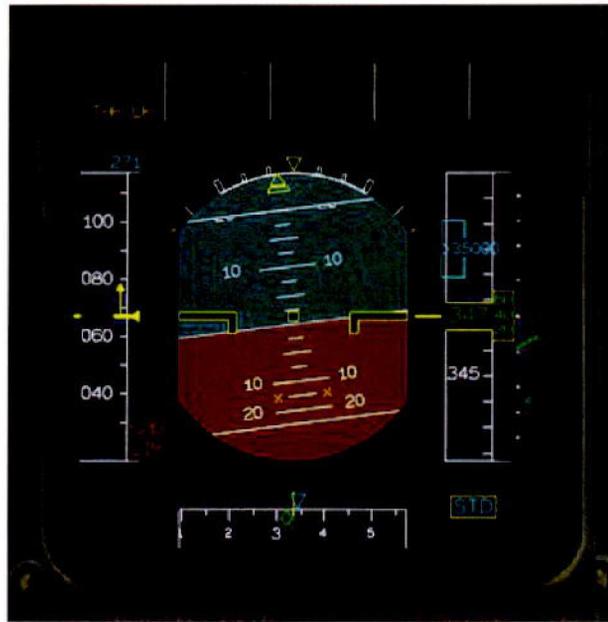
02h10.06

PFD Droit



L'altitude indiquée est en diminution, le variomètre indique - 400ft/mn, le FD est disponible, l'avion s'incline à droite.

A 02h10.08 : l'OPL PNF répond « *D'accord* ».



02h10.08

A **02h10.0850** : Gong mono-coup et Master Caution dûs à la fonction Thrust Lock⁸.

L'altitude indiquée est de 34 660ft, l'avion est légèrement incliné à gauche (4°), l'assiette est de 2°, la vitesse verticale est légèrement en descente (-200ft/mn)

A **02H10.09** : l'OPL PF annonce « *IGNITION START* », Les données du FDR ne confirment pas que cette annonce est suivie d'effet, l'allumage continu n'est pas activé.

A **02h10.10** : L'alerte écart d'altitude (C Chord) retentit.

L'altitude indiquée est stable à 34 640ft, les ailes sont horizontales, c'est à dire inclinaison nulle, bien qu'en légère oscillation, la vitesse verticale est positive (300ft/mn, l'avion remonte), l'assiette augmente à 4°.

A **02h10.11**: L'alarme STALL retentit. Cette alarme prioritaire interrompt l'alerte d'écart d'altitude C-Chord qui reprend aussitôt après.

L'OPL PNF annonce « *Qu'est ce que c'est que ça ?* »

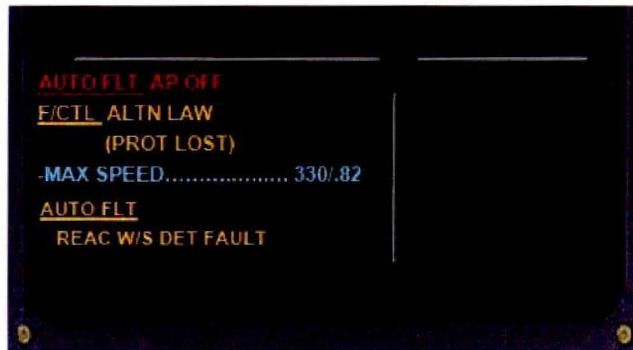
⁸ THR LKD : Fonction Thrust Locked, La poussée réacteur est figée.



02h10.11

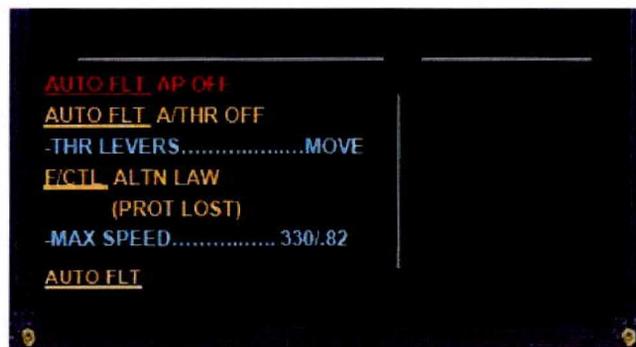
A **02H10.13** : L'alarme STALL (sans cricket) retentit à nouveau pour une durée inférieure à une seconde.

ECAM

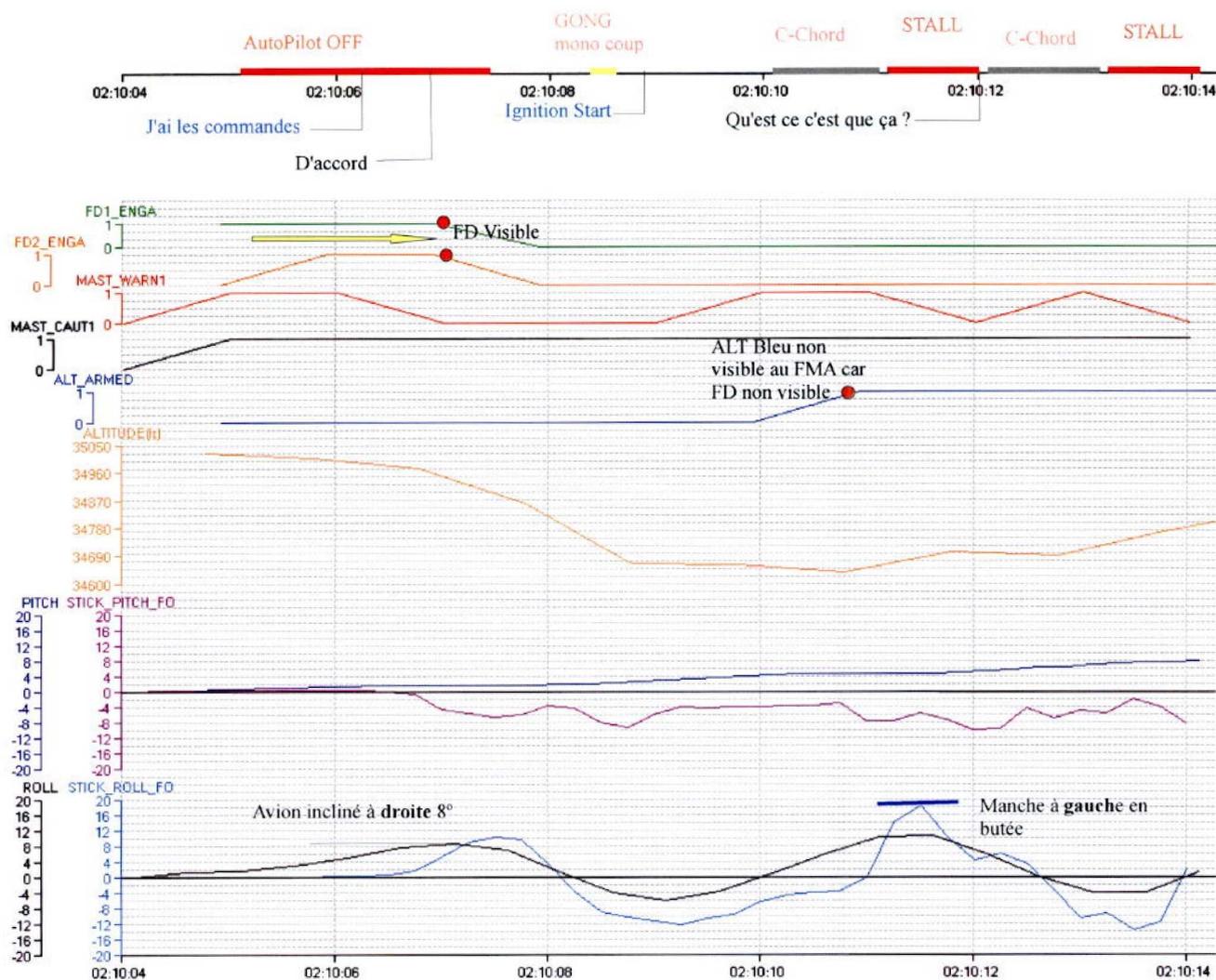


02h10.08

02h10.10



Do-716



Développement :

Le pilote réagit à l'alarme sonore Cavalry Charge en reprenant manuellement les commandes et ses premières actions sont cohérentes avec la recherche de la maîtrise de la trajectoire par réaction réflexe de pilotage en fonction des informations disponibles (Manche à gauche pour corriger l'inclinaison à droite et à cabrer pour corriger l'écart d'altitude inférieure et revenir à l'altitude sélectionnée).

Ceci est conforme à l'indication de la barre de tendance du directeur de vol (Flight Director FD)⁽³⁸¹⁾ dont l'ordre de guidage est à cabrer pendant 1,5 sec.

Il faut rappeler que l'indication d'altitude inférieure à l'altitude sélectionnée est la conséquence de la perte de correction de l'altitude en fonction du Mach.

En effet le Mach est élaboré à l'aide de la pression totale et celle-ci a été perdue avec le givrage des sondes anémométriques (PITOT). L'avion n'a donc pas changé d'altitude, par contre les instruments indiquent une altitude inférieure.

Le Gong Mono coup ne suscite pas de réaction de l'équipage, il est accompagné de l'allumage du MASTER CAUTION.

Do 7/6

il est accompagné de l'allumage du MASTER CAUTION, THRLK ambre clignote au FMA, un message ECAM ambre ENGINE THRUST LOCKED⁽³⁸³⁾ est répété toutes les 5 secondes accompagné du gong mono coup. La poussée est donc figée, elle est de 84% à cet instant.

L'apparition de ce message sur l'ECAM est prioritaire sur le message AUTO FLT REAC WS DET FAULT⁽³⁸⁵⁾ qui est relégué à une page suivante et, de ce fait, n'est plus visible sur l'écran

Un message fixe « THR LEVERS.....MOVE » apparaît également.

Au même instant l'OPL PF propose l'action « IGNITION START » en référence à la situation perçue de pénétration dans la zone nuageuse et l'action proposée avant la déconnexion du Pilote Automatique.

Il n'y a pas de collationnement¹⁰ de l'OPL PNF et l'annonce par l'OPL PF n'est pas suivie d'action. Bien que cette action aurait été sans effet sur les systèmes de l'avion, cela dénote un défaut de communication au sein de l'équipage.

Une autre alarme sonore prend le relais, le C-Chord, alarme à double signification : écart supérieur ou inférieur d'environ 300ft d'altitude par rapport à l'altitude sélectionnée (35 000ft), à cet instant le pilotage est stable, l'action modérée sur le manche à cabrer est maintenue et est cohérente avec les éléments disponibles visibles.

Les actions sur le manche en roulis, d'amplitude importante, génèrent une oscillation entretenue.

La voix synthétique « STALL, STALL » retentit alors, accompagnée du MASTER WARNING¹¹ rouge. Toute fois la séquence vocale est incomplète (sans le son « CRICKET¹²») car le phénomène est de courte durée.

Ceci est dû à l'augmentation d'incidence (AOA) résultant de la conjugaison de l'action à cabrer sur le manche et de la turbulence, induisant une incursion dans la zone d'activation de l'alarme (5,6° d'incidence).

L'OPL PNF exprime sa surprise : « Qu'est ce que c'est que ça ? », les actions sur le manche par l'OPL PF deviennent alors désordonnées.

Pendant toute cette séquence la turbulence est forte avec une amplitude de 0,8g¹³ à 1,58g rendant la lecture des instruments difficile et le pilotage imprécis.

Commentaire d'experts : L'équipage réagit sans stress apparent à la première alarme en restituant une procédure connue et assimilée : contrôle de la trajectoire et actions immédiates.

L'accumulation des messages, associée à des alarmes sonores successives perturbe la perception de la situation.

L'OPL PF poursuit les actions initiées dans la séquence précédente pour la protection des moteurs, mais l'OPL PNF ne participe pas.

L'alarme STALL est perçue avec surprise sans diagnostic ni actions liées.

9 AUTO FLT REAC WS DET FAULT : Détection de Wind Shear (Cisaillement de Vent) inopérante.

10 Collationnement : accusé de réception verbal

11 MASTER WARNING : Voyant d'alarmes d'urgence centralisé

12 CRICKET : son de crécelle

13 « g » : Le g (« g » étant l'initiale de *gravitationnel*) est une unité d'accélération correspondant approximativement à l'accélération de la pesanteur à la surface de la Terre.

6.2.5.3 02h10.14 à 02h10.26

Description factuelle :

A 02h10.14 L'alarme C-Chord est audible à nouveau pour une durée inférieure à une seconde.

Le PF annonce : « *On a pas une bonne, une bonne annonce de..... vitesse* ».

Les actions sur le gauchissement en roulis induisent une oscillation entretenue régulière de 10° de part et d'autre du neutre pendant toute cette séquence.

A 02h10.16 Le PNF annonce : « *On a perdu les vitesses, alors...* ».

A 02h10.16 le gong Mono Coup lié au THR LKD¹⁴ retentit.

A 02h10.17 L'action sur le manche à cabrer diminue pour se stabiliser au voisinage du neutre.



02h10.17

A 02h10.18 Le PNF lit l'ECAM « *Engine thrust, ATHR, engine lever thrust...* ».



02h10.15

14 THR LKD : Fonction Thrust Locked, La poussée réacteur est figée.

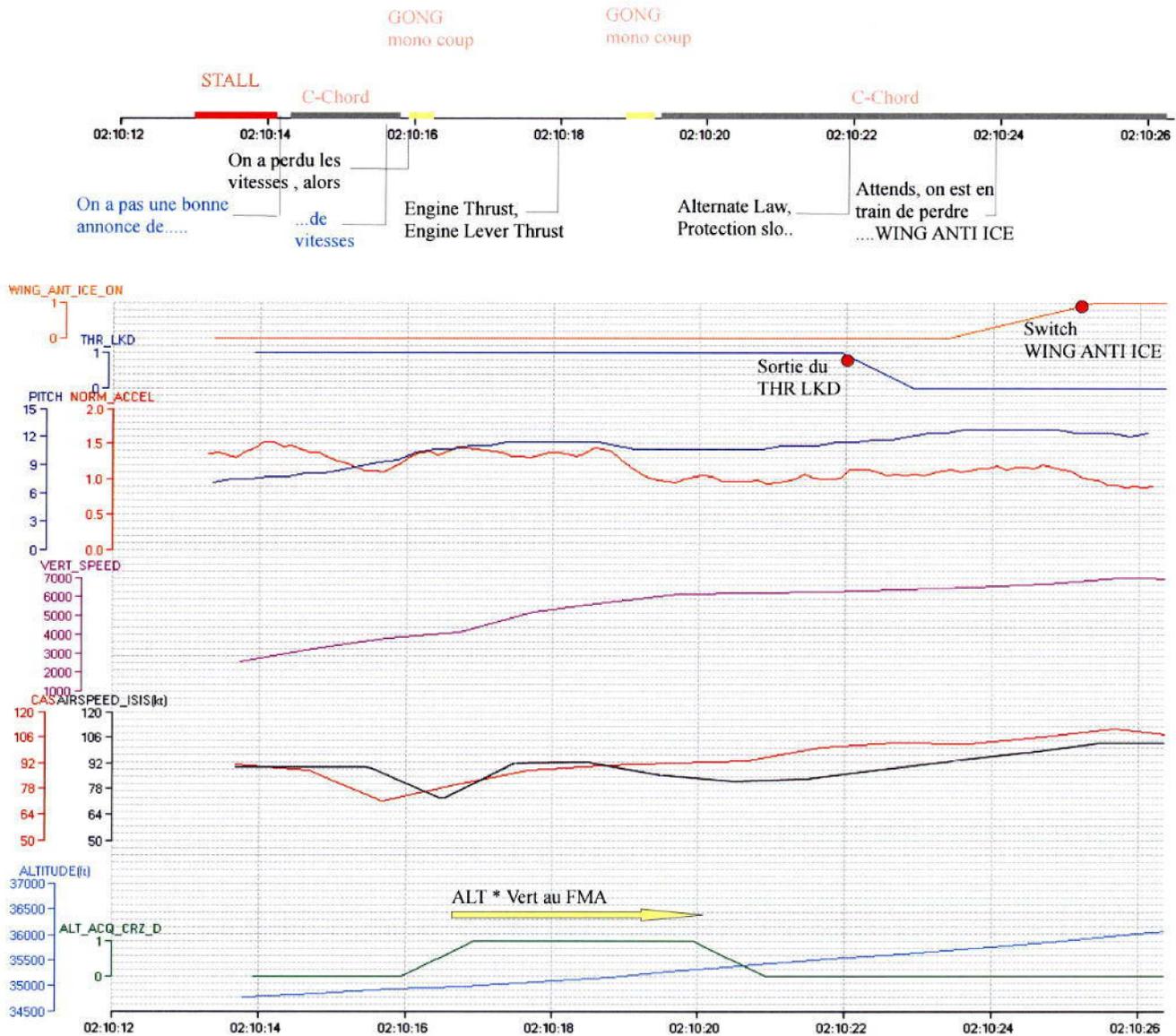
A 02h10.19 Le gong Mono Coup est lié au F/CTL RUD TRV LIM FAULT¹⁵

A 02h10.20 Sortie du THR LKD sans déplacement des manettes de poussée.

A 02h10.20 L'alarme C-Chord d'alerte d'écart d'altitude est continue pendant 31 secondes.

A 02h10.22 Le PNF continue la lecture de l'ECAM : « *Alternate Law, protection slo..* »

A 02h10.24 Le PNF annonce : « *Attends, on est en train de perdre....WING ANTI ICE* »



Développement :

Le PF identifie une situation incohérente et son constat fait suite à l'interrogation du PNF : « *Qu'est ce que c'est que ça ?* ».

¹⁵ F/CTL RUD TRV LIM FAULT : Limitation de débattement de la gouverne de direction inopérante

06/16/

A la lecture des instruments, le PNF fait le constat de la perte des vitesses : « On a perdu les vitesses, alors.. » et il entreprend aussitôt la lecture de l'ECAM.

C'est sur cet écran que l'on peut lire le titre d'une panne et les actions qui doivent être réalisées. Cet écran ne fait pas référence à la perte des vitesses, qui n'est pas une panne répertoriée dans l'ECAM.

Le PNF va chercher en priorité les actions à réaliser dans la lecture de l'ECAM sans pour autant faire une analyse à la suite du constat de la perte des vitesses pour établir le diagnostic.

La tension est perceptible dans la lecture erronée du message qui apparaît sur l'ECAM : « Engine thrust, engine lever thrust » aucun message n'apparaît dans cet ordre, le message ECAM le plus approchant est «ENG : THRUST LOCKED » suivi de : « THR LEVERS.....MOVE » En plus du message ECAM, apparaît « THR LK » sur le FMA .

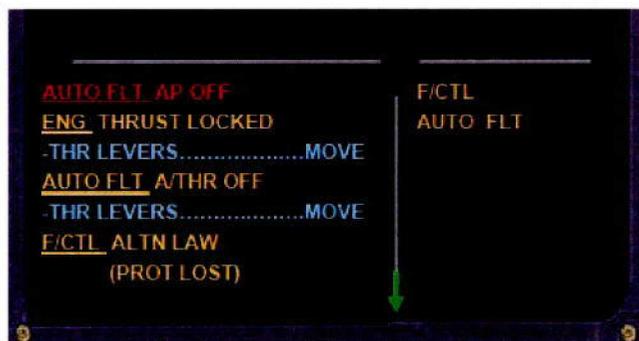
Le message affiché en deuxième ligne est : AUTO FLT A/THR OFF¹⁶ , préconise « THR LEVERS.....MOVE » ç'est à dire : nécessité de déplacer les commandes de poussée afin de sortir du mode THRUST LOCK (poussée figée).

La sortie du mode THRUST LOCK (THR LK) est réalisée différemment en appuyant sur le bouton de déconnexion de l'Auto-manette (déconnexion instinctive).

Cette procédure (bouton de déconnexion), qui n'apparaît pas explicitement dans la documentation comme procédure de sortie du THR LK, est exécutée en qualification initiale ou en ECP (Entraînement et Contrôles Périodiques) lors des exercices de sortie du mode TOGA LK qui est un mode différent.

Néanmoins elle correspond à la définition du fonctionnement de ce bouton décrit dans le FCTM AIRBUS. En effet le bouton de déconnexion fait sortir du mode AUTO THRUST et donc du mode THR LK qui est lié au mode AUTO THRUST.

La lecture de l'ECAM est poursuivie avec le message F/CTL ALTN LAW (PROT LOST)¹⁷, le titre du message est lu de manière incomplète avec une lecture erronée de PROT LOST : « Protections slo..) et les consignes associées présentes sur l'écran ne sont pas lues.



02h10.19

16 AUTO FLT A/THR OFF : Auto-manette débrayée (commande automatique de poussée inactive)

17 F/CTL ALTN LAW (PROT LOST) : Loi de pilotage dégradée (Protections de pilotage inopérantes)



02h10.24

Une ligne supplémentaire apparaît à l'ECAM : F/CTL RUD TRV LIM FAULT¹⁸ qui fait dire au PNF qu'ils sont en train de perdre un système : « Attends on est en train de perdre... ».

La flèche verte qui apparaît dans la partie inférieure signale que des pannes sont signalées sur la page suivante. Les experts ont considéré que l'équipage n'avait pas eu d'action pour accéder à la page suivante. En effet aucune remarque sur le CVR n'y fait référence.

Dans le même temps il actionne le bouton poussoir WING ANTI ICE.

Cette action est sans rapport avec ce qui vient d'être annoncé, mais s'inscrit dans la continuité de prévention des conditions givrantes (action débutée à 02h10.01 où les boutons poussoirs ENG ANTI ICE ont été actionnés et l'IGNITION START demandé).

Il apparaît ainsi que la lecture de l'ECAM confirme la recherche par le PNF d'une explication de la situation, mais ne correspond pas à la procédure normale de traitement des pannes ECAM.

A 02h10.20 l'alarme C-Chord s'active à nouveau.

La signification est maintenant différente : Il s'agit d'un écart supérieur à l'altitude sélectionnée de 35 000 ft alors que dans le cas précédent (02h10.10) il s'agissait d'un écart d'altitude inférieur. Elle nécessite une analyse, et donc de la ressource, pour déterminer le sens de l'écart d'altitude.

L'altitude indiquée est alors de 35 400ft, la vitesse verticale VS est de 6 100 ft/mn et l'assiette de 10,5°.

La maîtrise de la trajectoire verticale n'est plus assurée par le PF.

Durant 4 secondes, la barre de tendance horizontale commande un guidage à diminuer l'assiette en raison d'une vitesse verticale importante supérieure à celle nécessaire pour rejoindre l'altitude 35000 ft. Elle n'est pas suivie. A 02h10.20 les barres de tendance disparaissent.

Pendant toute la durée de cette séquence, les actions sur le manche en gauchissement conduisent à une oscillation entretenue en roulis.

La loi ALTERNATE LAW (ALTN2) est une loi directe en roulis, c'est à dire qu'à une action sur le manche en roulis est directement lié un déplacement de la gouverne. Le taux de roulis, est, de ce fait, supérieur.

Les perceptions de pilotage en roulis sont différentes, ce qui se manifeste par un surdosage des actions du PF accaparant une partie de ses ressources pour la maîtrise de l'inclinaison.

En effet en loi Normale (NORMAL LAW), l'attitude de l'avion est maintenue lorsque l'on relâche le manche, ce qui n'est pas le cas en loi ALTERNATE 2.

Le pilotage en loi ALTERNATE 2 n'est pas enseigné en vol, mais seulement au simulateur sur lequel les effets de la « loi directe » en roulis à haute altitude sur la maîtrise du pilotage ne sont pas

¹⁸ F/CTL RUD TRV LIM FAULT : Limitation de débattement de la gouverne de direction inopérante

06/16

restitués fidèlement.

En effet à haute altitude les commandes de vol sont plus sensibles en roulis en en loi ALTERNATE 2, ce qui rend le pilotage difficile et imprécis.

La variation d'accélération verticale reste forte jusqu'à 02h10.19 (voisine de 1,4g) puis elle se stabilise ensuite autour de 1,0g. Ces accélérations verticales perturbent sensiblement la perception de l'orientation spatiale de nuit et en condition de vol aux instruments (sans références extérieures), rendant le pilotage en tangage difficile.

Commentaire d'experts : L'équipage fait le constat, sans analyse, de la perte des indications de vitesse.

L'effet de surprise lié à l'alarme STALL qui retentit une deuxième fois est fort.

Face à l'incompréhension de la situation, le PNF cherche dans la lecture partielle et désordonnée de l'ECAM une justification à ce qu'il perçoit, et revient à son projet d'action initial de prévention des conditions givrantes.

Les perceptions de l'équipage ne sont pas suivies d'un diagnostic. En conséquence aucun traitement de panne n'est initié.

Le PF est concentré sur le maintien de l'inclinaison en raison de la loi directe en roulis et n'assure plus la maîtrise de la trajectoire dans le plan vertical.

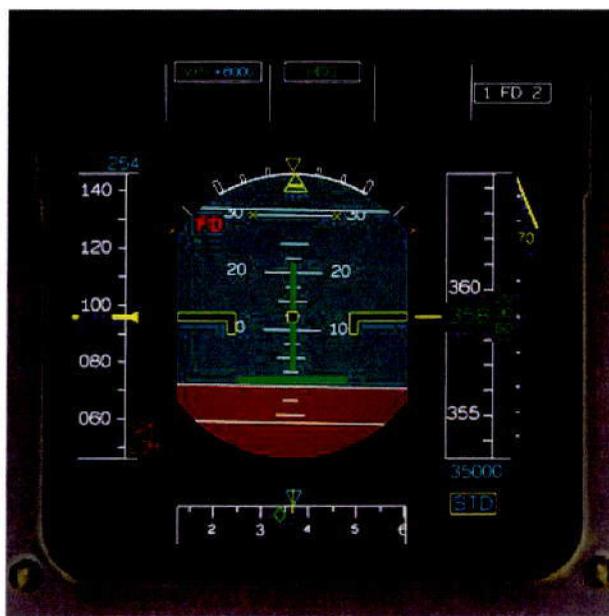
6.2.5.4 02h10.26 à 02h10.32

Description factuelle :

L'alarme C-Chord est audible depuis 02h10.20 et pour 31s jusqu'à 02h10.51.

A **02h10.26** Le PNF annonce « *Fais attention à ta vitesse, fais attention à ta vitesse* ».

A cet instant l'assiette est de 12,5°, l'altitude est 35 800ft, la vitesse sur le PFD du PNF est 103 Kts, le N1 est de 88% en augmentation vers 102%. Cette augmentation de poussée est due à la sortie du mode THR LK, la poussée est automatiquement rétablie vers CLIMB.



02h10.26

A **02h10.26** Le PF a une action sur le manche à piquer.

Sur le PFD la barre de tendance horizontale est en butée inférieure et l'indication V/S + 6000 apparaît au FMA.

A **02h10.28** Le PF acquiesce : « *OK Je redescends* », sa réponse est suivie d'effet et l'assiette importante à cet instant (11,9°), commence de diminuer .

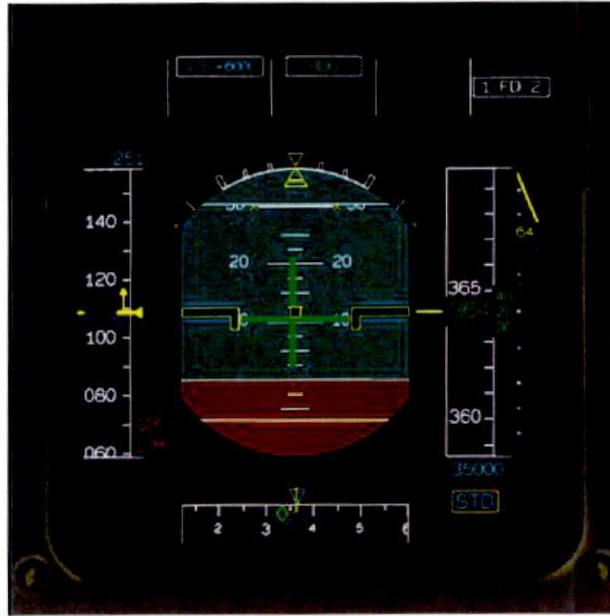
A **02h10.29** Le PNF insiste : « *Tu stabilises* », puis insiste : « *Tu redescends* » et enfin : « *On est en train de monter selon lui* ». A cet instant, l'assiette est de 10° à cabrer, le N1 est de 103%, l'altitude est 36 300ft.

La VS est de 6000 ft/mn en montée, l'aiguille analogique du variomètre sur le PFD réapparaît et la fenêtre numérique passe de ambre à vert.

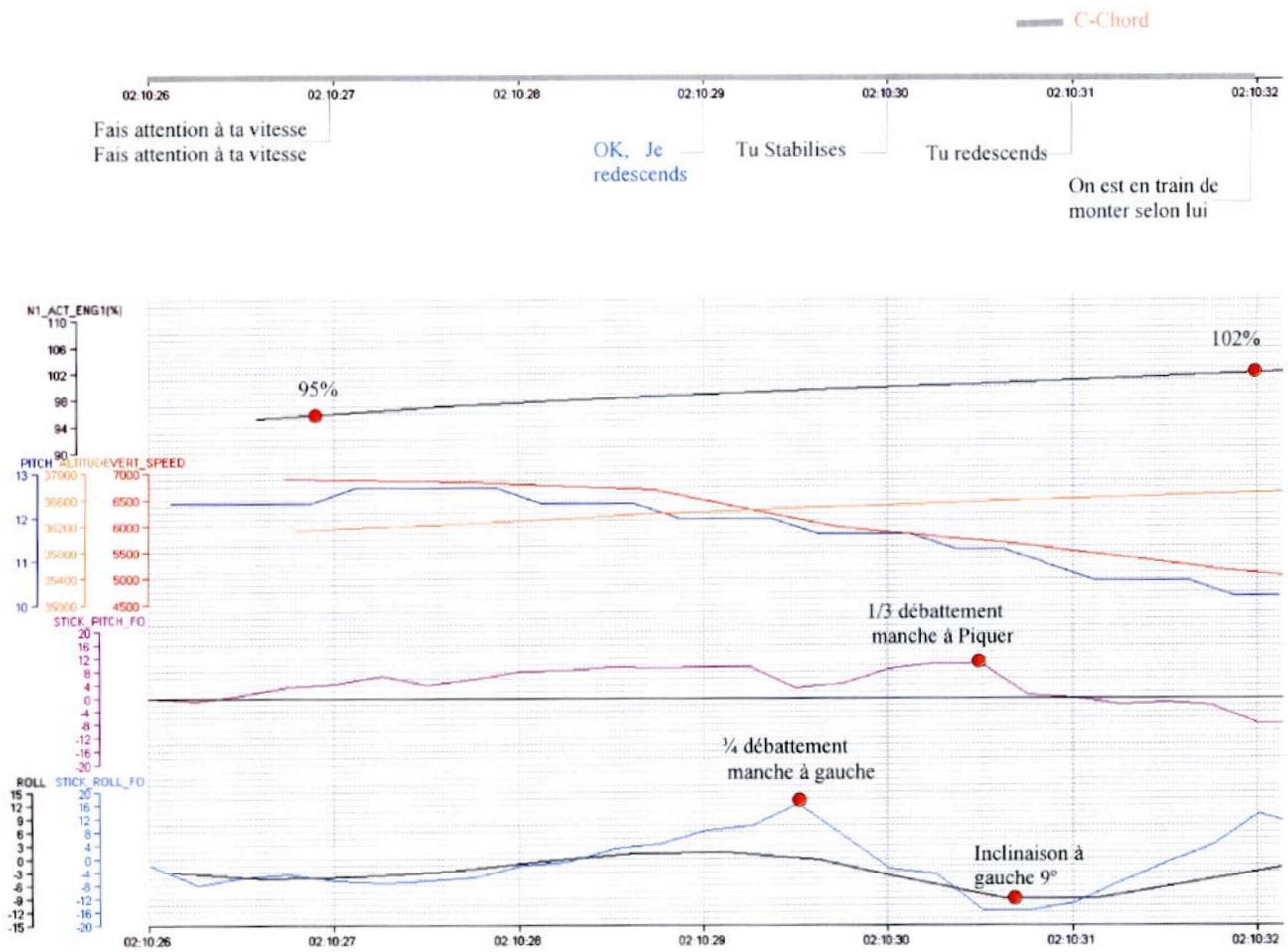
L'action sur le manche à piquer est à mi débattement.

Pendant toute cette séquence les FD des PFD droite et gauche sont actifs.

La barre de tendance horizontale est centrée.



PFD Gauche 02h10.30



Fais attention à ta vitesse
Fais attention à ta vitesse

OK, Je
redescends

Tu Stabilises

Tu redescends

On est en train de
monter selon lui

D0716/197

Développement:

A la suite de la perception du C-Chord par le PNF et du diagnostic d'altitude supérieure à l'altitude sélectionnée, celui-ci s'exprime de façon erronée en faisant référence à la vitesse (« Fais attention à ta vitesse »).

Il demande en fait au PF de redescendre. Ce dernier comprend et interprète cette remarque dans le sens de l'écart d'altitude « OK je redescends ». La réaction du PF est immédiate et cohérente en appliquant une action à piquer sur le manche.

Le FD commande une action à piquer et l'action sur le manche à piquer est cohérente avec ce qui est visible.

Le PNF confirme ce diagnostic d'écart d'altitude « On est en train de monter selon lui » (selon l'altimètre).

Le PF a toujours des actions sur le manche en gauchissement qui entretiennent une oscillation en roulis. Ceci exprime la difficulté à maîtriser le pilotage et montre que le PF perçoit les indications d'inclinaison visibles sur le PFD (Horizon Artificiel).

Durant cette courte séquence, la poussée CLIMB est rétablie sans action sur les commandes de poussée, induisant un léger couple à cabrer; la variation d'assiette est faible au regard de l'action du manche à piquer (2,4°).

Sur la partie droite du PFD, l'indication de la VS dans le cadre numérique, passe de l'ambre qui signifie une situation anormale nécessitant une attention particulière (CAUTION), au vert qui signifie une situation normale. En effet, dès lors que la VS est supérieure à + ou - 6 000 ft/mn, l'aiguille est en butée et seule l'indication numérique est visualisée (198) de couleur ambre en centaines de pieds.

Pendant cette séquence, le FD (Flight Director) est actif.

Il est constitué de deux « barres de tendance », visibles sur le PFD, qui sont des barres fournissant au pilote les ordres de guidage élaborés par le FMGC (Flight Management and Guidance Computer).

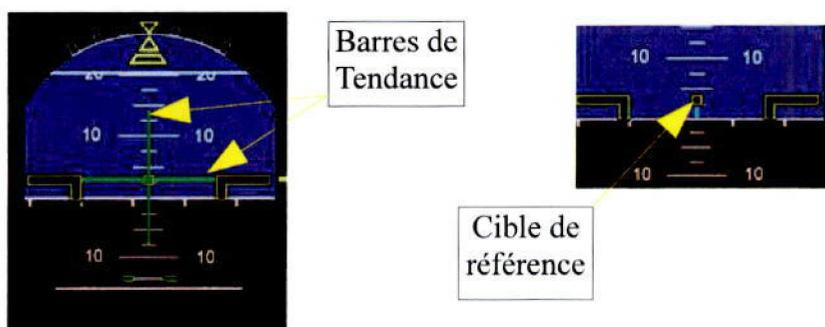
Pour suivre ces ordres de guidage, le pilote doit placer la cible de référence sur la barre de tendance.

La barre horizontale fournit le guidage en profondeur du mode vertical, c'est à dire le guidage des actions à piquer ou à cabrer.

La barre verticale fournit le guidage en gauchissement du mode latéral, c'est à dire le guidage des actions en inclinaison à droite ou à gauche.

Pour suivre une trajectoire, le pilote doit donc placer la cible de référence sur l'intersection des deux barres de tendance.

D6716



Dans cette courte phase, la commande à piquer de la barre horizontale n'est pas liée au maintien de l'altitude, qui était le mode actif juste avant la décon. Le mode à piquer est lié à la VS (7000 ft/mn) qui est supérieure à la V/S affichée au FMA (6000 ft/mn).

En effet le mode de guidage vertical est sorti du mode maintien d'altitude (ALT CRZ 02h10.06). Le FD a été inactif à 02h10.20 pour être actif de nouveau à 02h10.25. A cet instant le mode de guidage visible sur le FMA¹⁹ (Indicateurs de Mode d'automatisme) est automatiquement activé en mode V/S car l'avion est en dehors de la zone de capture d'altitude. La particularité de ce mode de réversion est de prendre comme référence de guidage vertical la vitesse verticale instantanée. Les barres de tendance sont actives et se positionnent naturellement centrées.



CHANGEMENT DE MODE VERTICAL SUR LE FMA

La barre de tendance horizontale est positionnée pour tenir l'assiette associée à la VS qui apparaît au FMA. (PFD 02h10.30)

Le diagnostic de l'écart de trajectoire est réalisé par le PNF qui assiste le PF en le conseillant : « Tu stabilises, tu redescends ». Au moment de ces remarques l'écart d'altitude n'est que de +800ft.

Le PNF a besoin de justifier sa remarque : « On est en train de monter selon lui ».

Commentaire d'experts : L'alarme C-Chord initie un processus Perception-Diagnostic-Décision-Action partagé par l'équipage et cohérent pour l'écart d'altitude supérieur à 300ft.

Le vocabulaire inadéquat révèle une augmentation du niveau de stress.

Le mode de réversion V/S conduit à avoir des des barres de tendance centrées.

¹⁹ FMA : Flight Mode Annunciator ((Indicateurs de Mode d'automatisme)

06716

6.2.5.5 02h10.32 à 02h10.49

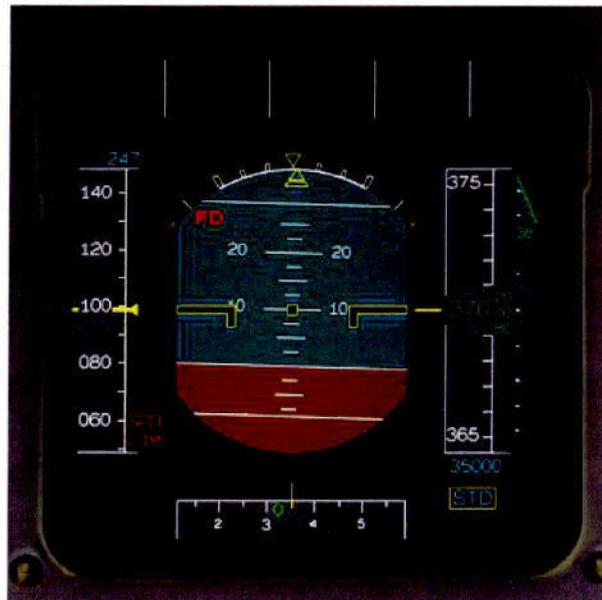
Description factuelle :

A 02h10.34 le PNF confirme : « Selon les trois tu montes....donc tu redescends », le PF acquiesce : « D'accord » et le PNF insiste : « T'es à..Redescends ».

L'action à cabrer est maintenue malgré quelques échappées et la VS diminue de 5 000 ft/mn à 2 000 ft/mn pendant cette période.

A 02h10.35 la CAS²⁰ n°1, celle du PFD de gauche, est de nouveau valide à une valeur voisine de 200 kts, alors que la vitesse sur l'instrument de secours ISIS est toujours erronée et indique 118 kts.

A 02h10.37 le PF confirme : « C'est parti, on redescend », l'accélération qui est de 0,7g inférieure donc à 1g est perçue par le PNF comme une action brutale sur l'assiette qui dit au PF : « Doucement ». Le PF diminue l'action à piquer et et place le manche au voisinage de la position neutre.



02h10.37

A 02h10.39 Le PNF propose ensuite : « Je te mets en ATT HEADING²¹ ». Cette proposition n'est pas suivie de l'action immédiate et le PNF exprime son incompréhension face aux informations disponibles : « Qu'est ce que c'est que ça ? »

A 02h10.40 le PNF sélectionne la source des données anémométriques F/O ON 3²². Ceci a pour conséquence de présenter sur le PFD de droite du PF les informations de l'ADR3 qui sont celles indiquées sur l'instrument de secours ISIS.

20 CAS : Calibrated Airspeed, vitesse indiquée sur le PFD

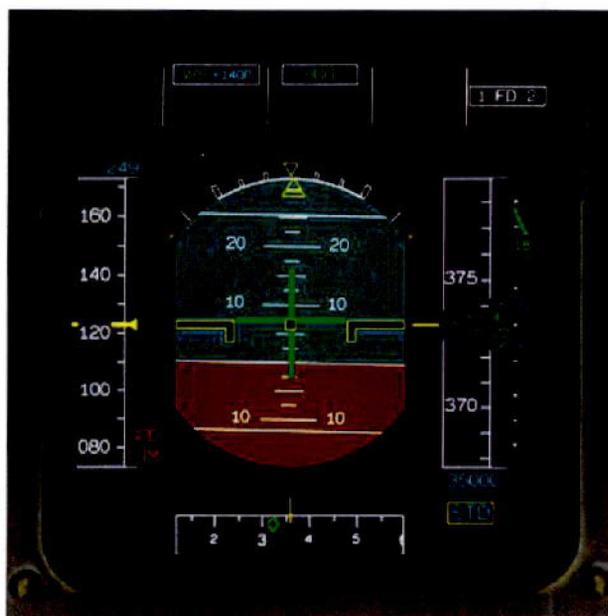
21 ATT HEADING : Sélection de sources inertielle différentes.

22 F/O : First Officer (Coté droit)

Do 7/16

A cet instant, la vitesse indiquée est de 121 kts.

L'action de sélection sur F/O ON 3 par le PNF a fait perdre l'indication de vitesse de l'ADR2 (Les indications de vitesse sont valides sur le PFD du PF) .



02h10.42

A **02h10.42** Le PF confirme : « On est en CLIMB »

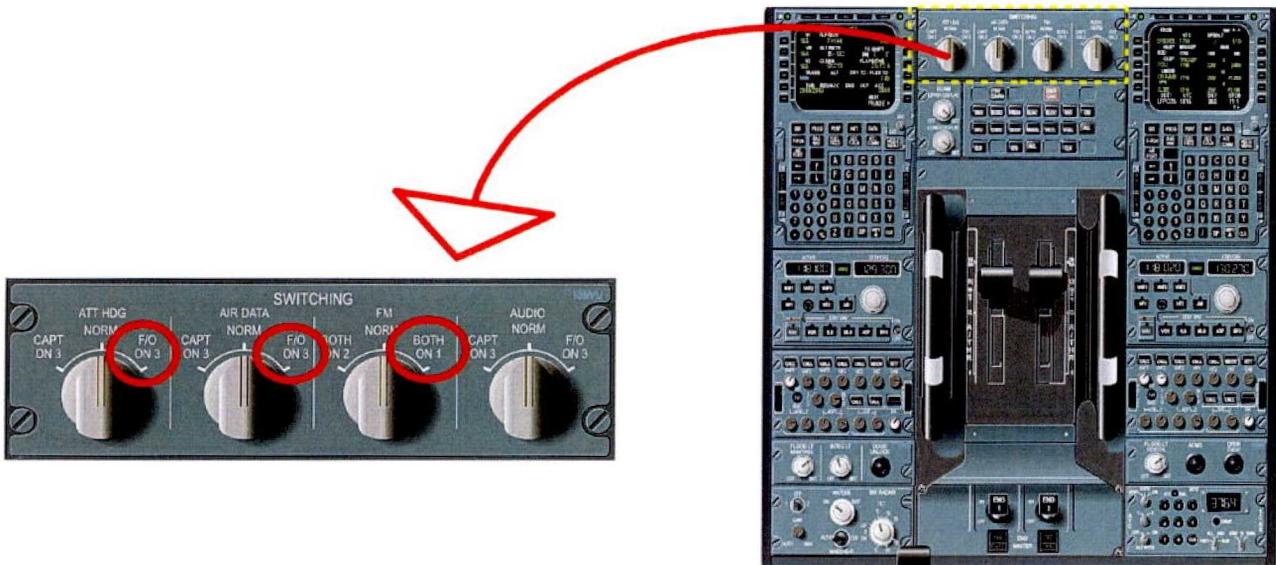
Les FD sont actifs pour 2 secondes, la V/S instantanée visible sur le FMA est de 1400 ft/mn (VS au moment de l'activation du FD)

A **02h10.45** Les manettes de poussée sont sorties du cran CLIMB et déplacées d'un tiers vers IDLE²³ pour une durée de 6 sec. Le N 1²⁴ diminue de 102% vers 86% .

23 IDLE : Ralenti

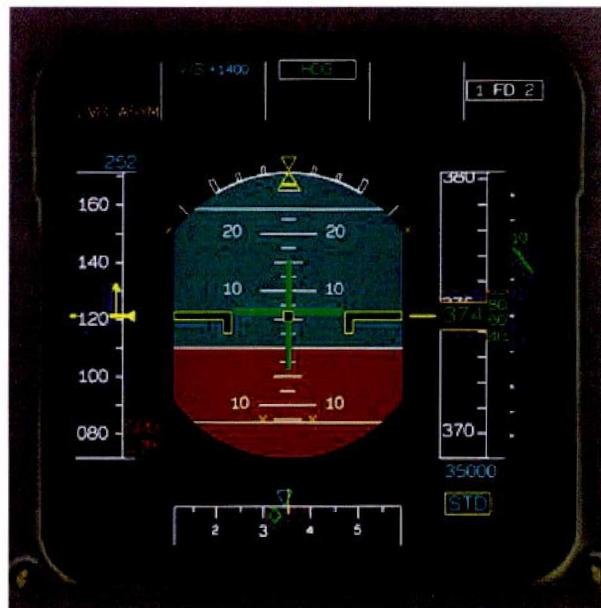
24 N1 : Régime moteur

A 02h10.45 Le PNF sélectionne la source des données inertielles ATT HDG F/O ON 3. Ceci a pour conséquence de présenter sur le PFD du PF les informations de l'IRS 3, n'induisant dans ce cas aucune dégradation de ces indications.



A 02h10.46 Le PNF place le sélecteur FM sur BOTH ON 1, il transfère ainsi les paramètres du FMGC 1²⁵ vers le MCDU 2²⁶ et les EFIS²⁷ de droite. Cette action est sans effet sur le PFD et un message « OFF SIDE FM CONTROL » apparaît dans le scratchpad du ND)

A 02h10.47 Les FD (Flight Directors) sont actifs et s'engagent automatiquement en mode HDG V/S, les barres de tendance sont centrées pour tenir la VS instantanée au moment de l'activation du FD, soit 1400 ft/mn. A cet instant les FD des PFD gauche et droite sont actifs pour 52 secondes.



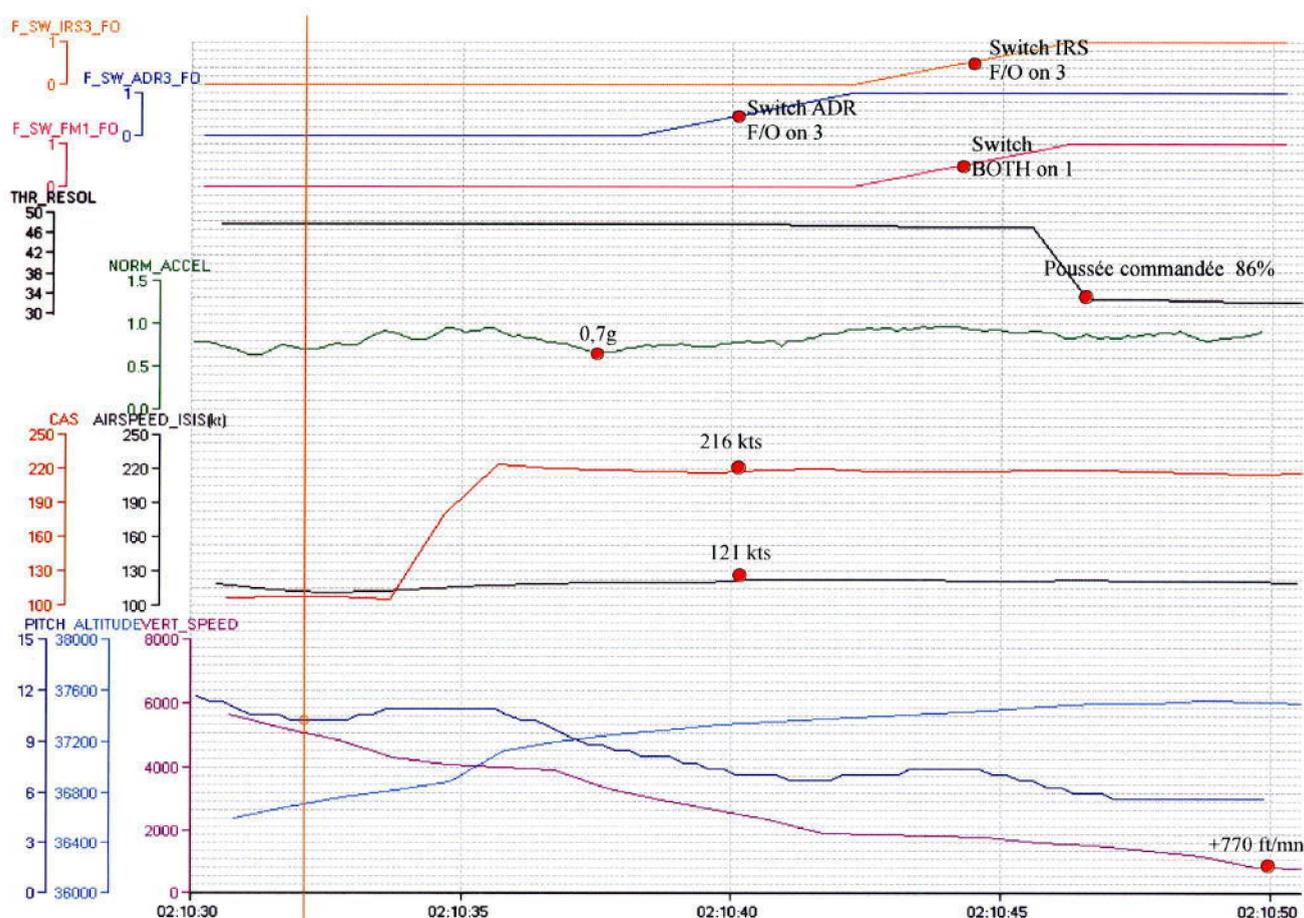
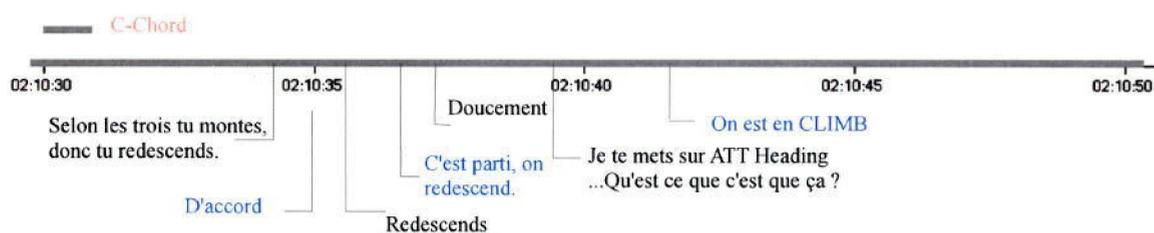
02h10.47

25 FMGC : Flight Management and Guidance Computer (Calculateur de gestion pour le guidage)

26 MCDU : Multipurpose Control & Display Unit (Ecran multifonctions)

27 EFIS : Electronic Flight Instrument System (Ecran de représentation des instruments de pilotage)

D6+16



Développement :

Le PNF confirme les informations d'altitude disponibles en précisant que les trois indications d'altitude sont cohérentes (PFD gauche, PFD droit, ISIS) et en montée.

En disant « Donc » il exprime la conclusion d'une analyse.

Le PNF ne se satisfait pas de la réponse du PF « D'accord » et insiste sur la nécessité de redescendre : « Redescends ».

L'action du PF sur le manche à piquer est perceptible par la sensation d'accélération verticale inférieure à 1g. Le PNF recommande alors : « Doucement ».

Le PF réagit à cette remarque en diminuant l'action à piquer pour avoir une position proche du neutre.

Le PF, après avoir confirmé la valeur de la poussée « On est en CLIMB », va réduire cette dernière

16716

pour accompagner son action de stabilisation et de remise en descente.

Le PNF quitte le projet d'action de monitoring de la trajectoire, conforté par les réponses du PF et la sensation de mise en descente, reprend un processus de recherche de solution pour remédier à la situation.

Le champ de pesanteur est de 1g au niveau du sol. La force à laquelle est soumise un corps en raison de la pesanteur est appelée poids de ce corps.

Cette accélération inférieure à 1g a pour effet le ressenti d'un poids inférieur au poids réel, c'est à dire un effet « d'apesanteur » perceptible lorsque l'on passe du vol en montée au vol en descente.

Cette sensation peut justifier la remarque du PNF « Doucement », percevant l'action à piquer comme trop brutale.

La perception par le PNF des éléments n'est pas cohérente et ne lui permet pas de mener une analyse, de faire référence à une procédure, tout simplement de comprendre : « Mais qu'est ce que c'est que ça ? »

Les rotacteurs AIR DATA, ATT HDG²⁸(391) sont placés sur F/O ON 3 et FM sur BOTH ON 1.⁽³⁹⁸⁾

Ceci s'inscrit dans une recherche improvisée d'une source alternative d'informations. Néanmoins aucun des messages visibles ou disponibles sur l'ECAM à cet instant ne commande de telles actions.

Ces trois sélections effectuées par le PNF ne correspondent pas à son annonce qui désignait seulement le rotacteur ATT HEADING.

Une des conséquences de cette sélection est de transférer les informations de l'ADR 3, erronées, sur le PFD du PF.

Simultanément le PF sort du cran CLIMB et réduit la poussée à une valeur proche de 86% avec la volonté de redescendre.

Pour autant, l'assiette est stabilisée à 6°, la V/S est de 1700 ft/mn en montée.

Les FD (barres de tendance) sont actifs avec les barres de tendance centrées.

Le mode vertical actif est V/S, les barres de tendance sont centrées pour tenir la vitesse verticale de 1400ft/mn.

Commentaire d'experts : Le PNF guide le PF pour la maîtrise de la trajectoire verticale en s'appuyant sur un diagnostic validé, mais change de projet d'action sans s'assurer de la mise en descente réelle de l'avion.

La commutation des sources ADR et IR est la recherche d'une information valide et non le résultat d'une analyse ou l'application d'une procédure.

Les barres de tendance sont centrées pour une assiette de 6° et une vitesse verticale de 1400 ft/mn en montée.

²⁸ AIR DATA : Sélection de sources différentes de vitesse et altitude

6.2.5.6 02h10.49 à 02h11.12

Description factuelle :

A 02h10.49 le PF a une action continue à cabrer de 1/3 de débattement sur le manche, l'assiette n'est plus stabilisée et augmente lentement à cabrer (0,6°/sec).

La vitesse indiquée sur le PFD du PF est de 120 kts alors que la vitesse indiquée sur le PFD du PNF est de 214kts.

L'alarme C-Chord est toujours audible

A 02h10.50 Le PNF, après avoir appelé le CdB à l'aide du bouton d'appel situé sur le panneau supérieur du coté gauche, s'inquiète du retour du CdB du poste repos : « P... Il est où ? »

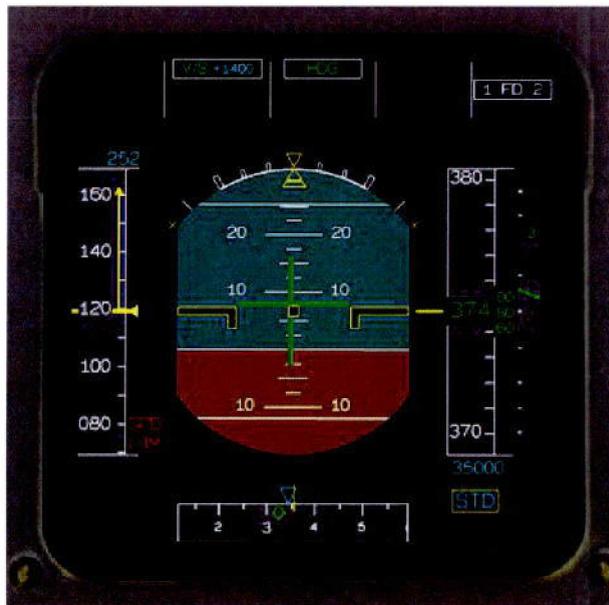


A 02h10.51 Le PF a une action à cabrer désordonnée sur le manche et l'assiette augmente plus rapidement (1°/sec).

Les FD sont visibles pendant toute cette séquence et les barres de tendance centrées.

A 02h10.52 L'alarme STALL avec CRICKET retentit, elle est continue pendant 54 sec. Cette alarme prend la priorité sur l'alarme C-Chord.

02h10.52



D6716

A **02h10.54** Le PF déplace les manettes de poussée vers le cran CLIMB et dans la seconde suivante place les manettes dans le cran TOGA²⁹, c'est à dire qu'à cet instant il affiche la poussée maximale disponible. La poussée effective est alors voisine de 85% et elle ne sera établie à 102,7% que 6 secondes plus tard.

A **02h10.55** Des vibrations haute fréquence apparaissent et peuvent être assimilées au « BUFFET ». Ce phénomène est représentatif du décrochage.

A **02h10.56** Une voix féminine est perceptible à l'écoute du CVR « Allo ».

A **02h11.00** le PNF rappelle au PF : « *Surtout, essaie de toucher le moins possible les commandes en latéral* ». Ceci est une une des consignes de pilotage lors de l'alarme STALL (400)



02h11.02

A **02h11.03** Le PF répond, pour faire écho à la remarque précédente : « *Je suis en TOGA, hein* »

Le pilotage est instable avec une oscillation longitudinale en assiette de 0,3HZ (période de 3 secondes) et une amplitude croissante de 2° à 6°.

A **02h11.06** La vitesse élaborée avec l'ADR3 est disponible et est visible sur le PFD de droite. Il indique 184 kts, la valeur est identique sur le PFD de gauche.

Dans le même temps, le PNF s'impatiente du retour du CdB : « *P..., Y vient ou pas !* »

²⁹ TOGA : Take Off and GO Around, Poussée maximale pour le décollage ou la remise de gaz

D67/b/



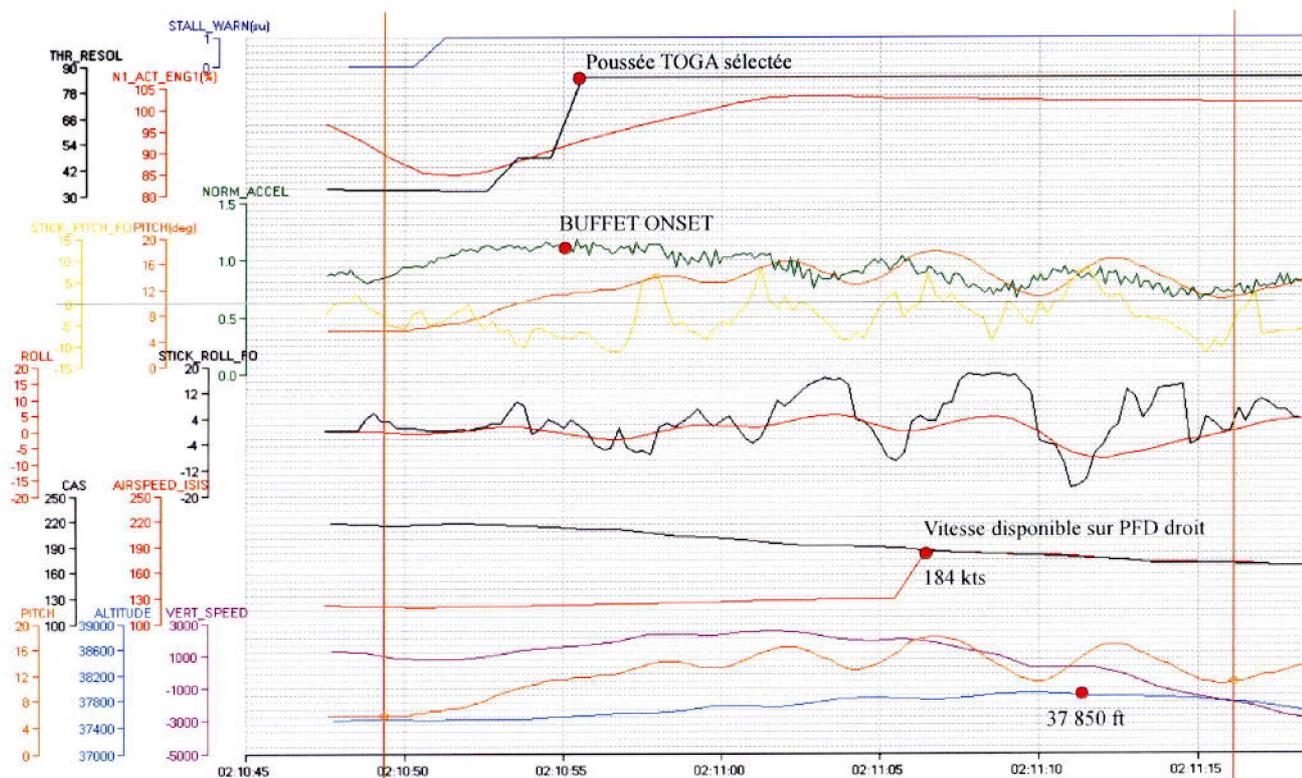
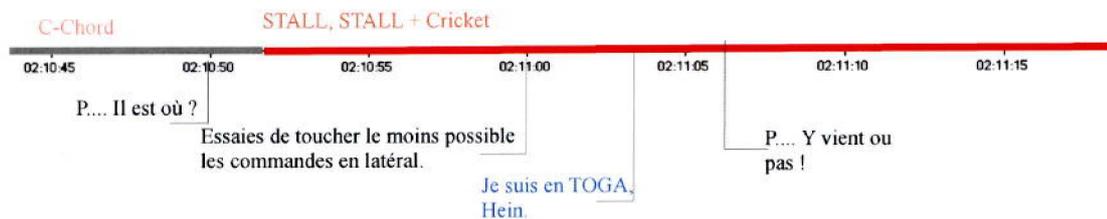
02h11.08



02h11.09

A 02h11.12 L'altitude maximale de 37 850 ft est atteinte.

De 716/



Développement:

A 02h10.49 La poussée vient d'être réduite à 86%, la vitesse indiquée sur le PFD de gauche est 214 kts alors que la vitesse prévue est 275 kts, l'altitude est 37 500 ft, soit 2 500 ft au dessus de l'altitude de croisière.

Le PNF n'assure pas de contrôle sur la trajectoire, (pas d'annonce d'écart, pas d'action sur les commandes) et n'a pas de perception consciente de ces écarts.

En effet, il tourne son attention vers le panneau supérieur pour appeler le CdB à l'aide du bouton d'appel FLT REST.

Il exprime ensuite son impatience face au délai du retour du CdB au poste « P... Il est où ? ».

Le PF qui avait maintenu une action sur le manche à piquer depuis 13 secondes environ (1/3 débattement maxi) reprend une action à cabrer. Cette action est cohérente avec le suivi de la barre de tendance profondeur qui demande de prendre une assiette à cabrer plus forte pour respecter les

D6216

1400ft/mn en montée..

L'alarme STALL avec Cricket retentit à 02h10.52.

Le PF réagit en appliquant la poussée maximale TOGA, le PNF lui rappelle « de toucher le moins possible les commandes en latéral ».

Ces deux actions sont des actions réflexes de réponse à l'alarme STALL.

Elles correspondent à des éléments de procédure qui ont été exécutés à l'entraînement, mais le PF ne fait pas d'annonce des actions liées à l'alarme STALL WARNING.

Les deux pilotes ont une perception juste de l'alarme, mais elle n'est pas suivie d'analyse et de diagnostic ni d'annonce technique.

La confirmation de l'application de la poussée maximale est retenue comme seule réponse à l'alarme, « Je suis en TOGA, hein.. » dit le PF, mais n'applique pas la seconde action requise lors de l'alarme STALL, à savoir : diminuer l'assiette.

Simultanément avec l'action de la manette vers la poussée TOGA, des vibrations à fréquence élevée apparaissent. Il s'agit là du phénomène de « BUFFET ONSET » puis « DETERRENT BUFFET »

Ces vibrations sont mesurées au centre de gravité et ont donc une amplitude plus faible que celle qui pourrait être mesurée au poste de pilotage.

Il n'y a pas de remarque ou d'action de l'équipage qui soit en relation avec ce phénomène.

Ceci est surprenant compte tenu des écarts d'amplitude constatés lors du vol de démonstration sur un A340 avec la même aile que l'A330.

Un phénomène moins significatif et moins violent sur le vol AF447 peut être justifié par un Mach plus faible lorsque l'incidence de décrochage est atteinte et une décélération plus forte que lors du vol de démonstration.

Ces vibrations sont liées à la perte de portance par décollement local des filets d'air sur l'extrados, en particulier dans les zones proches de l'extrémité de l'aile.

Lorsque le BUFFET est perceptible, le phénomène de perte de portance sur certaines parties de l'aile est réversible, c'est à dire avec une alternance de portance effective et de perte de portance.

C'est cette alternance qui crée le phénomène vibratoire dont la fréquence sera liée à la rigidité de l'aile, au type de profil aérodynamique et à l'envergure³⁰.

Ce phénomène n'a pas de reproduction fidèle au simulateur et les pilotes n'ont pas d'image mentale³¹ pour le « BUFFET » ou « BUFFETING »⁽³⁹⁹⁾, il est plus généralement assimilé à des vibrations hautes vitesses que basses vitesses.

Le phénomène de « BUFFET » n'est pas signalé dans la procédure « STALL WARNING³² », il sera seulement signalé après l'accident dans la procédure « STALL RECOVERY³³ »⁽⁴⁰¹⁾.

L'équipage perçoit l'alarme STALL.

PF et PNF ont chacun une seule action cohérente avec l'alarme (PF : Applique la Poussée TOGA, PNF: Recommande inclinaison nulle), mais aucun des deux n'assume la procédure (pas d'appel de

30 Envergure : C'est la distance entre les extrémités des ailes

31 Image mentale : C'est la représentation mentale mémorisée d'une situation provoquée par une perception (visuelle, auditive,...), elle ne change pas dans le temps.

32 STALL WARNING : Alerte d'approche du décrochage

33 STALL RECOVERY : Procédure de récupération du décrochage

la procédure) ni ne confronte cette alarme aux informations disponibles.

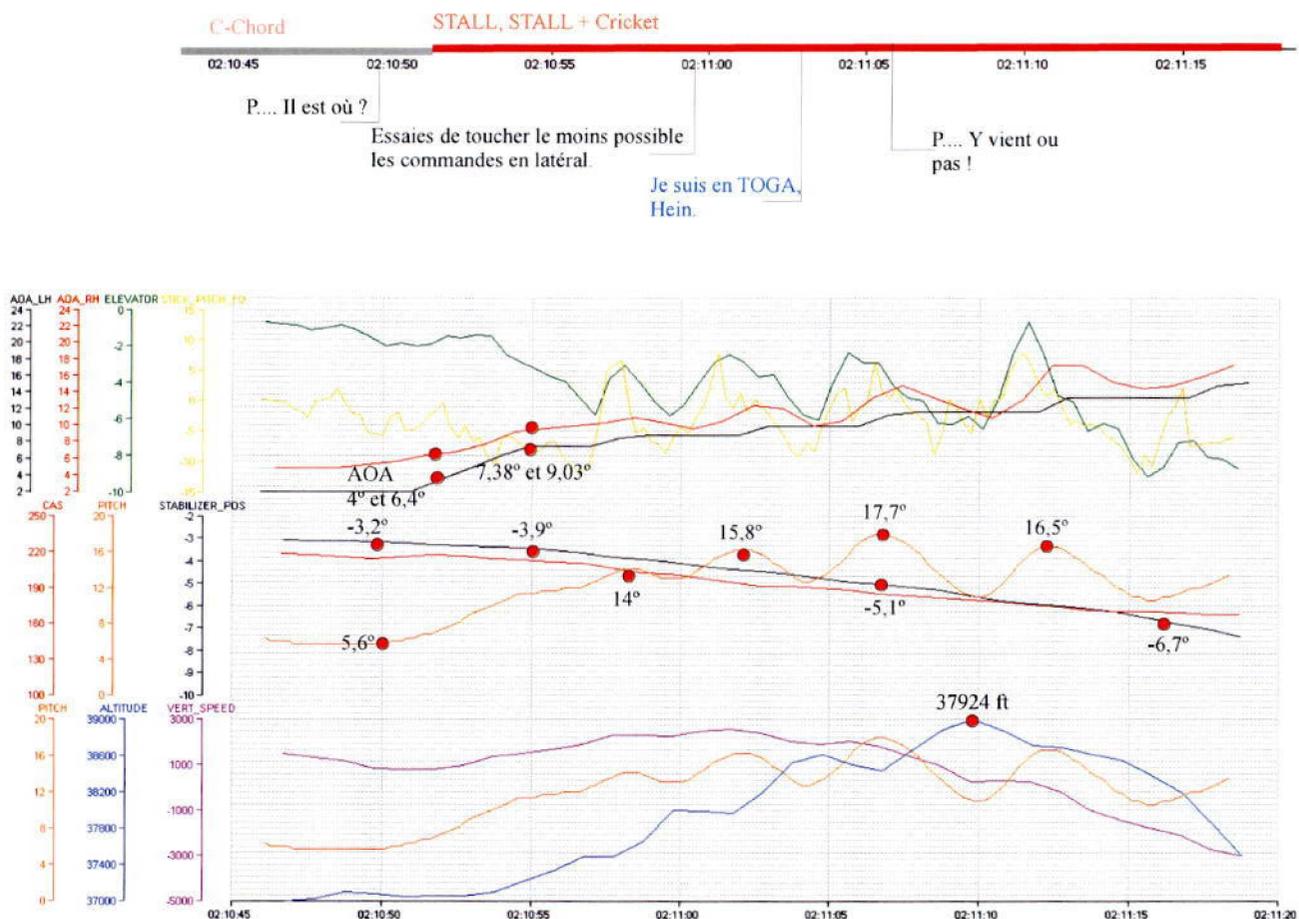
Le PNF réitère son impatience et son souci du retour du CdB dans le cockpit « P...Y vient ou pas ? ».

Lors du déclenchement d'une alarme et de l'apparition d'une procédure ECAM, le rôle du CdB est essentiel et parfaitement défini.

Les équipages sont entraînés au simulateur dans une configuration CdB + OPL où le CdB décide et organise le traitement de la panne. (GEN OPS 02.04.04.10 page 1, TU 03.00.10.06)(421)

Dans cette séquence, le PNF n'assume pas le rôle dévolu au CdB pour l'organisation et le suivi du traitement de panne et le PF ne maîtrise pas la trajectoire.

A 02h10.52, lors du déclenchement de l'alarme STALL avec CRICKET, l'incidence est de 4° pour l'AOA LEFT³⁴ et de 6,4° pour l'AOA RIGHT³⁵. L'action sur le manche à cabrer à 2/3 du débattement est maintenue pendant 5 secondes, l'assiette augmente de 6° vers 12°.



34 AOA LEFT : valeur de l'incidence mesurée par la sonde du coté gauche

35 AOA RIGHT : valeur de l'incidence mesurée par la sonde du coté droit

D6716

A 02h10.55, le « BUFFET » apparaît. L'incidence est alors de 7,38° pour l'AOA LEFT et 9,3° pour l'AOA RIGHT et la portance est très sensiblement dégradée.

Ceci perturbe l'équilibre aérodynamique de l'avion.

Durant les 21 secondes suivantes, le pilotage de l'assiette est divergent, les réponses de l'avion aux sollicitations sur le manche sont inhabituelles et nécessitent une allocation de ressource accrue pour maîtriser les éléments.

Le suivi de la barre de tendance profondeur amène à une augmentation sensible de l'assiette. En effet, les performances de sustentation et de propulsion ne permettent pas de maintenir la vitesse verticale en montée et la barre de tendance profondeur indique une assiette à cabrer supérieure à 10°.

Les sollicitations désordonnées en tangage sur le manche ne sont pas traduites par un déplacement désordonné identique de la gouverne de profondeur (ELEVATOR), le déplacement de la gouverne est moyenné, lissé et amorti.

Le Plan Horizontal Réglable (PHR ou Trimmable Horizontal Stabilizer THS) se déplace vers cabrer de -3,1° à - 6,7°.

Au cours de ces 21 secondes, l'avion a décroché, la vitesse verticale est devenue négative, l'altitude a commencé de décroître.

L'évolution de ces paramètres n'est pas exprimée par l'équipage.

Commentaire d'experts : L'équipage composé de deux OPL n'a pas fonctionné suivant la répartition des tâches définie pour un équipage composé d'un CdB et d'un OPL.

Le PNF s'est focalisé sur le retour du CdB pour retrouver une hiérarchie habituelle d'autorité.

La procédure STALL WARNING n'a pas été appelée.

Le suivi de la barre de tendance profondeur du Directeur de Vol a contribué au maintien d'une assiette à cabrer forte.

6.2.6 DU DÉCROCHAGE AU RETOUR DU COMMANDANT DE BORD

6.2.6.1 De 02h11.12 à 02h11.42

Description factuelle :

A 02h11.12 l'alarme STALL avec Cricket est audible depuis 20 secondes et va le rester pendant toute cette séquence.

A 02.11.13 le Gong HI LO est perceptible.

A 02h11.13 l'altitude est toujours 37 850ft, la vitesse verticale Vs -208ft/mn, l'incidence (AOA LH³⁶) 13,3°, la poussée disponible est 101,8%, la vitesse indiquée 173kts soit 100kts de moins que la vitesse indiquée à l'instant de la déconnexion du Pilote Automatique. La vitesse indiquée à droite est celle de l'ISIS en raison de la sélection AIR DATA F/O ON 3.



02h11.15

A 02h11.21 le PNF exprime son incompréhension : « On a pourtant les moteurs, qu'est ce qui se passe, B..... ? »

A cet instant, les paramètres de pilotage, visibles sur le PFD sont :



Instruments moteurs

PFD droit

02h11.21



36 LH : Left Hand, coté gauche

D6716/212

A 02h11.24 Le PNF exprime à nouveau son incompréhension de la situation en interrogeant le PF : « Tu comprends ou pas ce qui se passe ? »

Pendant cette période, le PF a des actions sur le manche majoritairement à cabrer et en roulis à gauche alors que l'assiette évolue en 12° et 15° et l'inclinaison est faible.

A 02h11.30 le PF a une action en butée sur le manche en roulis à gauche pour contrer une abattée violente de l'aile droite avec une inclinaison qui atteint 40° à 02h11.47. L'assiette à cabrer est maintenue à une valeur élevée environ 16° puis diminue lentement vers 11° et augmente à nouveau vers 13° à 02h11.42.

Le retour à une inclinaison nulle sera atteint à 02h12.18 soit après une abattée en roulis de 48 secondes.

A 02h11.33 La difficulté à maintenir l'assiette et l'inclinaison fait dire au PF : « J'ai plus le contrôle de l'avion ».

A 02h11.35 Le PF insiste : « J'ai plus du tout le contrôle de l'avion »

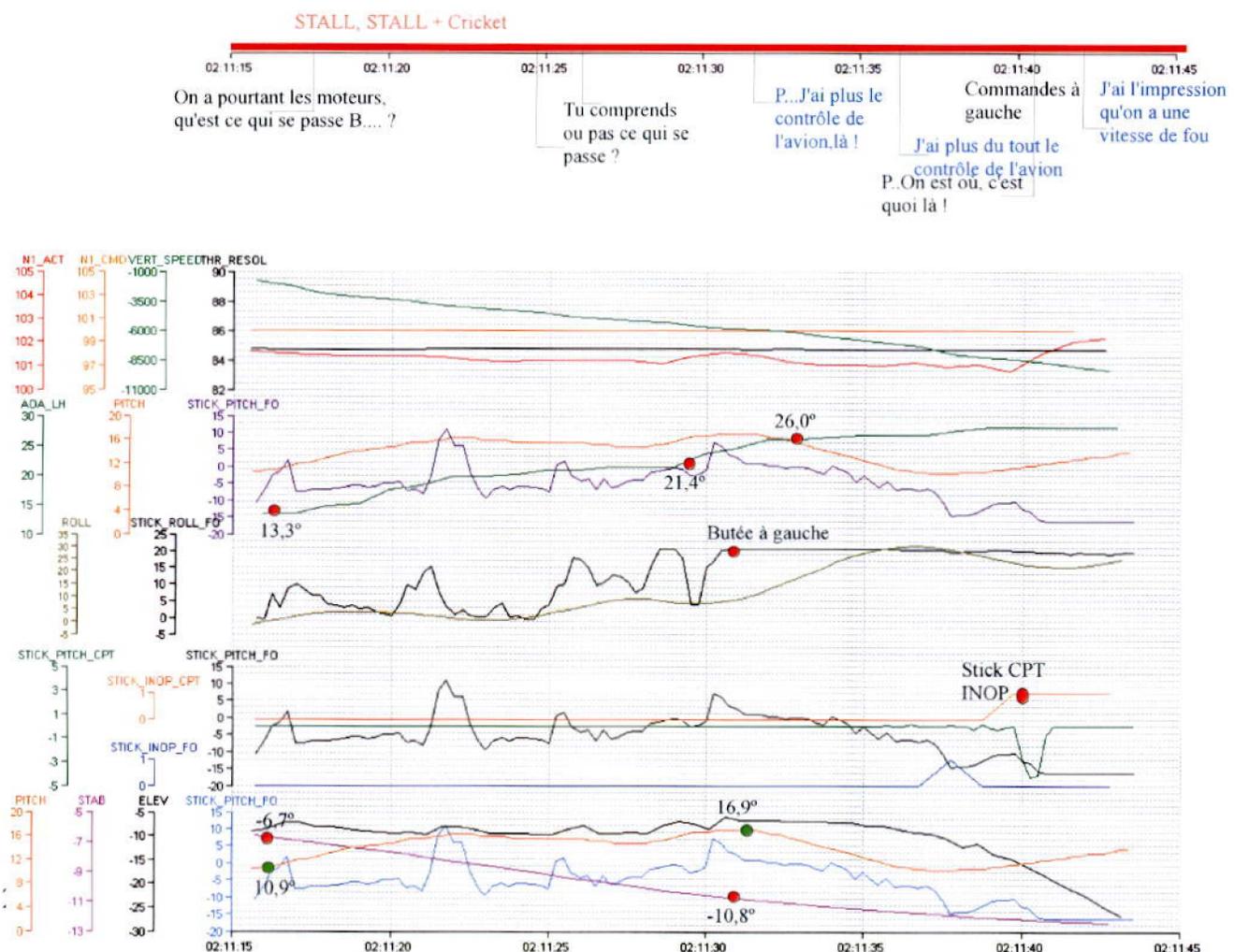
A 02h11.37 Le PNF annonce qu'il prend les commandes : « Commandes à gauche ». Son action sur le manche va durer moins d'une seconde car le PF reprend la priorité et a une action sur le manche proche de la butée à cabrer.

A 02h11.39 les FD sont désactivés.

A 02h11.41 Le PNF ne comprend pas la situation : « P...., On est où, c'est quoi là »

Le PF lui répond : « J'ai l'impression qu'on a une vitesse de fou ».

C'est à cet instant que le Commandant de Bord pénètre dans le poste de pilotage.



067161 213

Développement:

Entre 02h11.15 et 02h11.31, le PF maintient une action sur le manche à cabrer avec 1/3 de débattement, et l'assiette à cabrer augmente avec une oscillation lente de 10° à 16°. Le déplacement de la gouverne de profondeur est faible, mais le THS continue de se déplacer vers cabrer de -6,7° à -10,8°.

Le FD est toujours actif avec la barre de tendance profondeur qui indique une assiette à cabrer alors que la V/S est négative. En effet le système reste sur une logique de guidage d'assiette pour suivre une vitesse verticale de 1400ft/mn en montée.

Le PNF ne comprend pas la situation au regard de la poussée affichée : « On a pourtant les moteurs, qu'est ce qui se passe ? ».

Il ne peut résoudre l'équation Poussée disponible + alarme STALL = Pas de retour à la normale.

Il sollicite l'aide du PF : « Tu comprends ou pas ce qui se passe ? ». Le PF a une action sur manche en roulis à gauche alors que l'avion reste incliné à droite.

Les réponses de l'avion aux sollicitations sur le manche en tangage et en roulis ne sont pas stabilisées et induisent un besoin important de ressource et l'interrogation du PNF sollicite des ressources du PF qui ne sont pas disponibles.

A 02h10.31 l'inclinaison à droite augmente brutalement et le PF a une action en butée sur le manche en roulis à gauche. Une seconde plus tard l'assiette passe de 16° à 8° à cabrer alors que le manche est en secteur arrière (à cabrer).

Le FD est toujours actif avec un guidage vertical à cabrer.

Le PF annonce clairement qu'il n'a plus le contrôle de l'avion malgré les commandes en butée à cabrer et à gauche.

Le PNF a une réponse cohérente avec la perte de commandes de vol à droite: « Commandes à gauche ». Il prend effectivement la priorité, mais pour moins d'une seconde car le PF qui a maintenu l'action à cabrer, en appuyant sur le bouton de priorité, reprend de façon involontaire la priorité aussitôt. Le PNF ne peut percevoir que son action sur le manche est inopérante. (Priorités des manches TU 12.27.40.04)

En raison de la priorité de l'action du PF, l'action du PNF à cabrer n'est pas prise en compte par le système de commandes de vol, il réagit en disant : « On est où, c'est quoi là ? ».

Dans cette phase le PNF cherche à comprendre une situation qui ne correspond pas à un schéma mental acquis : si la poussée est disponible, l'avion doit voler normalement.

Lorsqu'il croit reprendre les commandes, il n'a pas la réaction attendue de l'avion et exprime, sur le ton de la révolte, le constat d'une poussée inefficace et de commandes inopérantes.

Le PF tente une explication : « J'ai l'impression qu'on a une vitesse de fou ».

Cette remarque ne sera pas analysée par le PNF car le CdB pénètre à cet instant dans le poste de pilotage.

*Commentaire d'experts : L'équipage perçoit la situation anormale mais ne peut élaborer un diagnostic en raison d'éléments contradictoires : Alarme STALL, pleine poussée, assiette affichée en accord avec les barres de tendance.
Le pilotage avec les seules références basiques du VSV³⁷ n'est pas assuré par le PF.
Les indications du Directeur de Vol sont toujours à cabrer.
La perte de contrôle est réelle, perçue par le PF comme une vitesse élevée et par le PNF comme la perte des commandes de vol du côté PNF.
L'avion est hors du domaine de vol connu. Dès lors la possibilité de sortie du décrochage ne peut être établie.*

6.2.7 DU RETOUR DU COMMANDANT DE BORD À LA FIN DES ENREGISTREMENTS.

6.2.7.1 De 02h11.42 à 02h12.13

Description factuelle :

A **02h11.42** Le Commandant de Bord pénètre dans le poste de pilotage et s'inquiète de la situation :
« *Qu'est ce qui se passe, expliquez moi ce qui se passe ?* »

A **02h11.42** Les manettes de poussée sont sorties du cran TOGA et placées sur CLIMB pour 2 secondes et ensuite amenées sur IDLE.



02h11.43

³⁷ VSV : vol sans visibilité, terme utilisé pour le pilotage à l'aide des seuls instruments (sans références extérieures)

Pendant toute cette séquence, le PF applique une action sur le manche en butée à cabrer et en butée d'inclinaison à gauche alors que l'avion est incliné à droite en oscillation de 20 à 40°

A **02h11.44** L'alarme STALL s'arrête et l'alarme C-Chord reprend. L'alarme C-Chord sera présente au cours de cette séquence à chaque fois que l'alarme STALL ne sera pas active.

A **02h11.45** Le PF répond au CdB : « *on perd le contrôle de l'avion là* »

A **02h11.45** la vitesse élaborée par l'ADR3 est inexploitable pendant 6 secondes (\neq 0kt)

A **02h11.45** L'assiette diminue rapidement 1,5°/sec puis fortement 2,2°/sec pour atteindre une assiette à piquer de -10,5°.

A **02h11.46** Le PNF confirme : « *On a tout perdu le contrôle de l'avion, on comprend rien, on a tout tenté* »

A **02h11.46** Les informations visibles de vitesse sont erronées et d'une valeur voisine de 60 kts, ou absentes et remplacées par un bandeau noir avec l'indication SPD rouge.

La VS est supérieure à 10 000ft/mn



02h11.47

A **02h11.53** Le CdB propose : « *Tiens prends ça* »

A **02h11.53** L'alarme STALL est active pendant moins de 1 seconde

A **02h11.55** Le PNF propose lui aussi : « *Prends ça là, prends ça* »

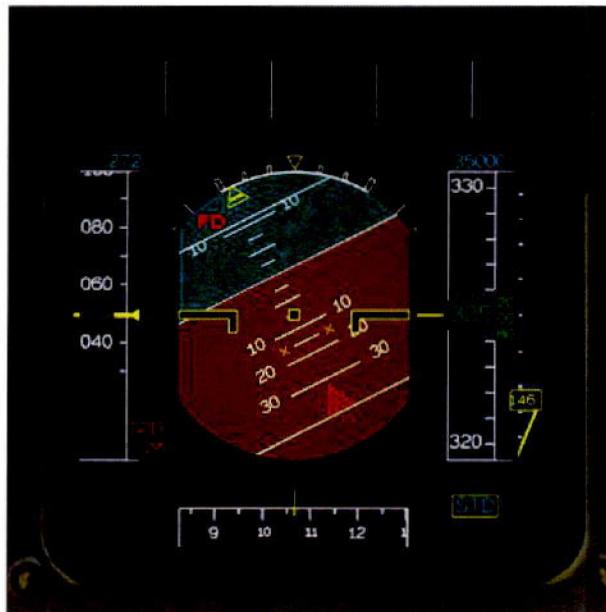
A **02h11.55** L'alarme STALL est active pendant 2 secondes

A **02h11.57** Le PNF insiste : « *Essaie de prendre ça* »

A **02h11.58** Le PF signale : « *J'ai un problème, c'est que j'ai plus de vario³⁸ là, j'ai plus aucune indication* »

Le CdB acquiesce : « *D'accord* » et le PNF confirme : « *On a aucune indication qui soit valable* »

³⁸ VARIO : Variomètre, instrument indiquant la vitesse verticale VS



02h11.58

A **02h12.04** Le PF rappelle : « *J'ai l'impression qu'on a une vitesse de fou, qu'est ce que vous en pensez ?* » et les spoilers sont déployés (SPEED BRAKES/ aérofreins)

A **02h12.07** L'alarme STALL est active pendant 1 seconde et le PNF ordonne au PF de rentrer SPEED BRAKES :« *Surtout ne les sors pas !* »

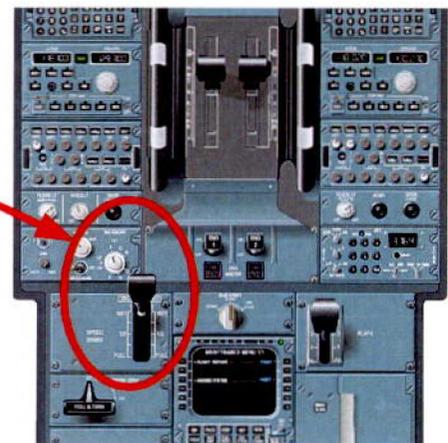
A **02h12.08** Les manettes de poussées sont placées dans le cran CLIMB.

A **02h12.10** L'alarme STALL est active pour 1 seconde

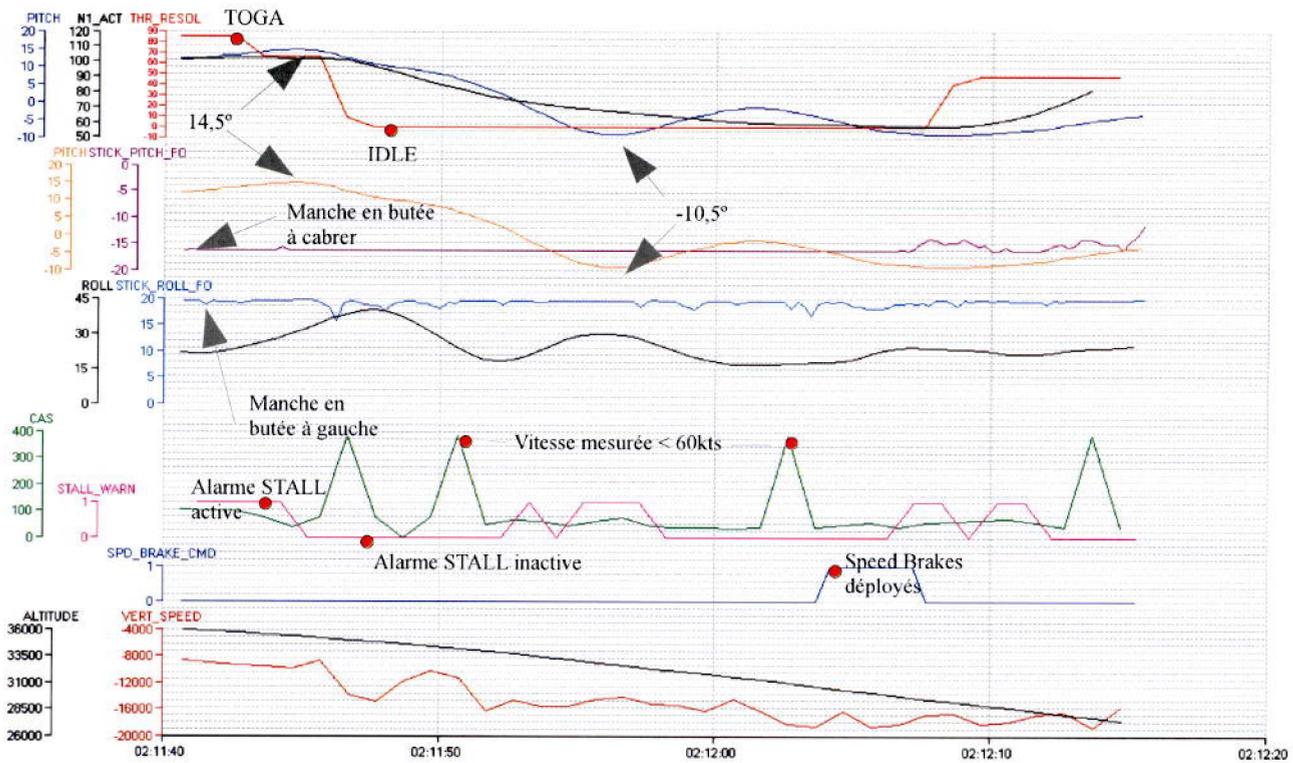
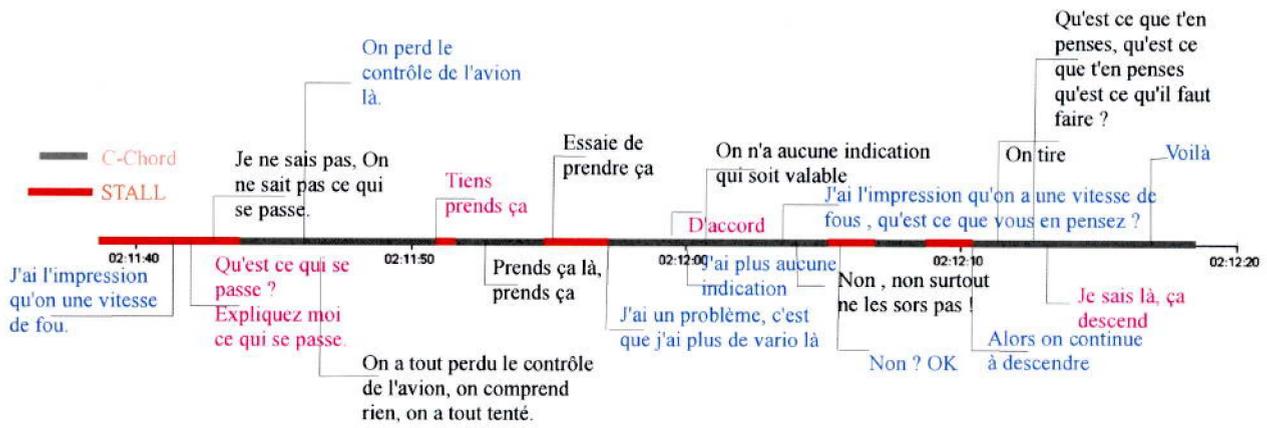
A **02h12.11** Le PF a placé les SPEED BRAKES sur rentrés (RET) et remarque : « *Alors on continue à descendre* ».

A **02h12.13** Le PNF ordonne : « *On tire* »

A cet instant l'altitude est 28 200ft.



D6716/



DB716/

Développement :

Le PF vient de dire : « J'ai l'impression qu'on a une vitesse de fou », dans le même temps les manettes de poussée sont placées sur ralenti (IDLE). L'avion entame une abattée à piquer de 25° environ et part en forte inclinaison à droite.

Le PF réagit avec une action maximale sur le manche pour contrer cette abattée.

Le CdB a déjà perçu quelque chose d'anormal lorsqu'il pénètre dans le poste de pilotage à 02h11.42 et interroge brutalement les pilotes: « Qu'est ce qui se passe, expliquez moi ce qui se passe? ».

A cet instant l'alarme STALL avec Cricket s'arrête et l'alarme C-Chord reprend presque aussitôt.

Le PNF répond : « Je ne sais pas ce qui se passe, on ne sais pas ce qui se passe » sans plus de précision.

Le PF apporte une première précision, non pas pour répondre au CdB, mais parce qu'il ne peut maîtriser l'abattée qu'il subit : « On perd le contrôle de l'avion », ceci est repris par le PNF « On a tout perdu le contrôle de l'avion, on comprend rien, on a tout tenté ».

Au moment où le CdB revient dans le poste de pilotage, la situation visible et audible ne reflète pas ce que l'équipage a vécu jusqu'alors.

Le PNF ne rend pas compte précisément et indique la perte de contrôle et que tout a été tenté.

Le CdB propose avec une voix calme: « Tiens prends ça », ceci est repris par le PNF: « Prends ça là, essaie de prendre ça », les experts n'ont pu déterminer la signification de cette demande.

Le PF exprime à nouveau la perte de contrôle: « J'ai un problème, c'est que j'ai plus de vario³⁹ là, je n'ai plus aucune indication ». Il a toujours à cet instant une action maximale sur le manche pour contrer l'abattée.

L'affichage du vario (Variomètre = vitesse verticale) avec l'aiguille en butée est interprété comme un défaut, les commandes lui semblent inefficaces.

Les vitesses indiquées apparaissent par intermittence et sont inférieures à 60 kts avec parfois le bandeau noir avec l'inscription SPD en rouge. Ceci a pour effet de rendre l'alarme STALL inopérante.

Celle ci sera activée à quatre reprises au cours de cette séquence pour des périodes inférieures à deux secondes avec la voix synthétique STALL seule pour les trois premières et avec cricket pour la dernière.

A 02h12.04 le PF rappelle ce qu'il avait exprimé 20 secondes plus tôt : « J'ai l'impression qu'on a une vitesse de fou, qu'est ce que vous en pensez? » et déploie les SPEED BRAKES⁴⁰ à cet instant.

Ceci montre que le PF n'a pas conscience de la basse vitesse et que le bruit ambiant qui est devenu plus important depuis l'apparition du « BUFFET » est analysé comme une survitesse « OVERSPEED ».

39 VARIO : Variomètre, instrument indiquant la vitesse verticale VS

40 SPEED BRAKES : SPOILERS/Aérofreins

La réaction du PF est cohérente avec cette analyse : Manettes de poussée sur ralenti et sortie des SPEED BRAKES.

Le PF est en butée de commande et l'avion a des réactions opposées. Il agit sur la réduction de poussée par rapport à la perception de vitesse élevée.

Il persiste dans le diagnostic établi à 02h11.41 en restant sur le même schéma mental ⁴¹ de la vitesse excessive.

Le PNF le reprend : « Non surtout ne les sors pas ! » exprimant ainsi qu'il ne partage pas le diagnostic du PF, mais n'apporte pas de justification à ce refus.

Au cours de la manœuvre des SPEED BRAKES et juste avant leur rentrée, l'alarme STALL est active à deux reprises, dont une avec le cricket, pour une durée inférieure à deux secondes. A cet instant les manettes de poussée sont déplacées de IDLE (ralenti) vers la poussée CLIMB.

Cet enchaînement rapide d'actions et d'échanges révèle deux attitudes opposées entre le PF et le PNF.

Le PF se considère en survitesse et sort les SPEED BRAKES (Aéofreins) pour réduire la vitesse et le PNF réagit à l'alarme STALL en ordonnant : « Ne les sors pas ! » en appliquant la poussée CLIMB.

La divergence de projet d'action se précise : le PF dit : « Alors on continue à descendre » et le PNF répond : « On tire » pour lui signifier de prendre une assiette à cabrer pour reprendre de l'altitude.

Commentaire d'experts : Au moment de l'arrivée du CdB dans le poste, la situation visible et audible ne reflète pas ce que l'équipage a vécu jusqu'alors. Tous les éléments sont réunis pour créer une situation incompréhensible, aggravée par l'affirmation du PNF « On a tout tenté », sans pour autant dire ce qu'ils ont tenté et pourquoi ils l'ont tenté.

Le PF est resté sur le schéma mental de la survitesse, le PNF prend l'autorité et réagit à l'alarme STALL en appliquant la poussée CLIMB. Le CdB a une attitude passive. A cet instant, il ne peut être établi que l'avion soit rattrapable.

⁴¹Le **schéma mental** regroupe des représentations mentales d'une séquence ordonnée d'actions pour atteindre l'objectif. Le Schéma mental est élaboré rapidement et n'est pas modifié ensuite.

6.2.7.2 De 02h12.13 à 02h12.26

Description factuelle :

A **02h12.14** Le PNF cherche une confirmation au près du CdB de l'ordre qu'il vient de donner : « *Qu'est ce que t'en penses, qu'est ce que t'en penses, qu'est ce que tu vois ?* ».

Le CdB est depuis 40 secondes dans le poste de pilotage et il s'est exprimé seulement deux fois de manière brève et laconique « *Alors tiens prends ça* » et « *D'accord* ».

A **02h12.15** Le CdB répond au PNF avec une voix calme : « *Je ne sais pas, ça descend* ». Ceci confirme la trajectoire de l'avion en descente, mais n'apporte pas de réponse sur ce qu'il faut faire.

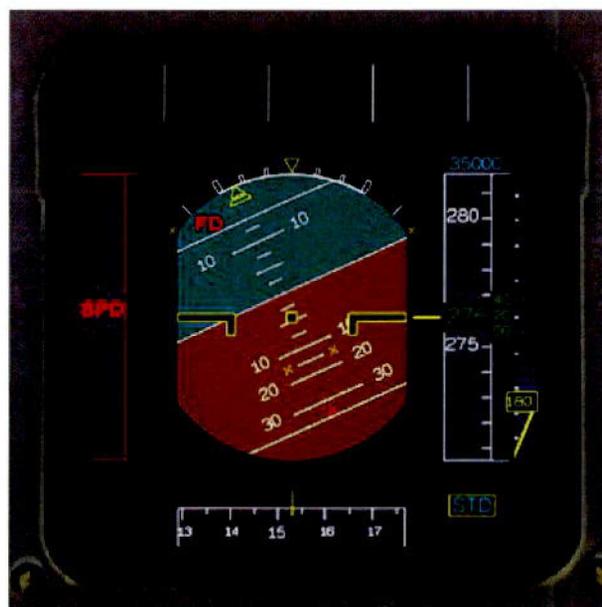
Depuis **02h12.12** l'accélération verticale est redevenue positive (supérieure à 1g) alors qu'elle était légèrement inférieure à 1g dans les phases précédentes (depuis 02h11.02).

Pour mémoire il faut rappeler que le champ de pesanteur est de 1g au niveau du sol et la force à laquelle est soumise un corps en raison de la pesanteur est appelée poids de ce corps.

Cette accélération supérieure à 1g a pour effet le ressenti d'un poids supérieur au poids réel, c'est à dire un effet de « ressource » perceptible lorsque l'on passe du vol en descente au vol en montée.

En fait, cette accélération se matérialise par une variation à cabrer de l'assiette, mais la trajectoire est toujours à piquer avec une vitesse verticale très importante de l'ordre de 16000 ft/mn en descente.

A **02h12.15** Le manche est positionné par le PF en butée arrière à cabrer depuis 38 secondes et en butée à droite en roulis depuis 50 secondes.



02h12.15

A **02h12.17** L'assiette est de nouveau positive à cabrer.

A **02h12.19** La poussée s'établit à la poussée maximale soit 106%. et le PF place le manche au

neutre en roulis et place le manche légèrement à piquer en tangage.

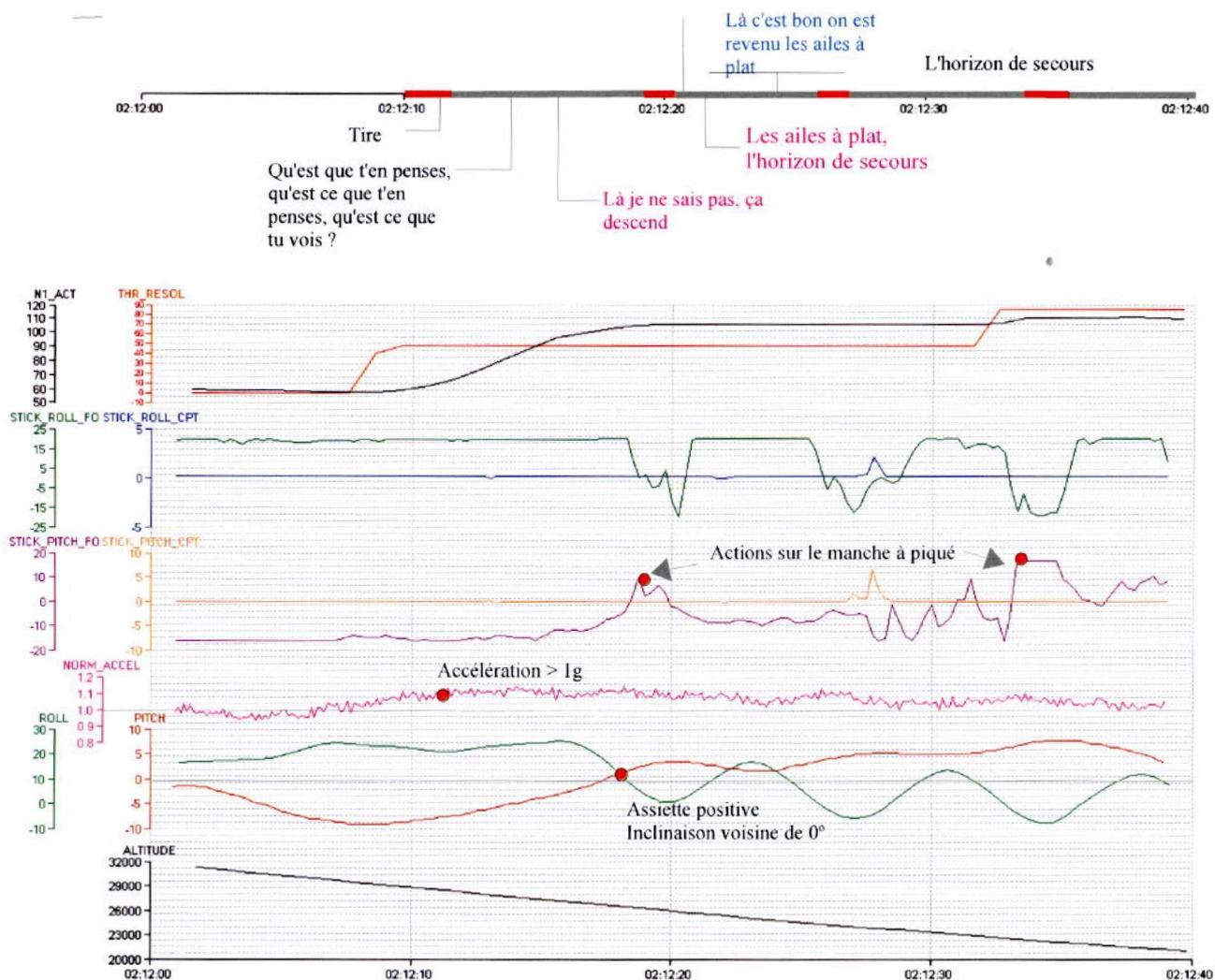
Le PF dit alors : « Voilà » puis une seconde plus tard : « Là c'est bon, on serait revenu les ailes à plat, non tu crois pas ? »

A 02h12.20 L'alarme STALL sans le Cricket est active pendant moins d'une seconde (origine CVR, pas enregistrée sur le FDR) et l'alarme C-Chord continue reprend.

A 02h12.23 Le CdB intervient avec autorité : « Les ailes à plat, l'horizon de secours »

Le PNF renchérit avec une certaine précipitation dans la voix.: « L'horizon de secours, l'horizon de seconde (pour secours) »

A 02h12.26 l'altitude est de 24 400ft



Développement :

Le PNF vient de montrer son leadership dans la phase précédente en donnant l'ordre de rentrer les aérofreins et de tirer sur le manche. Il sollicite l'accord et le soutien du CdB: « Qu'est ce que tu en penses, qu'est ce qui faut faire ? ».

Le CdB se limite au constat de l'avion en descente ; il est dans le poste de pilotage depuis 40 secondes et n'a pas exprimé d'analyse de la situation.

Le PF est concentré sur la récupération de la forte inclinaison à gauche. Il se convainc qu'il maîtrise l'inclinaison lorsqu'il parvient à avoir les ailes à plat, c'est à dire une inclinaison nulle. En fait ce n'est qu'une situation transitoire.

L'assiette qui était à piquer jusqu'alors, redevient positive à cabrer à 02h12.17.

L'alarme STALL est active pendant moins d'une seconde car la vitesse est redevenue disponible au-delà de 60 kts (64,87 kts à 02h12.19,375). Elle est ensuite disponible mais inférieure à 60 kts (42,12 kts à 02h12.20,175) et dans ce cas l'alarme n'est pas activée.

Cette particularité est propre à la conception de l'avion et respecte sa définition.

Néanmoins elle ne correspond pas à la règle générale de certification qui veut que l'alarme s'arrête quand le défaut disparaît. (CS 25.207 § 5.7.1.3.2)

Dans cet espace temps 02h12.18 à 02h12.20, alors que le PF a une action sur le manche à piquer, l'alarme est active, et dans l'instant suivant, lorsqu'il a une action à cabrer, elle disparaît.

Il s'agit là d'un modèle mental basique acquis, qui consiste, lorsqu'une action déclenche une alarme à réaliser l'action opposée.

Dans cette configuration avec une vitesse mesurée inférieure à 60kt, le principe de base est inversé.

L'action sur le manche à piquer, c'est à dire la diminution de l'incidence et l'augmentation de la vitesse, active l'alarme STALL dès lors que la vitesse mesurée devient supérieure à 60kts.

En revanche, l'action sur le manche à cabrer, c'est à dire l'augmentation d'incidence et diminution de vitesse, désactive l'alarme STALL dès lors que la vitesse mesurée repasse en dessous de 60kts.

La tension est perceptible dans la réponse du CdB puis dans l'affirmation du PNF ensuite d'utiliser l'horizon de secours. Celui-ci est en effet sur le panneau central et parfaitement visible du CdB.

Commentaire d'experts : Le CdB n'a pas de diagnostic de la situation, et ne peut répondre au PNF qui le sollicite.

Le PF retrouve une attitude (assiette et inclinaison) qui lui fait dire qu'il a le contrôle de l'avion.

L'alarme STALL a un fonctionnement inversé pour une vitesse mesurée inférieure à 60kts.

La tension devient perceptible au sein de l'équipage.

6.2.7.3 De 02h12.26 à 02h12.44

Description factuelle :

A 02h12.27 Le PNF exprime la recherche d'une information exploitable : « Ta vitesse ? » et apporte lui même la réponse à son interrogation : « Tu montes ! » et poursuit aussitôt en ordonnant : « Tu descends, descends, descends, descends ! » Dans ce même temps l'assiette évolue de 4,2° à 5,2° à cabrer. Il faut rappeler que l'assiette habituelle en croisière est de 2,5°.

A 02h12.30 Le PF répond sous forme interrogative : « Je suis en train de descendre là ? »

A **02h12.32** Le PNF réitère son ordre : « *Descends* » et le CdB répond au PF : « *Non tu montes là* »
Entre 02h12.27 et 02h12.32 le PF a une action désordonnée sur le manche majoritairement à cabrer.

A **02h12.32** les manettes de poussée sont placées dans le cran TOGA

A **02h12.33** Le PF acquiesce et annonce : « *Là je monte, OK, alors on descend* ».

A **02h12.33** La poussée est effective à 109,3% (alors que la poussée CLIMB était à 105%)

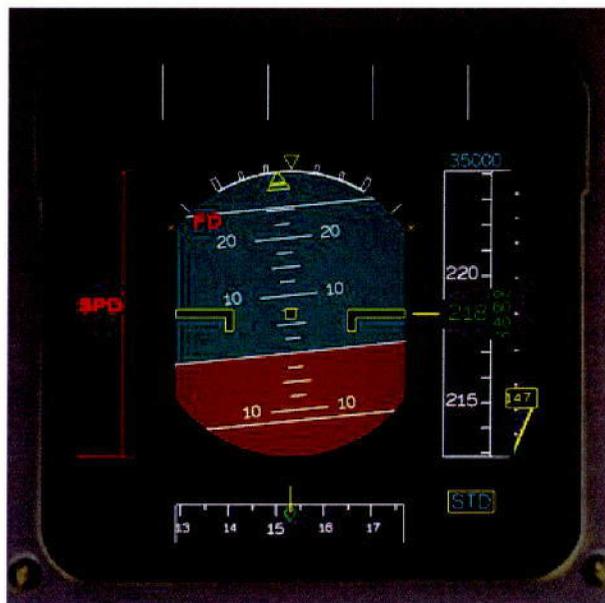
Le PF a alors une action franche sur le manche à piquer, proche de la butée, l'alarme décrochage : « STALL » avec Cricket est activée.

L'ELEVATOR (Gouverne de profondeur) passe de la position - 30 à la position -20 à cabrer pendant la durée de l'action en butée à piquer sur le manche et se stabilise au voisinage de cette position à cabrer lorsque le manche est ramené à une position voisine du neutre.

L'assiette évolue toujours à cabrer vers 7° atteints à 02h12.36.

L'alarme STALL est désactivée et l'alarme C-Chord est active à nouveau.

A **02h12.37** Le PF maintient le manche dans une position voisine de la position neutre



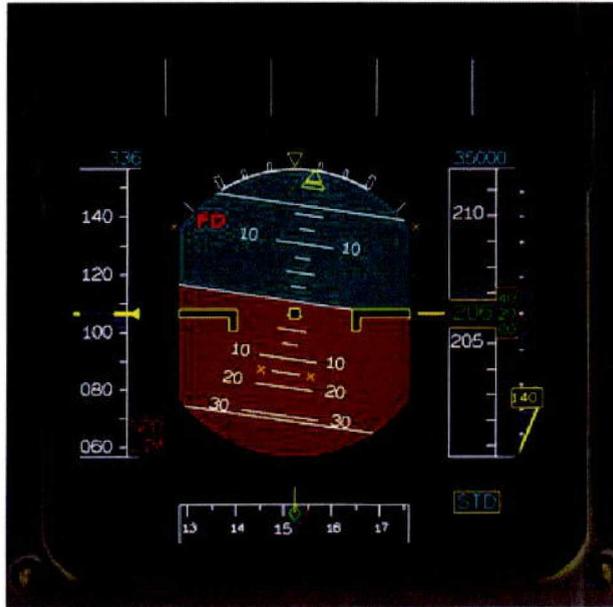
02h12.37

L'assiette est stabilisée et diminue pour devenir négative à 02h12.40.

A **02h12.39** Le PF annonce : « *OK, on est en TOGA* »

A **02h12.40** L'alarme STALL avec Cricket est activée pendant 6 secondes.

D6716

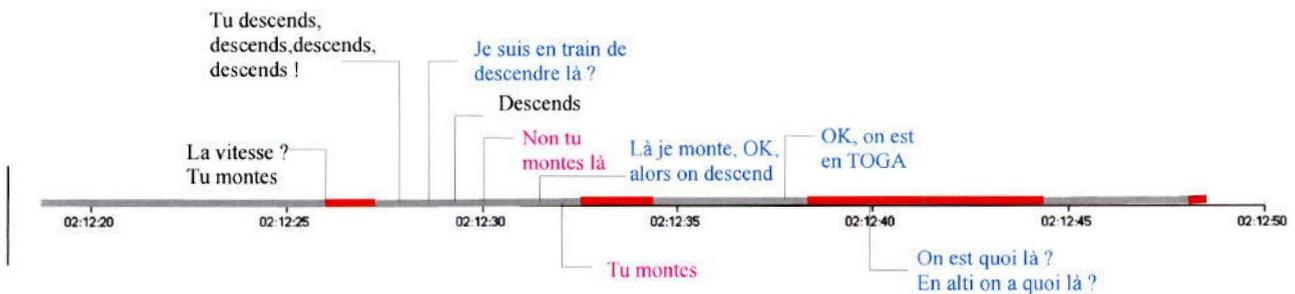


02h12.41

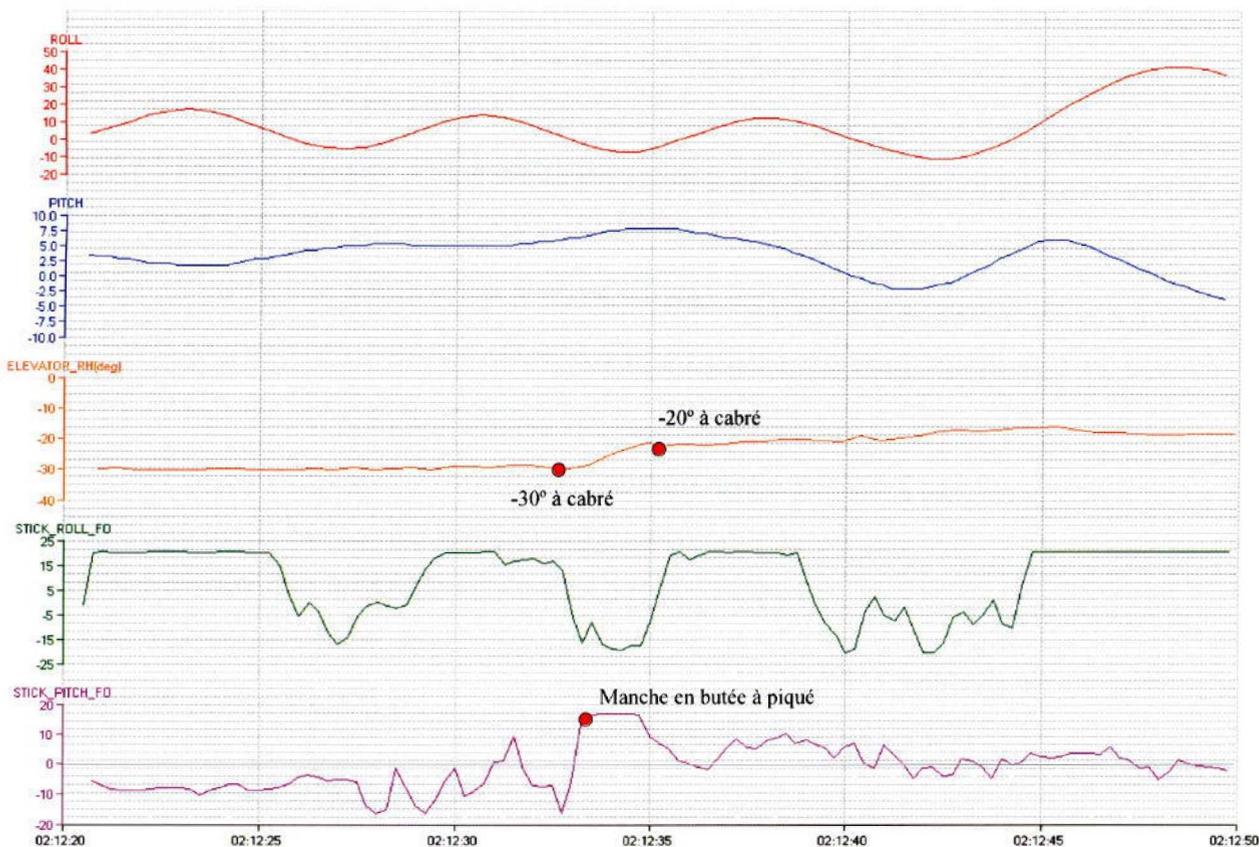
A 02h12.41 le PF annonce : « On est quoi là, en alti on a quoi ? »

A 02h12.44 Le CdB annonce : « Oh, P..., c'est pas possible »

Pendant toute cette phase, le PF a une action sur le manche en roulis atteignant la butée pour contrer l'inclinaison sans parvenir à la stabiliser mais entretient une ondulation régulière à gauche et à droite.



DG716



Développement :

Le dialogue qui s'instaure entre les trois membres d'équipage révèle la confusion et le fait qu'aucune analyse commune n'est réalisée.

Le vocabulaire utilisé n'est pas le vocabulaire opérationnel technique adapté. Ceci ajoute à la confusion et ne permet pas une compréhension immédiate par tous les membres de l'équipage.

Le PNF déduit après analyse de la vitesse que l'avion « monte » et ordonne aussitôt au PF de « descendre ».

Les éléments objectifs qui permettent cette analyse sont l'altimètre et le variomètre.

A 02h12.27 la vitesse indiquée est entre 40 et 60kts, l'altimètre indique 24 000ft en descente, c'est à dire avec une valeur affichée en diminution et un défilement rapide.

La valeur indiquée dans la fenêtre inférieure du PFD, exprimant la vitesse verticale en données numériques, est d'environ 150 avec des chiffres de couleur ambre alors que l'aiguille du variomètre, de couleur ambre également est en butée inférieure.

Ces deux valeurs objectives, qui permettent de définir la trajectoire en montée ou en descente, ne sont pas retenues, c'est à dire qu'elles ne sont ni perçues ni analysées ou qu'elles sont écartées car considérées comme non fiables.

« Tu montes » n'est donc pas un diagnostic établi avec une perception objective, la valeur complémentaire qui peut être retenue est l'assiette. En effet une assiette à cabrer est généralement

06716

associée à une trajectoire en montée ; or à 02h12.27, l'assiette est de 4,9°, soit 2,4° supérieure à l'assiette de croisière normale.

C'est le seul paramètre qui peut justifier la remarque du PNF.

Le PF réagit à l'ordre du PNF « descends, descends, descends » en lui rétorquant : « Je suis en train de descendre là ? » manifestant son incompréhension.

Le CdB confirme le diagnostic du PNF et répond avec calme : « Non tu montes là », le PF obtempère en ayant une action sur le manche à piquer, mais le ton de sa réponse montre qu'il se range, sans comprendre, à l'avis de ses collègues.

Cette action sur le manche à piquer permet une courte excursion de la vitesse indiquée au dessus de 60 kts (62,75 kts à 02h12.34.625) qui a pour effet d'activer l'alarme de décrochage.

Le PF se retrouve confronté au fonctionnement inversé de l'alarme de décrochage et l'action sur le manche à cabrer est diminuée. L'alarme STALL est alors interrompue.

L'action à piquer sur le manche induit un déplacement de la gouverne de profondeur qui passe de la butée à cabrer - 30° à la position -20° à cabrer.

L'action sur la gouverne de profondeur est limitée par la loi ALTERNATE 2B qui est toujours active, la particularité de cette loi de pilotage est de prendre en compte le facteur de charge et non de commander directement la position des gouvernes.

Cela signifie que, dans le cas présent, une action sur le manche à piquer en butée n'induit pas un déplacement de la gouverne en butée dans le même sens.

Le PF rappelle que la poussée TOGA est appliquée. Il a la même réaction qu'à 02h10.55 lorsque l'alarme STALL avec Cricket a été activée pendant 54 secondes.

A 02h12.40 l'alarme STALL est à nouveau active ; le PF exprime sa surprise et son incompréhension : « On est quoi là ?, en alti on a quoi là ? ».

Les ordres du PNF et du CdB pour descendre, une lecture de l'altimètre qui ne correspond pas au constat des autres membres de l'équipage (« Tu montes »), l'alarme STALL active avec une action sur le manche à piquer, et la pleine poussée affichée le font réagir sur l'incohérence des ordres et des actions avec les informations visibles « On est quoi là ? ».

En réponse à 02h12.44 le CdB acquiesce : « Oh,P... c'est pas possible ».

Commentaire d'experts : Le stress intense devient perceptible, la communication au sein de l'équipage utilise un vocabulaire non conventionnel qui ajoute à la confusion. Les informations visibles valides sont rejetées et le segment perception-diagnostic de trajectoire en montée n'est pas partagé par le PF. Le fonctionnement inversé de l'alarme de décrochage ajoute à la confusion sur l'action sur le manche et le pilotage de l'avion. La loi ALTERNATE 2B reste active hors du domaine de vol connu limitant l'action de la gouverne de profondeur et perturbant la stabilité longitudinale naturelle.

6.2.7.4 De 02h12.44 à 02h13.18

Description factuelle :

A 02H12.44 Master Caution lié au message ECAM ADR DISAGREE

A 02h12.44 L'avion part en roulis à droite à 40° qu'il atteint à 02h12.48

Le PF a une action sur le manche en roulis à gauche en butée

A 02h12.45 Le PF poursuit : « *En alti on a quoi ?* »

A 02h12.46 L'alarme STALL devient inactive car la vitesse mesurée est inférieure à 60kts. Le PF a une légère action sur le manche à piquer à cet instant.

A 02h12.47 c'est le PNF qui répond : « *Comment ça en altitude ?* »

A 02h12.49 Le PF insiste : « *Ouais, ouais, je descends là non ?* »

Le PF a une action à cabrer et l'alarme STALL devient active à nouveau.

A 02h12.50 Le PNF acquiesce : « *Là tu descends oui* »

A 02h12.54 Le CdB, après une hésitation, annonce : « *Mets, mets les ailes horizontales* ». L'inclinaison est de 25° à droite en augmentation à cet instant.

A 02h12.55 L'alarme STALL est inactive

A 02h12.56 Le PNF renchérit : « *Mets les ailes horizontales !* » et dans le même temps le PF répond : « *C'est ce que je cherche à faire* »

A 02h12.57 Le CdB ordonne : « *Mets les ailes horizontales !* »

A 02h12.59 Le PF répond : « *Je suis à fond ...avec du gauchissement* »

Dans le même temps, l'alarme « DUAL INPUT » est activée une fois alors que le PNF a une action sur le manche en roulis à gauche.

A 02h13.00 le CdB recommande : « *Le palonnier* »

A 02h13.02 Le PF a une action sur le palonnier à gauche puis à droite, l'inclinaison revient rapidement à 0° avant de reprendre une oscillation entretenue.

A 02h13.05 Le CdB rappelle au PF : « *Les ailes à l'horizontale, doucement, doucement* »

A 02h13.11 Le PNF annonce : « *On a tout perdu au niveau gauche* » puis « *Je n'ai plus rien là* »,

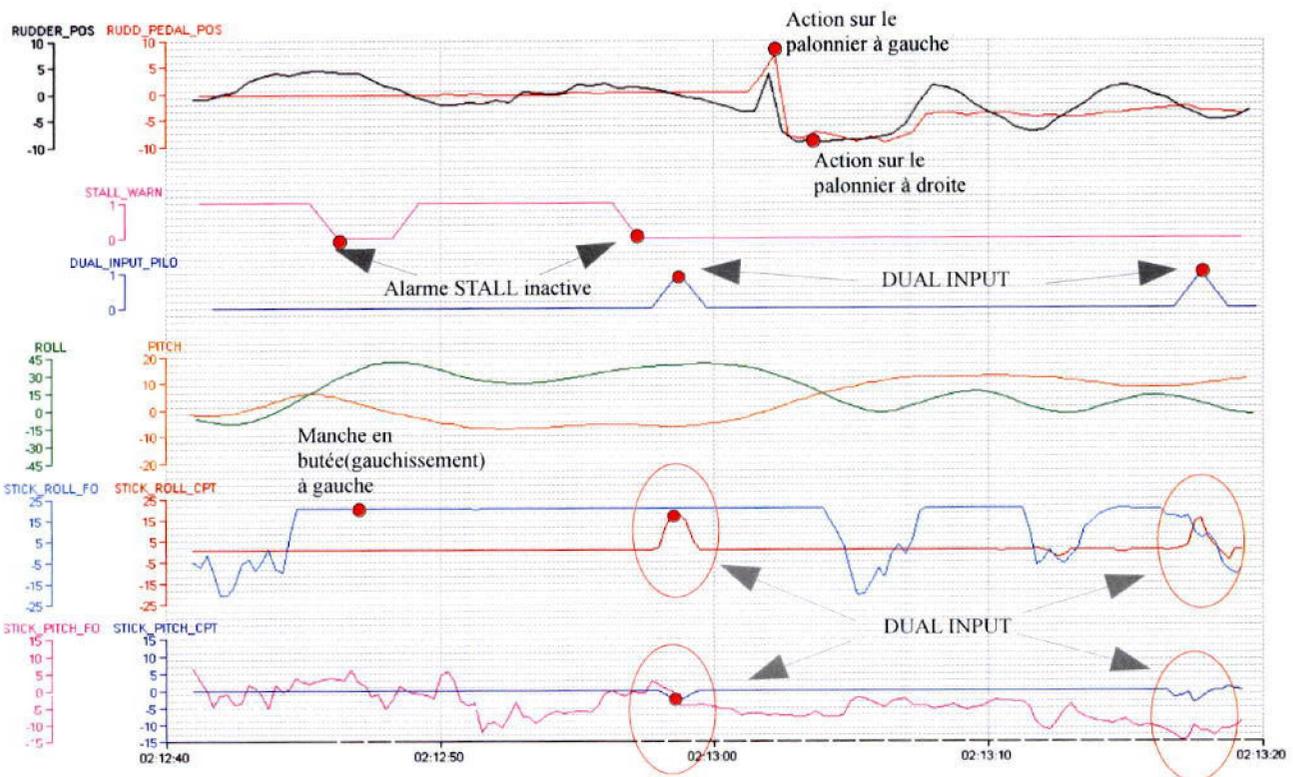
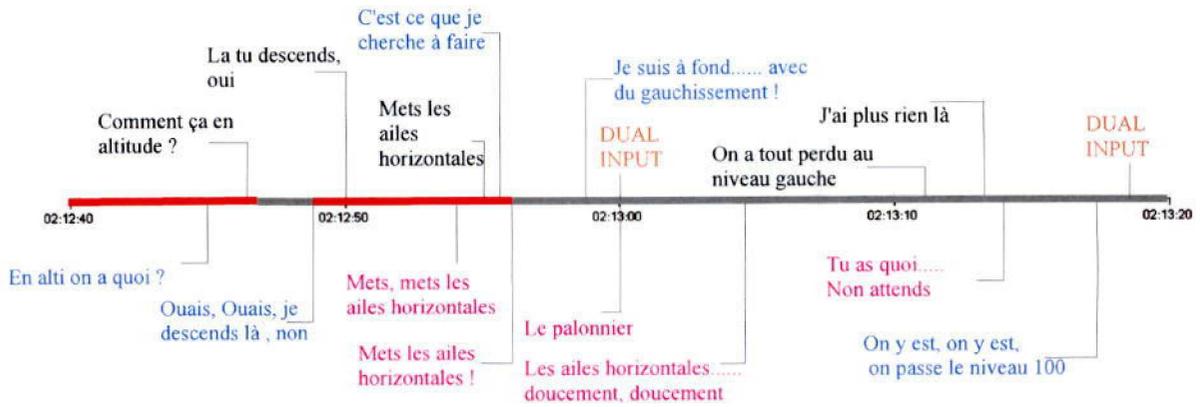
A cet instant, le PNF a une action sur le manche en roulis

A 02h13.15 Le CdB surpris lui répond : « *Tu as quoi ?.....non attends...* »

A 02h13.18 Le PF annonce : « *On y est, on y est, on passe le niveau 100* »

A cet instant l'altitude est 12 800ft

D6716/



Développement :

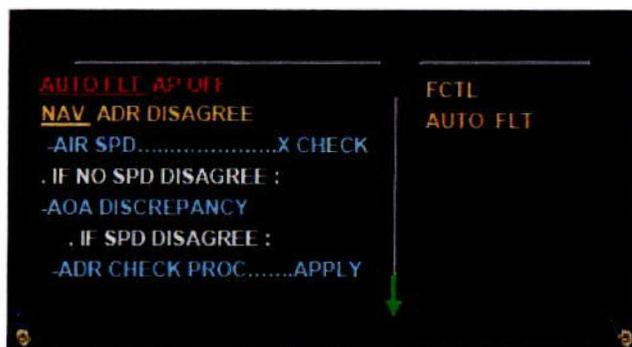
Le phénomène de décrochage, c'est à dire la perte de sustentation, n'est pas constant sur la totalité de la surface de l'aile à un instant donné.

En effet la forme de l'aile évolue entre le fuselage et l'extrémité de l'aile d'une part, et d'autre part subit des déformations dues à la flexibilité de la structure de l'aile elle-même.

C'est cette situation de répartition inégale temporaire de la sustentation qui génère un déséquilibre à 02h12.44 et qui a pour conséquence une abattée en roulis de 40° à droite, indépendante de l'action sur le manche.

D6716/

02h12.44



A cet instant le message NAV ADR DISAGREE qui apparaît sur l'ECAM n'est pas exploité.

Le PF, par action réflexe, a une action sur le manche en roulis en butée à gauche.

Le PF, qui a été contrarié par l'incohérence des ordres (Tu montes, descends) veut lever le doute sur les interprétations contradictoires de ses collègues en questionnant : « En alti on a quoi ? ».

La réponse interrogative du PNF : « Comment ça en altitude ? » révèle que l'altitude n'était pas le paramètre perçu qui avait généré l'ordre de descendre.

Le PF doit préciser : « Ouais, Ouais, je descends là non ? » pour que le PNF valide en quelque sorte le paramètre de descente qu'est l'altimètre et la perception qu'en a le PF.

A cet instant le CdB ordonne au PF : « Mets les ailes horizontales », aussitôt repris avec force par le PNF : « Mets les ailes horizontales ».

Le PF est de nouveau déstabilisé par ces ordres relatifs à son pilotage. Il a réagi à l'abattée et a une action sur le manche en butée depuis 10 secondes. Il exprime la tentative de maîtrise de l'inclinaison dans sa réponse : « Je suis à fond..en gauchissement ».

Le PNF à cet instant, 02h12,59, a une action sur le manche. Celle-ci est sans effet en raison de l'action en butée du PF et lui fait dire à 02h13.11, alors qu'une nouvelle action sur le manche est sans effet: « On a tout perdu au niveau gauche, j'ai plus rien là »

Le CdB qui a compris la difficulté de la maîtrise de l'inclinaison par le PF, lui propose : « Le palonnier ». Cette remarque est prise en compte par le PF et contribue à ramener les ailes horizontales.

Cet ordre du CdB est conforme aux pratiques de pilotage et d'utilisation de la gouverne de direction commandée par le palonnier pour la maîtrise de l'inclinaison en situation de décrochage.

Le CdB réagit à la remarque du PNF : « J'ai plus rien là » par la surprise car il n'a pas d'élément objectif visible pour comprendre ce qui justifie cette remarque.

Dans cette phase, la prise de commande à gauche n'a pas été annoncée et l'appréciation de la position respective des manches est difficile du siège observateur.

Le PF annonce alors : « On y est, on y est , on passe le niveau cent ». Cette annonce conventionnelle est un rappel supplémentaire du PF sur la validité de l'information d'altitude.

Elle révèle également que le PF ne prend pas en compte la remarque du PNF.

Commentaire d'experts : La tension devient plus forte au sein de l'équipage où la synergie est absente.

Le PF manifeste son désaccord sur les remarques de ses collègues sur son pilotage. Il

6.2.7.5 De 02h13.18 à 02h13.59

Description factuelle :

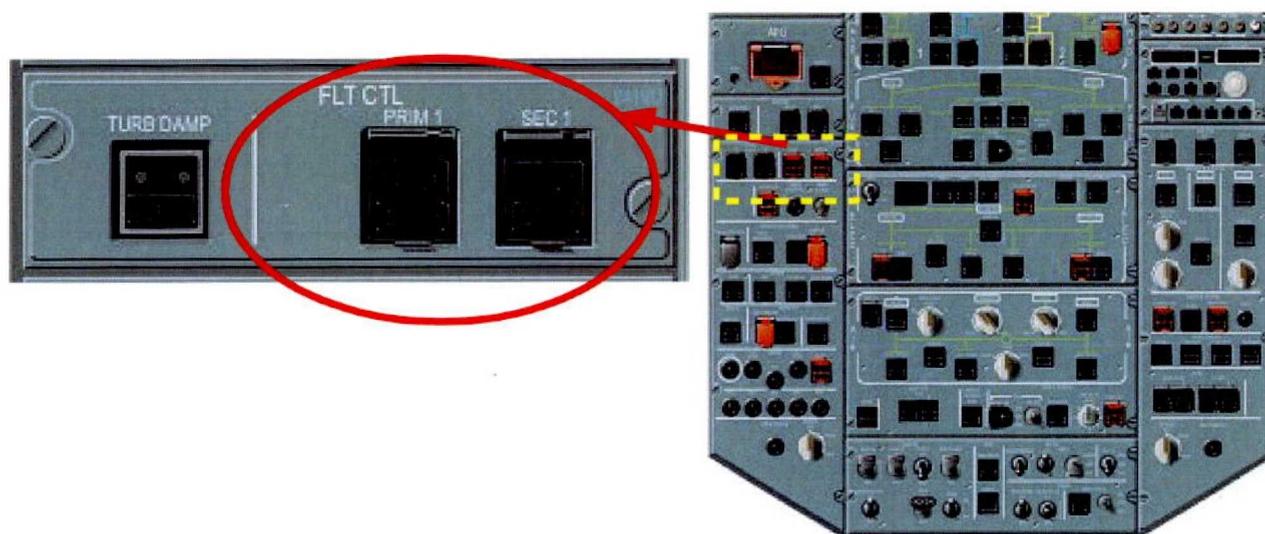
A **02h13.19** Le PNF annonce que les commandes de vol sont disponibles de son côté : « Attends, moi j'ai des commandes, moi » et il a une action sur le manche en tangage et en roulis.

Le PF a toujours une action sur le manche

A **02h13.23** l'alarme « DUAL INPUT » est active.

A **02h13.25** Le PF exprime son incompréhension de la situation : « Qu'est ce qui...comment ça se fait qu'on continue à descendre à fond là ? »

A **02h13.28** Le PNF demande au CdB : « Essaie de trouver ce que tu peux faire avec les commandes là hautles primaires etc.. », le CdB lui répond : « ..fera rien »



A **02h13.32** le Le PF annonce :

« Niveau cent...9000 pieds »

A **02h12.37** Le CdB mets le bouton poussoir PRIM1 sur OFF(418) puis le bouton SEC1 sur OFF situés au panneau supérieur.

A **02h13.38** Le CdB rappelle : « Doucement avec le palonnier là »

A **02h13.40** Le PNF ordonne : « Remonte, remonte, remonte, remonte ! »

A **02h13.40** Le PF lui répond : « Mais je suis à fond à cabrer depuis tout à l'heure ! »

A **02h13.42** L'alarme « DUAL INPUT » est active à trois reprises » (02h13.44 et 02h13.46)

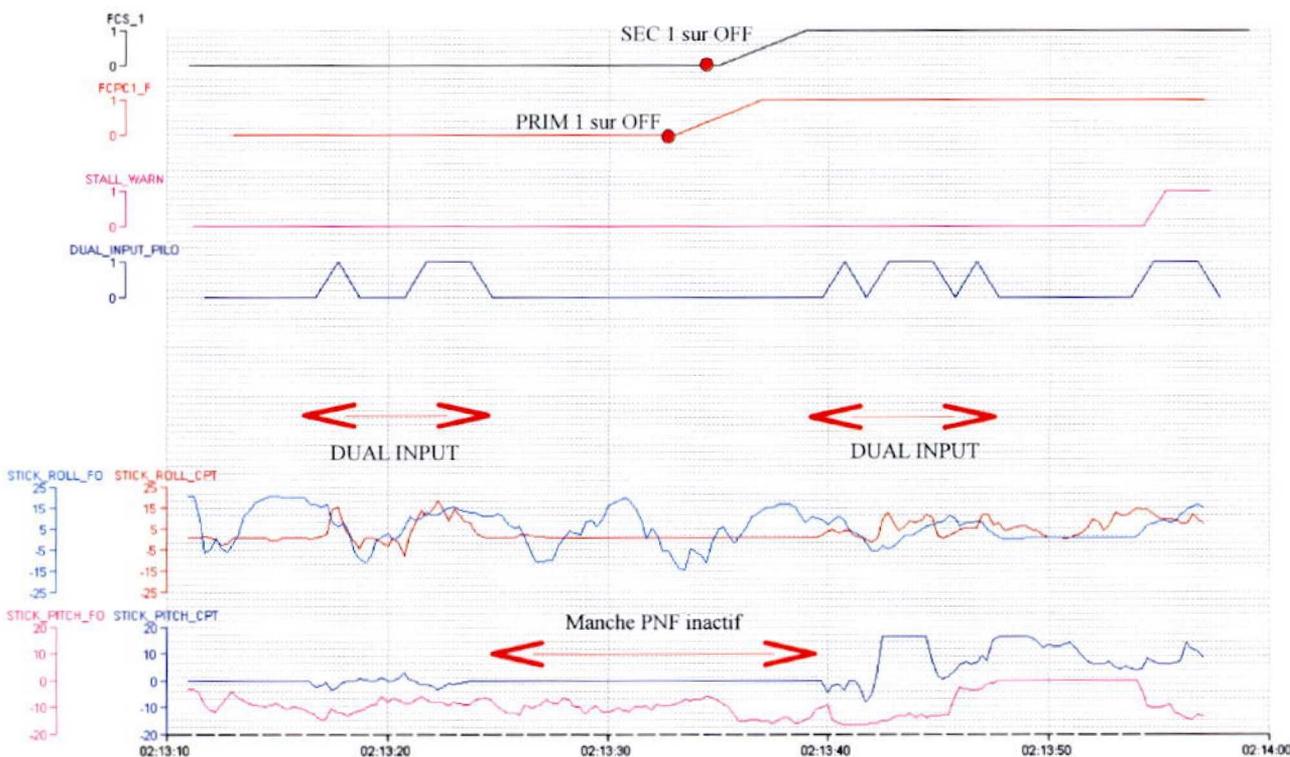
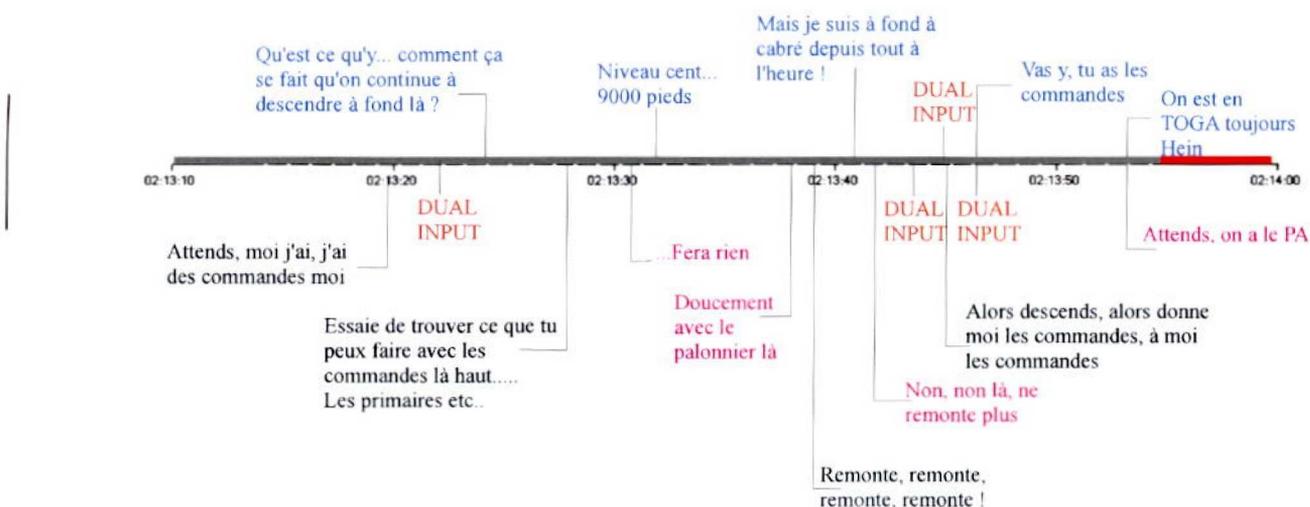
A **02h13.43** Le CdB intervient : « Non, non, non, ne remonte plus »

A 02h13.44 Le PNF reprend : « Alors descends.. alors donne moi les commandes, à moi les commandes »

A 02h13.46 Le PF acquiesce : « Vas-y tu as les commandes.....on est en TOGA toujours, hein»

A 02h13.53 Le CdB intervient, semblant réfléchir à haute voix : « Alors attends..on a le PA.. »

A 02h13.55 L'alarme STALL avec Cricket est active pour 8 secondes.



26716/232

Développement :

Malgré sa remarque : « J'ai plus rien là », le PNF reprend les commandes à 02h13.16 puis annonce : « Attends, moi, j'ai des commandes moi ! ». Il prend ainsi l'initiative, a une action sur le manche pendant 7 secondes, ce qui provoque l'activation de l'alarme DUAL INPUT car le PF a également une action sur le manche.

Le PNF relâche son action sur le manche et demande ensuite au CdB : « Essaie de trouver ce que tu peux faire avec les commandes là haut... »

Le CdB, pas convaincu, lui répond que ça « ne fera rien » mais appuie néanmoins sur les boutons poussoirs PRIM1 et SECI.

Cette action a pour effet de remplacer le calculateur de commandes de vols N°1 par le calculateur N°2.

Le calculateur N°2 devient « maître », l'action est transparente pour le pilotage et les indications visibles.

Cette action sur les boutons poussoirs n'est envisagée que lorsqu'un message de panne apparaît sur l'ECAM. (F/CTL PRIM 1 (2) (3) FAULT)⁽⁴¹⁹⁾ ce qui n'est pas le cas

Le PF n'est pas dans la boucle d'analyse du PNF et de l'action du CdB, la situation est incompréhensible pour lui, il s'interroge sur la raison du fort taux de descente.

Il poursuit en annonçant le passage du niveau 100, c'est à dire 10 000 ft en descente. Cette annonce est, certes règlementaire, mais rappelle aux autres membres de l'équipage que l'avion descend rapidement et qu'il faut prendre cet élément en compte.

Le PNF réagit et ordonne : « Remonte, remonte, remonte, remonte ».

Il a à cet instant une action sur le manche mais celle-ci est à piquer, c'est à dire contraire et à l'opposé de l'ordre qu'il donne au PF. Ces actions combinées activent la voix synthétique « Dual input »

Le PF lui réplique : « Mais je suis à fond à cabrer depuis tout à l'heure ! » pour bien signifier que son action est cohérente.

Le CdB les départage et intervient pour préciser au PF : « Non ne remonte plus »

Le PNF reprend l'initiative : « Alors descends.. alors donne moi les commandes, à moi les commandes »

Le PF acquiesce : « Vas-y tu as les commandes.....on est en TOGA toujours, hein », il n'a alors plus d'action sur le manche pendant près de 10 secondes.

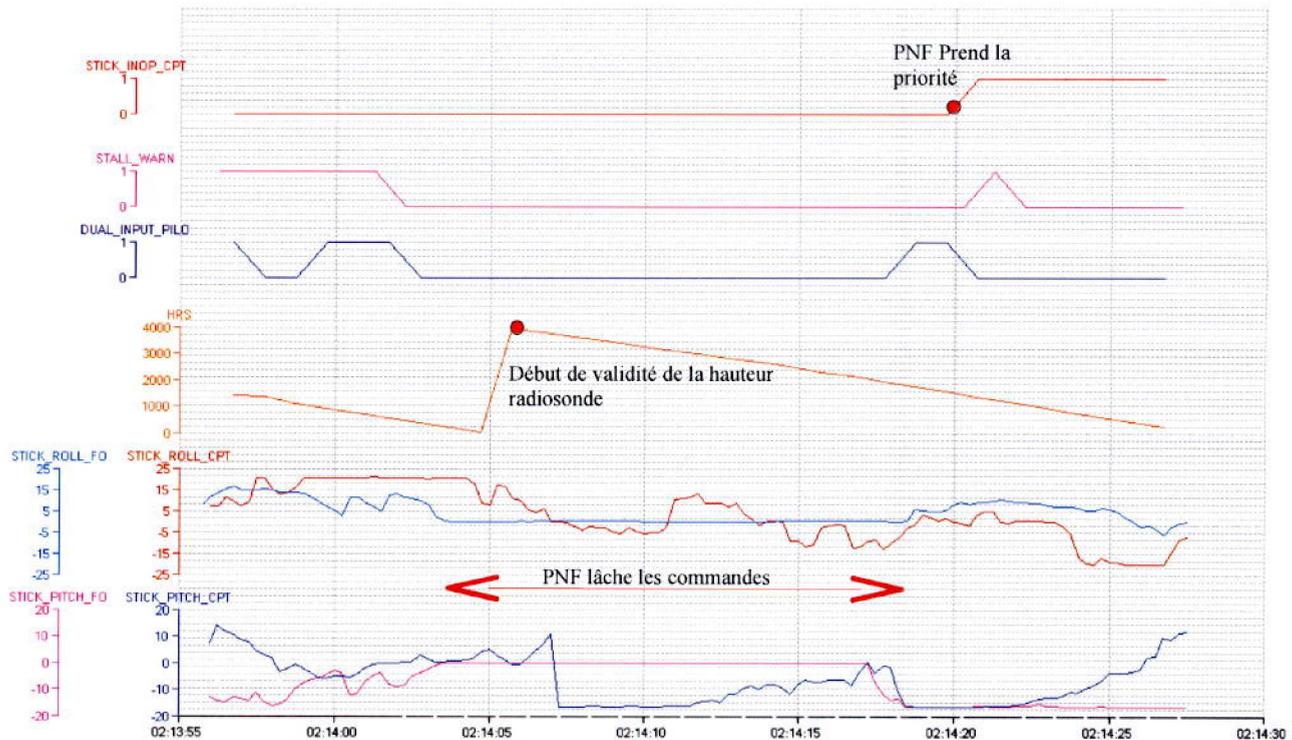
Il a de nouveau une action sur le manche à cabrer de courte durée alors que le PNF a une action opposée.

Dans cette phase de vol, la poussée maximale appliquée a un effet à cabrer non négligeable ; le THS est en butée à cabrer et s'ajoute donc à l'effet à cabrer ; la loi de pilotage Nz (à accélération constante) limite le débattement des gouvernes.

Toutes ces conditions réunies ne permettent plus la récupération du décrochage.

Commentaire d'experts : La divergence de diagnostic est manifeste. Le PF alerte

DGA/16



Développement :

La prise de conscience de la faible altitude est manifestée par l'ordre du CdB vers le PNF : « Alors tu cabres là, tu cabres », cet ordre est prononcé avec calme et fermeté.

Le PF, qui ne touche pas les commandes, est conforté par cet ordre qui rejoint sa préoccupation du fort taux de descente. Il renchérit : « Y faudrait, on est à 4000 pieds ».

A 02h14.16 l'alarme GPWS est active.

Le Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS⁴²)₍₄₂₀₎ déclenche une alarme vocale et visuelle dans les conditions suivantes entre 10 ft et 2450 ft

Mode 1 : Taux de descente excessif. Alarme vocale « SINK RATE »

Mode 2 : Taux de rapprochement du sol excessif. Alarme vocale « PULL UP »

Les alarmes vocales associées à chaque mode sont transmises par les haut-parleurs du poste de pilotage, même si ceux-ci sont sur OFF.

Le volume audio de ces messages n'est pas réglable par les potentiomètres des haut-parleurs, affectés seulement aux communications radio.

L'alarme vocale est un stimuli fort et les pilotes ont été entraînés à avoir une action réflexe immédiate à ce type d'alarme.

Les deux OPL ont une action sur le manche à cabrer et le PF prend la priorité en appuyant sur le bouton de priorité situé sur le manche.

⁴² EGPWS : Enhanced Ground Proximity Warning System (Système d'alarme de proximité du sol)

A 02h12.24 Le PNF exprime que la trajectoire ne peut être maîtrisée et qu'il a conscience de l'issue fatale: « P..... on va taper, c'est pas vrai, mais qu'est ce qui se passe ? »

Le dernier enregistrement est l'ordre du CdB : « Dix degrés d'assiette ».

Cet ordre est conforme au langage conventionnel, il exprime qu'il est dans le schéma d'une tentative d'action.

Commentaire d'experts : Dans cette phase ultime l'équipage réagit conformément à l'alarme de proximité du sol.

6.3 SYNTHÈSE VOL DÉCOUPÉ EN SÉQUENCES

- Du décollage au FL 350

La route suivie est conforme au plan de vol et se déroule conformément aux prévisions. Un défaut de toilettes, sans conséquence, est transmis automatiquement au centre de maintenance d'Air France. Le vol est sans turbulences notoires.

- En croisière jusqu'au point INTOL

A cette heure de la nuit, alors que la charge de travail est faible et que la fatigue se fait sentir, l'équipage remplit les obligations de la préparation de la traversée de la zone ETOPS sans dynamisme.

- En croisière du point INTOL à l'arrivée de l'OPL de renfort

Malgré les interrogations formulées par l'OPL (PF), le CdB ne s'implique pas dans la conduite du vol et n'apporte pas de réponse sur la conduite à tenir face à la masse nuageuse identifiée sur la route.

- De l'arrivée de l'OPL de renfort à la première alarme

Le CdB est passif lors de la relève et laisse le PF faire le briefing. Le PF, conscient de l'importance de la masse nuageuse, informe le PNC. Le PNF analyse la situation et prend l'initiative du choix de l'évitement latéral.

- De la première alarme au décrochage

02h08.00 à 02h10.04

Les actions de l'équipage sont en lien avec l'environnement constaté et aux informations disponibles mais ne répondent pas une procédure en vigueur sur ce type d'avion.

02h10.04 à 02h10.14

L'équipage réagit sans stress apparent à la première alarme en restituant une procédure connue et assimilée : contrôle de la trajectoire et actions immédiates.

L'accumulation des messages, associée à des alarmes sonores successives perturbe la perception de la situation.

L'OPL PF poursuit les actions initiées dans la séquence précédente pour la protection des moteurs, mais l'OPL PNF ne participe pas.

L'alarme STALL est perçue avec surprise sans diagnostic ni actions liées.

02h10.14 à 02h10.26

L'équipage fait le constat, sans analyse, de la perte des indications de vitesse.

L'effet de surprise lié à l'alarme STALL qui retentit une deuxième fois est fort.

Face à l'incompréhension de la situation, le PNF cherche dans la lecture partielle et désordonnée de l'ECAM une justification à ce qu'il perçoit, et revient à son projet d'action initial de prévention des conditions givrantes.

Les perceptions de l'équipage ne sont pas suivies d'un diagnostic. En conséquence aucun traitement de panne n'est initié.

Le PF est concentré sur le maintien de l'inclinaison en raison de la loi directe en roulis et n'assure plus la maîtrise de la trajectoire dans le plan vertical.

02h10.26 à 02h10.32

L'alarme C-Chord initie un processus Perception-Diagnostic-Décision-Action partagé par l'équipage et cohérent pour l'écart d'altitude supérieur à 300ft .

Le vocabulaire inadéquat révèle une augmentation du niveau de stress.

Le mode de réversion V/S conduit à avoir des des barres de tendance centrées. 02h10.32 à 02h10.49

Le PNF guide le PF pour la maîtrise de la trajectoire verticale en s'appuyant sur un diagnostic validé, mais change de projet d'action sans s'assurer de la mise en descente réelle de l'avion.

La commutation des sources ADR et IR est la recherche d'une information valide et non le résultat d'une analyse ou l'application d'une procédure.

Les barres de tendances sont centrées pour une assiette de 6° et une vitesse verticale de 1400 ft/mn en montée.

02h10.49 à 02h11.12

L'équipage composé de deux OPL n'a pas fonctionné suivant la répartition des tâches définie pour un équipage composé d'un CdB et d'un OPL.

Le PNF s'est focalisé sur le retour du CdB pour retrouver une hiérarchie habituelle d'autorité.

La procédure STALL WARNING n'a pas été appelée.

Le suivi de la barre de tendance profondeur du Directeur de Vol a contribué au maintien d'une assiette à cabrer forte.

- Du décrochage au retour du Commandant de Bord

02h11.12 à 02h11.42

L'équipage perçoit la situation anormale mais ne peut élaborer un diagnostic en raison d'éléments contradictoires : Alarme STALL, pleine poussée, assiette affichée en accord avec les barres de tendance.

Le pilotage avec les seules références basiques du VSV⁴³ n'est pas assuré par le PF.

Les indications du Directeur de Vol sont toujours à cabrer.

La perte de contrôle est réelle, perçue par le PF comme une vitesse élevée et par le PNF comme la perte des commandes de vol du côté PNF.

L'avion est hors du domaine de vol connu. Dès lors la possibilité de sortie du décrochage ne peut être établie.

- Du retour du Commandant de Bord à la fin des enregistrements

02h11.42 à 02h12.13

Au moment de l'arrivée du CdB dans le poste, la situation visible et audible ne reflète pas ce que l'équipage a vécu jusqu'alors.

Tous les éléments sont réunis pour créer une situation incompréhensible, aggravée par l'affirmation du PNF « On a tout tenté », sans pour autant dire ce qu'ils ont tenté et pourquoi ils l'ont tenté.

Le PF est resté sur le schéma mental de la survitesse, le PNF prend l'autorité et réagit à l'alarme STALL en appliquant la poussée CLIMB. Le CdB a une attitude passive.

A cet instant, il ne peut être établi que l'avion est rattrapable.

02h12.13 à 02h12.26

Le CdB n'a pas de diagnostic de la situation, et ne peut répondre au PNF qui le sollicite.

Le PF retrouve une attitude (assiette et inclinaison) qui lui fait dire qu'il a le contrôle de l'avion.

L'alarme STALL a un fonctionnement inversé pour une vitesse mesurée inférieure à 60kts.

La tension devient perceptible au sein de l'équipage.

02h12.26 à 02h12.44

Le stress intense devient perceptible, la communication au sein de l'équipage utilise un vocabulaire non conventionnel qui ajoute à la confusion.

Les informations visibles valides sont rejetées et le segment perception-diagnostic de trajectoire en montée n'est pas partagé par le PF.

Le fonctionnement inversé de l'alarme de décrochage ajoute à la confusion sur l'action sur le manche et le pilotage de l'avion.

La loi ALTERNATE 2B reste active hors du domaine de vol connu limitant l'action de la gouverne de profondeur et perturbant la stabilité longitudinale naturelle.

⁴³ VSV : vol sans visibilité, terme utilisé pour le pilotage à l'aide des seuls instruments (sans références extérieures)

02h12.44 à 02h13.18

La tension devient plus forte au sein de l'équipage où la synergie est absente.

Le PF manifeste son désaccord sur les remarques de ses collègues sur son pilotage. Il alerte sur l'altitude en descente.

02h13.18 à 02h13.59

La divergence de diagnostic est manifeste. Le PF alerte sur le fort taux de descente, le PNF est orienté sur le bon fonctionnement des commandes de vol, le CdB ne prend l'initiative à aucun moment.

La configuration de l'avion ne permet plus la récupération du décrochage.

02h13.59 à 02h14.27

Dans cette phase ultime l'équipage réagit conformément à l'alarme de proximité du sol.

6.4 TEMOIGNAGES

Dans ce chapitre sont synthétisés les témoignages des membres d'équipage de conduite d'avions ayant volé la nuit du 31 mai 2009, sur la même route ou sur une route parallèle à l'AF 447 . Ces témoignages ont été rapprochés des transcriptions de communications entre le centre de contrôle brésilien d'ATLANTICO et les aéronefs sur la voie aérienne UN 873. Un témoignage émane d'un CDB souhaitant faire profiter la justice de son expérience dans la zone, très antérieurement et sur un autre type d'avion. Enfin, un témoignage visuel, sans rapport avec l'événement, est succinctement rapporté dans ce chapitre.

6.4.1 IBERIA 6024 (COMMANDANT DE BORD)

6.4.1.1 Fonction et expérience du témoin

Le 31 mai 2009, le témoin était en fonction Commandant de bord.

Le témoin a une expérience importante de la ligne Rio de Janeiro / Madrid, qu'il effectue depuis une vingtaine d'année à raison de 2 fois par mois environ.

6.4.1.2 Ligne et route suivie

Le vol Ibéria 6024 assura la liaison entre Rio de Janeiro et Madrid.

La route empruntée pour la traversée transatlantique est la même que celle empruntée par l' AF 447 , l'UN 873.

6.4.1.3 *Horaires de passage des points de reports*

Le témoin confirme la route suivie et les horaires de passage des points de reports soit, INTOL à 01H46 TU et TASIL à 02H33 TU. Ce vol a donc suivi sur cette route le vol AF 447, environ 12 minutes plus tard.

6.4.1.4 *Type d'avion*

L'appareil est un Airbus A340 , appareil dont la cellule est identique à celle d'un A330, mais équipé de 4 moteurs de plus faible poussée .

6.4.1.5 *Préparation du vol*

Le témoin indique que la préparation du vol a été particulièrement travaillée du fait d'une situation météorologique considérée comme très compliquée, au point de décider d'un emport de carburant supplémentaire de deux tonnes pour tenir compte d'éventuelles déviations de trajectoire.

6.4.1.6 *Constats sur la situation météorologique rencontrée*

La situation rencontrée est en cohérence avec les éléments météorologiques mis à la disposition de l'équipage lors de la préparation du vol.

Les premiers foyers orageux sont rencontrés après le passage du point INTOL et la zone la plus active est détectée entre 70 et 30 miles nautiques avant le point TASIL. Les sommets des cumulonimbus sont estimés au niveau 450.

Le témoin confirme que, selon son expérience de la région, durant une période d'environ 80 jours par an en milieu d'année, l'activité orageuse était particulièrement active et que c'était le cas dans la nuit du 31 Mai 2009.

6.4.1.7 *Décisions d'évitements des masses orageuses*

Le témoin précise qu'il n'aurait pu imaginer traverser la zone orageuse située entre 70 et 30 miles nautiques du point TASIL. Une déviation par l'est, d'environ 30 miles nautiques, est décidée puis initiée. L'avion n' est revenu sur sa route qu'après le point TASIL.

6.4.1.8 *Utilisation du radar*

L'utilisation du radar a été normale. Le mode manuel du radar a été utilisé.

6.4.1.9 Organisation des temps de repos

Le vol Rio / Madrid durant moins de 10 heures, il est effectué par un équipage constitué d'un CDB et d'un OPL. Aucun temps de repos hors du poste de pilotage n'est donc réglementairement prévu.

6.4.1.10 Commentaires du témoin

Le témoin a déclaré avoir vu le vol AF 447 durant son décollage de RIO de Janeiro.

Il a pu suivre ses conversations sur les fréquences VHF jusqu'après NATAL. Lors des liaisons HF (fréquences radio de longue portée utilisées durant la traversée transatlantique), le contact a été normalement perdu puisque l'écoute permanente n'est pas obligatoire et le volume est coupé.

La veille radio sur 121,5 était assurée mais le témoin déclare qu'aucun message n'a été entendu.

Le témoin confirme les difficultés de communication HF avec le centre de contrôle de Dakar.

6.4.1.11 Communications avec le centre de contrôle ATLANTICO

L'analyse des transcriptions radios HF de la fréquence Atlantico a permis de confirmer les horaires de passage des points de reports survolés.

L'équipage n'a pas fait de demande d'évitement de la zone orageuse.

Commentaire d'experts : Ce témoignage confirme que dès le stade de la préparation du vol, qui était concomitante avec celle de l'AF 447, les éléments de prévision météorologique permettaient de conclure à une activité orageuse relativement importante.

Un emport de carburant supplémentaire pour les évitements, de deux tonnes, représente, pour ce type d'avion, une quantité relativement importante, ce qui indique que l'équipage anticipait des déviations de forte amplitude et donc une situation météorologique préoccupante.

Le vol Iberia se trouvait à environ 80 à 100 miles nautiques du vol AF 447. La décision d'évitement a été prise avec une anticipation normale dans ce type de situation. L'image radar qui a motivé la décision d'évitement, correspondait à la situation météorologique réelle que traversait l'AF447.

Le témoin avait une expérience importante de cette ligne et considérait la traversée de cette zone comme non envisageable. Néanmoins, aucune demande de déviation n'a été faite.

6.4.2 IBERIA 6024 OFFICIER PILOTE

6.4.2.1 Fonction et expérience du témoin

Le 31 mai 2009, le témoin était en fonction co pilote .

Le témoin a une expérience importante de la ligne Rio de Janeiro / Madrid, qu'il effectue depuis environ 3 ans à raison de 1 fois par mois environ.

6.4.2.2 Ligne et route suivie

Le vol Ibéria 6024 assura la liaison entre Rio de Janeiro et Madrid.

La route empruntée pour la traversée transatlantique est la même que celle empruntée par l' AF 447 , l'UN 873

6.4.2.3 Horaires de passage des points de reports

Le témoignage a été effectué de mémoire et les horaires de passage des points de reports n'ont pas été précisés.

6.4.2.4 Type d'avion

L'appareil est un Airbus A 340

6.4.2.5 Préparation du vol

Le témoin précise que les éléments de la préparation du vol permettaient d'anticiper une situation météorologique assez préoccupante, et en cohérence avec la zone et la saison.

6.4.2.6 Constats sur la situation météorologique rencontrée

Le témoin précise que la situation météorologique rencontrée était pire que celle qui était prévue, et même une des situations les plus difficile qu'il a connue sur ce parcours.

De mémoire, le témoin précise que la zone la plus active se situait entre 80 et 100 miles nautiques avant le point TASIL.

6.4.2.7 *Décisions d'évitements des masses orageuses*

Le témoin confirme la décision prise avec son CDB de faire une importante déviation de route par l'est entre 30 et 55 miles nautiques.

Il précise qu'à sa connaissance, aucun pilote n'aurait accepté de traverser une zone représentée par une telle image radar.

6.4.2.8 *Utilisation du radar*

Le témoin indique que le radar a été utilisé en mode automatique

6.4.2.9 *Organisation des temps de repos*

Le vol Rio / Madrid durant moins de 10 heures, il est effectué par un équipage constitué d'un CDB et d'un OPL. Aucun temps de repos hors du poste de pilotage n'est donc réglementairement prévu.

6.4.2.10 *Commentaires du témoin*

Le témoin précise qu'à sa connaissance, aucun pilote n'aurait accepté de traverser une zone représentée par une telle image radar.

Le témoin a pu entendre des conversations entre le vol AF 447 et le contrôle sur les fréquences VHF jusqu'après NATAL. Lorsque la radio HF a été utilisée le contact a été normalement perdu avec les autres appareils.

La veille radio sur 121,5 était assurée mais le témoin déclare qu'aucun message n'a été entendu.

Le témoin confirme les difficultés de communication HF avec le centre de contrôle de Dakar.

Ce témoignage confirme, comme le précédent, que, dès le stade de la préparation du vol, les éléments de prévision météorologique permettaient de conclure à une activité orageuse relativement importante, notamment au sud du point TASIL.

Lors de l'entrée du vol AF 447 dans la zone nuageuse active, l'image radar correspondant à cette situation, analysée par l'équipage Iberia, a provoqué une décision d'un évitement très important de la part de cet équipage. Cette déclaration n'est pas confirmée par l'enregistrement des communications.

Le témoin avait une expérience relativement importante de cette ligne et considérait la traversée de cette zone d'activité orageuse comme non envisageable. Néanmoins aucune demande de déviation n'a été faite.

6.4.3 AIR FRANCE 459

6.4.3.1 Fonction et expérience du témoin :

Le témoin était en fonction Officier Pilote de Ligne sur ce vol, c'est-à-dire « co pilote ». Il a précisé avoir effectué environ 8000 heures de vol à la date du 31 mai 2009, dont une partie sur avions de transport régionaux et fait partie des effectifs pilotes d' Air France depuis 2004.

Il totalise 300 heures de vol sur A330, sans que soit précisé son expérience sur A340.

6.4.3.2 Ligne et route suivie :

Le vol Air France 459 assurait la liaison entre Sao Paolo et Paris CDG. Le 31 mai 2009.

La route empruntée pour la traversée transatlantique est la même que celle empruntée par l' AF 447 , l'UN 873.

6.4.3.3 Horaires de passage des points de reports

Le témoin confirme la route suivie et les horaires de passage des points de reports soit, SALPU à 02H22 TU et TASIL à 02H53 TU.

Ce vol a donc emprunté la route suivie par le vol AF 447 37 minutes après celui-ci.

6.4.3.4 Type d'avion :

L'appareil assurant cette liaison est un A330, identique au F-GZCP.

6.4.3.5 Préparation du vol :

Le témoin n'a pas été en mesure de donner des précisions sur la préparation du vol, n'en ayant plus souvenir.

6.4.3.6 Constats sur la situation météorologique rencontrée :

Le témoin indique qu'à partir du point INTOL, une importante zone orageuse est détectée, d'une longueur d'environ 150 miles nautiques, soit 270 kilomètres.

6.4.3.7 Décisions d'évitements des masses orageuses :

Le témoin précise que la décision a été prise d'effectuer un évitement par la gauche, dont il ne précise pas la valeur, puis ensuite, un très important évitement par la droite d'environ 70 miles nautiques, soit 125 kilomètres.

Le témoin précise que, dans la mesure où des évitements sont possibles, il retient de sa formation que tout doit être entrepris par l'équipage pour éviter de pénétrer dans une zone orageuse

6.4.3.8 Utilisation du radar :

Le témoin précise que le radar a été utilisé dans différents réglages de sensibilité, ce qui selon lui a permis une bonne anticipation des évitements.

Concernant l'utilisation du radar, le témoin précise que la formation donnée aux équipages et la documentation mise disposition leur permet une utilisation optimum.

6.4.3.9 Organisation des temps de repos :

L'équipage était composé d'un commandant de bord et de deux « co pilotes ».

Le témoin a effectué les deux premiers tronçons en fonction dans le poste de pilotage, assis en place droite. Comme dans le cas de l'AF 447, le CDB a pris le second tour de repos, mais n'a quitté le poste de pilotage qu'une fois l'évitement de la masse nuageuse décidé et initié.

Le témoin précise que, selon son expérience au sein d'Air France, le choix du second tour de repos par le CDB n'est pas systématique, et dépend des particularités du vol et des décisions particulières susceptibles d'être prises.

6.4.3.10 Commentaires du témoin

Le témoin précise que la gestion du carburant, n'est, à son sens, jamais un obstacle à la prise de décision d'un évitement d'une zone orageuse.

Le témoin ajoute qu'il connaissait le Commandant Dubois, et qu'il en garde le souvenir d'un pilote compétent et d'un contact agréable.

Il confirme également les difficultés de communications HF dans cette région.

6.4.3.11 Communications avec le centre de contrôle ATLANTICO

L'analyse des [transcriptions radios HF](#)⁽⁴⁸⁶⁾ de la fréquence Atlantico a permis de confirmer les horaires de passage des points de reports survolés.

Deux demandes d'évitements ont été effectuées par l'équipage. La transcription radio HF de la fréquence Atlantico précise :

02h 14min 23 : Evitement par la gauche de 15 miles nautiques

02h 33min 00 : retour sur la route

02h 33min 22 : Evitement par la gauche de 5 miles nautiques

La valeur de la déviation reportée par l'OPL n'est donc pas confirmée.

Commentaire d'experts : Ce témoignage n'apporte aucune précision concernant la qualité des informations de préparation du vol, ni sur l'information aux équipages de l'évolution de la situation météorologique durant le vol.

Il semble plus net encore, dans ce témoignage, que le choix de l'organisation des tours de repos des membres d'équipage de conduite soit plutôt dicté par les impératifs de sécurité (et pas seulement liés à la situation météorologique) qu'en fonction d'une habitude.

Il est confirmé que la formation à l'utilisation du radar est effectuée en ligne, et que, selon ce témoignage, elle permette une utilisation sûre et efficace de celui-ci par les équipages Air France.

Le CDB n'a pris son tour de repos qu'une fois la décision d'évitement prise et l'évitement initié.

Ce témoignage permet de penser que, 37 minutes après le passage de l'AF447 dans cette zone, la situation météorologique était potentiellement dangereuse, au point de décider l'équipage à faire une altération de route importante. Néanmoins la demande de déviation est faible 5 nm au voisinage de TASIL.

6.4.4 AIR FRANCE 459 (SECOND TÉMOIGNAGE)

6.4.4.1 Fonction et expérience du témoin

Le 31 mai 2009, le témoin était en fonction Commandant de bord, fonction qu'il occupe depuis 2001 au sein de la compagnie Air France. Il est également instructeur depuis 2003 et examinateur depuis 2004. Il a en revanche une assez faible expérience A330 (janvier 2009) et A340 (mars 2008).

6.4.4.2 Ligne et route suivie

Le vol Air France 455 assurait la liaison entre Sao Paolo et Paris CDG.

La route empruntée pour la traversée transatlantique est la même que celle empruntée par l'AF 447, l'UN 873

6.4.4.3 *Horaires de passage des points de reports :*

Le témoin confirme également la route suivie mais pas les horaires de passage des points de reports.

Ce vol a emprunté la route UN 873 37 minutes après le vol AF 447.

6.4.4.4 *Type d'avion :*

L'appareil est un Airbus A330.

6.4.4.5 *Préparation du vol :*

Au stade de la préparation du vol la documentation météorologique présentée à l'équipage a permis d'anticiper une importante activité orageuse sur la route prévue, situation qualifiée comme étant « typiquement de saison ». Le témoin se souvient également du « Sigmet N°7 » détaillant cette activité orageuse, mais qui, selon lui, n'était pas en vigueur au moment de passage de l'AF 447.

6.4.4.6 *Constats sur la situation météorologique rencontrée :*

Aux dires du témoin, la situation météorologique rencontrée était conforme à la prévision.

Une réactualisation des informations météorologiques a été transmise en vol par le centre opérationnel Air France. Ces informations ne faisaient pas état d'évolution significative de l'activité orageuse par rapport à la prévision. L'activité orageuse prévue et attendue se situait sur la route de l'avion, au Nord de « NATAL ».

6.4.4.7 *Décisions d'évitements des masses orageuses :*

Le témoin n'a pas été en mesure de donner des précisions concernant les déviations, déclarant que deux évitements ont été décidés et entrepris, par lui-même, entre 02H TU et 03H TU. Les décisions d'évitements ont été prises au vue de l'image radar jugée suffisamment parlante pour les justifier.

6.4.4.8 *Utilisation du radar :*

Le témoin ne donne pas de précisions sur l'utilisation du radar durant le vol AF 459, mais indique que la gestion du radar et des évitements de foyers orageux est développée dans le « manuel TU » et dans le MAC (Manuel Aéronautique Complémentaire).

Il précise en outre que la formation à l'utilisation du radar et l'enseignement de la technique d'évitement des zones orageuses se faisaient essentiellement en Adaptation en Ligne .

6.4.4.9 Organisation des temps de repos :

Le témoin confirme appliquer les prescriptions du GEN OPS Air France pour l'organisation des temps de repos à bord, mais n'indique pas avoir pour habitude de prendre, à priori, le temps de repos médian. Selon lui, le choix de l'organisation des tours des repos n'est dicté que par le contexte lié au vol.

6.4.4.10 Commentaires du témoin

Le témoin ajoute n'avoir jamais expérimenté de problèmes liés aux sondes Pitots,

Le témoin confirme les difficultés de communication rencontrées par les deux OPL durant son repos, c'est-à-dire après TASIL.

Commentaire d'experts : Ce témoignage confirme la bonne qualité des informations mises à la disposition de l'équipage en préparation du vol ainsi que sur le suivi de l'évolution de la situation météorologique durant le vol par le service opérationnel d'Air France.

Il confirme également que la situation météorologique, 37 minutes après le passage du vol AF447, obligeait à des altérations de trajectoires. (L'officier Pilote de Ligne, témoin précédent, donne plus d'indications sur l'importance de l'évitement)

Le CDB a tenu à rester présent au poste de pilotage pour décider et initier, pour la seconde, les déviations de trajectoire rendues nécessaires par la situation météorologique, ne prenant son repos qu'après le passage de la zone perturbée.

Selon ce témoignage, le choix de l'organisation des tours de repos des membres d'équipage de conduite semble uniquement dicté par les particularités de chaque vol, en fonction des impératifs liés à la sécurité, et en dehors de toute habitude.

6.4.5 AIR FRANCE 455

6.4.5.1 Fonction et expérience du témoin :

Le 31 mai 2009, le témoin était en fonction Commandant de bord, en vol d'adaptation en ligne, c'est-à-dire en formation sur un nouveau type d'avion pour lui, avec un instructeur. Néanmoins ce témoin avait une expérience importante dans la fonction Commandant de bord et instructeur lui-même sur d'autres types d'avions, notamment Airbus A320 moyen courrier, mais également une expérience de la navigation long courrier, du fait de sa fonction antérieure comme ingénieur mécanicien navigant, mais pas de cette ligne.

6.4.5.2 Ligne et route suivie

Le vol Air France 455 assurait la liaison entre Sao Paolo et Paris CDG.

La route empruntée pour la traversée transatlantique est la même que celle empruntée par l'AF 447, l'UN 873.

6.4.5.3 Horaires de passage des points de reports :

Le témoin confirme la route suivie et les horaires de passage des points de reports soit, SALPU à 23H04 TU et TASIL à 23H34 TU. Ce vol a donc précédé sur cette route le vol AF 447 d'environ 2H45.

6.4.5.4 Type d'avion :

L'appareil est un Boeing B777

6.4.5.5 Préparation du vol :

Au stade de la préparation du vol la documentation météorologique présentée à l'équipage a permis d'anticiper une activité orageuse sur la route prévue au dessus du territoire Brésilien ainsi que la zone d'activité orageuse liée au Front Inter Tropical.

6.4.5.6 Constats sur la situation météorologique rencontrée :

Aux dires du témoin, la situation météorologique rencontrée était conforme à la prévision.

A une ou deux reprises des informations météorologiques ont été transmises en vol par le centre opérationnel Air France. Ces informations ne faisaient pas état d'évolution significative, ni dans le

sens de l'amélioration, ni dans le sens de la dégradation.

6.4.5.7 Décisions d'évitements des masses orageuses :

Le témoin n'a pas été en mesure de donner des précisions sur d'éventuelles déviations, étant lui-même en repos au moment de la traversée de la ZCIT . Il a repris son poste au niveau du point TASIL. Il fait simplement état de quelques turbulences durant sa période de repos.

6.4.5.8 Utilisation du radar :

Le témoin ne donne pas de précisions sur l'utilisation du radar durant le vol AF 455, mais indique que la gestion du radar et des évitements de foyers orageux est développée dans le « manuel d'utilisation du radar » et dans le « complément océanique ».

Il précise en outre, que la formation sur le secteur A 320 se faisait essentiellement en ligne, avec l'aide d'un manuel spécialement édité à cet effet.

6.4.5.9 Organisation des temps de repos :

Le témoin confirme qu'il semble être assez courant que le CDB prenne son repos en milieu de vol, mais dans le cas de l'AF 455 ce choix n'avait que peu d'impact sur la sécurité puisque l'équipage était constitué de deux CDB, dont un instructeur, et un OPL.

Il faut toutefois noter que, le CDB instructeur, nécessairement plus expérimenté, a effectué la partie la plus potentiellement problématique du vol dans le poste de pilotage.

Le témoin précise que, dans les cas de situation météorologique prévue difficile la présence au poste de pilotage du CDB peut s'avérer nécessaire.

6.4.5.10 Commentaires du témoin :

Le témoin ajoute avoir eu connaissance de problèmes liés aux sondes Pitot sur A 320 lors de son activité sur cette machine, mais en avoir également eu connaissance par la revue technique d'Air France.

Il est à noter que le B777 n'était pas concerné par les problèmes de sondes Pitot.

Le témoin confirme les difficultés de pouvoir communiquer facilement en liaisons Hautes Fréquences (HF) dans cette zone ainsi que les difficultés liées à la connexion CPDLC avec le contrôle de Dakar.

Commentaire d'experts : Ce témoignage apporte quelques indications sur la qualité des informations mises à la disposition de l'équipage en préparation du vol ainsi que sur le suivi de l'évolution de la situation météorologique durant le vol.

Selon ce témoignage, le choix de l'organisation des tours de repos des membres d'équipage de conduite semble dicté par les impératifs de sécurité, surtout liés à la situation météorologique.

La formation à l'utilisation du radar est effectuée en ligne (adaptation en ligne) essentiellement sur A320 moyen courrier, mais les particularités du vol océanique sont développées dans le « complément océanique » d'Air France.

Le témoin était en repos lors de la traversée d F.I.T, et, de fait, le CDB le plus expérimenté était présent dans le poste de pilotage.

Ce témoignage ne présente toutefois que peu d'intérêt dans l'étude de situation météorologique rencontrée par l'équipage de l'AF447 du fait du temps écoulé entre les deux vols. (2h45)

6.4.6 AIR FRANCE 455 (SECOND TÉMOIGNAGE)

6.4.6.1 Fonction et expérience du témoin :

Le 31 mai 2009, le témoin était en fonction Officier Pilote de ligne. Il occupe cette fonction au sein de la compagnie Air France depuis 1992. Il a une importante expérience sur avion de type Airbus, A320 moyen courrier durant plus de cinq ans, puis sur A340 durant 4 ans et Boeing B777 depuis 7 ans au moment des faits. L'expérience long courrier est donc importante.

6.4.6.2 Ligne et route suivie

Le vol Air France 455 assurait la liaison entre Sao Paolo et Paris CDG.

La route empruntée pour la traversée transatlantique est la même que celle empruntée par l'AF 447, l'UN 873

6.4.6.3 Horaires de passage des points de reports :

Le témoin confirme la route suivie et les horaires de passage des points de reports : SALPU à 23H04 TU et TASIL à 23H34 TU . Ce vol a donc précédé le vol AF 447 d'environ 02H45.

6.4.6.4 Type d'avion :

L'appareil est un Boeing B777

6.4.6.5 Préparation du vol :

Au stade de la préparation du vol, la documentation météorologique présentée à l'équipage faisait état d'une zone orageuse en rapport avec la ZCIT, jugée habituelle par le témoin, mais aussi d'une activité orageuse au dessus du territoire Brésilien.

6.4.6.6 Constats sur la situation météorologique rencontrée :

Aux dires du témoin, la situation météorologique rencontrée ensuite durant le vol était conforme à la prévision initiale.

Une réactualisation des informations météorologiques a été transmise en vol par le centre opérationnel Air France, ceci à une ou deux reprises. Ces informations ne faisaient pas état d'évolution significative de l'activité orageuse.

6.4.6.7 Décisions d'évitements des masses orageuses :

Des cellules ont été détectées, sur la route, au niveau du point ORARO. La cellule sur la trajectoire a été évitée par la gauche.

Une zone active a été détectée un peu avant le point TASIL ; elle a été évitée par la gauche.

6.4.6.8 Utilisation du radar :

Le témoin ne donne pas de précisions sur l'utilisation du radar durant le vol AF 455, mais indique que, pour la formation à l'utilisation du radar, les équipages ont à leur disposition le « manuel d'utilisation du radar » et le MAC (Manuel Aéronautique Complémentaire).

Il précise en outre que la formation à l'utilisation du radar et l'enseignement de la technique d'évitement des zones orageuses se faisaient essentiellement en Adaptation en Ligne. Le sujet est également abordé durant les contrôles en lignes des équipages.

6.4.6.9 Organisation des temps de repos :

Selon le témoin, l'organisation des tours de repos est dictée par la fonction occupée durant le vol ; (pilote fonction pilotage ou non, au départ et à l'arrivée). Le témoin estime que le CDB prend son repos durant le créneau milieu dans 70% des cas. Le témoin ayant pris son repos lors de la dernière partie du vol, il était en fonction dans le poste de pilotage durant la traversée du F.I.T.

6.4.6.10 Commentaires du témoin :

Le témoin ajoute n'avoir jamais expérimenté de problèmes liés aux sondes Pitots, que ce soit sur A320 ou sur A340.

Bien que ne volant plus au sein de la division A330/A340, le témoin ajoute avoir eu connaissance des problèmes liés aux sondes Pitot sur Airbus gros porteur, durant les dix mois précédents l'accident, par la lecture de la revue du service sécurité des vols d'Air France « SURVOL », en Avril 2009.

Le témoin confirme les difficultés de communication rencontrées avec les centres de contrôles d'Atlantico et de Dakar.

Ce témoignage confirme également la qualité des informations mises à la disposition de l'équipage au stade de la préparation du vol ainsi que sur le suivi de l'évolution de la situation météorologique durant le vol par le service opérationnel d'Air France. Aucun effet de surprise n'a été ressenti par le témoin lors de l'approche de la zone orageuse.

Etant donné le temps écoulé entre le vol AF 455 et AF 447 (L'AF 455 a environ 2H45 d'avance sur l'AF 447), il est difficile de tirer de ce témoignage un enseignement sur la situation météorologique aux environ de 02H10 TU avant le point TASIL.

Il est toutefois très intéressant de noter que certains pilotes ont pris connaissance des incidents liés aux sondes Pitot sur Airbus « gros porteur » par la lecture de la revue « SURVOL »

6.4.7 AIR FRANCE 443

6.4.7.1 Fonction et expérience du témoin :

Le 31 mai 2009, le témoin était en fonction Commandant de Bord. Il a une importante expérience professionnelle, sur DC10 (gros porteur long courrier), puis ensuite sur A320, moyen courrier Airbus, puis sur A330/A340, et sur Boeing B747 400 depuis février 2008.

6.4.7.2 Ligne et route suivie

Le vol Air France 455 assurait la liaison entre Rio de Janeiro et Paris CDG.

La route empruntée pour la traversée transatlantique est la même que celle empruntée par l'AF 447, l'UN 873

6.4.7.3 Horaires de passage des points de reports :

Le témoin confirme la route suivie et les horaires de passage des points de reports : SALPU à 22H40 TU et TASIL à 23H10 TU .

Ce vol a donc précédé le vol AF 447 d'environ 03H00.

6.4.7.4 Type d'avion :

L'appareil est un Boeing B747 400

6.4.7.5 Préparation du vol :

Au stade de la préparation du vol, la documentation météorologique présentée à l'équipage faisait état d'une zone orageuse en rapport avec la ZCIT, qui s'étendait entre 1° de Latitude SUD et 4° de Latitude NORD.

6.4.7.6 Constats sur la situation météorologique rencontrée :

Aux dires du témoin, la situation météorologique rencontrée ensuite durant le vol était conforme à la prévision de la préparation du vol.

6.4.7.7 Décisions d'évitements des masses orageuses :

Au passage du F.I.T. l'équipage a effectué deux déviations, sans toutefois pouvoir avertir le centre de contrôle d'Atlantico. Une première altération de trajectoire de 10 miles nautiques par l'EST est effectuée, suivie d'une seconde de 7 miles nautiques par l'OUEST. La position du début de ces déviations n'a pas été précisée par le témoin.

6.4.7.8 Utilisation du radar :

Le témoin ne donne pas de précisions sur l'utilisation du radar durant le vol AF 455, mais indique que la technique d'utilisation du radar est détaillée dans le manuel TU et le MAC..

Il précise que les évitements des cellules orageuses se font latéralement, par des déviations d'au minimum 20 miles nautiques de la zone active, avec des échelles radar différentes et un TILT ajusté et à l'exclusion d'évitements verticaux.

Enfin il précise que la formation à l'utilisation du radar se fait essentiellement en adaptation en ligne, mais aussi par la consultation des manuels TU et MAC de la compagnie Air France.

6.4.7.9 Organisation des temps de repos :

Selon le témoin, l'organisation des tours de repos est dictée par la prise en compte des difficultés potentielles du vol, mais aussi par la capacité de chaque membre d'équipage à pouvoir se reposer à un moment donné.

Dans le cas du vol 443, ce jour là, le CDB a organisé le temps de repos de l'équipage de manière

D6716/

être présent dans le poste de pilotage et en fonction PF durant la traversée du F.I.T.

6.4.7.10 Commentaires du témoin :

Le témoin précise que les décisions d'évitement des cellules orageuses doivent être prises avec une anticipation suffisante, de sorte que le centre de contrôle concerné puisse organiser la régulation du trafic dans la zone.

Le témoin précise encore, comme les précédents, que, au sein de la compagnie Air France, une totale liberté est laissée aux équipages pour décider le l'emport supplémentaire de carburant qu'ils pourraient souhaiter prendre.

Le témoin confirme les difficultés de communication rencontrées avec les centres de contrôles d'Atlantico. Il était en repos durant la partie suivante du vol.

Le témoin précise avoir quitté la division de vol A330/A340 en février 2008, et qu'à cette époque les incidents de Pitots semblaient peu nombreux et donc inconnus des pilotes du secteur considéré.

Selon le témoin, le problème de givrage des sondes Pitot sur A330/A340 est surtout connu de la communauté des pilotes depuis l'accident de l'AF 447.

Commentaire d'experts : Ce témoignage confirme une fois encore la qualité des informations mises à la disposition de l'équipage pour la préparation du vol.

Selon ce témoignage, le choix de l'organisation des tours de repos des membres d'équipages de conduite semble dicté par les impératifs de sécurité.

Le CDB a jugé important d'être présent et en fonction dans le poste de pilotage lors de la traversée du F.I.T.

Etant donné le temps écoulé entre le vol AF 443 et AF 447 (L'AF 443 a environ 03H08 d'avance sur l'AF 447), il est difficile de faire le moindre parallèle entre la situation météorologique rencontrée par les équipages des deux vols au voisinage du point TASIL.

Les équipages gèrent d'une manière très libre l'emport supplémentaire de carburant.

6.4.8 AIR FRANCE 443 (DEUXIÈME TÉMOIGNAGE)

6.4.8.1 Fonction et expérience du témoin :

Le 31 mai 2009, le témoin était en fonction Officier Pilote de Ligne. Il précise ne pas être qualifié sur A330/340.

D6716

6.4.8.2 Ligne et route suivie

Le vol Air France 443 assurait la liaison entre Rio de Janeiro et Paris CDG.

La route empruntée pour la traversée transatlantique est la même que celle empruntée par l' AF 447 , l'UN 873.

6.4.8.3 Horaires de passage des points de reports :

Le témoin confirme la route suivie et les horaires de passage des points de reports soit, SALPU à 22H40 environ et TASIL à 23H10 environ. Ce vol a donc précédé sur cette route le vol AF 447 de plus de 3H00.

6.4.8.4 Type d'avion :

L'appareil est un Boeing B747 400

6.4.8.5 Préparation du vol :

Au stade de la préparation du vol la documentation météorologique présentée à l'équipage n'appelle pas de commentaire de la part du témoin, semblant être en conformité avec la situation rencontrée ensuite. La prévision faisait état d'une activité orageuse entre 1° de latitude SUD et 3° de latitude NORD.

6.4.8.6 Constats sur la situation météorologique rencontrée :

Aux dires du témoin, la situation météorologique rencontrée était conforme à la prévision, et plutôt plus favorable que lors d'autres traversées océaniques sur cette route.

6.4.8.7 Décisions d'évitements des masses orageuses :

Le témoin déclare, sans beaucoup de précisions que plusieurs évitements ont été décidés, par la droite et par la gauche.

6.4.8.8 Utilisation du radar :

Le témoin ne donne pas de précisions sur l'utilisation du radar durant le vol AF 443, mais indique que la gestion du radar et des évitements de foyers orageux est développée dans la documentation Air France, et que selon lui, les équipages avec lesquels il a déjà volé n'éprouvent aucune difficulté dans l'utilisation de cet équipement.

Il précise en outre que la formation de base à l'utilisation de cet équipement se faisait essentiellement en ligne sur le secteur moyen courrier.

6.4.8.9 Organisation des temps de repos :

Le témoin confirme qu'il semble être assez courant que le CDB prenne son repos en milieu de vol, mais dans le cas de l'AF 455 ce choix n'avait que peu d'impact sur la sécurité puisque l'équipage était constitué de deux CDB, dont un instructeur, et un OPL.

Il faut toutefois noter que, le CDB instructeur, nécessairement plus expérimenté, a effectué la partie la plus potentiellement problématique du vol dans le poste de pilotage.

Le témoin précise que, dans les cas de situation météorologique prévue difficiles la présence au poste de pilotage du CDB peut s'avérer nécessaire.

6.4.8.10 Commentaires du témoin :

Le témoin ajoute avoir eu connaissance de problèmes liés aux sondes pitots sur A 320 lors de son activité sur cette machine, mais en avoir également eu connaissance par la revue technique d'Air France.

Il est à noter que le B777 n'était pas concerné par les problèmes de sondes Pitot.

Le témoin confirme les difficultés de pouvoir communiquer facilement en liaisons Hautes Fréquences (HF) dans cette zone ainsi que les difficultés liées à la connexion CPDLC avec le contrôle de Dakar.

Commentaire d'experts : Ce témoignage apporte quelques indications sur la qualité des informations mises à la disposition de l'équipage en préparation du vol ainsi que sur le suivi de l'évolution de la situation météorologique durant le vol.

Selon ce témoignage, le choix de l'organisation des tours de repos des membres d'équipage de conduite semble dicté par les impératifs de sécurité, surtout liés à la situation météorologique.

La formation à l'utilisation du radar est effectuée en ligne (adaptation en ligne) essentiellement sur A320 moyen courrier, mais les particularités du vol océanique sont développées dans le « complément océanique » d'Air France.

Le témoin était en repos lors de la traversée d F.I.T, et, de fait, le CDB le plus expérimenté était présent dans le poste de pilotage.

Ce témoignage ne présente toutefois que peu d'intérêt dans l'étude de situation météorologique rencontrée par l'équipage de l'AF447 du fait du temps écoulé entre les deux vols. (2h45)

6.4.9 AIR FRANCE 443 (TROISIÈME TÉMOIGNAGE)

Le témoin était en fonction officier Pilote de ligne sur ce vol, mais en cours de repos lors de la traversée du F.I.T.

Lors de son retour, l'appareil était dans la zone de contrôle de Dakar.

Commentaire d'experts : Aucun enseignement complémentaire ne peut être tiré de ce témoignage.

6.4.10 AUTRES TÉMOIGNAGES

6.4.10.1 VOL AIR COMET (Lima/Madrid) du 31/05/2009

Ce témoignage visuel (forte lueur vers l'avant de l'avion) émane d'une passagère, compagne d'un des deux officiers pilote de ligne, voyageant dans le poste de pilotage.

Ce témoignage n'apporte aucun élément utilisable dans le cadre de l'enquête sur l'accident de l'AF447 et ceci, pour les raisons suivantes :

- L'appareil volait sur une route approximativement parallèle de celle empruntée par l'AF447, mais distante de plusieurs centaines de miles nautique, beaucoup plus à l'Ouest.
- Le témoin affirme avoir vu une lueur dans le ciel, alors que l'avion évoluait dans une zone de forte activité orageuse au sein de laquelle des éclairs étaient visibles.
- Cette lueur a été aperçue vers l'avant de l'avion, alors que le vol AF447 se trouvait à une très grande distance, sur le travers droit de l'avion .
- Les éléments recueillis au cours de l'enquête permettent d'affirmer que le vol AF447 n'a émis aucune lumière vive qui aurait pu être la conséquence d'une explosion en vol.

Commentaire d'experts : Ce témoignage est écarté des éléments utilisés pour la présente expertise.

6.4.10.2 VOL IBERIA BUENOS AIRES / MADRID DU 9 MAI 2001

Ce témoignage concerne un vol effectué très antérieurement à l'accident du vol AF447, au cours duquel un B747 300 a subi un givrage de sonde de température RAT en volant probablement dans une zone à forte concentration en micro cristaux de glace.

Ce témoignage n'apporte que peu d'éléments utilisables dans le cadre de l'enquête sur l'accident de l'AF447 et ceci, pour les raisons suivantes :

- L'appareil est d'un type de conception très différente et beaucoup plus ancienne que l'A330.
- Il n'est pas possible de faire le moindre parallèle entre la situation météorologique rencontrée par le témoin et la situation météorologique rencontrée par les membres d'équipages de l'AF447.
- Les paramètres de ce vol, issus d'un dépouillement du DFDR, ne sont pas disponibles.

Commentaire d'experts : Ce témoignage confirme simplement la possibilité connue de rencontrer des zones à fortes concentration de micro cristaux en marge ou en dehors des Cumulonimbus.

Ce témoignage est écarté des éléments utilisés pour la présente expertise.

6.4.10.3 Vol TAM 8089 (Paris CDG/Guarulhos)

L'analyse des transcriptions de la fréquence HF d'Atlantico permet de préciser les heures de passage des points de reports, soit TASIL à 02h30min et ORARO à 02h48.

A 02h 35, l'équipage demande une déviation 15 miles nautiques par la droite avec le maintien d'une route parallèle.

Commentaire d'experts : Aucun renseignement ne peut être tiré de ce témoignage.

6.4.10.4 Vol TAP 156

Le vol TAP 156 a emprunté la route UN 873 avec environ 2 heures d'avance sur le vol AF447.

Le témoin, CDB du vol, déclare que la situation météorologique était habituelle pour la zone et la saison, avec une importante présence d'électricité statique.

Commentaire d'experts : Aucun renseignement complémentaire quant à la situation météorologique ne peut être tiré de ce témoignage. Il est difficile de faire le moindre parallèle entre la situation météorologique rencontrée par les équipages des deux vols au voisinage du point TASIL.(2H de délai)

6.4.10.5 Vol TAP 178

Le vol TAP 178 a emprunté la route UN 873 avec environ 1H30min d'avance sur le vol AF447.

Le témoin est CDB sur ce vol. Il déclare avoir du faire, durant la traversée du F.I.T. , une déviation de trajectoire significative (environ 40 miles nautiques) , du fait de la présence de cumulonimbus.

6.4.10.6 Communications avec le centre de contrôle ATLANTICO

L'heure de passage des points de report est confirmée par la transcription de la fréquence HF d'Atlantico.

Commentaire d'experts : Ce témoignage montre la présence de cellules parfois très actives au voisinage de l'équateur ce jour là. Il est toutefois difficile de faire le moindre parallèle entre la situation météorologique rencontrée par les équipages des deux vols au voisinage du point TASIL(1H30 min de délai)

6.4.10.7 Vol Lufthansa 507

Les éléments succincts du vol LH 507 ont été transmis directement par la compagnie.

Le vol Lufthansa 507 a volé sur la route UN 873 avec environ 27 minutes d'avance sur le vol

AF 447 et a passé les points de report aux heures suivantes.

INTOL 01H06 T

ORARO 01H36 TU

TASIL 01H51 TU

L'équipage a fait état d'une déviation de trajectoire d'environ 10 miles nautiques près du point ORARO.

Commentaire d'experts : Ce témoignage indirect montre que, du fait de la situation météorologique, les déviations de trajectoires étaient relativement importantes ce jour là entre les points ORARO et TASIL entre 01h00 et 02h20 au moins.

6.4.10.8 Vol Air France 401 (Santiago / Paris CDG)

Le témoin était copilote du vol AF 401 le 31 mai 2009 sur un appareil de type Boeing 777.

La route empruntée était l'UN 741 parallèle et distante de 230 miles nautiques (410KM) de l'UN 873.

Commentaire d'experts : Aucun élément en rapport avec la navigation ou la situation météorologique ne peut être tiré de ce témoignage, du fait de la distance entre les deux routes.

7 APRES L'ACCIDENT

7.1 ORGANISATION DES SECOURS

7.1.1 DÉCLENCHEMENT DES ALERTES

C'est le CCO d'Air France (Centre de Coordination des Opérations) qui s'est inquiété en premier lieu de la perte de contact avec l'AF447.

Le premier message a été adressé au CCO par l'AF459 que le centre de contrôle de DAKAR venait

26716/

de solliciter pour entrer en contact avec l'AF447.

La réponse au message envoyé à 04h24 à l'AF447 : « NO ACK » (pas d'accusé de réception) a conduit le CCO à s'informer auprès des services de contrôle sur la route pour tenter de connaître la position de l'avion de d'entrer en contact avec lui.

C'est le CRNA-Ouest (Centre en Route de la Navigation Aérienne) qui a interrogé les centres de contrôle sur la route prévue et qui, compte tenu de l'absence de contact avec l'AF447 et d'un délai supérieur à l'autonomie de l'avion décide à 08h34 de déclencher la phase DETRESFA.⁽⁴²⁷⁾

Le message sera envoyé à 09h09 à tous les organismes concernés par le BITV de Brest (Bureau de Transmission des Information en Vol)

La Phase d'urgence DETRESFA est déclenchée lors de l'absence de contact radio si obligatoire d'un aéronef sous plan de vol pour une durée de 90 minutes.

Cette phase d'urgence ultime conditionne la mise en œuvre de certains moyens.

L'équipage de l'avion assurant le SAR (Search and Rescue) pour l'Atlantique Sud a reçu un appel le 1^{er} juin à 09h00 TU de mise en alerte émanant de CECLANT (Commandement en Chef de l'Atlantique). L'appareil est un Breguet Atlantique (ATL2) de la Marine Nationale mis à disposition de l'ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne pour l'Afrique et Madagascar) basé à DAKAR et sous contrôle opérationnel de l'EIMA (Forces Françaises de présence au Sénégal).

A 10h30 déclenchement officiel de l'alerte avec pour mission la recherche par radiogoniométrie de signaux de détresse émis par les balises embarquées sur le vol AF447.

A 12h15, décollage vers la zone définie du Cap Vert au point TASIL. Pendant le transit, l'équipage reçoit une mission complémentaire d'investigation d'une zone de 90NM sur 40 NM au Sud Ouest du point TASIL.

A 16h15 l'avion arrive sur zone et est seul à patrouiller dans cette zone. Les conditions météorologiques sont défavorable et 60% de la zone sont parcourus.

L'avion rejoint DAKAR après un vol de plus de 10h.

Un Falcon 50 M de la Marine Nationale a rallié Natal (Brésil) sur alerte du 1^{er} au 12 juin 2009 dans le cadre des recherches du vol AF447 disparu en mer le 1^{er} juin, via une escale technique à Dakar.

Un second équipage a renforcé le dispositif le 5 juin en se rendant à Natal par voie aérienne civile, jusqu'au 26 juin 2009, date à laquelle les forces aériennes françaises se sont officiellement désengagées des opérations de recherche.

Deux équipes de deux techniciens ont accompagné les équipages afin de réaliser les deux missions quotidiennes.

L'ensemble du dispositif a été placé sous OPCON (Contrôle des Opérations) de CECLANT et sous TACON (Contrôle Tactique) du RCC Recife (opérations coordonnées par les autorités brésiliennes)

19 missions de recherches ont été menées par le Falcon 50M en coopération avec les bâtiments de la Marine Nationale VENTOSE et MISTRAL. Ce dernier a assuré les fonctions d'OSC du 10 au 26 juin 2009.

A plusieurs reprises, l'ATL2 basé à Natal (Wallaby Delta) et celui basé à Dakar (Wallaby Golf) ont

relevé le premier équipage de Falcon 50M présent sur la zone de recherche.

3 vols ont également été réalisés en coordination avec un E-3F (AWACS) déployé à Dakar au Sénégal. Cet aéronef a permis une bonne déconfliction entre aéronefs sur zone.

De nombreux débris ont été découverts au cours des 19 vols réalisés par les deux équipages du F50M.

Environ 30 fragments humains ont été localisés entre le 7 et le 17 juin 2009.

Les positions des corps et des débris ont systématiquement été transmises à l'OSC à des fins de récupération.

Les corps ont été récupérés par les embarcations du Ventôse et du Mistral, les hélicoptères Panther (Ventôse) et Puma (Mistral), mais également par les bâtiments de la marine brésilienne présents sur les zones de recherche.

*Commentaire d'experts : La confusion sur le transfert de l'AF447 du contrôle brésilien d'Atlantico au contrôle de Dakar océanique a généré l'incertitude sur la position de l'aéronef.
C'est le CCO d'air France qui a initié l'alerte à 04h24 et le CRNA Ouest qui a déclenché la phase d'urgence DETRESFA à 09h09 qui a conditionné le début des recherches.*

7.1.2 PHASES DE RECHERCHE

Les recherches ont été conduites par le BEA.

Elles se sont déroulées en cinq phases de juin 2009 à mai 2011

Les experts ont été tenus informés des programmes de recherches successifs par le BEA.

La phase 1 du 10 juin au 10 juillet 2009 a consisté en une recherche à l'aide des moyens acoustiques pour localiser la balise de détresse pendant la durée théorique du fonctionnement de l'émetteur .

La phase 2 du 27 juillet au 17 août 2009 a permis de continuer les recherches acoustiques avec des moyens immergés.

La phase 3 du 2 avril au 24 mai 2010 a été conduite à l'aide d'un sonar, d'un robot et de sous-marins autonomes (AUV : *Autonomous Underwater Vehicle*). Le périmètre de zone de recherches avait été défini en exploitant les données de dérive probable des corps et des débris repêchés.

La phase 4 du 25 mars au 12 avril 2011 a été menée avec des moyens sous-marins autonomes à l'intérieur d'un périmètre défini par la dernière position connue de l'aéronef.

L'épave a été localisée le 3 avril.

D6916/

La phase 5 du 26 avril au 30 mai 2011 a permis de localiser et remonter les enregistreurs (1er mai pour le FDR et 3 mai pour le CVR)

Au cours de cette phase et après la remontée des enregistreurs, les corps localisés ont été remontés et les éléments significatifs de l'épave ont été repêchés.

Les experts ont été informés du déroulement des recherches par les Officiers de Police Judiciaire qui étaient à bord des bateaux qui hébergeaient les équipes de recherche.

Ils ont été sollicités par le BEA pour définir la liste des débris qui devaient être remontés à la surface pour expertise ultérieure.

Commentaire d'experts : Les experts ont été informés de la conduite des différentes phases de recherches.

La présence à bord des bâtiments de recherche en mer d'OPJ a permis de respecter le principe de conservation de la preuve.

Les experts ont été associés à la définition de la liste des débris qui devaient être remontés.

7.2 EXAMEN ET ANALYSE DES DÉBRIS

7.2.1 DÉBRIS RETROUVÉS EN JUIN 2009

(Chapitre 14.6 de notre rapport du 31 mars 2010)

Plus de mille débris ont été récupérés flottant à la surface de l'océan par les navires de sauvetage et de recherche Français et Brésiliens dans les jours ayant suivi l'accident.

Tous ces débris sont constitués de matériaux légers (densité inférieure à 1) et proviennent pour la plupart d'éléments de l'ameublement intérieur.

La dérive entière, quelques éléments de gouvernes, ainsi que différents carénages aérodynamiques ont également été récupérés.

Tous les débris ont été identifiés avec précision et disposés dans un hangar de DGA/TA (appelé à l'époque CEAT) à Toulouse Balma en respectant les positions relatives de chacun d'eux.



Chaque élément ou groupe de pièces a été examiné dans le détail afin de déterminer le processus de dislocation de l'avion, ainsi que les paramètres de l'impact sur l'eau.

Le 28 juillet 2009, le collège d'experts a confié à DGA/TA, une mission ayant pour objet de procéder à « *tous tests, analyses ou examens utiles à la compréhension des causes de la catastrophe* ». (2.1 Mission)

Le 26 mars 2010, DGA/TA a remis 4 rapports intitulés :

- « *Expertise par calculs de l'avion A330 du vol AF447 accidenté le 1^{er} juin 2009* » référencé DGA/TA n° ST-09/9186 100/F1A. (ANNEXE N°XXX)
- « *Expertise d'éléments de l'avion A330 du vol AF447 accidenté le 1^{er} juin 2009* » référencé MT-09/9186 100/F1/A. (Annexe N°15)
- « *Expertise du logiciel FCMC stage 11.0* » n° SIE-10/9186 100/F1/A. (Annexe N°16)

Ces rapports relatent les investigations menées sur les éléments récupérés.

NOTE IMPORTANTE : La compréhension complète des résumés et commentaires rédigés par les experts n'est possible qu'après lecture attentive et exhaustive des rapports et notes techniques joints dans les ANNEXES.

Résumé des résultats obtenus :

7.2.1.1 Le radôme

Il s'agit du cône ou pointe avant de l'avion en matériau composite protégeant le radar.

Un examen minutieux mené sur cet élément après reconstitution partielle et re positionnement des

morceaux disponibles a eu pour but de déterminer :

- Une éventuelle séparation ou dislocation en vol.
- Un éventuel foudroiement avant l'impact.
- La pénétration dans un nuage de grêle.

Commentaire d'experts : L'examen du radôme a démontré qu'il n'y avait pas eu de dislocation en vol, ni de foudroiement, ni de pénétration dans un nuage de grêle exceptionnellement dense.

7.2.1.2 Les masques à oxygène de la cabine passagers (PSU)

Fonctionnement : Les masques à oxygène sont positionnés au plafond, au dessus des rangées de sièges passagers, ils sont contenus dans des boîtiers par groupes de 1 à 4 masques.

En cas de dépressurisation accidentelle de la cabine, l'ouverture des boîtiers est commandée automatiquement.

Les masques tombent alors par gravité et restent connectés au boîtier par leur tube d'alimentation en oxygène sur lequel est attachée une cordelette.

Une légère traction du passager sur le masque tend la cordelette qui extrait une goupille de son logement. Cela a pour effet d'alimenter le masque en oxygène.

La majorité des masques à oxygène retrouvés sont restés à l'intérieur de leurs boîtiers (boîtiers fermés).

Les quelques boîtiers trouvés ouverts présentent des endommagements de leurs crans de fermeture associés à des déformations de leurs couvercles. Les masques retrouvés hors de leurs boîtiers (boîtiers ouverts) montrent que leurs goupilles n'ont pas été tirées par les cordelettes.

Commentaire d'experts : Les goupilles des masques tombés n'ont pas été tirées, les boîtiers ayant contenu ces masques sont endommagés.

Cela signifie que l'avion est resté pressurisé jusqu'à basse altitude.

7.2.1.3 Les galleys

Les éléments de galleys (meubles contenant les différents équipements à la disposition des PNC) et les trolleys (chariots à roulettes situés dans les galleys) ont été examinés par DGA/TA afin de définir les caractéristiques physiques de l'impact.

Le galley G2 a été investigué selon une méthode basée sur des simulations numériques en éléments

finis.

Devant le manque d'informations disponibles à ce stade de l'étude, DGA/TA a informé le collège d'experts qu'une réponse à la question posée ne pourrait pas être formulée. Il a alors été décidé d'étudier si l'état d'endommagement du galley était compatible avec une éventuelle perforation du fuselage en partie haute.

7.2.1.4 Les trolleys

Deux trolleys retrouvés flottants ont été examinés. Ils contiennent des bouteilles en verre cassées, des tiroirs, des boîtes de biscuits sous cellophane et un panier à bouteilles particulièrement déformé.

Commentaire d'experts : Au premier examen, l'analyse des casiers à bouteilles semblait présenter un intérêt certain pour la détermination des paramètres de l'impact (valeurs et directions des accélérations).

Cependant, l'incertitude extrême du chargement (pas de bouteilles, bouteilles partiellement pleines ou pleines) n'a pas permis à DGA/TA de mener à bien les calculs avec une précision acceptable) Les paramètres de l'impact ont été révélés lors de la lecture du FDR en juillet 2011

7.2.1.5 Carénages de rails de volets

Dans un premier temps, DGA/TA a recherché les données nécessaires à une numérisation des éléments récupérés (chapitre 4.1) :

« Il s'agit de pièces non structurales en composites. Les lois de comportement ne sont pas disponibles à DGA/TA, qui de plus ne dispose pas de compétences aérodynamiques. DGA/TA n'a donc pas les données suffisantes, ni pour trancher entre les deux familles de chargement par le calcul, ni pour estimer les paramètres de l'impact s'il est admis que l'avion a impacté l'eau. Ceci est d'autant moins envisageable que de multiples ruptures sont observées. »

Les experts ont alors demandé à DGA/TA, la réalisation d'investigations supplémentaires basées sur des observations factuelles pratiquées sur les débris et en particulier, sur les carénages de rails de volets.

Après repositionnement des nombreux fragments (reconstitution des différents carénages), les ruptures et déformations observées présentent des aspects particulièrement représentatifs de l'assiette, de l'inclinaison, du braquage des volets et de l'intégrité lors de l'impact.



Le rapport de DGA/TA mentionne que :

- « - Les endommagements montrent une cohérence avec une position volets rentrés lors de l'impact.
- L'origine des endommagements relevés est consécutive à un impact sur l'eau et non à une désintégration en vol.
- Les constats réalisés sur les éléments de carénages ne permettent pas d'évaluer l'inclinaison et l'assiette de l'appareil à l'impact. »

*Commentaire d'experts : Les observations menées sur les rails de carénages de volets ont été déterminantes dans l'évaluation des paramètres d'attitude et d'intégrité de l'avion lors de l'impact.
Ces paramètres ont été confirmés par la lecture du FDR en juillet 2011.*

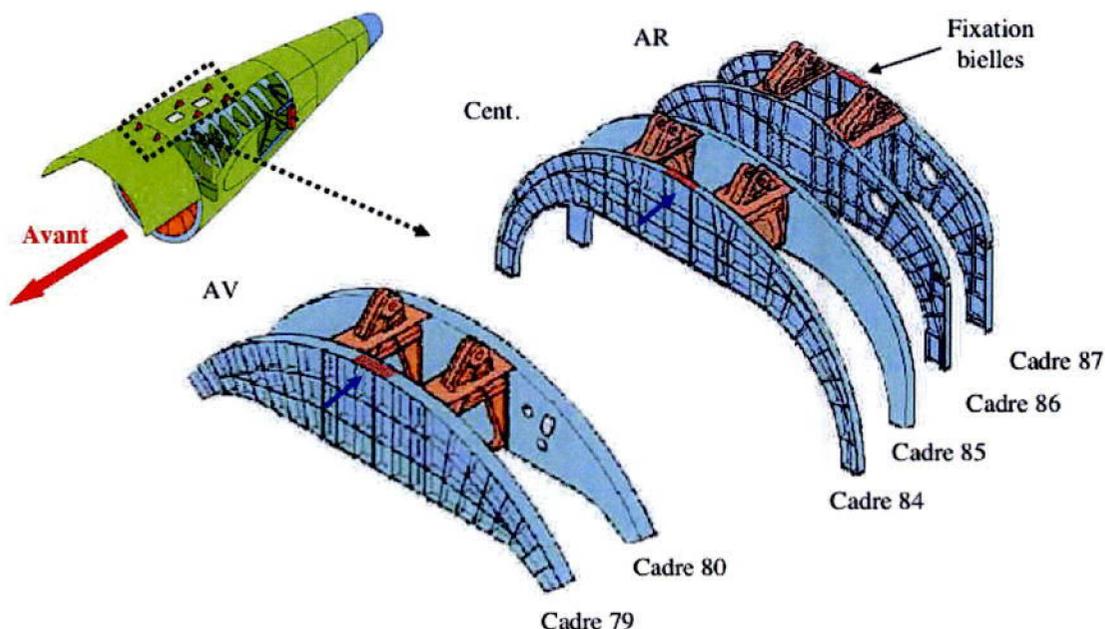
7.2.1.6 La dérive

La dérive entière a été retrouvée à la surface de l'océan. Il s'agit de la seule pièce de structure primaire récupérée.

Elle est constituée de matériaux composites (fibre de carbone/époxy), la faible densité de ce matériau a assuré sa flottabilité.

La description complète de la dérive et de ses sous ensembles figure dans notre rapport du 31 mars 2010 au chapitre 16.6.3.7.

Les investigations menées par DGA/TA ont porté en priorité sur le mode de rupture de ses ferrures de fixation sur la partie arrière du fuselage.



Les observations et analyses ont permis à DGA/TA d'affirmer que :

- « 1. La fixation (6 chapes) n'est pas à l'origine de l'accident car il n'y a pas eu de rupture au niveau de ces chapes dont les 2 centrales et 2 arrières sont restées en bon état. Les 2 avants sont restées fixées au fuselage.
- 2. La zone pressurisée du fuselage ne s'est pas rompue en vol car dans ce cas, la dérive serait restée solidaire de la zone de fond de cabine extrêmement rigide.
- 3. La zone non pressurisée du fuselage en arrière du fond de cabine ne s'est pas rompue en vol car les endommagements de la dérive et des cadres seraient différents.
- 4. La zone du fond de cabine ne s'est pas rompue en vol car dans ce cas, les cadres de la zone non pressurisée n'avaient pas de raison de se rompre, la dérive serait restée solidaire du fuselage.
- 5. La relative symétrie des arrachements écarte l'hypothèse d'un violent effort latéral (en Y) sur la dérive ou un important dérapage de l'avion lors de l'impact. Corroboré avec les observations d'autres débris (carénages des rails de volets), l'avion a percuté l'océan relativement symétrique.
- 6. La gouverne de direction ne s'est pas arrachée et n'a pas participé à l'arrachement de la dérive consécutif à un débattement brusque car dans ce cas, le caisson de dérive aurait subi des endommagements en torsion.
Les 8 articulations auraient également subi des dommages.
- 7. L'impact sur l'océan s'est produit avec une vitesse verticale importante.
- 8. L'impact sur l'océan s'est produit ailes sensiblement horizontales.
- 9. La dérive s'est arrachée à l'impact.
- 10. L'impact sur l'océan a écrasé les 4 cadres (FR84 à FR87) de la zone non pressurisée, les a rompus, a arraché les parois du fuselage de cette zone, a écrasé le bas de la gouverne de direction.
Ensuite, les 2 chapes avant restant solidement fixées grâce à la résistance du fond de cabine ont amené la dérive à s'effondrer vers le bas en compression, d'où l'explosion du longeron avant et des 2 panneaux latéraux du caisson à l'endroit des chapes avant.

Cet arrachement a pu se produire avec une composante horizontale de vitesse projetant la dérive vers l'avant.

- *11. Les 6 bielles latérales (axe Y) se sont rompues en suivant le mouvement général de désolidarisation de la dérive et de rotation des cadres ».*

Commentaire d'experts : Les investigations ci-dessus ont été réalisées selon une méthodologie classique basée sur l'observation et l'interprétation des dommages et déformations constatés.

La plupart de ces observations ont été confirmées par la lecture du FDR en juillet 2011.

7.2.1.7 La bielle « 36G »

La bielle « 36G » est située à la partie arrière du caisson de dérive à environ 2 tiers de sa hauteur, elle a pour fonction d'absorber les efforts verticaux de la gouverne. Elle a été calculée pour résister à une accélération verticale de 36 G (soit 36 fois la masse de la gouverne de direction).

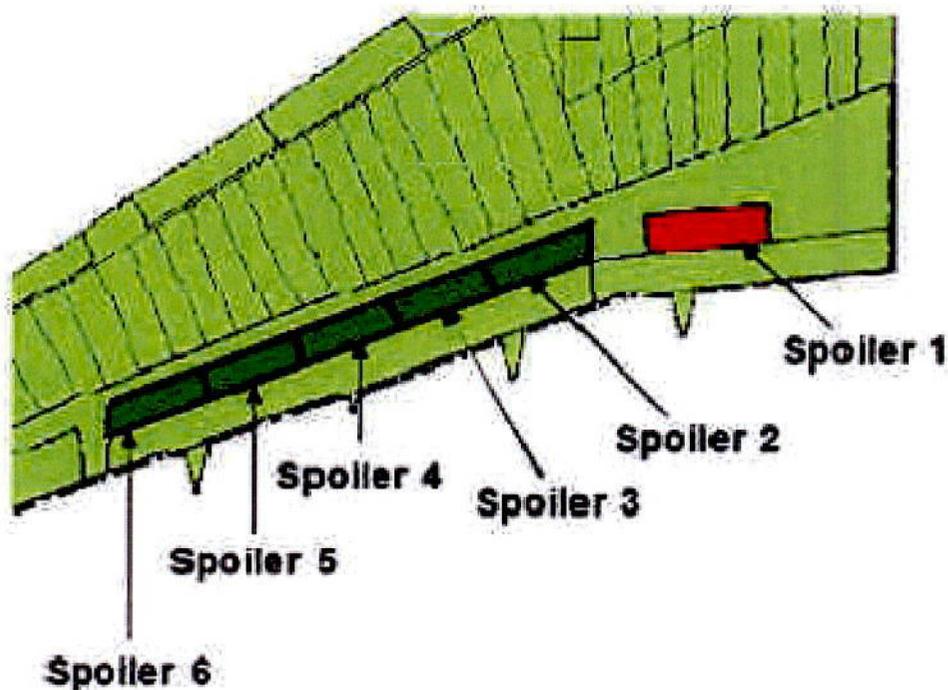
Les conditions de la rupture constatée sur la bielle « 36G » ont été analysées par calcul, DGA/TA a conclu que : (chapitres 5.1 à 5.3 du rapport DGA/TA expertise par calculs N° MT-09/9186 100/P1/A) « *L'étude numérique de la bielle montre que la rupture observée n'est pas due à une sollicitation prévue par la certification, une sollicitation statique dans l'axe de la bielle.*

La recherche d'une sollicitation dynamique (intensité, direction, temps d'application) conduisant à la rupture de la bielle aboutit à un éventail de solutions acceptables trop vaste pour être conclusif ».

Une analyse métallurgique a démontré que le matériau constitutif de la bielle (alliage d'aluminium) est conforme aux données du constructeur.

Commentaire d'experts : La rupture de cette bielle indique que les efforts subis lors de l'impact de la partie arrière de l'avion sur l'eau ont dépassé ou égalé la valeur de 36G.

7.2.1.8 Le spoiler N° 1



Un spoiler très endommagé a été retrouvé en surface plusieurs jours après la récupération des autres débris. Il s'agit du spoiler N° 1, provenant de la zone la plus proche de l'emplanture de l'aile gauche.

Il est constitué d'un panneau composite avec une structure sandwich en nid d'abeille, il comporte (lorsqu'il est complet) 6 ferrures en alliage d'aluminium.

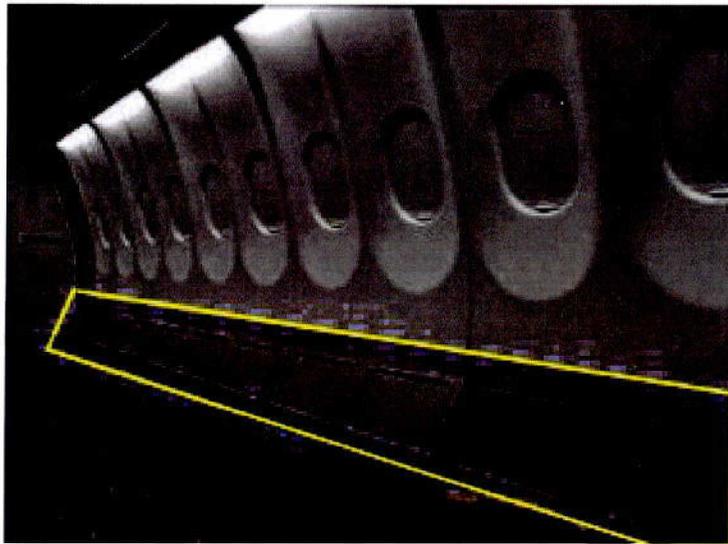
Les observations détaillées montrent que le spoiler a été arraché suite à un effort dirigé du bas vers le haut et vers l'extrémité de l'aile.

Les enseignements fournis par l'analyse détaillée des éléments restant attachés au spoiler indiquent que :

- Le spoiler n'a pas pu se rompre en vol.
- Le spoiler n'était pas sorti au moment de l'impact sur l'eau.

D6716/

7.2.1.9 Les dado panels (panneaux de plinthes)



Les dado panels ou panneaux de dépressurisation rapide sont des clapets d'équilibrage de pression entre la zone sous planchers et la partie cabine. Ils sont situés de chaque côté de la cabine passagers en partie basse et sur toute sa longueur.

Leur but est d'éviter une grave déformation (affaissement) du plancher cabine en cas de dépressurisation accidentelle de la soute (par exemple : ouverture accidentelle d'une porte de soute).

De nombreux (15) dado panels ont été récupérés et leurs positionnements identifiés, ils proviennent des deux côtés de l'avion et sont répartis sur toute la longueur de la cabine. Ils présentent des déformations consécutives à un effort violent dirigé du bas vers le haut.

Les déformations des charnières ne sont pas révélatrices d'un éventuel déclenchement des panneaux suite à une dépressurisation rapide du cargo (soute sous le plancher cabine).

Commentaire d'experts : L'analyse des déformations des dado panels dans une direction inattendue (du bas vers le haut) confirme que :

- *L'avion ne s'est pas désintégré en vol.*
- *Il a percuté la surface de l'océan sensiblement à plat et ailes sensiblement horizontales.*

7.2.2 DÉBRIS REMONTÉS EN MAI 2011

A la suite de la découverte de l'épave, le BEA a remonté du fond de l'Océan de nombreux éléments en plus des enregistreurs de vol CVR et FDR.

Parmi ceux-ci, figuraient :

- Les deux sièges pilotes
- Le vérin à vis du PHR (ou THSA = Trimmable Horizontal Stabilizer Actuator)
- De nombreux calculateurs et cartes de la baie 800 VU.

Les experts ont souhaité exploiter les sièges pilotes pour déterminer l'ergonomie de pilotage du PF en priorité (siège droit), puis du PNF.

L'exploitation du THSA a été réalisée afin de confirmer la position du stabilisateur horizontal au moment de l'impact, rappelons que cette information était déjà donnée par le FDR.

L'identification des calculateurs et cartes afin de sélectionner et permettre au BEA d'exploiter ceux contenant des mémoires non volatiles (NVM = Non-Volatile Memory).

Avec l'accord des magistrats, les experts ont rédigé la mission suivante à l'attention de DGA/TA :

Datib

Charles MAGNE
Expert près la Cour d'Appel de Bordeaux
25, avenue Georges Brassens
33510 ANDERNOS-LES-BAINS

05 57 76 01 45
06 15 58 45 45
c.magne@orange.fr

Affaire : Accident d'aviation Airbus A330
Vol AF447 du 1^{er} juin 2009

Tribunal de Grande Instance de Paris
Cabinet de Madame Syl via ZIMMERMANN
Vice Président chargée de l'Instruction
Monsieur Yann DAURELLE Juge d'Instruction
N° du Parquet : 0915408221
N° de l'Instruction : 2639/09/52

Le : 18 juin 2011.

Monsieur le Directeur de DGA TA
47, rue Saint-Jean – BP 93123
31131 – BALMA Cedex

Objet : Demande de travaux sur les éléments de l'Airbus A330 F-GZCP récupérés au fond de l'océan Atlantique.

Monsieur le Directeur,

Dans le cadre de la mission qui nous a été confiée de « faire procéder par le CEAT à tous tests, analyses ou examens utiles à la compréhension des causes de la catastrophe », je vous serais reconnaissant de bien vouloir procéder à :

- la détermination de l'angle de calage du PHR lors de l'impact au vu du vérin à vis (scellé n° IDS-EP-1)
- la détermination du réglage longitudinal des sièges pilotes au vu des sièges et embase de siège (scellés n° IDS-EP-2 et IDS-EP-18)
- l'identification des calculateurs et cartes non identifiés (scellés n° IDS-EP-37, IDS-EP-39 et IDS-EP-34).

Je vous prie de nous faire parvenir un devis pour l'ensemble des opérations.

Dans l'attente, je vous prie de croire, Monsieur le Directeur, à l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Pour le collège d'Experts :
C. MAGNE



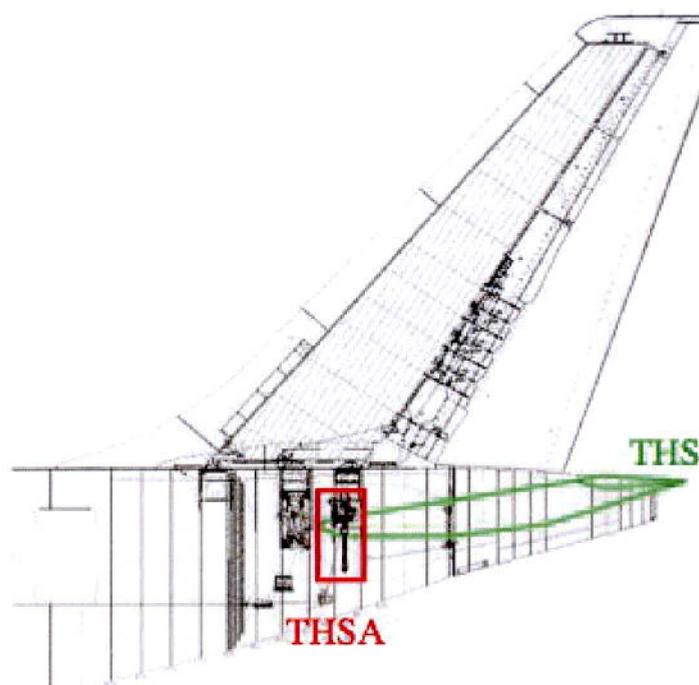
Charles Magne c.magne@orange.fr
Hubert Arnould hubert.arnould@jaco.aero
Alain de Valence a.devalence.expert@me.com
Eric Brodbeck brodbeck.eric@gmail.com
Michel Beyris michelbeyris@wanadoo.fr

Un rapport traitant les trois sujets suivants a été établi :

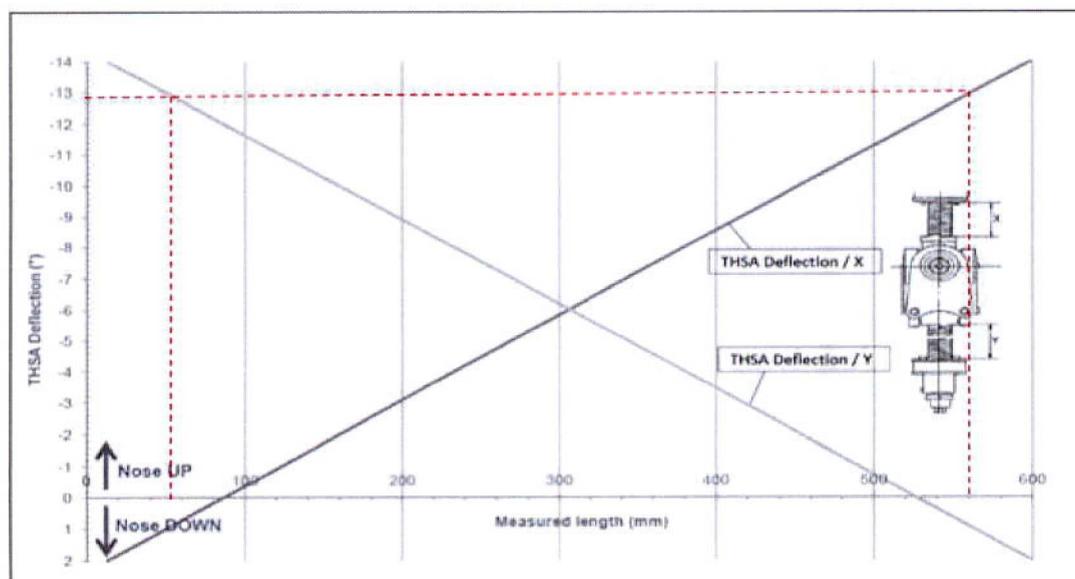
- « Expertise des sièges, du THSA et identification des scellés immergés de l'AIRBUS A330 du vol AF447 » N° 11-DGATA-MTI-PO0719186003010-1 F-A (Annexe N°22)

7.2.2.1 Le THS Actuator

La détermination de la position du THS actuator (vérin de braquage du Plan Horizontal Réglable) permet de connaître la valeur du braquage du THS au moment de l'impact sur l'eau.



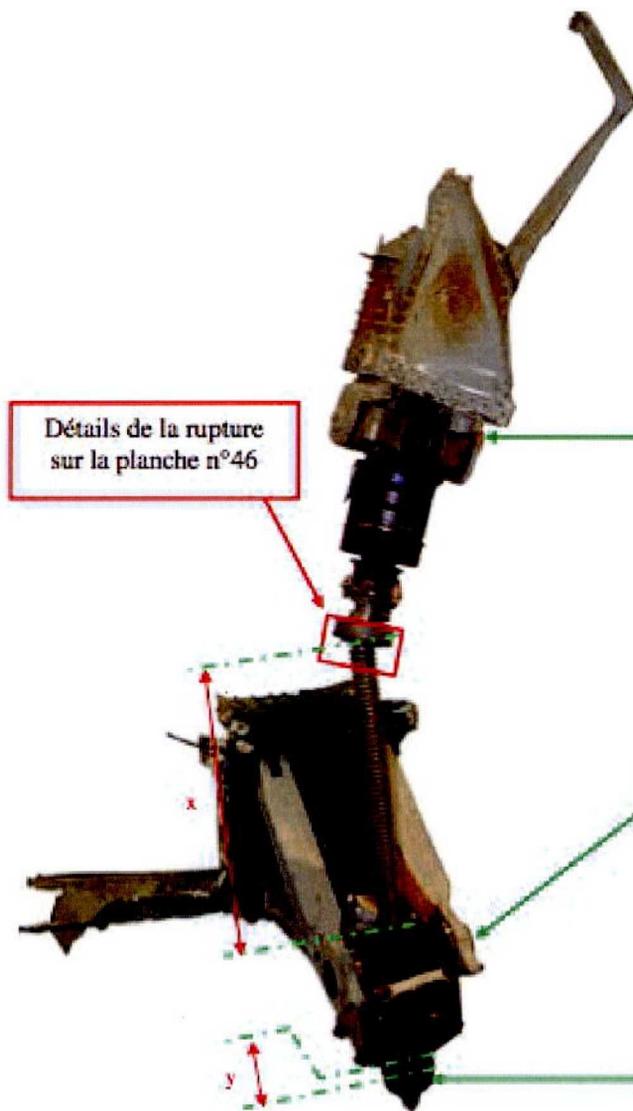
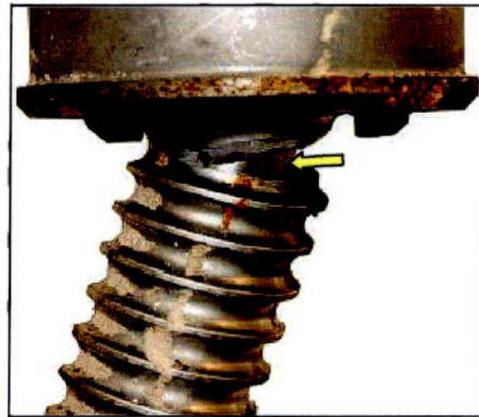
La valeur mesurée est proche de $12,8^\circ$ à cabrer, soit un braquage très proche du maximum (Voir planche ci dessous) Cette valeur est entachée d'une imprécision d'environ un demi tour de vis, en effet, une telle rotation a pu intervenir durant les opérations de relevage.



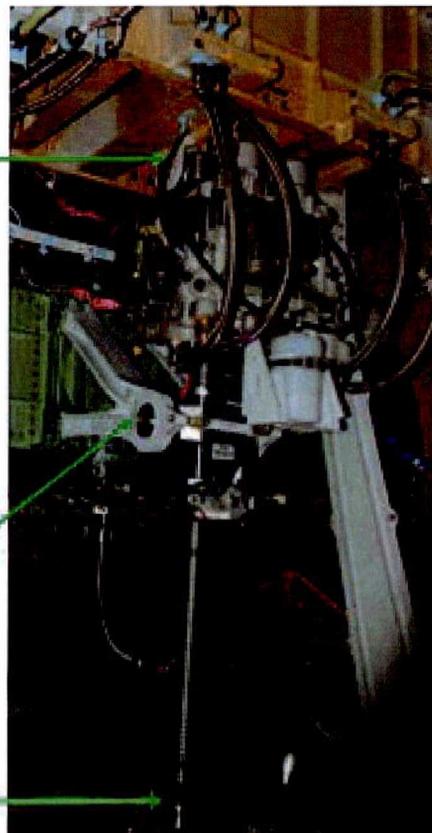
Les données du FDR confirment cette position au moment de l'impact.

Handwritten signature

La vis du THS Actuator s'est rompue durant le crash (planche 46 du rapport DGA/TA).



Détails de la rupture sur la planche n°46



THSA de l'Airbus A330 F-GZCP

THSA sur avion actuellement en service (écrou à billes en haut → moment à piquer)

Les valeurs de x et y correspondent (cf. planche n°45) à un braquage du plan horizontal réglable (THS) de 12.8° à cabrer.

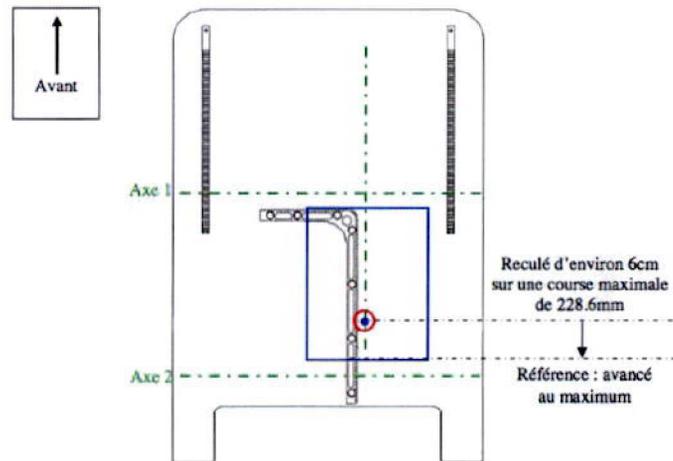
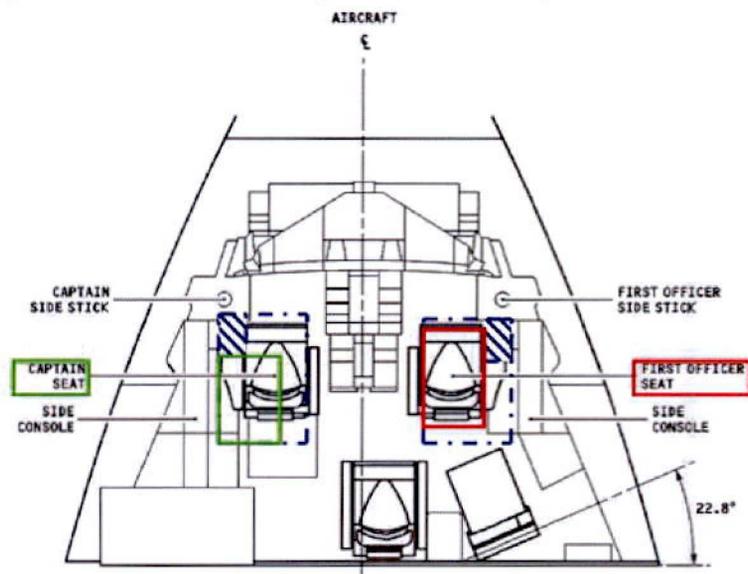
DGA/TA
276

7.2.2.2 Le siège PF (place droite)

Les investigations ont porté sur :

- La position horizontale (longitudinale et latérale)
- La position verticale (réglage de la hauteur de l'assise du siège)
- L'inclinaison du dossier
- Les harnais
- Les réglages de l'accoudoir.

Le schéma ci-dessous montre la position des sièges pilote et copilote dans le cockpit au moment du crash. Les traits discontinus bleus délimitent les positions extrémales des deux sièges (les accoudoirs ne sont pas inclus dans les gabarits vert et rouge).



Les endommagements constatés sur les mécanismes de réglage du siège et le harnais ont permis de déterminer que :

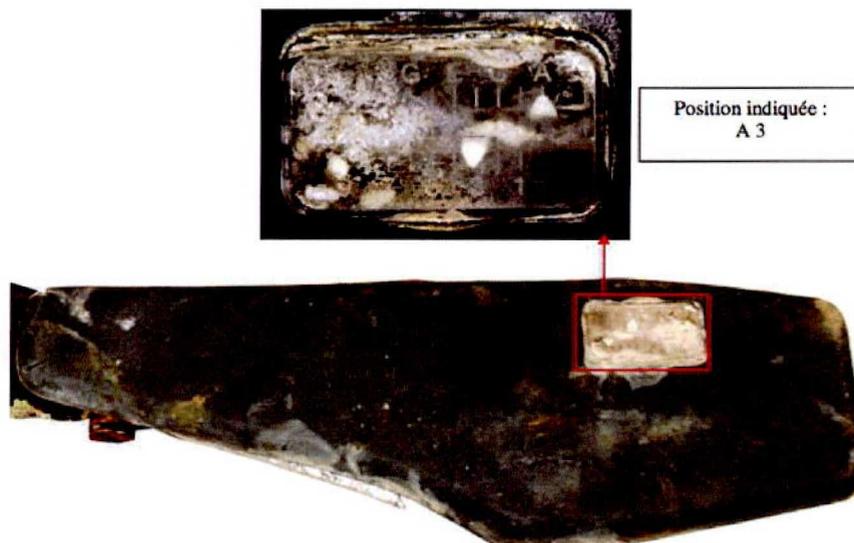
- Ce siège, occupé par le PF, était réglé en longitudinal à environ 172 mm de la position

la plus reculée et à environ 60 mm de la position la plus avancée.

- Le réglage vertical se trouvait relevé d'environ 76 mm sur une course de 165,1 mm.
- Le réglage en inclinaison du dossier n'a pas pu être déterminé car le mécanisme à base de câbles en acier a été arraché en traction lors de la dislocation. Cela a engendré une traction sur les deux verrous de réglage du dossier, empêchant la conservation du réglage de l'inclinaison du dossier.
- Le harnais d'épaule n'était pas bouclé, la ceinture abdominale et la cinquième sangle (centrale) étaient bouclées.

- Le réglage de l'accoudoir du PF a été trouvé sur les index A 3. Le mécanisme et les index de cet accoudoir ont été vérifiés et trouvés fonctionnels. Ce réglage semble cohérent pour un pilote de 1,82 m.

Rappelons que cet accoudoir comporte un système de réglage particulièrement élaboré afin de permettre une ergonomie de pilotage adaptée aux particularités du mini manche associé aux commandes de vol électriques.



7.2.2.3 *Le siège PNF (place gauche)*

Les investigations ont porté sur les mêmes éléments et réglages que sur le siège PF.

- Ce siège a été trouvé en position « stockée », c'est à dire, reculé au maximum et décalé au maximum vers la gauche. Cette position correspond à celle permettant d'accéder ou de quitter ce siège (elle laisse un passage libre entre le siège et la console centrale).
- L'inclinaison du dossier n'a pas pu être déterminée pour des raisons identiques à celles du siège droit.
- Le harnais d'épaule et la cinquième sangle n'étaient pas bouclés, la ceinture abdominale était bouclée.

Commentaire d'experts : Le coussin d'assise du CDB (siège gauche) avait été trouvé flottant à la surface de l'océan peu après l'accident, le trou permettant le passage de la cinquième sangle n'avait pas été déchiré.

Cette constatation avait posé un questionnement sur l'éventualité d'un siège non occupé.

Le constat de la cinquième ceinture non bouclée, alors que la ceinture abdominale l'était, permet de conclure que ce siège était occupé. La lecture du CVR confirme cette observation.

La détermination des réglages du siège PF a été considérée par les experts comme une information essentielle pouvant expliquer les caractéristiques du pilotage du PF lors de la prise des commandes après la déconnexion du pilote automatique.

Les réglages du siège PF n'ont pas permis d'expliquer la tendance à cabrer observée sur le FDR.

En complément des investigations réalisées par DGA/TA, les experts ont positionné en place droite d'un A330, un pilote aux mensurations très voisines de celles du PF (1,82 m et 78 kg).

Après réglage du siège, les valeurs observées étaient très proches de celles constatées sur le siège droit de l'épave.

Elles sont compatibles avec les mensurations du PF et permettaient une bonne préemption du mini-manche de pilotage. Cependant, sachant que la position du dossier n'a pas pu être déterminée, un doute subsiste sur ce point.

D'autre part, nous observons que les harnais d'épaules des deux pilotes n'avaient pas été bouclés. Ce constat suggère que les conditions du vol avant l'accident ne présentaient pas des caractéristiques de turbulences sévères.

L'écoute du CVR n'a pas mis en évidence un bruit de moteur électrique pouvant être identifié comme une manœuvre en longitudinal du siège gauche. Sachant (FDR) que le PNF est intervenu sur les commandes de vol, il a certainement piloté brièvement dans l'urgence avec son siège non réglé.

7.2.2.4 *Calculateurs et cartes immergés*

Le rapport N° 11-DGATA-MTI-P0719186003010-1 F-A liste les scellés identifiés.

Afin d'éviter des endommagements supplémentaires liés à la corrosion, les calculateurs et cartes sont immergés dans de l'eau déminéralisée.

Les annexes 2 et 3 donnent la liste des calculateurs contenant des mémoires non volatiles (NVM).

7 de ces calculateurs ont été confiés au BEA pour expertise et exploitation des mémoires.

Il s'agit de : FCDC 1, FCDC 2, TCAS, FMGEC 1, FMGEC 2, eQAR et ISIS.

7.3 SONDES PITOT

7.3.1 HISTORIQUE, CERTIFICATION, ÉVÈNEMENTS MARQUANTS ET ÉVOLUTIONS TECHNIQUES

L'Airbus A330 a été certifié JAA et FAA le 21 octobre 1993 équipé de la sonde ROSEMOUNT 0851 GR.

Plusieurs rapports concernant des dysfonctionnements des sondes Pitot en conditions givrantes avec cristaux de glace sont établis entre autres, par Air France et concernent la flotte A340.

En décembre 1995, AIRBUS publie le TFU 34.13.00.005 évoquant une insuffisance de certification de la sonde ROSEMOUNT.

En novembre 1996, la sonde GOODRICH 0851 HL est certifiée sur AIRBUS.

En Novembre 1998, la sonde THALES 16195 AA est certifiée sur AIRBUS.

Le 18 août 2001, la DGAC publie l'AD 2001-354 (B) qui préconise un remplacement des sondes ROSEMOUNT 0851 GR par les sondes GOODRICH 0851 HL ou THALES/SEXTANT C16195 AA sur AIRBUS A340/330. Cette directive fait suite au constat de plusieurs pertes ou fluctuations de vitesses indiquées en présence de cristaux de glace et/ou de quantités d'eau excédant les limites des spécifications initiales prévues pour les sondes ROSEMOUNT.

Ces remplacements des sondes sont rendus obligatoires avant le 31 décembre 2003.

Le 18 juillet 2002, AIRBUS publie l'OIT SE 999.0068/02/VHR (Operator Information Telex). Cette recommandation de maintenance concerne, entre autres, les A330.

Elle informe les opérateurs que plusieurs AIRBUS à simple couloir (séries A320) équipés de sondes THALES AA ont rapporté des vitesses erronées en présence de fortes quantités d'eau à basse altitude.

L'origine de ces phénomènes est expliquée par la présence de bavures provoquées lors du perçage des trous de drainage. Ces bavures risquent de favoriser l'accumulation de pollution susceptible de boucher les drains et ainsi, perturber l'évacuation de l'eau.

Le 15 janvier 2005, THALES lance le projet « ADELINÉ » (Advanced air-Data Equipment for air LINERS).

L'objectif d'ADELINÉ est de développer de nouvelles architectures et technologies de saisie de paramètres aérodynamiques pour mise en œuvre sur des avions nouveaux à l'horizon de 2010. Il est précisé dans la présentation du projet que « les systèmes d'acquisition de données installés sur les avions actuels sont constitués de plusieurs sondes délivrant des données vitales et que la perte de ces données peut causer un crash de l'avion, spécialement en cas de givrage de sondes ».

Le 03 janvier 2008, AIRBUS publie la révision 04 du SIL 34-084 (Service Information Letter). Ce SIL est intitulé : « ERRATIC AIRSPEED INDICATION – PITOT PROBES MAINTENANCE ACTION ».

Toute la gamme AIRBUS est concernée. Afin de diminuer l'occurrence des événements de vitesses erronées, AIRBUS précise les actions de maintenance à appliquer. Il recommande aux opérateurs de rapporter chaque événement auprès d'AIRBUS. Il recommande également d'obturer les entrées des sondes lorsque l'avion est parqué ou en cours de lavage.

Ce SIL précise qu'une nouvelle sonde THALES C16195 BA est certifiée sur AIRBUS A320 et recommande de l'installer à la première opportunité.

Il récapitule également les consignes concernant :

- Le test de fuite sur le raccord de pression (air data leak test).
- L'opération de nettoyage par soufflage (flushing of the affected pitot lines).
- L'inspection des sondes (inspection check of the pitot probes).
- Le test du système de réchauffage (probe heat system test).
- Le test de l'ADR (ADR BITE test).

Enfin, il rappelle les intervalles entre les opérations d'entretien des sondes et double leur fréquence (« from 2C to C check », la périodicité des soufflages des sondes et circuits pneumatiques associés passe donc à 21 mois à compter du 3 janvier 2008. La périodicité a été réduite de 36 mois à 21 mois. (Auparavant, la périodicité des Check C était fixée à 18 mois et a été portée à 21 mois le 4 juillet 2008)

De mai 2008 à mars 2009, 9 incidents de givrage des sondes Pitot sont enregistrés sur la flotte A340/A330 d'Air France, dont 1 cas sur A330. Ces 9 cas concernent des sondes THALES AA.

En avril 2009, Airbus déclare que la nouvelle sonde THALES BA n'est pas sensée améliorer la résistance au givrage car elle a surtout été conçue pour améliorer le drainage de l'eau (du fait du dessin très différent de son piège à eau). Cependant, les tests réalisés indiquent qu'elle semble montrer une résistance au givrage meilleure que la sonde AA.

Air France décide alors de lancer le remplacement systématique des sondes AA par des BA sur l'ensemble de sa flotte AIRBUS long courrier. L'A330 F-GZCP n'avait pas encore été équipé de sondes BA le jour de l'accident, cette opération était prévue dans les jours suivants.

En septembre 2008, la compagnie française AIR CARAÏBES rapporte à la DGAC, qui transmet à l'EASA, deux incidents de vitesses erronées sur 2 de ses AIRBUS A330.

Quelques cas d'anomalies de vitesses liées au givrage des sondes ont été observés sur l'ensemble des AIRBUS exploités par les compagnies étrangères.

Commentaire d'experts : La problématique du givrage des sondes a été identifiée par l'ensemble des intervenants : AIRBUS, AIR FRANCE, THALES, DGAC, BEA et EASA. Des actions correctives ont été entreprises.

AIRBUS a demandé et organisé l'évolution technique des sondes (ROSEMOUNT, puis GOODRICH, puis THALES AA, puis THALES BA) et publié les documents d'information et d'alerte auprès des compagnies clientes.

THALES a répondu aux demandes d'AIRBUS de faire évoluer ses sondes (Thales AA, puis BA).

La DGAC, puis l'EASA ont surveillé et approuvé les étapes de la certification dans le respect du règlement CS25 APPENDIX C en vigueur, ainsi que les différentes évolutions décidées en réaction aux nombreux incidents de givrage.

7.3.1.1 Atmosphère givrante

Les premières données disponibles pour la définition de l'atmosphère givrante ont été obtenues dans les années 50 avec l'apparition du transport public et la nécessité d'élaborer une réglementation de vol par tous temps.

Ces données prenaient en compte essentiellement l'eau surfondue, c'est dans les années 80 avec la généralisation des moteurs double flux et les vols à haute altitude que la problématique des cristaux de glace est apparue.

La connaissance de la genèse et du développement des cristaux de glace est encore à ce jour du domaine de la recherche.

En effet, la forme, la taille, la concentration des cristaux de glace ne sont pas formellement identifiées, la norme qui est ainsi définie est donc théorique, d'autre part, les installations d'essai sont limitées dans leur capacité de reproduction du phénomène.

AIRBUS a publié à l'intention des équipementiers une directive ABD 0007 révision E du 7 février 1988 qui définit les exigences techniques dans le respect de la réglementation.

Celles ci ont été précisées pour les sondes PITOT dans le document de référence :

- Spécification technique d'équipement n° SPE 2 3410 F 001 référence 465. 435/83/F révision 4 - 8 avril 1988(A320)
- Spécification technique d'équipement n° 515.3079/9 7 SRD 3411SL (A330/A340)

7.3.1.2 Réglementation

L'atmosphère givrante correspond à une définition réglementaire qui est déclinée par des exigences techniques et décrite dans le règlement européen JAR 25.

- JAR 25 1323 Instruments installation :

Each system must have a heated pitot tube or an equivalent means of preventing malfunction due to icing. (See ACJ 25.1323(e)).

- JAR 25 1326 Pitot Heat indication system :

If a flight instrument pitot heating system is installed, an indication system must be provided to indicate to the flight crew when that pitot heating system is not operating.

- JAR 25 1419 Ice Protection :

If certification for flight in icing conditions is desired, the aeroplane must be able to safely operate in the continuous maximum and intermittent maximum icing conditions of Appendix C. To establish that the aeroplane can operate within the continuous maximum and intermittent maximum conditions of Appendix C (Annexe N°17) (See ACJ 25.1419)

7.3.1.3 Procédure de qualification et certification des équipements installés sur AIRBUS

7.3.1.3.1 Cas général

Pour tout équipement, l'avionneur (AIRBUS) établit des spécifications à l'attention des équipementiers (ou fournisseurs). Ces spécifications (S.T.E. = Spécifications Techniques d'Équipement) prennent en compte à la fois les exigences réglementaires et, le cas échéant, les exigences complémentaires d'AIRBUS (obligatoirement plus restrictives que les exigences réglementaires).

L'avionneur établit un plan de qualification comportant les moyens de conformité associés, il le présente aux autorités de certification pour approbation.

(Annexe N°1) Les fournisseurs participent à l'élaboration du plan de qualification et à la mise en œuvre des moyens de conformité associés à travers leurs propres moyens de développement et de vérification de la conformité. Ils établissent une déclaration de performance.

On entend par moyens de développement et de vérification de la conformité, un ensemble d'éléments constitués d'essais en laboratoire (que ce soit chez l'avionneur ou les équipementiers), d'essais en vol, des résultats de simulations, d'analyses, des procédures de maintenance spécifiques, etc... (par exemple pour la sonde PITOT P/N C16195 AA PROCEDURE D'ACCEPTATION TECHNIQUE SEXTANT Z1271877 du 30/01/1997) (Annexe N°2)

Les équipementiers élaborent également (en coordination avec l'avionneur) :

- Un manuel de maintenance spécifique à chaque équipement, (par exemple : Thales Abbreviated Component Maintenance Manual ATA Nb 34-11-53). (Annexe N°23)
- Une Declaration of Design and Performance (par exemple : DDP Nb Z1272437 issue Nb 02 de janvier 1998). (Annexe N°4)
- Une Failure Mode Effect and Critical Analysis (par exemple : FMECA Nb Z1272311). (Annexe N°3)

L'avionneur est titulaire d'un agrément de conception et de production (règlement 1702/2003 Part 21) qui permet à l'autorité de certification de s'appuyer sur le processus de vérification des justifications produites interne à l'avionneur. Cet agrément permet à l'autorité d'effectuer un examen non exhaustif des pièces du dossier de qualification.

La certification est obtenue à l'issue de :

- L'approbation du plan de qualification et de ses moyens de vérification de la conformité.
- La revue par les autorités de certification de l'ensemble des démonstrations présentées.

7.3.1.3.2 Cas des sondes Pitot

- Les sondes Pitot THALES et GOODRICH ont été certifiées sur AIRBUS A330/340 selon cette procédure :
 - En novembre 1996 pour la sonde Goodrich 0851 HL.
 - En avril 1998 pour la sonde Thales C16195AA.
 - En avril 2007 pour la sonde Thales C161195BA

7.3.1.4 Qualification et certification de la sonde THALES AA (aspect givrage)

Les essais de qualification en vue de la certification de la sonde THALES AA ont été réalisés en plusieurs étapes en fonction des exigences réglementaires.

Exigences réglementaires, 3 niveaux de sévérité :

- Règlement STPA CIN3 n° 42067. Ce règlement date de 1983. Ces conditions sont les moins sévères.
- DCR SP 0001-01. Ces conditions d'essais ont été demandées par AIRBUS, elles sont plus sévères que les conditions du règlement JAR 25.
- Règlement JAR 25.

7.3.1.5 Essais de qualification selon règlement STPA CIN3 N° 42067 (1983)

Ils ont été réalisés lors des campagnes d'essais à la soufflerie givrante d'Aerospace Composite Limited d'Artington le 26 novembre 1996. La soufflerie est qualifiée CAA pour ces mesures.

Document de référence : *Compte-rendu des essais de qualification en conditions givrantes selon STPA-CIN 3 N° 42067 REF : INT/E/ST/97.15026 (Annexe N°6)*

Réf STPA-CIN3	Nombre de Mach	TAT (°C)	SAT (°C)	Concentration g/m ³	MVD	Durée du test	Tension (V)	Alim. (A)	AOA
1	0,5	-18,2	-30,3	1,5	20 microns	15 mn	105,9	2,91	0°
2	0,5	-18,2	-30,3	1,5	20 microns	15 mn	105,8	3	20°

Commentaires

- Essai 1 :

27 secondes après la mise en route du réchauffage, le mâts se libère de glace.

54 secondes après la mise en route du réchauffage, l'information anémométrique redevient correcte, elle reste correcte jusqu'à la fin de l'essai.

– Essai 2 :

8 secondes après la mise en route du réchauffage, l'information anémométrique redevient correcte.

1 minute et 10 secondes après la mise en route du réchauffage, la sonde est libre de glace. L'information anémométrique reste correcte pendant toute la durée de l'essai.

Recherche de limite d'efficacité en antigivrage :

ESSAI	TAT (°C)	SAT (°C)	Nombre de Mach	Concentration g/m/cube	MVD	Durée dégivrage	Tension (V)	Alim. (A)	AOA (°)
S0	-18,9	-30,5	0,49	3,1	20 microns	5 min	105,3	2,94	0
S1	-18,8	-30,1	0,49	3,1	20 microns	5 min	105,1	2,94	10

Lors des essais de qualification, la sonde a passé avec succès les essais ci-dessus.

Ces essais ont été repris en dégivrage (durée 5 minutes) pour valider la limite d'efficacité de la sonde.

Points d'essai en dégivrage :

Pour ces essais, on laisse s'accumuler 0,5 pouce de glace puis on met en route le réchauffage de la sonde, sans arrêter l'injection d'eau. Les points suivants ont ainsi été réalisés :

ESSAI	Nombre de Mach	TAT (°C)	SAT (°C)	Concentration g/m/cube	MVD	Durée dégivrage	Tension (V)	Alim. (A)	AOA (°)
C13	0,48	-20,3	-31,5	3,1	>20 microns	5 min	106	2,98	0
C14	0,48	-18	-29,2	3,1	>20 microns	5 min	105,8	2,98	10

L'essai C13 a été réalisé le 11 octobre 1996.

L'essai C14 a été réalisé le 26 novembre 1996.

NOTA : Ces essais à forte concentration (3,1 g/m/cube) n'ont pu être obtenus qu'avec des gouttes de diamètre volumique moyen supérieur à 20 microns (environ 30 microns).

Commentaires :

– Essai C13 :

59 secondes après la mise en route du réchauffage, l'information anémométrique redevient correcte.

1 minute 27 secondes après la mise en route du réchauffage, la glace qui s'est accumulée sur le mât s'en détache mais reste collée à la paroi.

Ensuite, durant tout l'essai, le tube (et les trous de purge) restent libres de glace et l'information anémométrique reste correcte.

– Essai C14 :

1 minute 10 secondes après la mise en route du réchauffage, l'information anémométrique redevient

correcte et le reste pendant toute la durée de l'essai.

2 minutes 14 secondes après la mise en route du réchauffage, la glace du mât part.

Un léger anneau se forme sur le nez de manière cyclique mais n'interfère pas avec les mesures de pression.

CONCLUSIONS DGA/EP :

Les résultats de ces essais permettent de déduire que la limite d'efficacité des sondes à $M = 0,5$ et $SAT = -30^{\circ}C$ se situe probablement à une concentration comprise entre 2,5 et 3,5 g/m³.

Ces essais montrent que la sonde est conforme à la norme STPA-CIN 3 N° 42067.

7.3.1.6 Essais de qualification suivant la DCR SP 0001-01

Les conditions et paramètres de ces essais de givrage ont été demandés par AIRBUS (DCR SP 0001-01 issue 1 du 9 novembre 1995 : ADDITIONAL QUALIFICATION TESTS FOR PITOT PROBE) (Annexe N°7)

AIRBUS a souhaité que ces conditions soient plus sévères que les exigences des normes JAR 25 et STPA-CIN 3.

Les essais de qualification en conditions givrantes suivant la DCR SP 0001-01 se sont déroulés en plusieurs étapes (essais réalisés pour certification sur A320) :

- Campagne d'essai CSTB de NANTES le 19 mars 1996 pour les essais 1 et 2.
- Campagne d'essai à la soufflerie givrante d'Aérospace Composite Limited (ARTINGTON) du 15 au 19 juillet 1996 pour les essais 9 et 10.
- Campagne d'essai à la NASA LEWIS (CLEVELAND) le 1^{er} août 1996 pour l'essai 6.
- Campagne d'essai à la soufflerie givrante d'Aérospace Composite Limited (ARTINGTON) du 7 au 11 octobre 1996 pour les essais 3, 4, 5, 7 et 8.

Réf	CAS moyenne (Kts)	TAT (°C)	SAT (°C)	Concentration g/m ³	MVD	Durée du test	Tension (V)	Alim. (A)	AOA
3	250	-25,8	-33,3	5	1 mm	1 mn 8 sec	106	2,86	0°
4	250	-25,7	-33,2	5	1 mm	1 mn 45 sec	105,8	2,9	0°
5	250	-26,6	-34,1	2	1 mm	15 mn 15 sec			0°
6	191,32	-1	-5,8	0,62 = maxi	200 microns	5 mn	106	2,52	0°

Les résultats suivants ont été obtenus :

- Essais 1 et 2 : Concernent des tests en condition de pluie, ils ne sont pas étudiés ici.
- Essais 3, 4 et 5 :

Ces essais (3, 4 et 5) ont été réalisés le 10 octobre 1996 à la soufflerie givrante d'Aerospace Composite Limited d'Artington (Grande Bretagne) sur la sonde P/N C16195AAPA S/N PT01.

Les sondes ont été montées sur la paroi de la veine de section 7 in X 12 in.

Durant les essais, la sonde est contrôlée du point de vue tension d'alimentation et intensité consommée.

La pression totale de la sonde ainsi que la pression statique prise à la paroi ont été délivrées à un anémomètre.

Les données de cet anémomètre, comparées aux données de l'anémomètre de référence, ont permis de vérifier le bon fonctionnement de la mesure de pression totale.

Lors des essais, un enregistrement vidéo a été réalisé. Sur cet enregistrement apparaît aussi l'anémomètre relié à la sonde.

Les paramètres de l'installation ont été également enregistrés, notamment la température totale de l'air circulant. La calibration en givre a été faite préliminairement aux essais. Une calibration par concentration a été effectuée. La soufflerie est qualifiée CAA pour ces mesures.

Commentaires :

- Essai 3 :

L'information anémométrique est restée correcte pendant toute la durée de l'essai. En effet, aucun écart n'est apparu entre l'anémomètre de référence et l'anémomètre relié à la sonde C16195AAPA.

L'eau qui sortait du trou de purge regelait légèrement au bord de fuite, mais la glace formée ne remontait pas jusqu'aux trous de purge qui restaient totalement libres de glace.

- Essai 4 :

35 secondes après la mise en route des cristaux, la sonde était pleine.

10 secondes plus tard, on a mis le réchauffage de la sonde en route (démarrage du chronomètre de la vidéo).

En 30 secondes, on a retrouvé une information anémométrique correcte. L'information anémométrique est restée correcte jusqu'à la fin de l'essai.

L'eau qui sortait du trou de purge regelait légèrement au bord de fuite, mais la glace formée ne remontait pas jusqu'aux trous de purge qui restaient totalement libres de glace.

- Essai 5 :

35 secondes après la mise en route des cristaux, la sonde était pleine.

2 secondes plus tard, on a mis le réchauffage de la sonde en route (démarrage du chronomètre de la vidéo).

En 10 secondes, on a retrouvé une anémométrie correcte. L'anémométrie est restée correcte jusqu'à la fin de l'essai.

L'eau qui sortait du trou de purge regelait légèrement au bord de fuite, mais la glace formée ne remontait pas jusqu'aux trous de purge qui restaient totalement libres de glace.

- Essai 6 :

Cet essai a été réalisé le 1^o août 1996 à la soufflerie givrante Icing Research Tunnel (IRT) de la NASA LEWIS à Cleveland (USA). La sonde a été testée en même temps que deux autres sondes :

- La sonde P/N 50620-10, sonde de pression actuellement (en 1996) montée sur AIRBUS A320, testée afin de qualifier la sonde actuelle pour cet essai particulier.
- La sonde P/N C16195AAPB, version modifiée de la sonde P/N C16195AAPA, étudiée par SEXTANT Avionique en parallèle de la sonde P/N C161AAPA.

La sonde était fixée avec les deux autres sondes sur un montage installé dans la veine de 6 ft de haut, 9 ft de large. Le montage était installé de manière à ce que les trois sondes soient placées dans un nuage homogène.

Durant les essais, les sondes étaient contrôlées du point de vue tension d'alimentation et intensité consommée. Afin de ne pas sous-alimenter les sondes, une mesure de la perte en ligne dans le câble d'alimentation a été effectuée ; La valeur obtenue (2,4 Volts) a été prise en compte lors des essais.

Les pressions des différentes sondes ainsi qu'une pression de référence ont été mesurées par des capteurs de pression (fréquence = 1 Hz).

Lors des essais, un enregistrement vidéo a été réalisé.

Les paramètres de l'installation ont également été enregistrés, notamment la température totale et la vitesse.

Durant tout l'essai, les sondes sont restées libres de glace et l'information de pression correcte pour les trois sondes.

Afin d'optimiser la sonde, un essai à tension réduite (102 V) a été réalisé. Durant ce second essai, les sondes sont restées libres de glace et la mesure de pression est restée correcte. Une sous-tension de 102V pour cet essai est donc largement admissible.

Toutefois, vu la bonne tenue des sondes à cette tension, il apparaît que celle-ci est largement supérieure à la tension limite de tenue de l'essai.

Cette tension limite n'a pu être définie lors des essais pour cause de durée d'essai.

- Essais 7 et 8 :

Ces essais (7 et 8) ont été réalisés les 9 et 10 octobre 1996 à la soufflerie givrante d'Aerospace composite limited d'Artington (Grande Bretagne).

Les sondes ont été montées sur la paroi de la veine de section 7 in X 12 in.

Durant les essais, les sondes ont été contrôlées du point de vue tension d'alimentation et intensité consommée.

La pression totale de la sonde, ainsi que la pression statique prise à la paroi ont été délivrées à un anémomètre.

Les données de cet anémomètre, comparées aux données de l'anémomètre de référence, ont permis de vérifier le bon fonctionnement de la mesure de pression totale.

Lors des essais, un enregistrement vidéo a été réalisé. Sur cet enregistrement apparaît aussi l'anémomètre relié à la sonde.

Les paramètres de l'installation ont été également enregistrés, notamment la température totale de l'air circulant. La calibration en givre a été faite préliminairement aux essais. Une calibration par concentration a été effectuée. La soufflerie est qualifiée CAA pour ces mesures.

Aucune des souffleries givrantes contactées dans le monde entier n'a pu répondre favorablement à l'essai décrit dans la DCR A320 (Mach trop élevé pour des essais avec cristaux).

Aussi, il a été convenu avec l'Aérospatiale, lors de la réunion du 8 octobre 1996, d'effectuer ces essais à ARTINGTON (UK) en utilisant l'équivalence suivante (fondée sur la FAR 25 Appendix C) :

Distance parcourue dans le nuage givrant = constante,

d'où Vitesse = temps = constante (M = 0,5 X durée = 7,5 minutes équivalent à M = 0,5 X durée = 5 minutes).

Les essais suivants ont ainsi été réalisés.

Réf	Nombre de Mach	TAT (°C)	SAT (°C)	Concentration g/m/cube	MVD	Durée du test	Tension (V)	Alim. (A)	AOA
7	0,5	-23,5	-35,6	6	1 mm	11 mn	106	2,94	0°
8	0,5	-24,2	-36,3	5	1 mm	10 mn 43 sec	105,7	2,94	10°

Commentaires :

– Essai 7 :

L'information anémométrique est restée correcte pendant toute la durée de l'essai.

L'eau qui sortait du trou de purge regelait légèrement au bord de fuite, mais la glace formée ne remontait pas jusqu'aux trous de purge qui restaient totalement libres de glace.

– Essai 8 :

L'information anémométrique est restée correcte pendant toute la durée de l'essai.

L'eau qui sortait du trou de purge regelait légèrement au bord de fuite, mais la glace formée ne remontait pas jusqu'aux trous de purge qui restaient totalement libres de glace.

– Essais 9 et 10:

Ces essais ont été réalisés le 16 juillet 1996 à la soufflerie givrante d'Aerospace composite Limited à Artington (Grande Bretagne).

Les sondes ont été montées sur la paroi de la veine de section 7 in X 12 in.

Durant les essais, les sondes ont été contrôlées du point de vue tension d'alimentation (prise au bord de la sonde) et intensité consommée.

La pression totale de la sonde, ainsi que la pression statique prise à la paroi ont été délivrées à un anémomètre.

Les données de cet anémomètre, comparées aux données de l'anémomètre de référence, ont permis de vérifier le bon fonctionnement de la mesure de pression totale.

Lors des essais, un enregistrement vidéo de la sonde a été réalisé. Sur cet enregistrement apparaît aussi l'anémomètre relié à la sonde.

Les paramètres de l'installation ont été enregistrés, notamment la température totale de l'air circulant. La calibration en givre a été faite préliminairement aux essais. Une calibration par

concentration et par incidence a été effectuée. La soufflerie est qualifiée CAA pour ces essais.

Réf	Nombre de Mach	TAT (°C)	SAT (°C)	Concentration g/m/cube	Diamètre moyen des cristaux	Diamètre moyen des gouttes	Durée du test	Tension (V)	Alim. (A)	AOA
9	0,5	-7,3	-19,4	5,2 (cristaux) 1,3 (eau)	1 mm	20 microns	5 min	101,5	2,82	0°
10	0,5	-7,2	-19,3	5,2 (cristaux) 1,3 (eau)	1 mm	20 microns	5 min	100,6	2,79	10°

Nota : Ces essais ont été réalisés lors de la phase d'optimisation de la sonde (première campagne en soufflerie givrante).

Aussi, les essais ont été réalisés dans un premier temps avec une tension nettement inférieure à 106V.

La sonde ayant passé avec succès les essais avec une tension faible, il n'a pas été jugé nécessaire de les réaliser de nouveau à 106V.

Commentaires :

– Essai 9 :

L'information anémométrique est restée correcte pendant toute la durée de l'essai. De plus, la sonde est restée libre de glace.

– Essai 10 :

L'information anémométrique est restée correcte pendant toute la durée de l'essai. De plus, la sonde est restée libre de glace.

Lors de tous ces essais, aucune anomalie fonctionnelle de la sonde n'est intervenue. La sonde est restée performante durant toute la durée de ces essais.

Après chaque campagne d'essais, une VBF (Vérification de Bon Fonctionnement) a été réalisée sur la sonde. Aucune anomalie n'a été repérée lors de ces VBF.

CONCLUSIONS DGA/EP:

La sonde P/N C16195AAPA S/N PT01, représentative de la série, a passé avec succès tous les essais définis selon la DCR SP 00001-01.

7.3.1.7 Essais de qualification suivant les exigences de la JAR 25

Document de référence : COMPTE-RENDU DES ESSAIS DE QUALIFICATION EN CONDITIONS GIVRANTES.

Ces essais se sont déroulés comme suit :

- Campagne d'essai à la NASA LEWWIS (Cleveland) le 1^o août 1996 pour les essais (Annexe N°8)A0 et A1.
- Campagne d'essai à la soufflerie givrante d'Aerospace Composite Limited (Artington) du 7 au 11 octobre 1996 pour l'essai S0 en antigivrage.
- Campagne d'essai à la soufflerie givrante d'Aerospace Composite Limited (Artington) du 25 au 29 novembre 1996 pour l'essai S1 en antigivrage.
- Les essais C15 et C16 sont obtenus par similitude avec les essais R0 et R1.
- Campagne d'essai au CEPr (SACLAY), les 19 et 20 décembre 1996 pour tous les autres essais.

Le présent compte-rendu fournit les résultats obtenus au cours de ces différentes campagnes.

REF	MACH	TAT (°C)	SAT (°C)	Concentration g/m/cube	MVD	Durée du test	Tension (V)	Alim. (A)	AOA (°)
A0	0,48	-19,8	-30,8	0,6	20 microns	15 min	106,2	2,79	0
A1	0,48	-19,4	-30,4	0,6	20 microns	15 min	106,2	2,83	10

Durant les essais A0 et A1, deux sondes supplémentaires ont été testées (P/N 50620-10 et P/N C16195AAPB) en plus de la sonde P/N C16195AAPA. Nous relatons seulement les résultats obtenus pour cette sonde.

Ces essais A0 et A1 se sont déroulés le 1^o août 1996 à la NASA LEWIS.

Durant ces essais, la sonde C16195AAPA est restée libre de glace et l'information de pression est restée correcte.

Essais S0 et S1 en antigivrage réalisés à la soufflerie givrante d'Artington le 11 octobre 1996 (S0) et le 25 novembre 1996 (S1) :

REF	MACH	TAT (°C)	SAT (°C)	Concentration g/m/cube	MVD	Durée du test	Tension (V)	Alim. (A)	AOA (°)
S0	0,48	-18,3	-29,6	3,1	>20 microns	5 min	96,2	2,76	0
S1	0,48	-19,5	-30,7	3,1	>20 microns	5 min	106	2,99	10

La forte concentration d'eau nécessaire à cet essai (3,1g/m/cube), n'a pu être obtenue qu'avec des gouttes de diamètre volumique moyen supérieur à 20 microns (environ 30 microns).

Commentaires :

- Essai S0 :

l'information anémométrique est restée correcte pendant toute la durée de l'essai.

L'eau qui sort du trou de purge regèle au bord de fuite mais la glace formée ne remonte jamais jusqu'aux trous de purge.

L'essai étant concluant pour une tension d'alimentation de 96 V, il n'a pas été réalisé à 106 V.

- Essai S1 :

l'information anémométrique est restée correcte pendant toute la durée de l'essai.

Essais au CEPr (SACLAY) :

Ces essais se sont déroulés les 19 et 20 décembre 1996. La campagne d'essai a été conduite parallèlement à des essais sur d'autres sondes. Nous analyserons seulement les résultats concernant la sonde P/N C16195AAPA.

ESSAI	TAT (°C)	SAT (°C)	Nbre de Mach	Concentr. g/m/cube	MVD	Durée givrage	Alim. Moyenne (V)	Conso. Moyenne (A)	AOA (°)
B0	-2,7	-30	0,75	0,8	20 microns	15 mn	105,3	2,73	0
B1	-2,6	-29,9	0,74	0,8	20 microns	15 mn	104,5	2,75	10
R0	-1,8	-20	0,6	6,3	20 microns	5 mn	104,1	2,89	0
R1	-1,7	-19,9	0,6	6,31	20 microns	5 mn	105	2,9	10
S0	-18,9	-30,5	0,49	3,1	20 microns	5 mn	105,3	2,94	0
S1	-18,8	-30,1	0,49	3,1	20 microns	5 mn	105,1	2,94	10
T0	-2,6	-29,9	0,75	4,4	20 microns	5 mn	104,1	2,92	0
T1	-2,7	-30	0,75	4,4	20 microns	5 mn	101,62	2,95	10

Commentaires :

- Essai B0 :

La sonde (C16195AAPA) est restée totalement libre de glace durant les 15 minutes d'essai.

La pression est restée correcte durant les 15 minutes d'essai.

- Essai B1 :

La sonde est restée totalement libre de glace durant les 15 minutes d'essai.

La pression est restée correcte durant les 15 minutes d'essai.

- Essai R0 :

La sonde est restée totalement libre de glace durant les 5 minutes d'essai.

Après 5 minutes d'essai ($t = 5$ minutes), on diminue la tension à 98V, puis à $t = 7$ minutes 50 secondes, on passe à 90V. La sonde reste propre pendant plus de 5 minutes.

A $t = 14$ minutes, on diminue la tension à 78V. Un anneau de glace se forme au nez. Cette tension est considérée comme la limite d'antigivrage pour cet essai.

– Essai R1 :

La sonde est restée totalement libre de glace durant les 5 minutes d'essai.

L'eau qui sort des trous de purge regèle légèrement au bord de fuite, mais la glace formée ne remonte pas jusqu'aux trous de purge qui restent totalement libres de glace.

– Essai S0 : Dégivrage après 5 minutes de givrage

Après mise en route du réchauffage, la pression redevient correcte en moins de 20 secondes.

– Essai S1: Dégivrage après 5 minutes de givrage

Après mise en route du réchauffage, la pression redevient correcte 20 secondes.

– Essai T0 :

La sonde est restée totalement libre de glace durant les 5 minutes d'essai.

L'eau qui sort des trous de purge regèle au bord de fuite, mais la glace formée ne remonte pas jusqu'aux trous de purge qui restent totalement libres de glace.

Lors de l'essai, la pression varie lorsque le support givre.

– Essai T1 :

Lors de cet essai, l'eau qui sort des trous de purge regèle au bord de fuite, mais la glace formée ne remonte pas jusqu'aux trous de purge qui restent totalement libres de glace.

Après 4 minutes d'essai, un léger anneau se forme sur le nez de la sonde et part instantanément de manière cyclique.

Lors de l'essai, la pression varie fortement lorsque le support givre.

Pour contrôler que cette variation de pression est due au givrage du support, on arrête le réchauffage de la sonde à la fin de l'essai et on laisse le support dégivrer.

En même temps que le support se dégivre, la pression mesurée par la sonde redevient correcte.

Des contrôles réguliers entre les essais ont permis de vérifier qu'il n'y avait pas de présence d'eau dans les tuyaux.

– Essais C15 et C16 :

En ce qui concerne les essais C15 et C16, les essais R0 et R1 effectués au CEPr sont plus sévères.

En effet, les températures d'arrêt sont voisines (-2°C et -5°C) et la concentration est la même. Le nombre de Mach est par contre deux fois plus élevé pour les essais R0 et R1.

Ainsi, le produit $V_x \text{LWC}$ est de $615\text{ms}/-1\text{gm}/-3$ pour les essais C15 et C16 et de $1206 \text{ms}/-1\text{gm}/-3$ pour les essais R0 et R1.

On peut noter que l'essai R0 a été effectué pendant plus de 14 minutes avec des tensions variant de 106V à 90V. La sonde restant libre de glace.

On peut donc conclure que la sonde est qualifiée pour les essais C15 et C16 par similitude avec les essais R0 et R1.

CONCLUSIONS DGA/EP :

La sonde C16195AAPA S/N PT01, représentative de la série, a passé avec succès tous les essais de qualification en conditions givrantes selon le règlement JAR 25.

Lors de tous ces essais, aucune anomalie fonctionnelle de la sonde n'est intervenue. La sonde est restée performante durant toute la durée de ces essais.

Commentaire d'experts : La sonde THALES AA a été essayée avec succès dans des conditions plus sévères que la norme JAR 25 à la demande d'AIRBUS (DCR SP 00001-01).

D'autres standards relevant des règlements FAA ont été suivis : TSO C 16 et SAE AS393.

Ces campagnes d'essais se sont déroulées en 1996, les performances des souffleries givrantes existant dans le monde étaient limitées et ne permettaient pas de reproduire les paramètres de vol d'un avion moderne (Mach, température totale, cristaux parfaitement calibrés et dosés).

L'adaptation par calcul de certains paramètres a été rendue nécessaire pour simuler des conditions s'approchant des paramètres réels.

Par exemple, pour les essais 7 et 8 de la DCR SP 00001-01, les paramètres demandés dépassaient les capacités de vitesse avec cristaux. Une équivalence de distance parcourue dans le nuage givrant a été calculée et appliquée.

Afin d'observer le comportement des sondes dans des conditions réelles de vol de croisière selon des paramètres plus proches de la réalité, les experts ont décidé de réaliser une campagne d'essais au CEPr de SACLAY. Ces essais figurent ci-dessous :

7.3.1.8 Essais de givrage à DGA/EP

Compte-rendu d'essais n° 5463-CRE-01, caractérisation de l'effet de drain(s) obstrué(s) sur la mesure de pression des sondes Pitot. (Annexe N°9)

Ces essais de givrage ont été menés sur une installation capable de reproduire les paramètres principaux d'un vol en croisière sur un avion moderne (conditions du vol AF447).

RAPPEL : Les souffleries utilisées lors de la qualification des sondes installées sur A330/340 ne permettaient pas d'atteindre ces paramètres :

- Vitesse = M0.80
- Altitude = 10500 m
- Température totale = -24°C
- Teneur en eau (cristaux) moyenne = 1,5g/m³, 3g/m³ puis 4 g/m³ d'air.
- Dimension des cristaux de glace = 20 microns.

L'installation utilisée a été développée par DGA/EP à la demande des experts. Il s'agit de la seule soufflerie givrante au monde ayant la capacité de ces paramètres. Elle ne bénéficie d'aucune certification ou homologation.

Ces essais ne sont absolument pas destinés à remettre en cause la certification des sondes, le but poursuivi étant seulement de tenter de comprendre avec une meilleure précision, les capacités de résistance au givrage et de dégivrage des sondes dans les conditions réelles d'un vol de croisière, en conditions givrantes, avec des teneurs en eau et des dimensions de cristaux connues.

CONCLUSIONS DGA/EP :

Malgré des différences dans l'évolution des pressions mesurées, les sondes ont globalement un comportement similaire.

Lorsque le réchauffage est coupé, la pression mesurée tend à diminuer.

Les captations formées en aval des drains sous le tube ou au bord de fuite du mât ne perturbent pas la mesure de pression.

Pour toutes les conditions d'essais réalisées, les quatre sondes testées indiquent une mesure de pression correcte en antigivrage (phases 7 et 12).

En dégivrage avec injection, les sondes reviennent à une valeur de pression correcte en 10 secondes maximum (phase 5).

En dégivrage en air sec, les sondes récupèrent la pression nominale en moins de 13 secondes (phases 10 et 15).

CONCLUSIONS (rapport des experts du 31 mars 2010) :

Lors des essais à IWC = 3 et 4 g/m³, la pression mesurée tend à diminuer lorsque le réchauffage est coupé. Cela signifie que les sondes commencent à givrer (début d'obturation).

La valeur moyenne de la diminution de pression est alors de 10,4kPa.

Une telle chute de pression correspond à un givrage établi.

Sur les quatre sondes essayées, les essais réalisés à IWC = 1,5g/m³ (IWC = Inlet Water Content) démontrent que l'obturation des sondes se révèle négligeable lors de la coupure du réchauffage. La chute de pression moyenne se situe à 0,4 kPa.

Cette faible valeur ne peut pas être qualifiée de givrage.

Commentaire d'experts : Nous observons que lors des essais de coupure du réchauffage à IWC = 3g/m³ et 4g/m³, la pression commence à diminuer après les délais suivants (moyenne calculée) :

11,7 secondes pour IWC = 3 g/m³

9,25 secondes pour IWC = 4 g/m³.

Le bilan de ces essais suggère un comportement des sondes essayées conforme à minima, aux exigences réglementaires en matière d'antigivrage et de dégivrage en vigueur lors des essais de qualification.

Ces essais suggèrent également un bon comportement des sondes en termes d'antigivrage et de dégivrage avec les paramètres de croisière d'un AIRBUS A330 et ce, jusqu'à une concentration de cristaux maximale de 4 g/m³.

Aucune conclusion ne peut être formulée au delà de cette concentration à 4 g/m³.

7.3.1.9 Essais de perméabilité des systèmes de drainage

Ces essais de perméabilité, réalisés par les experts sur un échantillonnage de 12 sondes (voir détails dans le rapport d'expertise déposé le 31 mars 2010 chapitre 14.7.2 et dans l'Annexe N°14 jointe au présent rapport), ont eu pour but de vérifier la faisabilité et la fidélité de la méthode en vue d'examen plus approfondis et d'essais sur 84 sondes à DGA/TA/SACLAY.

Les valeurs de débit mesurées ont démontré que :

Il existe une dispersion importante des valeurs de débit en fonction de l'état de vieillissement et du type de sonde.

Les différences de débit ont été confirmées lors des examens et essais ci-dessous, menés à SACLAY.

7.3.1.10 Examen par DGA/EP SACLAY

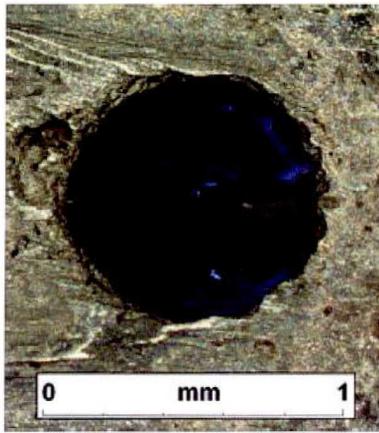
(Rapport d'Investigations 35-DAI-10 OT n° 5432) sur 84 sondes réparties comme suit (Annexe N°10)

- 81 sondes Thales C16195AA saisies dans les locaux d'Air France. Ces sondes ayant été déposées de la flotte A330/340 en vue de leur remplacement par des sondes Thales C16195BA.
- 2 sondes Thales C16195BA neuves.
- 1 sonde Goodrich 0851 HL neuve.

7.3.1.10.1 Examen sondes THALES AA

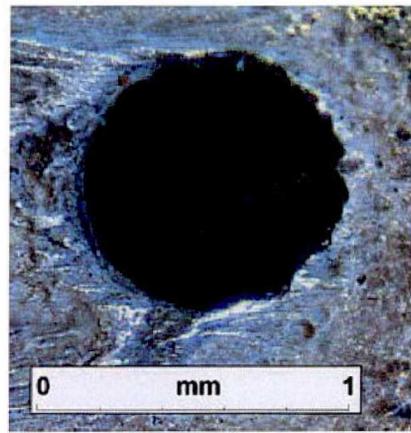
Exemples de drains partiellement obstrués et totalement obstrués.

Sonde S/N 5068 (scellé n° S-MTN-07-4), drain A constaté partiellement obstrué :



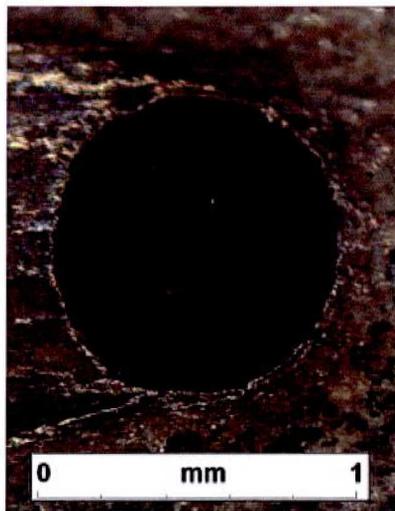
Clichés 24 et 25 :

Avant essai



Après essai

Sonde S/N 5824 (scellé n° S-MTN-07-11), drain A constaté obstrué :



Clichés 30 et 31 :

Avant essai



Après essai

CONCLUSIONS (rapport DGA/EP) :

DGA/EP

5 – SYNTHÈSE

Les examens demandés sur 84 sondes pitot, dans le cadre de la mission relative à l'accident d'un avion Airbus A330 survenu le 1 juin 2009, ont tous été réalisés et les résultats issus de ces examens validés par le collège d'experts désigné.

Ces examens ont montré que :

- Aucune sonde ne présente d'obstruction de son canal principal.
- Un dépôt noirâtre est identifié sur la surface intérieure de chaque sonde, il est observé préférentiellement dans la partie avant du canal principal (de la section d'entrée à mi-longueur du canal).
Ce dépôt est consécutif à la dégradation de la brasure assurant le lien entre le corps des sondes et les spires électriques assurant le dégivrage des sondes. Cette dégradation de la brasure est liée à un phénomène d'oxydation.
Ce dépôt s'écaille localement, libérant ainsi de fines particules. Certaines de ces particules ont été observées dans les drains, obstruant totalement ou partiellement ces derniers.
La présence de ce type de particule dans les drains se traduit, lors des essais de perméabilité, par un débit de fuite nettement inférieur à celui mesuré avec des drains parfaitement transparents.
- Aucune attaque de corrosion n'est observée dans les drains.

Commentaire d'experts : Aucune sonde ne présente d'obstruction au niveau de son canal principal.

Des obstructions partielles ou totales de certains drains sont observées, aucune sonde ne montre une obstruction partielle ou totale de ses deux drains.

La présence de particules dans les drains se traduit par une diminution du débit des drains concernés.

Trois DVD sont déposés à la procédure (D6373, pièces N° 74,75,76), ils contiennent les images de l'endoscopie de l'intérieur des 84 sondes.

7.3.1.11 Etude des sondes analysées par DGA/EP et impliquées dans des incidents de vitesses erronées, survenus sur la flotte A330/340 d'Air France entre le 10 mai 2008 et le 30 mars 2009.

Six sondes ayant équipé trois avions impliqués dans des incidents de vitesses indiquées figurent parmi les 81 sondes saisies dans les ateliers d'Air France après l'accident.

Rappelons que ces sondes THALES AA ont été déposées de la flotte AIRBUS long courrier en vue d'un remplacement par des sondes BA, puis GOODRICH.

Cette étude a pour but de rechercher des caractéristiques éventuellement communes à ces 6 sondes pouvant apporter des enseignements sur leurs comportements lors des incidents.

Avions concernés, les incidents :

- **F-GLZC** : le 31 octobre 2008. Vol CDG/YYZ « **PFR REPORT 14h57 F/CTL altn LAW, AUTO FLT AP OFF, W/S DET FAULT. As per DAR data, the IAS system 1 was not**

reliable less than 10 seconds ». Pas d'ASR, pas d'ATL.

Avion équipé des sondes AA S/N 6540 et 6634.

L'examen de ces deux sondes n'a pas mis en évidence une obstruction de drain.

Les débits moyens mesurés (23,3 et 19,4 cl/min) se situent dans des valeurs correctes (voir rapport DGA/EP 35-DAI-10 ci-dessus).

- **F-GLZH** : le 30 mars 2009. Vol CAY/ORY « *During climb from FL350 to FL370, entering a cloud base with moderate turbulences, loss of 3 IAS with STALL warning. After C/L application, recovery of F/O and STBY IAS, then CPT IAS* ». ATL N° 60339791, ASR N° 107317.

Avion équipé des sondes AA S/N 6628 et 6632.

L'examen de ces deux sondes n'a pas mis en évidence une obstruction de drain.

Les débits moyens mesurés se situent dans des valeurs hautes (25,2 et 25,6 cl/min).

- **F-GZCB** : le 30 mars 2009. Vol GRU/CDG « *In cruise FL350 with high turbulences, AP2 disconnect and loss of IAS on the 2 PFD. Stall warning. Every thing comes back to normal after around 2 minutes* ». ATL N° 60631912, ASR N° 107258.

Avion équipé des sondes AA S/N 4525 et 5061.

L'examen de ces sondes a montré une obstruction totale d'un drain de la sonde N° 5061.

Les débits moyens mesurés sont très différents entre les deux sondes (24 cl/min pour 4525 et 9,1 cl/min pour 5061). Cette valeur faible s'explique par un des deux drains obstrué.

Commentaire d'experts : Cette étude a permis de déterminer que des drains en bonne condition (non obstrués) n'empêchent pas le givrage des sondes, y compris avec une bonne valeur de débit au niveau des drains (cas de 5 sondes sur 6 : N° 6628, 6632, 6540, 6634 et 4525).

7.3.1.12 Expertise du processus de qualification des sondes de pression

Sondes de pression montées sur avion AIRBUS A330 (Rapport d'expertise N° MT-09/9186100/P3/A)(Annexe N°11)

Afin de vérifier la validité du processus de qualification des sondes THALES C16195AA et GOODRICH 0851HL, les experts ont demandé à DGA/TA d'analyser l'aspect documentaire de ce processus.

CONCLUSIONS (rapport DGA/TA) :

De l'analyse de l'ensemble des documents fournis par les équipementiers et avionneur et compte tenu de leurs réponses fournies aux questions posées suite à ces analyses, il apparaît qu'aucune anomalie dans le processus de qualification des sondes Thalès type C16195 AA et Goodrich type 0851HL n'a été mise en évidence.

Ce processus est donc valide.

7.3.1.13 Expertise du système de réchauffage des sondes Pitot de l'A330

(Rapport d'expertise N° 12- DGA-SIE-P0719186003010-DR-1P-A)(Annexe N°12)

Cette expertise a permis d'examiner le processus de certification du système de réchauffage des sondes Pitot et d'effectuer une analyse de sécurité des systèmes associés.

L'analyse de DGA/TA a porté sur les calculateurs suivants : PHC (Probe Heat Computer), ADIRU (partie Air Data Reference uniquement) et FWC (Flight Warning Computer).

DGA/ a analysé les données du processus de certification du PHC et de ses évolutions en cohérence avec l'architecture du système de réchauffage des sondes Pitot. L'évolution du FWC a été analysée en parallèle.

CONCLUSIONS (rapport DGA/TA :

En réponse à la mission ordonnée par le collège d'experts judiciaires, l'examen du processus de certification du système de dégivrage des sondes de l'A330, l'examen de l'analyse de sécurité des systèmes et des logiciels associés au PHC et l'analyse de tous les « Service Bulletin » liés au PHC ont mis en lumière plusieurs faits marquants.

L'analyse de sécurité identifie comme « Catastrophique », le scénario de défaillance « Undetected loss of two PHC » (Perte non-détectée de deux PHC).

Le niveau de criticité du Probe Heat Computer, a été réduit du niveau ClassA au niveau ClassB (« Critical » ! «Essentiel»). Les réponses apportées par l'avionneur lors de nos investigations ne permettent pas de comprendre la justification de cette réduction du niveau de criticité en regard des bases de certification de l'A330.

L'analyse de tous les Service Bulletin et Service Information Letter liés au PHC montrent qu'au début des années 2000, l'expérience en service affiche un taux de défaillance important des PHCs. Pour améliorer la fiabilité du calculateur et limiter le nombre de pannes intempestives apparaissant en cockpit, plusieurs modifications ont été réalisées sur le PHC.

Une nouvelle version du PHC11 a été créée pour porter cette évolution. Air France a intégré cette évolution sur sa flotte d'A330 en 2008.

L'A330 du vol AF447 (F-GZCP) a changé ses trois PHC le 11 juillet 2008. Les PHC 785-620-2 ont été remplacés par les PHC 785-620-3.

Les performances de la version 785-620-3 du calculateur n'ont pas été évaluées au travers d'essais de qualification. Actuellement, les conséquences d'un effet Multi-Burst ou d'une microcoupure sur l'alimentation 3PP (PHC1 et PHC3) sur le PHC, ne sont pas caractérisées précisément. La première version du calculateur était déjà sensible à ces agressions.

Par ailleurs, les documents obtenus lors de nos investigations démontrent que les chaînes de dégivrage des sondes Captain et Stand-By ne sont pas indépendantes.

Une panne simple peut faire dysfonctionner les deux chaînes simultanément en activant soit le mode commun présent aux niveaux des relais 2KS1 et 2KS2 soit lorsque l'alimentation 3PP génère une microcoupure pour les PHC1 et PHC3.

Pour limiter le nombre de pannes intempestives au niveau du panneau d'alarme en cockpit, la version K9 de l'algorithme du Flight Warning Computer (FWC) a été modifiée parallèlement aux modifications du PHC. Depuis la version K9-0 du FWC, lors d'une panne du PHC, une temporisation de cinq secondes est attendue par le FWC avant de considérer la panne valide. Cette modification introduit le risque de non-détection d'une panne intermittente du PHC inférieure à cinq secondes.

Les réponses obtenues aux différents questionnaires mettent en évidence que le comportement du PHC lors d'une phase de réinitialisation, en vol, suite à un effet Multi-Burst ou une microcoupure de l'alimentation du PHC n'est pas caractérisé précisément.

En conditions givrantes, l'impact potentiel d'une telle défaillance sur le givrage des sondes Pitot n'est pas connu actuellement.

Suite à une microcoupure de l'alimentation des PHC, le givrage des sondes pourrait être envisagé si l'inertie de la capacité thermique des sondes Pitot n'est pas suffisante.

Les éléments rappelés ci-dessus doivent être corrélés pour évaluer la robustesse de l'architecture du système de dégivrage de A330 face au scénario de défaillance « Catastrophique » : la panne temporaire non-détectée du système de dégivrage des sondes Pitot simultanément sur les voies Captain et Stand-By.

Commentaire d'experts : En premier lieu, DGA/TA a cherché à évaluer la robustesse de l'architecture du système de réchauffage des sondes Pitot des A330 en regard des exigences de certification.

La réduction du classement de criticité du PHC a été observée (de Class A à Class B, c'est à dire : de « Critical » à « Essential ») alors que l'analyse de sécurité identifie comme « Catastrophique » le scénario de défaillance de 2 PHC non détectée.

Les réponses apportées par AIRBUS ne permettent pas de comprendre la justification de cette réduction de criticité en regard des documents de certification de l'A330.

L'analyse de tous les SB et SIL liés aux PHC montre que ces PHC sont affectés d'un taux de défaillance important depuis 1998 (voir courbe de fiabilité des PHC en figure N° 12, page 14 du rapport DGA/TA).

Afin de limiter le nombre d'alarmes (pouvant être de nature intempestive) présentées à l'équipage, des modifications ont été apportées au PHC.

Ainsi, la version 785-620-3 (Tiret 3) a remplacé la version 785-620-2 (Tiret 2).

Les trois PHC -2 du F-GZCP (A330 du vol AF447) ont été remplacés par des -3 le 11 juillet 2008.

Les performances de la version -3 n'ont pas été évaluées au travers d'essais de qualification malgré une sensibilité aux conséquences d'un effet « Multi-Burst » ou

d'une microcoupure (Switching Transient) constatée lors des essais de la version -2 (voir détails aux chapitres 8.1.1. et 8.1.2. du rapport DGA/TA).

Egalement et afin de limiter le nombre de pannes de réchauffage des sondes présentées à l'équipage, l'algorithme du FWC (Flight Warning Computer) a été modifié et certifié en octobre 2006 (nouvelle version : K9-0).

Cette modification intègre une temporisation de 5 secondes avant que le FWC ne valide une interruption du réchauffage et présente cette panne à l'équipage.

Cette modification introduit un risque de panne intermittente du PHC, inférieure à 5 secondes, non détectée.

Par ailleurs, DGA/TA a découvert une possibilité d'activation d'un « mode commun » de panne sur les PHC 1 et 3.

Cette possibilité de mode commun a pour conséquence non souhaitée, de mettre à mal le principe de redondance obligatoire sur les systèmes critiques de sécurité (cas des PHC).

7.3.2 ANALYSE DU RÈGLEMENT CS25 APPENDIX C , SES LIMITES

Il a été observé plus haut que les paramètres du règlement JAR 25/CS 25 ayant été suivi pour les essais de qualification des sondes en conditions givrantes ne sont pas représentatifs de la réalité d'un avion moderne en vol de croisière.

7.3.2.1 Définition de l'atmosphère givrante (CS25 Amdt 5 septembre 2008)

Deux enveloppes givrantes ont été définies :

Appendix C

C25.0001.

C25.0001.(a). Continuous maximum icing.

The maximum continuous intensity of atmospheric icing conditions (continuous maximum icing) is defined by the variables of the cloud liquid water content, the mean effective diameter of the cloud droplets, the ambient air temperature, and their inter-relationship of these three variables as shown in Figure 1 of this Appendix. The limiting icing envelope in terms of altitude and temperature is given in Figure 2 of this Appendix. The inter-relationship of cloud liquid water content with drop diameter and altitude is determined from Figures 1 and 2. The cloud liquid water content for continuous maximum icing conditions of a horizontal extent, other than 17.4 nautical miles, is determined by the value of liquid water content of Figure 1, multiplied by the appropriate factor from Figure 3 of this Appendix.

C25.0001.(b). Intermittent maximum icing.

The intermittent maximum intensity of atmospheric icing conditions (intermittent maximum icing) is defined by the variables of the cloud liquid water content, the mean effective diameter of the cloud droplets, the ambient air temperature, and the inter-relationship of these three variables as shown in Figure 4 of this Appendix. The limiting icing envelope in terms of altitude and temperature is given in Figure 5 of this Appendix. The inter-relationship of cloud liquid water content with drop diameter and altitude is determined from Figures 4 and 5. The cloud liquid water content for intermittent maximum icing conditions of a horizontal extent, other than 2.6 nautical miles, is determined by the value of cloud liquid water content of Figure 4 multiplied by the appropriate factor in Figure 6 of this Appendix.

L'extrait ci-dessus du CS25 appendix C, présente les deux enveloppes givrantes en vigueur :

- L'enveloppe « maximum continu » (chapitre (a) « *Continuous maximum icing* »), correspondant à un nuage à développement horizontal, traversé en 17,4 miles nautiques (32,2 km) avec des concentrations d'eau et des dimensions de gouttes de valeurs modérées (voir figures 1, 2 et 3 de l'Appendix C).

La température ambiante reste supérieure ou égale à -30°C., l'altitude maximum est de 22000 ft.

- L'enveloppe « maximum intermittent » (chapitre (b) « *Intermittent maximum icing* »), correspondant à la traversée d'un nuage de 2,6 miles nautiques (4,8 km) avec des conditions de concentration et de diamètre de gouttes d'eau plus sévères. Le nuage peut avoir des caractéristiques de développement vertical (cumuliform cloud) (figures 4, 5 et 6 de l'Appendix C).

La température ambiante peut atteindre -40°C et l'altitude, environ 30000 ft.

7.3.2.2 Les paramètres du vol AF447 (rappel)

Pour rappel, les paramètres de croisière l'A330 du vol AF447 au moment du givrage des sondes dans un nuage étaient les suivants :

- Vitesse = M0.80
- Altitude = 10500 m (35 000ft)
- Température totale = -24°C
- Température ambiante : environ -40°C
- Teneur en eau (cristaux) moyenne : inconnue*
- Dimension des cristaux de glace : inconnue.

* La concentration en eau du nuage que traversait l'A330 du vol AF447 n'est pas connue, cependant, la campagne d'essais réalisée par les experts à DGA/EP de SACLAY a montré que la sonde THALES AA ne givre pas jusqu'à une concentration en eau de 4g/m³ d'air. Il est donc envisageable que la concentration en eau dans ce nuage était supérieure à 4g/m³ d'air.

7.3.2.3 Pertinence du standard de certification CS25 Appendix C

Ce standard a été défini à une époque (fin des années 50) où les avions de transport public volaient selon des paramètres différents de ceux des avions modernes à réaction : Vitesse, altitude et donc, températures.

L'évolution des technologies a permis des performances en croisière nettement plus favorables au développement de l'aviation commerciale.

Parallèlement à cette évolution, aucune soufflerie givrante n'a été développée dans le monde afin de pouvoir satisfaire aux essais selon les paramètres des avions modernes.

Ainsi, le standard CS25 Appendix C est devenu obsolète, sa pertinence n'est donc plus assurée.

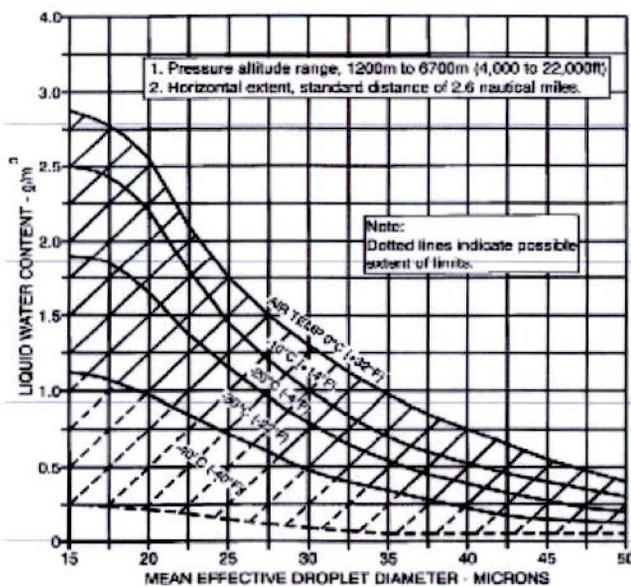


FIGURE 4

INTERMITTENT MAXIMUM (CUMULIFORM CLOUDS)
ATMOSPHERIC ICING CONDITIONS
LIQUID WATER CONTENT VS MEAN EFFECTIVE DROP DIAMETER

Source of data - NACA TN No. 1855, Class E - M, Intermittent Maximum

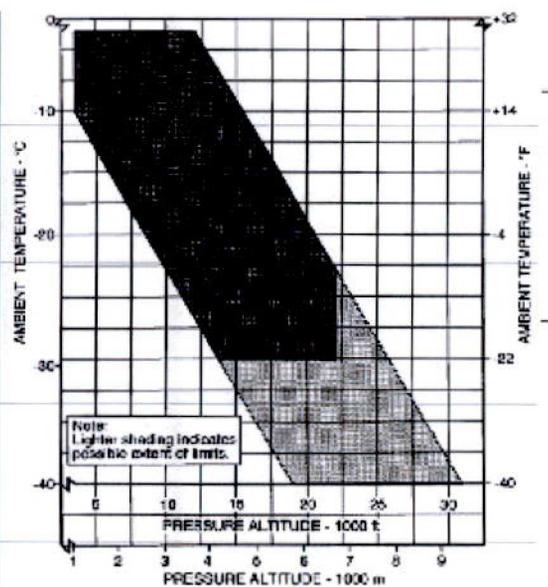


FIGURE 4

INTERMITTENT MAXIMUM (CUMULIFORM CLOUDS)
ATMOSPHERIC ICING CONDITIONS
AMBIENT TEMPERATURE VS PRESSURE ALTITUDE

Source of data - NACA TN No. 1855

2016/

7.3.2.4 *Position de l'EASA*

Cet organisme Européen, responsable de la certification et du suivi de navigabilité des aéronefs relevant de son autorité n'a pas à ce jour, répondu aux questions posées par la Justice.

Cependant l'EASA a réalisé des travaux visant à faire évoluer les paramètres du règlement CS 25 appendice C.

Lors de la conférence « INTERNATIONA AIR SAFETY AND CLIMATE CHANGE » organisée à Cologne les 8 et 9 septembre 2010, l'EASA a effectué une présentation de ses travaux (Annexe N°13)

Cette présentation concerne les moteurs et les sondes, elle dresse un état des lieux des conditions de certification actuelles et expose les évolutions prévues.

Le tableau ci-dessus (*Diapo N°17 extrait Annexe N°13*) superpose le domaine de certification des sondes (en rouge pour les conditions « Intermittent » et en bleu pour les conditions « Continuous ») avec les occurrences d'incidents de givrage des sondes (points noirs).

Ce tableau montre à l'évidence que les occurrences sont toutes en dehors du domaine de certification.

7.3.2.5 *CONCLUSIONS CONCERNANT LES SONDES ET LEUR SYSTEME DE RECHAUFFAGE.*

- *Les sondes Pitot ont givré et entraîné la déconnexion du pilote automatique.*
- *L'analyse des différentes campagnes de qualification et certification des sondes a démontré une conformité au règlement CS25 en vigueur.*
- *L'analyse du processus de certification des sondes n'a montré aucune anomalie.*
- *Il est probable que les sondes ne givent pas jusqu'à une concentration de cristaux de glace de 4gr/m³ d'air, les cristaux ayant un diamètre de 20 microns.*
- *Les 3 PHC ont été remplacés par une nouvelle version (dite -3 = tiret 3) en juillet 2008. Quelques incertitudes existent concernant la fiabilité de ces PHC.*
- *L'EASA étudie une évolution des paramètres de certification des sondes devant couvrir le domaine de vol des avions actuels.*

D6416

7.4 AUTRES INVESTIGATIONS

7.4.1 ANALYSE DES MESSAGES ACARS

L'exploitation des données du FDR a permis de rapprocher ces données du contenu des messages ACARS émis à partir de 02h10.05.

L'analyse a confirmé l'ensemble des message à l'exception du message :

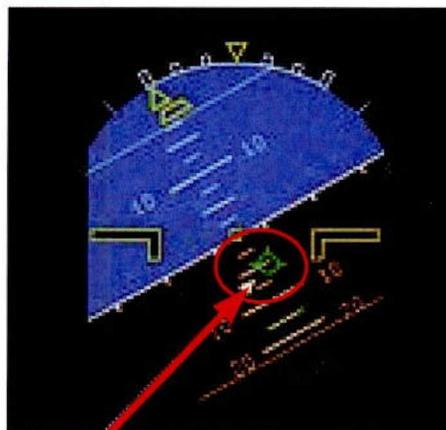
02.12.10	CFD FI AF0447/AN F-GZCP DT QXT AOW2 010212 C22A - .1/WRN/WN0906010211 341200106FLAG ON CAPT PFD FPV
----------	--

Ce message signifie que le FPV (Flight Path Vector) (489) apparaît en défaut sur le PFD.

Le FPV représente, par rapport au sol, la trajectoire latérale et verticale, c'est à-dire :

- sur l'échelle latérale, la route suivie par l'avion
- sur l'échelle verticale, la pente sol

Sur la figure ci-jointe, l'avion est incliné à droite, la trajectoire verticale est de 10° à piquer et la route suivie est de 3° à droite par rapport à l'axe longitudinal de l'avion (en fait 3° de dérive droite).



L'utilisation de cette information pouvait se révéler très utile lors de la perte du FD (Flight Director) et la sélection par l'équipage pouvait être rapprochée de l'ordre du CdB et du PNF : « Prends ça, Tiens prends ça » issu du CVR.

FLIGHT PATH
VECTOR

Pour être visible sur le PFD, le mode TRK-FPA doit être sélectionné sur le FCU (Flight Control Unit, bandeau supérieur de la planche de bord)



L'analyse du DFDR a montré que le FPV n'a jamais été sélectionné par l'équipage du vol AF447.

En effet, le paramètre HDGTRKS, enregistré dans le DFDR chaque seconde, est enregistré à 1 quand le mode TRK-FPA (et par conséquent le FPV) est sélectionné par l'équipage par appui sur le bouton de sélection « HDG-VS/TRK-FPA » du FCU. Lors du vol AF447, le paramètre HDGTRKS a été enregistré à 0 pendant tout le vol ce qui signifie que le mode TRK-FPA, et par conséquent le FPV n'ont jamais été sélectionnés.

Les messages ACARS « FLAG FPV ON PFD CAPT & F/O » ont été enregistrés dans la minute 02h12 lors du vol AF447.

Théoriquement, ces messages sont enregistrés quand le FPV est sélectionné et qu'il est indisponible. Or, ces messages par erreur de codage dans le calculateur de maintenance (DMC) ont été enregistrés dès que les 3 vitesses CAS sont devenues inférieures à 60kts, sans qu'il y ait eu sélection du mode TRK-FPA

Commentaire d'experts : En conclusion, l'analyse du DFDR a montré que, pendant le vol AF447 :

- *L'ensemble des messages a été confirmé à l'exception du message de 02h12.10*
- *Il n'y avait pas eu d'interruption dans l'envoi des messages*
- *Le FPV n'avait jamais été sélectionné par l'équipage*
- *Le flag FPV n'avait jamais été affiché sur les PFD*

7.4.2 SIMULATEUR

Cinq séances de simulateur ont été réalisées par les pilotes du collège d'experts, quatre avant la découverte des enregistreurs et une, trois mois après l'exploitation du DFDR.

DG416

7.4.2.1 Séance du 20 aout 2009

Cette séance a été réalisée sur le simulateur A330 du centre de formation d'AIR France à Roissy.

Le but de cette séance était de présenter le poste de pilotage de l'A330 à l'expert pilote non qualifié sur Airbus par les deux experts qualifiés.

Cette séance a permis de commencer à familiariser les magistrats avec l'environnement « poste de pilotage de l'A330 ».

Les thèmes principaux suivants ont été abordés :

- Présentation générale du poste de pilotage
- Présentation des EFIS , instruments de pilotage et détail des informations fournies sur les différents écrans
- Présentation des écrans centraux permettant l'affichage des informations sur tous les systèmes de l'avion
- Présentation de l'EWD (Engine Warning Display) et de la philosophie de traitement des pannes
- Présentation des panneaux ADIRU avec les différents Switch et fonctions.
- Présentation des panneaux d'interrupteurs de changements de mode ou de sélection des écrans : (« SWITCHING »)
- Pilotage de l'avion en loi normale et en lois dégradées
- Démonstration des protections en lois normales et en loi dégradées.
- Présentation des systèmes de communication radio, VHF et HF et des systèmes ADS et CPDLC.
- Utilisation du CPDLC, (affichage, notification et utilisation des messages pré formatés)

7.4.2.2 Séance du 18 octobre 2009

Cette séance a été réalisée sur le simulateur A330 du centre de formation de SWISS AVIATION TRAINING de Zurich

- Le but de cette séance est de tester les différentes pannes programmables depuis le panneau instructeur du simulateur, concernant les items aérodynamiques (ADR),
- de constater les conséquences de ces pannes sur les indications disponibles sur les écrans de pilotage ainsi que les conséquences sur les lois de pilotage.

Au cours de cette séance, les experts ont également analysé le contenu des traitements de ces pannes sur l'ECAM et les conséquences sur les systèmes de l'avion, du traitement effectif de l'ECAM.

Commentaire d'experts : A l'issue de cette séance, les experts décident de

programmer une autre séance afin de vérifier les mêmes items sur le simulateur d'Air France à Roissy .

Au cours de cette prochaine séance il est prévu de tester les pannes intitulées : « BLOQUAGES DES SONDÉS PITOTS » .

Il ressort de la séance que les pannes, les alarmes associées, les affichages sur l'ECAM et les traitements de ces pannes sont conformes à la documentation AIRBUS et AIR FRANCE en vigueur au moment de l'accident.

Il est constaté l'impossibilité de programmer une panne d'indication de vitesse de même nature que celle subie par l'AF447.

Il est également constaté, dans certains cas, la complexité des situations générées par les pannes affectant ces systèmes. Cette complexité est connue et souvent mise en évidence lors des briefings ou débriefings des séances de formation initiale ou de maintien des compétences des équipages.

7.4.2.3 Séance du 01 décembre 2009 :

Cette séance a été réalisée sur le simulateur A330 du centre de formation d'AIR FRANCE à Roissy .

Le but de cette séance est de réaliser les mêmes essais que lors de la séance du 18 octobre 2009 à Zurich, mais cette fois sur le simulateur d'Air France. La séance a été conduite suivant le même protocole que la précédente.

Il est également décidé d'effectuer les essais de pannes intitulées « BLOCAGES DES SONDÉS PITOT » . Ces essais sont conduits en bloquant alternativement puis simultanément les trois tubes « PITOT », dans toutes les combinaisons possibles et en alternant les sens d'engagement des pilotes automatiques.

Commentaire d'experts : Il ressort, comme lors de la séance précédente, que les pannes, les alarmes associées, les affichages sur l'ECAM et les traitements de ces pannes sont conformes à la documentation AIRBUS, ou AIR FRANCE, en vigueur au moment de l'accident.

Il est une nouvelle fois constaté l'impossibilité de programmer une panne d'indications de vitesses équivalente à celle subie par l'AF447.

Le déclenchement de la panne intitulée « BLOCAGES DES SONDÉS PITOT », dans toutes ses variantes, ne correspond pas à la panne subie par l'AF447.

Il est également constaté là encore, dans certains cas, la complexité des situations générées par les pannes affectant ces systèmes.

7.4.2.4 Séance du 06 juillet 2010

Cette séance a été réalisée sur le simulateur A330 du centre de formation de LUTHANSA à Francfort.

Le but de cette séance est de juger des effets sur les lois de pilotage et donc, sur le pilotage de l'avion lui-même, après perte de deux des trois calculateurs ADR, cette panne provoquée étant le seul moyen de configurer « artificiellement » l'avion en loi « ALTERNATE 2 B ».

Les essais ont été réalisés essentiellement en coupant l'ADR 2 puis alternativement l'ADR 1 ou l'ADR 3. L'arrêt de l'ADR 2 provoque bien une perte des indications de vitesses sur le PFD place droite, mais également une perte du variomètre et de l'altimètre, montrant bien la limite, en terme de réalisme, de cet exercice.

Le simulateur a été piloté en loi « ALTERNATE 2 B », dans toute la plage de vitesse dans laquelle l'AF447 a évolué, entre le déclenchement de la première alarme et l'activation de l'alarme STALL et ce, dans les limites de certification des performances du simulateur.

Commentaires d'experts : La dégradation en loi « ALTERNATE 2 B » n'induit pas, au simulateur, de problèmes de pilotage de l'assiette de l'avion, par rapport à la loi « normale ».

En revanche, le pilotage en roulis est plus délicat, puisque, pour le pilotage sur cet axe, l'avion est en loi directe. La tendance, sur cet axe est de provoquer des oscillations latérales, qu'il est néanmoins facile de corriger.

De cette séance, il ressort que la sortie de l'approche du décrochage est aisée si la procédure « STALL WARNING » est appliquée rapidement.

Le comportement de l'avion n'a pu être simulé au delà de l'alarme STALL + 5 secondes, il n'a donc pu être possible de simuler le déroulement du TRIM en butée à cabrer.

7.4.2.5 Séance du 25 août 2011

Cette séance a été réalisée sur le simulateur A330 du centre de formation d'Air France à Roissy.

Le but de cette séance était de juger de la « faisabilité » de la procédure « IAS DOUTEUSES ». Plusieurs exercices ont été conduits en déclenchant la procédure après un temps de latence croissant.

Le but était également de mesurer les paramètres ALTITUDE et VITESSE en fonction du temps, après une réalisation imparfaite de la procédure correspondante.

EXERCICE 9 PRISE DE MESURES DE REFERENCES

PARAMETRES INITIAUX

FL	350	MACH	0,81	OAT	-43°C
ASSIETTE 0°					
N1 85%	30"	1'	1'30"	2'	2'30"
MACH	82,8	83,7	83,9	84	84,1
ALTI (FL)	340	330	323	315	308
VS		-1600	-1500	-1600	-1400
AOA	2,42	2,17	2,5	1,9	1,8
ASSIETTE 2,5°					
	30"	1'	1'30"	2'	2'30"
MACH	79,5	78,4	77,8	77,1	76,6
ALTI (FL)	349	347	347	342	339
VS	+200	-400	-600	-600	-600
AOA	3	3,2	3,2	3,3	3,3
ASSIETTE 5°					
	30"	1'	1'30"	2'	2'30"
MACH	76,6	73,2	70,6	68,7	67,3
ALTI (FL)	355	358	360	360	359
VS	800	1500	1100	-100	400
AOA	3,5	4,2	4,38	5,3	5,6
ASSIETTE 7,5°					
	30"	1'	1'30"	2'	2'30"
MACH	73,2	67,1	63	61	60,7
ALTI (FL)	362	370	374	373	368
VS	2300	900	300	-400	-100
AOA	4,2	5,9	7,4	9,2	8,4
ASSIETTE 10°					
	30"	1'	1'30"	2'	2'30"
MACH	70,6	61,7	STALL		
ALTI (FL)	367	381			
VS	3300	1100			
AOA	4,7	7,7	14,5		

ASSIETTE 0°					
CLIMB/TOGA	30"	1'	1'30"	2'	2'30"
MACH	85,6	87	OVERSPD		
ALTI (FL)	341	332			
VS	-2000	-900			
AOA	2,3	2			
ASSIETTE 2,5°					
	30"	1'	1'30"	2'	2'30"
MACH	82,4	83,1	83,5	83,7	83,8
ALTI (FL)	350	350	351	351	352
VS	082 MACH	0	50	50	50
AOA	2,5	2,5	2,45	2,4	2,4
ASSIETTE 5°					
	30"	1'	1'30"	2'	2'30"
MACH	79,1	77,4	76 ***	75	74,4
ALTI (FL)	357	363	368	371	374
VS	1400	1000	700	600	400
AOA	3,2	3,6	3,8	4,2	4,4
ASSIETTE 7,5°					
	30"	1'	1'30"	2'	2'30"
MACH	75,8	71,1	67,8	65,8	64,8
ALTI (FL)	363	375	381	385	386
VS	2700	1800	900	500	100
AOA	3,8	5	6,2	7	7,9
ASSIETTE 10°					
	30"	1'	1'30"	2'	2'30"
MACH	73,1	65,8	61,9		
ALTI (FL)	369	384	391		
VS	4200	2100	400		
AOA	4,2	10,15	11		

*** GREEN DOT

NON REALISABLE

De nombreuses mesures ont été effectuées en affichant des assiettes croissantes et des poussées

DG 7/16

comprises entre la poussée instantanément figée lors de la première alarme et la poussée maximum disponible «TOGA ».

Commentaire d'experts : Les premiers exercices effectués ont permis de confirmer les éléments déjà connus du fait de l'exploitation des paramètres du DFDR et notamment les gains d'altitude, les pertes de vitesses associées et le déclenchement de l'alarme « STALL ».

Il est confirmé que l'arrêt de l'alarme « STALL » est instantané en cas d'application rapide de la procédure « STALL WARNING ».

Dans un deuxième temps les mesures d'altitude et de vitesse ont été effectuées suivant le protocole décrit dans le tableau ci-dessus. Il ressort de ces mesures que, même lorsque la procédure « IAS DOUTEUSE » est appliquée tardivement ou imparfaitement, dans les limites toutefois du protocole décrit ci-dessus, l'avion n'est pas mis en danger.

Ces mesures mettent également en lumière, que, si la procédure « IAS DOUTEUSES » n'est pas appliquée, la simple tenue de l'assiette entre 0° et +10° (cette fourchette de 10° est importante à ces altitudes) permet de maintenir l'avion dans son domaine de vol, y compris dans les valeurs extrêmes d'assiette et de poussée, pour un délai confortable.

7.4.3 VOL DE DÉMONSTRATION.

Les experts ont participé à un vol de démonstration su A340 (programme joint en annexe)⁽⁴⁴⁹⁾ dans le but d'évaluer :

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

Le vol a été précédé d'une séance de simulateur ou les items du vol ont été pratiqués.

Ressenti des experts:

7.4.3.1.1 PILOTAGE EN LOI ALTERNATE

7.4.3.1.1.1 Avis de messieurs Beyris et Brodbeck expérimentés Airbus A330.

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 loi alternée 2, en haute altitude, reste très aisé.

7.4.3.1.1.2 Avis complémentaire de Monsieur de Valence non expérimenté A330.

Le pilotage en latéral à haute altitude est instable mais maîtrisable, sans effort particulier, la stabilisation est obtenue en moins de 3 oscillations.

La ressource nécessaire au pilotage est néanmoins importante, la concentration sur les éléments du PFD induisant un phénomène de tunnelisation avec une perception périphérique faible (sonore et visuelle)

L'expérience a été menée de jour avec un horizon visible, ceci est différent de nuit et IMC où les perceptions instinctives d'orientation spatiale sont absentes.

Le pilotage à basse altitude présente une instabilité faible, l'instabilité est perceptible pour des amplitudes d'inclinaison plus importantes (supérieures à 30°), pour des inclinaisons inférieures à 20°, la maîtrise de l'inclinaison est aisée.

La loi Nz de pilotage en tangage par demande de facteur de charge joue parfaitement son rôle quelle que soit l'altitude. Par contre, compte tenu des valeurs importantes de vitesse verticale liées 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 maintien de l'assiette est aisé quelle que soit l'altitude pour peu que le pilotage aux instruments soit basique (tenue d'une assiette choisie et non le suivi sans analyse des barres de tendance)

7.4.3.1.2 BUFFET ONSET ET DETERRENT BUFFET

Le Buffet Onset est un état transitoire qui n'a pu être identifié lors de la décélération à 1kt/sec, 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 5 Hz).

Le Buffet Deterrent est un phénomène totalement inconnu pour un pilote de ligne, seuls les pilotes d'essai l'ont rencontré.

La dimension "Deterrent" c'est à dire Effrayant, Dissuasif est liée au Mach, cette dimension diminue fortement dès que le Mach diminue.

Le Buffet Deterrent que nous avons subi est un phénomène impressionnant qui ne s'apparente pas totalement à de la turbulence, il s'agit plutôt d'une vibration turbulente (passage à vitesse élevée sur les bandes de ralentissement à l'approche d'un péage routier par exemple)

Le phénomène a été mesuré au centre de gravité et au siège pilote, il a été également évalué à la partie arrière de la cabine.

L'effet "Effrayant, Dissuasif" est très net au poste de pilotage, nettement moins au centre de la cabine et important à l'arrière de la cabine.

L'intensité du phénomène est liée au mach d'une part et au taux de décélération (ici 1kt/sec). Les valeurs étant différentes pour le vol AF447, 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.

7.4.3.1.3 DEMONSTRATION DU COMPORTEMENT DE L'AVION LORS DE LA PERTE D'INDICATIONS DE VITESSES.

7.4.3.1.3.1 Sans application de procédure

En ayant placé l'avion dans les conditions de l'AF447 avant la déconnexion du pilote automatique, la démonstration du comportement de l'avion a été faite en n'ayant aucune action sur le manche et aucune action sur la poussée des moteurs à la suite de la déconnexion du pilote automatique et du passage en mode Thrust Lock.

Dans les conditions du vol sans turbulence, l'avion est resté en ligne de vol avec un écart d'altitude insignifiant pendant plus de deux minutes.

7.4.3.1.3.2 Avec application de la procédure Unreliable Speed Indication.

En ayant placé l'avion dans les conditions de l'AF447 avant la déconnexion du pilote automatique, la démonstration du comportement de l'avion a été faite en appliquant les items de mémoire 3 secondes après la déconnexion de pilote automatique. Il a été constaté dans ce cas que l'avion pouvait tenir cette position pendant plusieurs minutes sans activation de l'alarme STALL WARNING.

7.4.3.1.4 STALL RECOVERY APRES AVOIR ATTEINT 11° D'INCIDENCE

L'alarme décrochage a été active aux environs de 5,5° d'incidence.

Après avoir atteint une incidence de 11° et l'apparition du phénomène de Buffet Deterrent. La procédure de récupération a été appliquée par le pilote d'essai assis en place droite.

Cette procédure consiste à exercer une action sur le manche à piquer en butée. Cette action a été légèrement supérieure à 5 secondes puis le pilote a diminué l'action à piquer pour atteindre la position voisine du neutre afin de ne pas dépasser le Mach maximum, à cet instant l'alarme décrochage a été active à nouveau, ceci s'est produit deux fois pendant la phase de récupération.

Ceci montre que, dès lors que l'avion a décroché, la récupération est délicate et nécessite une habileté particulière et un entraînement que n'ont pas les pilotes de ligne pour ce type d'appareil.

7.4.3.1.5 ALARME STALL

7.4.3.1.5.1.1 Avis de messieurs Beyris et Brodbeck expérimentés Airbus A330.

L'alarme STALL s'active de façon continue dès que l'incidence dépasse 5,5°. Elle est spécifique et ne ressemble à aucune autre alarme. Elle peut être furtive si les incursions dans son domaine d'activation sont de courte durée. Dans ce cas l'alarme orale peut être tronquée.

Dès les débuts de son activation, 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 alternante ou directe, il n'existe pas d'autre filet de protection.

7.4.3.1.5.1.2 Avis complémentaire de Monsieur de Valence non expérimenté A330.

L'alarme vocale STALL a été perçue, pour ma part, comme une alerte plus faible qu'un Klaxon ou

une alarme sonore du même type. Le niveau sonore est apparu plus faible par rapport au niveau ambiant perçu sur le CVR de l'AF447 (sans doute en raison de la proximité du micro d'enregistrement du CVR du haut parleur du poste de pilotage).

L'activation d'un STICK SHAKER, pour les pilotes l'ayant connu, sur les appareils qui en sont équipés, est une image mentale plus forte que l'alarme auditive du STALL.

7.4.3.2 Mission de M. MAGNE au cours du vol de démonstration:

La mission sur ce vol était d'évaluer le ressenti des passagers du vol AF447 lors du « déterrent buffet » (buffeting dissuasif ou effrayant) ayant précédé le décrochage.

Cette évaluation a été réalisée en trois endroits différents de l'avion :

- Dans la cabine passagers, près du centre de gravité.
- A l'arrière de la cabine.
- Dans le poste de pilotage.

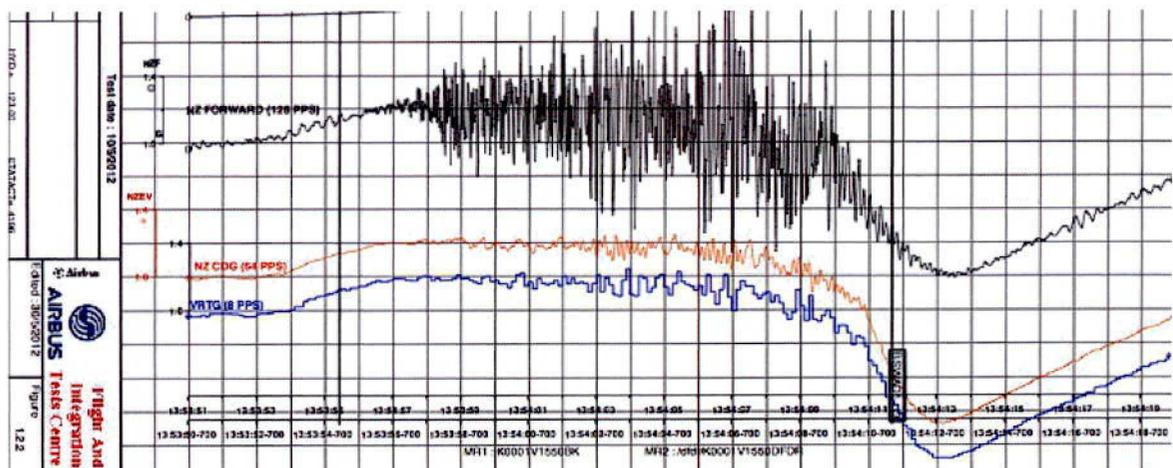
Le ressenti du phénomène en cabine, est relativement violent et impressionnant.

Cependant, pour un passager non pilote, les vibrations ressenties peuvent s'apparenter à une succession de turbulences particulièrement sèches et rapprochées.

Certains des passagers ayant souvent voyagé en avion de ligne, avaient forcément déjà rencontré des conditions de vol comparables lors de séquences turbulentes.

Les passagers assis à l'arrière et à l'avant de la cabine ont pu ressentir le phénomène de façon plus aiguë que ceux installés près du centre de gravité.

Le schéma ci dessous montre, dans le cas du vol de démonstration, l'écart d'accélération verticale (Nz) dans le poste de pilotage (Nz fwd) et au centre de la cabine passagers (Nz Cg en rouge)



Commentaire d'experts : Dans des conditions de vol non turbulentes, avec des conditions de masse et d'altitude similaires à celles du vol AF 447, le le pilotage

manuel de l'appareil en haute altitude, bien que plus sensible qu'en basse altitude, n'a pas présenté de difficultés particulières, que ce soit en loi normale ou en loi alternée
2. La sensibilité du manche dans ce conditions peut toutefois conduire à une instabilité en cas de pilotage « nerveux ».

L'application des actions de mémoire de la procédure unreliable speed indication n'a généré aucune dangerosité ni activation d'alarme STALL WARNING.

Le ressenti du deterrent buffet n'est pas connu des pilotes de ligne. Il s'agit d'un phénomène vibratoire agressif qui n'est pas restitué sur les simulateurs de vol et ne peut en conséquences être utilisé comme technique de prévention du décrochage.

Le ressenti du deterrent buffet varie en cabine selon le positionnement des passagers. On ne peut pas affirmer qu'à l'approche du décrochage du vol AF 447, les conditions de vitesse et de taux de prise d'incidence aient généré de façon similaire les sensations du deterrent buffet. Celles-ci n'apparaissent pas de façon évidentes sur le FDR.

7.4.4 CNES

Dans la première partie des investigations menées avant l'exploitation des enregistreurs, les experts se sont rapprochés du CNES pour déterminer l'état des communications et en particulier des communications satellite.

La transmission de données ACARS est faite par le canal VHF et utilise pour cela la VHF 3, le système bascule automatiquement sur le système SATCOM lorsque la VHF 3 n'est pas disponible.

La position géographique de l'avion était éloignée de stations sol de communication hertzienne et donc hors de portée de toute station VHF. Seul le système SATCOM était opérant pour la liaison avec une station sol.

Il est apparu une courte période sans émission de message ACARS entre 02h13.15 et 02h13.45, il s'agissait d'établir si cette interruption était le fait d'une perte temporaire de communication satellite.

La perte de communication satellite, peut avoir trois origines :

- Un défaut du système de communication de l'avion
- Une perte de liaison entre l'avion et le satellite
- Une défaillance d'un système du satellite.

La liaison entre l'avion et la station sol est assurée successivement par le système avion SATCOM, le satellite INMARSAT, la station sol SITA.

La liaison avec la Station Sol est établie à la suite d'un « LOGIN », s'il y a perte de communication pour une durée supérieure à 10 secondes il faut procéder à un nouveau « LOGIN »

Le relevé SITA (Station Sol) de la liaison avec l'avion ne fait pas apparaître de « LOGOUT » ni de

« LOGIN » après la déconnexion du Pilote Automatique.

La liaison Avion – Station Sol est transparente pour le satellite, celui ci est géré par INMARSAT, il s'est avéré nécessaire obtenir un relevé de communications auprès de la société INMARSAT afin d'identifier une interruption d'une durée inférieure à dix secondes entre l'avion et le satellite.

Cette demande a été formalisée par un [courrier adressé à INMARSAT](#)⁽⁴²⁶⁾ le 1er mars 2011.

Dès lors que le satellite avait fonctionné correctement, l'objectif de cette investigation était de déterminer si l'interruption de communication était liée à une perte de visibilité du satellite par l'antenne SATCOM de l'avion et ainsi de déterminer si l'avion avait rencontré une position inusuelle (inclinaison supérieure à 70° environ).

L'exploitation des enregistreurs a rendu inutile la poursuite de ces investigations.

7.4.5 IMASSA

Les experts ont consulté l'IRBA (Institut de recherche Biologique des Armées) pour valider les termes et concepts d'analyse comportementale et de facteurs humains utilisés dans ce rapport.

7.4.6 AUTOPSIES

Les experts ont consulté le Docteur SCHULIAR, Médecin Légiste de l'IRCGN, le 30 mars 2011 à la suite de son déplacement dans le cadre de la commission rogatoire internationale au Brésil et lui ont demandé un avis sur les éléments recueillis lors de l'autopsie du Commandant de Bord, en particulier sa localisation dans l'avion et son attitude (assis, debout, couché, avec ou sans ceinture...)

La découverte et l'exploitation des enregistreurs a diminué l'urgence de cette requête et une mission a été confiée par les Juges d'Instruction à un collège d'experts dont le Docteur SCHULIAR fait partie et qui prend en compte nos demandes.

7.5 OUVERTURE DES ENREGISTREURS ET EXTRACTION DES DONNÉES

7.5.1 FDR ET CVR

Les enregistreurs de vol sont composés de deux éléments :

- le FDR (Flight Data Recorder) qui enregistre des données.
- Le CVR (Cockpit Voice Recorder) qui enregistre les sons recueillis par le microphone d'ambiance du poste de pilotage, et des microphones en place gauche, en place droite et au siège observateur (casque combiné ou micro main).

Ces deux éléments ont été remontés le 1^{er} mai 2011 pour le FDR et le 2 mai 2011 pour le CVR, ils ont été acheminés le 12 mai 2011 au matin dans les locaux du BEA spécifiquement conditionnés et placés sous scellés de justice.



Bris des scellés

Les scellés ont été brisés à 14h40 le 12 mai en présence d'un membre du collège d'experts, d'un OPJ (Officiers de Police Judiciaire) et d'un TIC (Technicien d'Investigations Criminelles).

C'est dans le laboratoire sécurisé du BEA que les opérations d'ouverture des enregistreurs, l'examen des mémoires et l'extraction des données ont été réalisés, outre la présence permanente d'un expert judiciaire et de deux OPJ, en présence de membres accrédités d'organismes brésilien, américain, anglais et allemand en charge des enquêtes accidents dans leurs pays respectifs.

Deux techniciens du fabricant HONEYWELL ont prêté leur concours en cas de besoin à la demande du BEA.

Des scellés ont été posés sur les contenants des enregistreurs et des composants associés pour les périodes où les représentants de la Justice devaient s'absenter.

26716/



FDR



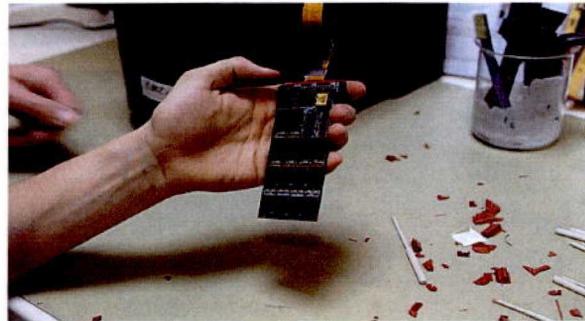
FDR



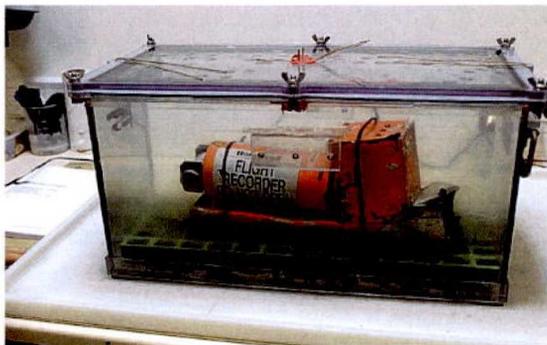
Ouverture boîtier et extraction de la carte mémoire



Retrait du revêtement de protection



Carte mémoire avant nettoyage et séchage



CVR

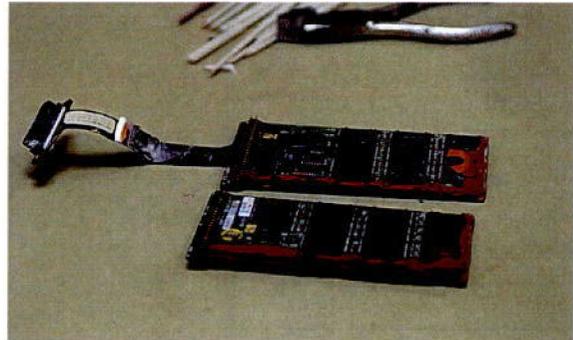


CVR

DG716/320



CVR



CVR composé de deux cartes mémoire

Le 14 mai les données du FDR ont été extraites en présence d'un expert judiciaire et d'un OPJ, une copie a été placée sous scellé.

Le 15 mai en fin d'après midi, la carte mémoire du CVR a pu être placée sur le lecteur, un expert judiciaire et un OPJ ont participé à la première écoute des deux heures d'enregistrement en compagnie de trois membres du BEA.

Un expert du collège s'est tenu à l'extérieur du local dédié sécurisé pendant l'écoute.

Le 15 mai vers 19h00, les experts judiciaire ont quitté le BEA.

Le 16 mai vers 17h00, une copie de l'enregistrement audio a été remise aux experts par la GTA conformément au soit transmis des Juges d'instruction Madame ZIMMERMANN et Monsieur DAURELLE. (Soit Transmis joint en annexe)⁽⁴⁰⁶⁾

Les experts ont ensuite procédé à l'exploitation et l'analyse des données des enregistreurs avec le concours du laboratoire RESEDA, organisme spécialisé et accrédité de la DGA (Direction Générale de l'Armement du Ministère de la Défense).

7.5.2 FMGEC, FCDC, QAR ET ISIS

Dans la semaine qui a suivi la remontée des enregistreurs de vol, la baie avionique qui regroupe la majorité des calculateurs a pu être également remontée.

Cette baie avionique comporte entre autres :

- le QAR (Quick Access Recorder) qui enregistre les paramètres du vol dont certains ne sont pas pris en compte par le FDR.
- Les FCDC (Flight Control Data Concentrator)
- Les FMGEC (Flight Management Guidance and Envelope Computer)

D'autre part l'ISIS a pu également être remonté.

Ces éléments ont été ouverts en présence d'un membre du collège d'experts dans les locaux du BEA le 19 septembre 2011 conformément aux dispositions du soit transmis établi par les Juges d'Instruction.⁽⁴²⁸⁾

Les données brutes disponibles ont été extraites et une copie a été remise aux experts.

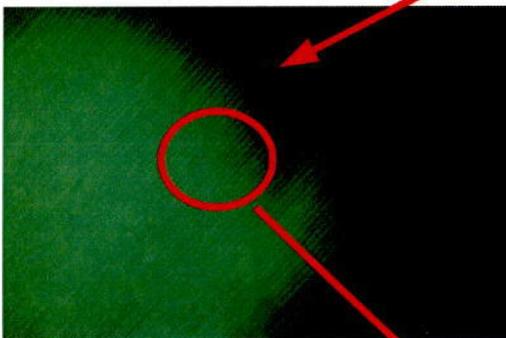
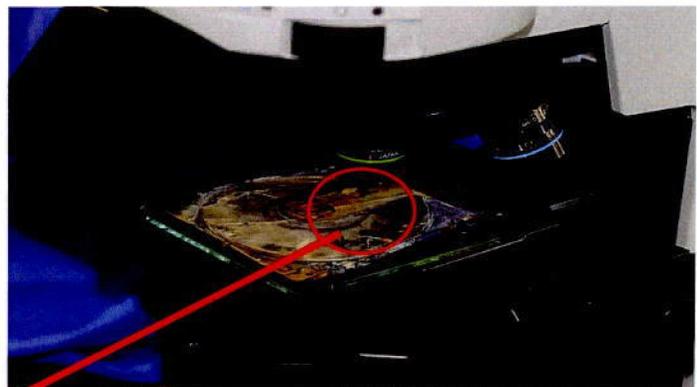
Les experts ont ensuite demandé une interprétation des données au fabricant de l'équipement :

THALES. (Annexe N°20) En effet il s'agissait d'exploiter des données dont la finalité n'était pas l'enregistrement de paramètres, seul le fabricant était à même, par sa connaissance de la conception de l'équipement, de procéder à l'analyse des données. Une partie de l'interprétation des données a été partagée avec le BEA. (Annexe N°21)

7.5.2.1 QAR

Le QAR est constitué par un disque magneto-optique (Type CD-ROM) sur lequel sont enregistrés des paramètres et des informations facilement accessibles, Le disque CD pouvant être récupéré par les agents de maintenance à l'issue du vol.

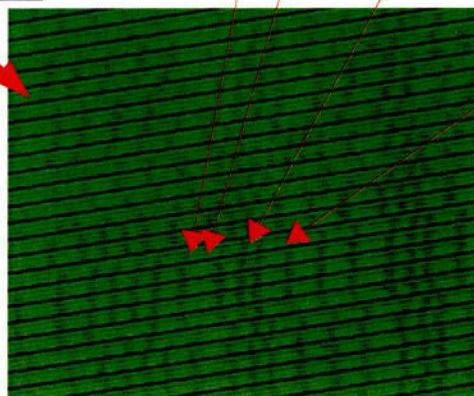
Le disque magneto-optique a été examiné en présence d'un expert judiciaire et d'un OPJ dans le Laboratoire de Physique des Solides de l'Université de Paris-Sud (PV Joint) (430) le 6 décembre 2011.



Pistes gravées

Examen au microscope du QAR

L'écartement des points de gravure permet d'identifier le codage binaire



D6716

Un examen au microscope (X50) a permis de voir les pistes gravées, puis par agrandissements successifs, d'identifier les éléments binaires.

Le laboratoire a procédé à l'examen des surfaces non dégradées du disque (travail méticuleux et fastidieux de plusieurs semaines).

Il n'a pas été possible de mettre en évidence une zone suffisante pour extraire des données exploitables.

En effet le principe d'enregistrement des données par gravure, fait qu'une donnée peut être répartie sur une surface étendue d'une part, et qu'il n'a pas été possible d'obtenir les données de datation continues d'autre part, or la datation est impérative pour valider les données.

Il faut rappeler que nombre de données du QAR sont enregistrées sur le FDR, la vitesse CAS n°2 est enregistrée dans le QAR, mais il n'a pas été possible de la localiser et de l'identifier.

7.5.2.2 FCDC

Deux FCDC (Flight Control Data Concentrator) ont été récupérés, ils n'enregistrent pas de paramètres, néanmoins certains composants à mémoire peuvent stocker des données relatives aux pannes détectées par l'équipement. Ces pannes peuvent être liées à l'équipement lui même ou au fonctionnement avec les autres équipements dont il dépend.

Le composant à mémoire EEPROM⁴⁴ du FCDC 1 a été dessoudé, séché et nettoyé. Le test électrique a révélé que les broches étaient en court-circuit. Les données n'ont pu être extraites.

Le composant mémoire du FCDC 2 était fortement endommagé (puce interne apparente), compte tenu de l'état apparent, il n'a pas été dessoudé.

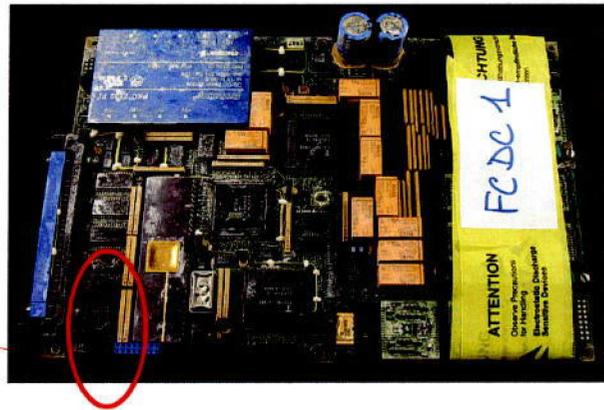


FCDC 1

⁴⁴ EEPROM : Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (mémoire morte effaçable électriquement)



EEPROM



7.5.3 FMGEC

Deux FMGEC (Flight Management Guidance and Envelope Computer) ont été récupérés, malgré un fort endommagement, les composants mémoire ont pu être exploités.

De même que pour les FCDC, les FMGEC n'enregistrent pas de paramètres, néanmoins certains composants à mémoire peuvent stocker des données relatives aux pannes détectées par l'équipement. Ces pannes peuvent être liées à l'équipement lui-même ou au fonctionnement avec les autres équipements dont il dépend.

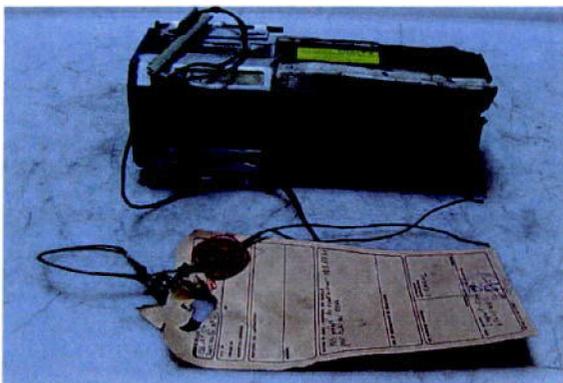


Dix composants mémoire ont été retirés et les données ont été extraites.

7.5.4 ISIS

L'ISIS avait un endommagement visible faible, deux composants mémoire situés sur la carte du calculateur ont été retirés et les données ont été extraites.

D6716/



ISIS

7.5.5 EXPLOITATION DES DONNÉES

Les composants mémoire qui ont été exploités et dont les données ont été extraites sont des éléments constitutifs des BITE⁴⁵. Ceux-ci assurent une surveillance de paramètres spécifiques identiques de sources différentes. Ces paramètres sont comparés entre eux.

Lorsqu'un défaut est relevé, il y a enregistrement de manière temporaire des données de panne ou de défaut par la prise d'un « cliché ». Ces données sont utilisées ensuite pour générer des informations de maintenance.

Le travail d'analyse du fabricant a consisté à « déchiffrer » les « clichés » ainsi stockés dans la mémoire EEPROM pour les corrélés au signal d'origine qui avait justifié l'enregistrement du défaut.

Enfin il faut rappeler que ces enregistrements ne sont pas réalisés avec une base de temps, la datation directe et certaine est donc impossible. La datation a été obtenue par déduction en fonction des cycles de surveillance du BITE.

7.5.5.1 FMGEC

Les données surveillées par le FMGEC sont pour la partie :

- FM (Flight Management) : données liées à la route
- FG (Flight Guidance) : données du Pilote Automatique (PA), Directeurs de Vol (FD), ATHR (Automanette)
- FE (Flight Envelope): données liées aux protections Commandes de Vol, Predictive Windshear⁴⁶, VLS⁴⁷.....)

Le FMGEC 1 intègre le FIDS (Fault Isolation and Detection System), ce système est à l'origine des messages ACARS « Source FMGEC » (Pas de FIDS dans le FMGEC 2).

Sur le FMGEC 1, 27 clichés concernent le vol AF447 (24 FG/FE, 3 FM)

sur le FMGEC 2, 29 clichés concernent le vol AF447 (26 FG/FE, 3 FM)

Globalement les clichés des deux FMGEC sont cohérents.

45 BITE : Built In Test Equipment (banc de test intégré)

46 Predictive Windshear : Signalisation de la présence en amont de cisaillement de vent

47 VLS : Lower Selectable Speed (Vitesse minimale pouvant être sélectionnée)

Voici ci-dessous un « cliché » c'est à dire un enregistrement de données qui représente la signature du défaut :

9.3.12. Cliché 30-F12 daté de [2:10:42 – 2:10:48]

Name (30F12)	ADR3 Invalid				341234 ADIRU3(1FP3)/FMGEC1(1CA1)			
Event	Trigger	Index	Delay	Occurrence	Detected	Failure Class	Suspect LRU	Failure Status
5 PERIPHERALS-1 MNT	BVALADR03	MON 19C	8 Sec	1	FE MON Only	Cockpit Effect	ADIRU3 FMGEC1 Phase3: NO	CONSOLIDATED

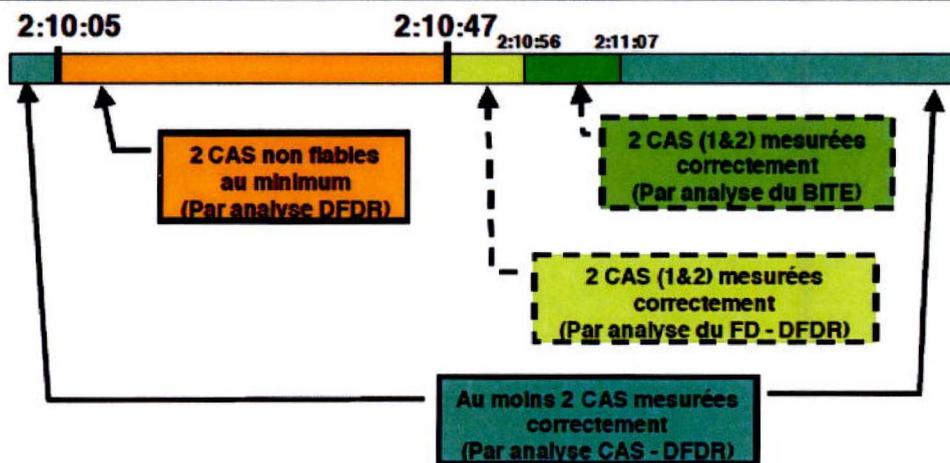
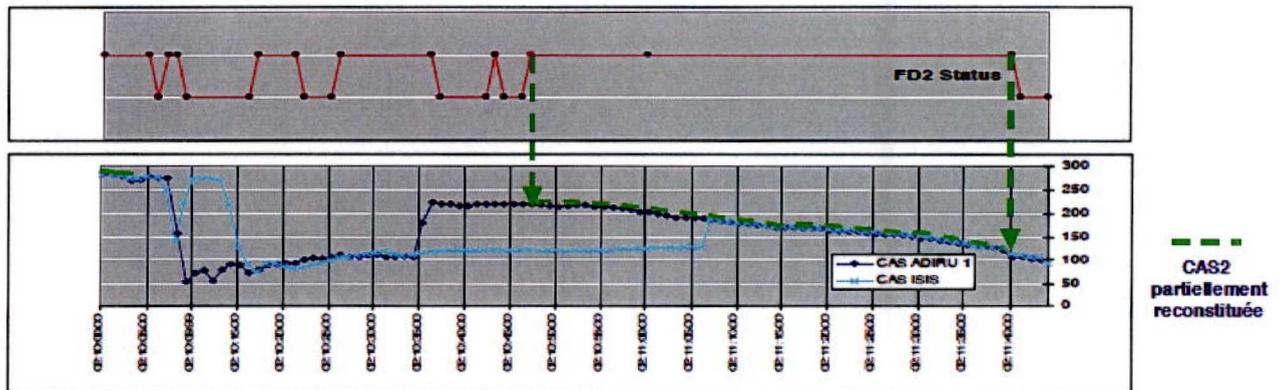
	Variable Soft	Signification	MON
ADR/IR STATUS	BVALADROW	ADR1 Validity	TRUE
	BVALADROP	ADR2 Validity	TRUE
	BVALADR03	ADR3 Validity	FALSE
	BVALIROW	IR1 Validity	FALSE
	BVALIROP	IR2 Validity	TRUE
	BVALIR03	IR3 Validity	TRUE
AP/FD STATUS	NO DATA AVAILABLE	NO DATA AVAILABLE	NO DATA AVAILABLE
F/CTL STATUS	BVALFCPXX	FCPC Validity	TRUE
	BVAL1RTRIM	At least 1 Rudder Trim Valid	TRUE
	BVAL2RTRIM	Both Rudder Troim Validity	TRUE

Ce « cliché » montre qu'entre 02h10.42 et 02h10.48 (la précision de la datation est de 6 secondes)

- 2 ADR étaient valides (en particulier l'ADR2)
- 2 IR étaient valides

L'analyse de l'ensemble des clichés des deux FMGEC a permis ainsi de reconstruire la validité de la CAS 2, c'est dire celle disponible sur le PFD de droite (PF) si aucune commutation n'avait été faite.

D6716



Synthèse de l'analyse sur les CAS

7.5.5.2 ISIS

L'ISIS est un instrument combiné de secours qui réalise les fonctions principales suivantes :

- Elaboration d'affichage de l'attitude avion (Roulis, Tangage) sur la base de capteurs internes
- Elaboration et affichage des paramètres, Altitude, vitesses, Mach sur la base des capteurs de l'avion (Voie 3)
- Fonction de maintenance au travers du BITE.

La mémoire du BITE a une capacité de 40 clichés, l'horloge interne de l'instrument confirme que ces 40 clichés ont été réalisés au cours des trois dernières minutes du vol AF447.

De plus, en corrélant l'information d'altitude du FDR et celle mémorisée par l'ISIS, THALES a pu définir dans son analyse que toutes les pannes ont été enregistrées après 02h12.36.

- 38 clichés sont de type : Error (Pt-Ps) range (avec ou sans Error Speed range)
- 2 sont de type : Error (Pt-Ps) range + Error Speed range + Power supply interrupt in flight

Les 38 premiers messages « Error (Pt-Ps) sont émis lorsque la différence de pression entre la

16216/

Pression Totale (Pt⁴⁸) et la pression statique (Ps) est inférieure à - 6Hpa. Ceci a permis d'identifier les transitions de vitesse de 0kts à plus de 65kts.

Commentaire d'experts : L'état des calculateurs FCDC et du QAR n'a pas permis de recueillir leurs données.

La récupération des calculateurs FMGEC et de l'ISIS a permis une exploitation des données par déduction du fonctionnement du BITE.

L'analyse a permis de dater l'instant où la CAS 2 (vitesse élaborée par l'ADR2) a été de nouveau disponible après le givrage du Pitot N°2.

L'analyse a également permis de confirmer certaines valeurs du FDR.

7.6 ACTIONS APRÈS L'ACCIDENT

Des actions ont été entreprises dans les 18 mois qui ont suivi l'accident et avant la récupération et l'exploitation des enregistreurs.

7.6.1 AIRBUS

Une campagne de recueil d'informations a été initiée par la publication d'un OIT (Operators Information Telex)⁽⁴⁷²⁾ le 9 juin 2009, ceci a permis d'obtenir des retours d'expérience que les opérateurs n'avaient pas antérieurement communiqué au constructeur.

Un rappel d'exercices d'entraînement au pilotage en loi ATERNATE à haute altitude et à l'application de la procédure IAS douteuses (FOT)⁽⁴⁶⁸⁾ est adressé aux opérateurs le 9 septembre 2009.

En mai 2010 est publiée la procédure STALL RECOVERY.⁽⁴⁶⁷⁾

Enfin, sont diffusées en décembre 2010, les consignes à appliquer lors de la déconnection pilote automatique (AP), de l'Auto Thrust (A/THR) avec le passage en loi de pilotage ALTERNATE. (OEB)⁽⁴⁶²⁾

7.6.2 EASA

Le 31 aout 2009 L'EASA a édité une AD (Airworthiness Directive) pour imposer à titre préventif le remplacement des sondes THALES AA par une sondes THALES BA en position 2 et des sondes GOODRICH en position 1 et 3 (AD 2009-0195) ⁽⁴⁶⁴⁾.

⁴⁸ Pt : Pression Totale, C'est cette donnée qui est mesurée par le tube PITOT

7.6.3 AIR FRANCE

7.6.3.1 Mission interne

A la suite de l'accident du vol AF447 une commission d'enquête interne a été réunie, celle-ci a émis des recommandations en prenant soin de préciser : « *La Commission a choisi de porter son attention sur certains thèmes, parfois par analogie supposée, sans qu'il puisse être considéré que ceux-ci aient un lien établi avec les causes de cet accident.* »

Les recommandations sont jointes en annexe.(459)

7.6.3.2 Mesures immédiates après l'accident :

- Achèvement de l'installation des Pitots THALES PN 16195BA sur l'ensemble de la famille A330/340 en juin 2009.
- Décision d'installer en août 2009 les Pitots GOODRICH en position Commandant de Bord et Stand By sur A330/340, 1 mois avant la publication de l'AD de l'EASA de septembre 2009.
- Conduite d'une campagne d'inspection systématique des Pitots A320 pendant l'été 2009.
- Réalisation d'un entraînement spécifique aux traitements des anomalies d'IAS pour tous les pilotes Airbus en complément de celle déjà suivie sur le même sujet par les pilotes A330/340 pendant la saison 2008/09.
- Intégration dans la séance spécifique de simulateur d'un support pédagogique concernant l'utilisation du radar et d'une information sur les phénomènes et conséquences des traversées de nuages denses de cristaux de glace en zones convectives.
- Mise en œuvre d'un lever de doute CCO sur la position des avions du réseau Long Courrier.
- Installation sur A320 de sondes GOODRICH en positions CdB et Stand By en octobre et novembre 2009.
- Installation sur A330/340/320 de sondes GOODRICH en position OPL au 1^{er} trimestre 2010 conformément au SB Airbus.
- Suppression de la Procédure Anormale Complémentaire STALL sur la famille A320, les A340 et A330, en accord avec les changements imposés par Airbus en Mai 2010.
- Application du FOT de 12 mai 2010 – ATA 27-Stall Recovery Procedure.

7.6.3.3 Evaluation externe

Une évaluation externe a été commandée par la compagnie Air France afin d'identifier les points

forts et les points faibles de sécurité.

Le groupe (Independent Safety Review Team) qui a conduit l'évaluation était composé de membres internationaux indépendants de la Compagnie Air France.

Le rapport a été déposé le 24 janvier 2011.

Le groupe a tenu à se démarquer des réflexions menées sur l'accident du vol AF447 :

« The reader should bear in mind that we did not examine major portions of Air France, nor did we conduct a safety audit. Because of these intentional omissions and the nature of our effort it would be irresponsible to attempt to link this report and its findings with any accident past or future. »

DG716/

8 TRANSCRIPTION CVR

Cette transcription a été réalisée en respectant les termes du règlement européen 996/2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile du 20 octobre 2010.

g) les enregistrements audio et vidéo du poste de pilotage et leurs transcriptions, ainsi que les enregistrements audio réalisés dans les services de contrôle de la circulation aérienne, en veillant à ce que les informations n'ayant pas de rapport direct avec l'enquête de sécurité, et notamment celles relatives à la vie privée, bénéficient d'une protection appropriée, sans préjudice du paragraphe 3.

Heure TU	Alarmes	Conversations et voix synthétiques
00:13:29	ATC	<i>Communication entre ATC et autres avions</i>
00:24:03	CdB :	<i>Conversation sur le repas (.....)</i>
00:25:22	ATC	<i>Communication entre ATC et autres avions</i>
00:26:20	PNC féminin	Tout va bien
00:26:24	?	Tutti va bene
	PF:	A tout à l'heure
00:27:26	ATC	<i>Communication entre ATC et autres avions</i>
00:27:22	CdB :	Ready
	?	<i>Echange de baladeur pour écouter un morceau de musique</i>
00:31:01	CdB :	C'est l'équateur
	PF :	Ok
00:31:03	CdB :	T'avais compris...je suppose
00:31:06	PF :	Je m'en doutais
00:31:16	CdB :	J'aime bien sentir la marche
	PF :	Ouais
	ATC
00:32:06	CdB	Qu'est ce qui dit
00:32:10	PF :	Alors là !
00:32:25	ATC	Air France 4 5 9 3 5 0 squawk ident on radar control
00:32:30	CdB	Squawk ident Air France 4 4 7
	PF :	C'est pas une
00:32:33	PF :	C'était pour nous ?
	CdB	Oui
00:32:36	ATC	Air France 4 4 7 go ahead
00:32:38	PF :	Tu vois, c'était Air France 3 5 9
00:32:42	CdB :	Air France 447 squawk ident
00:32:46	ATC	Ok Air France 4 4 7, copy squawk ident for Air France 4 5 9, maintain 3 5 0 on control Air France 4 5 9
00:32:52	PF:	Ah forty five nine, for forty, four five
00:32:56	PF:	On y arrive, on y est arrivé
00:32:58	ATC	Control good evening Air France 4 5 9 squawking ident
00:33:03		Roger AF 4 5 9 radar control
00:35:55	ATC	AF 4 4 7 Recife

00:36:00 CdB : Go ahead
 00:36:00 ATC : AF 4 4 7 call this frequency 1 2 8 decimal 7 and secondary 1 2, correction secondary 1 3 4 decimal 8
 00:36:12 CdB : 1 2 8 7 3 4 8 bye bye
 00:36:27 CdB : C'est qui ça ?
 00:36:28 PF : Je me demande si c'est pas encore lui
 00:36:32 CdB : Recife, Recife Air France 4 4 7 good evening level 3 5 0
 00:36:39 ATC : Air France 4 4 7 good evening, radar control maintain ... 350,
 over INTOL intersection contact frequency ... 6 5 3 5 and secondary 5 5 6 5 ... good night
 00:36:58 CdB : 6 5 3 5 and 5 5 6 5 for HF frequency Air France 4 4 7
 00:37:11 CdB : C'est où là ? Quel point?
 00:37:15 CdB : Vers quel point il a dit?
 00:37:17 PF : Ah ça je ne sais pas, j'ai pas compris ça
 00:37:22 CdB : Ça doit pas être bien grave
 00:40:23 CdB : On est en +11, c'est bien ce qu'ils avaient dit
 00:40:29 PF : Tu me dis ?
 00:40:30 CdB : Standard+11 hein, c'est ce qu'ils avaient prévu
 00:40:35 CdB : Tiens t'as vu c'est remonté à 7 2 le pétrole
 00:40:43 PF : On va pouvoir accélérer
 00:40:44 CdB : Regarde mach 82 regarde dans le
 00:40:54 CdB : 6,6 c'est pas mal 6,6
 00:40:58 PF : Ouais, ils avaient dit 6,5
 00:41:01 CdB : Ça me plaît mieux, en dessous de 6 ça, j'aime pas trop
 00:41:05 PF : Non c'est clair
 00:41:21 CdB : Tu remets les gaz, t'as un blocage volets, euh une demi heure pour traiter
 00:41:23 PF : Ah là ça se complique
 00:41:28 CdB : Si c'est vraiment la grosse panne, bon si t'as volets 2
 Pleins volets 2 et que t'arrive pas à sortir plus haut et plus loin, c'est pas très grave, quoi
 Tu peux te permettre de te poser sans trop te calculer quoi avec 4000m de piste
 00:41:41 PF : Et avec moins
 00:41:46 CdB : Avec moins t'as intérêt de faire fissa, hein, pour garder les...
 00:44:27 CdB : Y'a de la rumba dans l'air
 00:44:29 PF : Ah alors
 00:44:36 CdB : Histoire de dire qu'on passe RUMBA
 00:44:39 PF : J'avais compris
 00:44:46 CdB : On voit Natal devant
 00:44:50 CdB : On a pas été emmerdé par les cunimbs, hein
 00:46:08 PNC féminin *Conversation sur la température des soutes à bagages*
 00:46:29 *Discussion sur le trajet d'un vol RIO-HONG KONG*
 00:54:21 PF : Bon on va pouvoir demander les météo, pour le dispatch là
 00:54:23 CdB : J'ai envoyé ... qu'ils me changent le point d'appui
 00:54:30 PF : Tu les as demandées les météo
 00:54:31 CdB : Non, non ...
 00:54:31 PF : Non
 00:54:31 CdB : Ouais, ouais, je les ai demandées
 00:54:32 PF : Ah
 00:54:34 CdB : Je vais leur demander qu'ils changent le point d'appui
 00:54:34 PF : ?
 00:54:37 PF : Tu fais le message ou tu veux que je le fasse, tu veux que je fasse la première partie ou....
 00:54:40 CdB : ?
 00:54:43 CdB : Je vais mettre SAL fermé à quatre heure trente
 00:54:54 CdB : SID c'est quoi? C'est Natal, oui c'est ça

DG 116 / 332

00:55:03 PF : Heu, SID c'est, c'est SAL
00:55:18 CdB : GVAC ?
00:56:00 PF : Ouais c'est ça, SID c'est SAL
00:56:43 PF : Tu demandes carrément le changement du point d'appui
00:56:52 CdB : Oh...on s'en foutça va pas changer grand-chose pour nous hein
00:57:03 CdB : Ou, ou notam
00:57:43 CdB : ? 05
00:57:44 CdB : On va voir ce qu'ils vont nous répondre
00:57:46 PF : Oh merde, ah ben oui, c'est permis, ils ont raison, ah puis alors
00:58:08 CdB : Essaie peut-être de dormir 20 mn, quand il va revenir, ou avant si tu veux
00:58:13 PF : Ouais d'accord, c'est sympa, pour l'instant j'ai pas envie mais si j'ai envie ouais
CdB : Ouais
00:58:18 CdB : Ça va être long pour toi
00:58:38 CdB : Où ils se font les contacts par HF d'après toi, à INTOL, ça devrait arriver, ça serait pas mal,hein, INTOL
00:58:46 CdB : Ou FEMUR...hein, on va les contacter à FEMUR ...en HF
00:58:54 PF : FEMUR, ouais, c'est la FIR
00:58:56 CdB : Hein
00:58:58 PF : Ah non la FIR c'est INTOL
00:58:58 CdB : Ouais
00:58:58 PF : Ok
01:03:46 PF : On a de la visite
?
01:03:54 PNC féminin Elle est presque à 25 en température sur mon écran, ils ont froid derrière
PF : *Conversation sur la température des soutes à bagages*
01:04:19 GP ? : Hello
01:04:21 PF : Mais tu dors pas ?
01:04:24 GP ? : J'ai dormi un petit peu
01:04:25 CdB : Cette nuit j'ai pas assez dormi
01:04:27 CdB : Une heure, c'était pas assez tout à l'heure
01:04:35 *Discussion sur le repas*
CdB : Ils disent quoi?
PF : Ah ouais
01:05:06 PF : Réponse du mec qui n'a pas envie de s'enmerder
01:05:11 CdB : Runway will be open only for emergency ... qu'un moteur on serait en emergency
01:05:19 GP ? : Qu'est ce qui se passe on a plus qu'un moteur,....un moteur qui marche pas bien
il faut avoir 2 terrains d'appui quand on traverse l'atlantique Sud là,
y en a un qui est fermé à partir de 9 heures
01:05:23 PF : Non là pour l'instant
01:05:24 CdB : Non, parce que normalement, y a le point d'appui, tu sais pour un bi-moteur,
01:05:38 GP ? : Et alors
01:05:39 CdB : Il risque de rouvrir si on est en emergency
GP ? : Ah bon
01:05:43 CdB : On a demandé un autre point d'appui et lui il s'en tamponne, il dit que si on a plus qu'un moteur
on est en emergency...nous enmerde pas
01:05:55 GP ? : C'est toujours comme ça...ils en avaient marre et que
01:05:56 CdB : Non non, parce que là, ils refont la piste, ils refont la rampe d'approche à ...à SAL
01:06:04 GP ? : Ah à SAL !
CdB : A SAL
01:06:08 GP ? : Au Cap Vert
01:06:09 CdB : Au cap Vert voilà

D6716 /
333

GP ? : C'était là haut
Discussion sur les conditions d'embarquement à Rio

01:09:35 CdB : En zoulou il est 2h41, non il est 1h10
01:09:52 CdB : C'est quoi ces 2h40, ah oui c'est le plan de vol
01:09:55 PF : ... faut lui envoyer les...
01:09:57 CdB : Oui, oui, on va lui envoyer
01:10:00 CdB : En fait, c'est pour ...oui...on va lui envoyer le
01:10:05 PF : C'est pas celle là d'ailleurs, c'est...
01:10:07 CdB : Je vais les appeler en HF
01:10:11 PF : Tu les avais pris les météo de Natal et de SID
GP ? : Oui
01:10:14 PF : Alors, parce que c'est pas celles là
01:10:16 CdB : J'ai pris des
01:10:18 PF :T'
01:10:36 CdB : C'est ça
01:10:38 PF : Donc sa réponse, on s'en contente
CdB : Hein
01:10:41 PF : On s'en contente de sa réponse
CdB : Roule roule
01:10:45 CdB : Ça ne m'inquiète pas de trop, hein
01:10:48 PF : Non, moi non plus, bon tu lui demandes un changement de point d'appui
01:10:50 CdB : Est ce que j'ai l'air inquiet?
01:10:51 GP ? : Non t'as pas l'air inquiet
01:10:52 CdB : J'ai pas l'air inquiet
01:10:56 PF : Je trouve ça un peu dommage, c'est que tu ne lui as pas demandé son avis,
tu lui as demandé de te trouver un autre point d'appui, et lui, il te répond non,
mais ce sera comme ça quand même

01:11:06 CdB : C'est pas grave
PF : Ah bon, allez

01:11:08 CdB : Ça ne me fâche pas
01:11:09 PF : Ok alors on lui envoie les trucs
01:11:13 CdB : Il est où la réponse... là du ...
01:11:20 CdB : Ah tu as rempli
01:11:27 PF : Remarque tu pourras la montrer à David, tu pourras lui dire que
01:11:47 GP ? : *Discussion sur les tours de repos PNC*
01:11:51 CdB : sur SAL
01:12:23 PF : ... MSLP, je ne sais pas ce que c'est comme bled, mais en faitSID et SAL c'est la même chose, ok
01:12:30 CdB : C'est Natal
01:12:31 PF : Ah oui, qu'est-ce que je veux dire c'est que là, donc SID ça correspond au terrain qui s'appelle SAL,
et ça c'est son ... IATA, et SAL je ne sais pas quel terrain c'est

CdB : Ah oui
01:12:41 PF : Mais c'est pas Natal
01:12:42 CdB : Ah oui c'est NAT
01:12:43 PF : MSLP ça doit être remarque je vais vérifier c'est intéressant ça
01:12:52 CdB : Je vais demander
01:12:54 GP ? : Bon je vous laisse, hein
01:12:56 CdB : Bon à tout à l'heure
GP ? : A tout à l'heure
01:13:01 PF : Ça doit être MSLP, ... ça te dit quelque chose ?
CdB : Non
01:13:04 PF : Moi non plus

01:13:06 PF : C'est où ça?

01:13:17 CdB : C'est San Salvador

01:13:20 PF : Heureux de l'apprendre

01:13:25 CdB : Qu'est ce qu'on pourrait demander comme terrain, Dakar ?

01:13:29 PF : Ouais, les terrains qui y a après, t'as raison, ouais Dakar

CdB : Euh, qu'est ce qui a d'autre?

01:13:35 PF : Juste après y a Nouakchott ou Noadhibou

CdB : C'est quoi le ?

01:13:37 PF : Nouakchott c'est GQNN

01:13:42 CdB : GQNN ?

PF : Ouais

01:14:08 CdB : Je vais essayer la HF

01:14:09 PF : Donc déjà SID on peut y aller s... , pardon SAL on peut y aller sans problème

01:14:24 CdB : Air France 4 4 7

01:14:29 ATC : Call

01:14:31 CdB : Air France 4 4 7 we check FEMUR at 0 1 1 3 level 3 5 0 we contact Atlantico with HF?

01:14:45 ATC : Negative after over INTOL change the frequency for Atlantico 6 6 4 9

01:14:52 PF : Oui c'est over INTOL

01:14:53 CdB : Ok over Intol Air France 4 4 7, we keep frequency

01:15:45 CdB : Une quinze
Discussion sur le service à bord d'un vol au départ de Bangkok

01:17:34 PF : ah c'était là ça

01:17:45 PF : Déjà le contact avec le dispatch on sait qu'on l'a eu

01:17:45 CdB : Ouais

01:17:54 CdB : Bon faut savoir nager maintenant hein

01:17:54 PF : Voilà

01:18:08 PF : On passe même pas en Nord vrai là ?

CdB : Hein

01:18:12 PF : On passe en Nord vrai ?

CdB : Non

01:18:23 CdB : Ça changerait pas, hein, ça fait pas mal, ça changerait rien hein, ça fait pas mal du tout

01:18:28 PF : C'est vrai, même pas mal

01:18:30 CdB : Regarde

01:18:33 CdB : Ah y a quand même de la déclinaison

01:18:36 CdB : Regarde ça, y a 28 ...

PF : d'ailleurs

01:18:44 PF : Tiens tu me donnes ton exemplaire, je vais noter les météo là

01:18:47 CdB : Ah ouais d'accord

01:18:49 PF : On l'avait fait à l'aller ça?

01:18:50 CdB : Ben vas- y attends

CdB : Hein

01:18:51 PF : On l'avait fait à l'aller ça

01:18:52 CdB : J'espère que vous l'avez fait

01:18:55 PF : Ça ne me dit rien, moi je ne l'avais pas fait en tout cas

01:18:57 CdB : Ouais moi non plus

01:18:58 PF : Ouais mais donne parce que je vais réactualiser les plages et tout le merdier, laisse, je vais m'occuper de ça,

01:19:27 CdB : Bon celle la, je la garde comme pare- soleil pour tout à l'heure

01:19:39 CdB : Protection thermique

01:23:35 PF : Tiens

01:23:51 PF : Voilà les nouveaux TAF

01:23:54 CdB : Hein

JGALB
335

01:23:55 PF : C'est bon
 01:27:57 CdB : Qu'est-ce-qu'on voit mal dans cet avion avec ces éclairages
 01:27:59 PF : Ouais
 01:28:01 CdB : C'est pas une réussite
 01:31:35 ATC ... correction Air France 447 ...
 01:31:40 PF : On arrive à INTOL
 01:31:41 CdB : Air France 447 go ahead
 01:31:46 ATC Air France 447 contact now Atlantic center high frequency 6 6 4 9 back up 5 5 6 5, and after TASIL frequenc
 01:31:47 CdB : I understood six six 4 9 and 5 5 6 5, 6 5 3 5
 01:32:11 ATC 6535 only after TASIL with Dakar Air France 447
 01:32:17 CdB : Ok bye bye thank you
 01:32:36 CdB : C'est quoi ça, c'est Atlantico?
 01:32:40 PF :
 01:32:43 CdB : Ah bein non
 01:32:48 CdB : Atlantico, Atlantico, Air France 447 calling Atlantico on 6 6
 01:33:29 CdB : On s'est logué au fait ?
 01:33:32 PF : ... avec qui, avec DAKAR tu veux dire ?
 01:33:40 CdB : Ouais
 01:33:44 CdB : C'est quoi, Dakar ?
 01:34:01 PF : Notification failed
 01:34:02 CdB : Hein
 01:34:04 PF : Ça n'a pas marché
 01:34:06 PF : Comme d'habitude
 01:34:30 CdB : Atlantico, Atlantico, Air France 447 calling Atlantico, on 6 6
 01:34:36 ATC Air France 447 Atlantico go ahead
 01:34:40 CdB : Air France 447 position INTOL, 0 1 3 3 level 3 5 0, SALPU 0 1 4 8 next is ORARO 0 2 0 4
 request SELCAL check Charlie Papa Hotel Quebec
 01:35:06 CdB : SELCAL is ok Air France 447 thank you
 01:35:09 ATC ...you have to maintain ... 5 ... 7... maintain flight level 3 5 0
 01:35:16 PF : Et bien voilà
 01:35:17 CdB : Ok willco
 01:35:17 ATC We thank you
 01:35:20 PF : On va pas tarder à demander à monter quand même
 CdB : Ouais
 01:35:25 CdB : Et là, il veut pas ?
 01:35:29 CdB : Il veut pas ?
 01:35:30 PF : Non non, il veut pas
 01:35:32 PF : J'ai vérifié c'est le bon code hein
 01:35:45 CdB : Il veut point
 01:35:48 PF : Donc on a un truc droit devant
 01:35:51 CdB : Ouais j'ai vu ça
 01:36:45 CdB : On est standard +12
 01:36:46 PF : Ouais ouais, toujours sinon on aurait, on aurait un accrochage vachement plus haut
 01:36:49 CdB : Ah ouais
 01:36:54 CdB : Ça a monté légèrement tout à l'heure jusqu'à 3,42
 01:36:58 CdB : Le, l'optimum
 01:37:01 PF : Ouais
 01:37:04 CdB : S'allège
 01:37:05 CdB : 209 tonnes
 01:37:46 PF : Voila en ... on va rester en surcharge jusqu'à 7h34 de vol encore 4h et demie
 01:38:27 PF : J'essayerai bien de remettre ça sur norm, voir si ça tient la température

DGA 16
 336

TGI de Paris. N° Instruction : 2369/09/52.N° du Parquet : 0915408221

01:38:29 CdB : Ouais
Commentaires d'un article de magazine sur les paradis fiscaux

01:44:43 PF : On passe l'équateur, t'as sentis la bosse ?
01:44:45 CdB : Hein ?
01:44:45 PF : T'as sentis la bosse ?
01:44:46 CdB : Ah merde
01:44:46 CdB : Non
01:44:49 PF : Ben voilà
01:44:51 PF : Hé ouais
01:46:10 CdB : Bon ben on va prendre les mesures qui s'imposent
01:46:13 PF : Je baisse un peu la lumière pour voir dehors
01:46:14 CdB : Ouais
01:46:16 PF : Ça puis j'allume les phares pour voir
01:46:20 PF : Ah effectivement hein
01:46:21 CdB : Hein ?
01:46:22 PF : On dirait qu'on va rentrer dans la couche
01:46:29 PNC féminin C'est moi qui garde la maison
CdB : Oui
01:46:32 CdB : C'est Marilyn .. nan
01:46:33 PNC féminin Si vous avez besoin je suis en porte 2 et je vais aller manger
01:46:35 CdB : Oui ma puce
PNC féminin D'accord
CdB : Ok
01:46:36 PF : Ça irait bien de monter là hein, 370 c'est encore un peu chaud
01:46:53 CdB : Ouais si ça turbule
01:46:56 PF : Il va faire un peu plus froid donc si ça descend ça vaut mieux
01:47:01 CdB : Ça va changer, je crois au Nord hein
PF : Ouais
01:47:03 CdB : Au nord de l'équateur là
01:47:04 PF : Ça devrait commencer à redescendre
01:47:13 ?
01:47:19 CdB : Bon, on arrive dans la zone ETOPS alors, dans la zone de mort
01:47:25 PF : Ouais exactement
01:47:27 CdB : A SALPU
01:50:21 CdB : Ahhh
01:50:23 PF : On essaie de demander le 3 6 non standard, l'on est vraiment à la limite, déjà le 3 6 se serait bien
01:50:33 CdB : On va attendre un peu, bon si ça passe
01:50:48 PF : Pour monter faudrait quasiment qu'on attende une heure en fait
01:50:51 CdB : Problème ... c'est remonter
01:50:51 PF : ?
01:50:58 CdB : Si on n'en sort pas au 3 6 on risque d'être mal
PF : Ah ouais
01:51:04 CdB : 3 7 ça va être un peu juste, 3 7 c'est
01:51:10 PF : Ah
01:51:11 CdB : Ah ben il manquait plus que ceux là
01:51:15 PF : On va s'en prendre une ou quoi là ?
01:51:22 CdB : Il manquait plus que Monsieur Saint Helme
01:51:31 PF : J'ai pas eu l'impression qui y'ait des orages lày a pas grand-chose hein
01:51:59 CdB : Ça va turbuler quand je vais aller me coucher
01:52:03 PF : Et non, on sort
01:52:08 PF : Jusqu'à la prochaine fois

16716

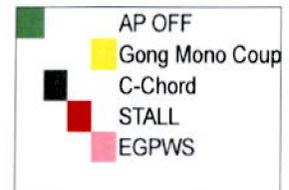
01:52:19 PF: Plus 10 ça c'est réchauffé de 2 degrés
01:52:24 PF: Tu vois le Rec Max est passé au 375
01:55:58 CdB: Il n'y a plus qu'à le réveiller, tu rallumes un peu
01:56:04 CdB: Flight Rest
01:56:19 CdB: Qui est ce qui pose?, c'est toi, il va prendre ma place, t'es PL toi?
01:58:28 *Porte*
01:59:33 CdB: Ça y est?
01:59:33 PF: Bien dormi?
01:59:38 PNF: Moyen, j'ai somnolé en fait
02:00:10 CdB: Bon, allez, je me casse
2:00:29.891 PNF: ça va vous
2:00:31.175 PF: ça va
2:00:33.674 PF: Ben le petit gain de turbulence que tu viens de voir, on va, on devrait retrouver la même devant en fait
mais dans la couche, malheureusement on peut pas trop monter pour l'instant
parce que les températures diminuent moins vite que prévu
2:00:44.421 PNF: Ouais
2:00:46.342 PF: Donc ce qui nous fait des REC MAX un peu trop bas quoi, pour aller chercher le 3 7
2:00:52.323 PF: C'est bien dommage
PF: Sinon on est en contact HF avec Atlantico
2:00:59.848 PF: Primary et back up
2:01:20.244 PF: Le LOGON a échoué avec Dakar
2:01:23.238 PF: On a bien entendu eu le contact avec le DISPATCH
2:01:25.782 PF: Tu tu veux bien me rappeler les fréquences exactement ce que ça a donné s'il te plait
2:01:29.668 CdB: Hein
2:01:30.233 PF: Les fréquences
2:01:31.617 PF: Qui est qui?
2:01:33.855 CdB: Heu 6649 5565 et après c'est 6535
2:01:39.485 PF: A partir de TASIL là, c'est 6535
2:01:42.225 CdB: Avec Dakar
2:01:43.681 PF: D'accord merci
2:02:00.230 PF: Apparemment se serait plutôt POMAT, ah non Dakar Océanic
2:02:04.455 PF: Moi j'ai toujours Dakar Océanic
2:02:07.486 PF: TASIL c'est ça t'as raison
2:02:11.137 PF: Autant pour moi
2:02:32.000 PF: Pour l'instant si on avait un problème, ce serait demi tour sur NATAL où il fait Beau
2:02:37.125 PNF: D'accord
2:02:41.598 PNF: Qu'est ce que ça a donné heu
2:02:44.300 PNF: SID Au niveau heu
2:02:46.574 PF: RCNI
2:02:48.331 PNF: Ouais tu sais ou il y avait l'accès là
2:02:49.925 PF: Ouais
2:02:50.888 PF: Et ben en fait heu
2:02:50.888 PF: Marc a envoyé un message en demandant
2:02:57.479 PF: En demandant un changement de point d'appui, il a pas demandé,
je sais pas Il a dit request Changement de point d'appui machin, voila la réponse voila la réponse
2:03:09.394 PNF: D'accord, bon ben OK
2:03:11.140 PNF: Voilà, c'est sympa
Bruit tablette
2:03:27.085 PF: Pas de nouveaux NOTAM TAF Idem là, on a un nom peut être que tu connais
2:03:33.155 Jauthee
2:03:37.096 PNF: Je suis très mauvais en mémoire des noms

DGALB

2:03:44.128 PF Front inter tropical et voila on est là entre SALPU et TASIL ??? Et voila, en plein dedans
2:05:20.000 PNF Standard plus dix le 370 effectivement le REC MAX
2:05:26.741 PF Là on devrait, d'après OCTAVE on devrait être à plus 7 seulement
2:05:30.996 PF ça devrait continuer à descendre mais là
2:05:54.369 PF On va les appeler derrière pour leur dire quand même parce que
2:06:04.652 PNC féminin Oui Maryline
2:06:05.956 PF Ouais Maryline c'est Pierre devant, dis moi, dans 2 minutes là, on devait attaquer une zone ou ça devrait bouger un peu plus que maintenant faudrait vous méfier là
2:06:13.680 PNC féminin D'accord, on s'assoit alors
2:06:15.681 PF Ben je pense que se serai pas mal, tu préviens les copains,,
2:06:17.647 PNC féminin Ok j'appelle derrière, merci beaucoup hein
2:06:19.474 PF Je te rappelle des qu'on est sorti de là
2:06:21.290 PNC féminin Ok
2:06:40.000 PF Standard plus 13
2:06:41.082 PF Putain la vache
2:06:42.000 Oh putain
2:06:42.911 PF Heureusement qu'on est en 3 30
2:06:45.654 PF On ferai pas les malins avec un 3 40 ... plein
2:06:50.180 PNF C'est clair
2:06:52.000 PF Moins 42 on utilisera pas les ANTI ICE, c'est toujours ça de pris
2:07:02.151 PF On va être Vraiment être à la limite de la couche c'est dommage
2:07:05.149 PF Je suis sûr qu'avec un 3 6 0 non standard, on le fait, ça serait pas mal
2:08:03.512 PNF Tu veux pas altérer un peu à gauche éventuellement
2:08:06.399 PF Excuse moi
2:08:07.374 PNF Tu peux éventuellement prendre un peu à gauche
2:08:09.684 PNF Je suis d'accord qu'on est en manuel hein
2:08:12.535 PNF A 20 avec des
2:08:19.140 PNF Ce que j'appelle en manuel, ah non on est en calibré
2:08:23.363 C'est ...
2:08:28.000 PNF C'est moi qui viens de passer en max hein
2:08:36.000 PF A la vache, tu viens de toucher à quelque chose du conditionnement
2:08:39.028 PF Non mais au conditionnement d'air
2:08:41.819 PF C'est quoi cette odeur là ?
2:08:43.700 PNF C'est l'ozone
2:08:44.551 PF C'est l'ozone c'est ça on est d'accord
2:08:46.858 PNF C'est pour ça que
2:08:47.373 PF Déjà on sent, que c'est vachement plus chaud
2:08:49.769 PNF C'est qui fait chaud, et ozone
2:09:02.243 PF Ça c'est quoi, c'est propre au FIT
2:09:05.669 PNF L'ozone
2:09:06.162 PF Ouais
2:09:06.901 Non
2:09:07.439 PNF Non c'est le, c'est l'air chargé en électricité
2:09:10.148 PF A ouais d'accord
2:09:20.361 C'est étonnant comment il fait chaud d'un coup
2:09:54.000 PF Voila je réduis un peu
2:10:00.313 PF Voila
2:10:01.522 PNF Ça coute rien
2:10:02.687 PF Vas y
2:10:04.232 PF Tu veux qu'on mette sur ignition start

2676

2:10:05.039			<i>Charge de cavalerie</i>
2:10:06.830	PF		J'ai les commandes
2:10:07.838	PNF		D'accord
2:10:08.515		■	Gong monocoup
2:10:09.509	PF		Ignition Start
2:10:10.000		■	<i>C-Chord</i>
2:10:10.720		■	
2:10:10.720		■	Stall sans cricket
2:10:11.798		■	<i>C-Chord</i>
2:10:11.855	PNF		Qu'est ce que c'est que ça?
2:10:13.357		■	
2:10:13.500		■	Stall sans cricket
2:10:13.885		■	
2:10:14.394	PF		On a pas une bonne on a pas une bonne annonce de... Vitesse
2:10:14.460		■	<i>C-Chord</i>
2:10:15.289		■	
2:10:16.259	PNF		On a perdu les les les vitesses alors
2:10:16.361		■	<i>Gong monocoup</i>
2:10:18.472		■	Engine Thrust, A/THR, engine ever thrust ,
2:10:19.122		■	<i>Gong monocoup</i>
2:10:20.748		■	<i>C-Chord</i>
2:10:22.455	PNF		Alternate law, protection slc
2:10:24.680	PNF		Attends on est entrain de perdre ... WING ANTI ICE
2:10:27.472	PNF		Fais attention à ta vitesse
2:10:28.723	PNF		Fais attention à ta vitesse
2:10:28.723	PF		Ok ok je redescends
2:10:30.287	PNF		Tu stabilises
2:10:31.000	PF		Ouais
2:10:31.586	PNF		Tu redescends
2:10:32.573	PNF		On est en train de monter selon lui
2:10:34.113	PNF		Selon les 3 tu montes , donc tu redescends
2:10:35.653	PF		D'accord
2:10:36.266	PNF		T'es à ... redescends
2:10:36.887	PF		C'est parti on redescend
2:10:38.685	PNF		Doucement
2:10:39.647	PNF		Je te mets en ATT "ing"
2:10:41.428	PNF		Qu'est ce que c'est que ça?
2:10:42.522	PF		On est en, on est en CLIMB
2:10:50.150	PNF		Putain il est ou heu?
2:10:51.706		■	Cricket et stall
2:10:55.299		■	<i>Bruit d'ouverture de porte</i>
2:10:56.528		■	Allo
2:10:57.058		■
2:10:57.082		■	...
2:10:59.653		■	Allo
2:11:00.737	PF		Surtout essaies de toucher le moins possible les commandes en, en latéral
2:11:02.852		■	Allo
2:11:03.673	PNF		Je suis en TOGA hein
2:11:06.524		■	Putain y vient ou pas
2:11:06.714		■	ça ne répond pas (Piste 4)
2:11:12.801		■	



D6716
340

2:11:21.106		
2:11:21.492		
2:11:21.804	PNF	On a pourtant les moteurs, qu'est ce qu'y se passe bordel
2:11:25.000	PNF	Tu comprends ou pas ce qui se passe?
2:11:25.354		Stéphanie (Piste 4)
2:11:33.000	PF	Putain j'ai pu le contrôle de l'avion là
2:11:35.182		j'ai pu du tout le contrôle de l'avion
2:11:37.595		Stéphanie (Piste 4)
2:11:37.639	PNF	Commandes à gauche
2:11:41.576		Putain on est ou c'est quoi là?
2:11:42.156	PF	J'ai l'impression qu'on a une vitesse de fou
2:11:43.530	CdB	Qu'est ce qui se passe?
2:11:44.000	PNF	Je sais pas je sais pas ce qui se passe
2:11:45.258		
2:11:45.841	PF	On perd le contrôle de l'avion là
2:11:47.130	PNF	On a tout perdu le contrôle de l'avion on comprend rien
2:11:48.753		<i>C-Chord</i>
2:11:49.317	PNF	On a tout tenté
2:11:50.943		heu
2:11:53.000	CdB	Alors heu tiens prends prends ça
2:11:53.114		
2:11:53.114		
2:11:54.757		
2:11:54.765		<i>C-Chord</i>
2:11:56.000		
2:11:56.000		
2:11:55.352	PNF	Prends ça, prends ça
2:11:55.352		Mais ?
2:11:56.147		
2:11:57.322	PNF	Essaie de prendre ça
2:11:58.622	PF	J'ai un problème, c'est que j'ai plus de vario là
2:11:59.000		
2:11:59.000		<i>C-Chord</i>
2:12:01.169	PF	J'ai plus aucune indication
2:12:02.904	PNF	On a aucune indication qui soit valable
2:12:04.529	PF	J'ai l'impression qu'on a une vitesse de fou, non qu'est ce que vous en pensez ?
2:12:07.038	PNF	Non, non surtout ne les sors pas!
2:12:08.023		
2:12:08.023		
2:12:08.080		Non
2:12:09.054		kay
2:12:09.407		? pas
2:12:09.724		
2:12:09.724		<i>C-Chord</i>
2:12:10.321		
2:12:10.321		
2:12:12.000	PF	Alors on continue a descendre
2:12:12.589		
2:12:12.589		<i>C-Chord</i>
2:12:12.900	PNF	On tire
2:12:14.637	PNF	Qu'est ce que t'en penses, qu'est ce que t'en penses qu'est ce tu vois?

16216
341

2:12:16.600	CdB	Je sais pas ça descend
2:12:17.808	Voix Synth	PRIORITY-RIGHT
2:12:19.766		
2:12:19.915		
2:12:19.915	PF	Voilà
2:12:20.351		<i>stall sans cricket (1)</i>
2:12:20.708		
2:12:21.217	PF	La c'est bon , la on serait revenu les ailes à plat, non tu crois pas
2:12:21.400		<i>C-Chord</i>
2:12:23.389	CdB	Les ailes à plat
2:12:24.303	CdB	L'horizon, l'horizon de secours
2:12:25.941	PNF	L'horizon de secondes
2:12:26.855		Ok
2:12:27.016		
2:12:27.054	PNF	Ta vitesse, tu montes
2:12:27.741		
2:12:27.741		<i>stall sans cricket (1)</i>
2:12:28.500		Tu
2:12:28.924		
2:12:28.924		<i>C-Chord</i>
2:12:28.947	PNF	Tu descends, descends, descends, descends,
2:12:30.890	PF	Je suis entrain de descendre là
2:12:32.278	PNF	Descends
2:12:32.459	CdB	Non tu montes là
2:12:33.400	PF	Là je monte, ok alors on descend
2:12:34.670		
2:12:34.670		
2:12:36.207		
2:12:36.318		
2:12:36.318		<i>C-Chord</i>
2:12:39.400	PNF	Ok on est en TOGA
2:12:40.800		
2:12:40.800		
2:12:41.871	PF	On est quoi là en alti on a quoi?
2:12:44.200	CdB	Putain c'est pas possible
2:12:45.125		
2:12:45.729	PF	En alti on a quoi?
2:12:47.048		
2:12:47.048		<i>C-Chord</i>
2:12:47.782		
2:12:48.000	PNF	Comment ça en altitude?
2:12:49.304		
2:12:49.304		
2:12:49.354		Ouais ouais
2:12:49.877	PF	On descend là non
2:12:50.192		
2:12:50.862	PNF	Là tu descends oui
2:12:52.722		hè tu tu es en
2:12:54.543	CdB	Mets, mets les ailes horizontales
2:12:56.314	PNF	Mets les ailes horizontales
2:12:56.815	PF	C'est ce que je cherche à faire

DG716

2:12:57.689	CdB	Mets les ailes horizontales
2:12:57.849		
2:12:57.849		<i>C-Chord</i>
2:12:59.120	PF	J'suis a fond à avec du gauchissement
2:13:00.785	Voix Synth	<i>Dual Input</i>
2:13:00.785	CdB	Le palonnier
2:13:06.219		Les ???
2:13:06.932	CdB	Aller doucement
2:13:08.435	CdB	Doucement
2:13:11.704		Bien
2:13:12.339	PNF	On a tout perdu au niveau de l'aile gauche
2:13:14.655		J'ai plus rien là
2:13:16.097	CdB	Tu as quoi
2:13:17.854	CdB	Non attends
2:13:18.636	PF	On est, on y est, on passe le niveau 100
2:13:20.000	PNF	Attends , moi j'ai des, j'ai des commandes moi
2:13:23.275	Voix Synth	<i>Dual Input</i>
2:13:25.437	PF	Qu' est ce que c'est, comment ça se fait qu'on continue à descendre à fond là?
2:13:28.500	PNF	Essaie de trouver ce que tu peux faire avec tes commandes la haut
2:13:31.047	PNF	Les primaires etc
2:13:32.500	PF	On va arriver au niveau 100
2:13:32.500	CdB	Fera rien
2:13:36.918	PF	9000 pieds
2:13:38.842	CdB	Doucement avec le palonnie
2:13:40.084	PNF	Remonte, remonte, remonte, remonte,
2:13:41.103	PF	Mais je suis à fond à cabrer depuis tout à l'heure
2:13:42.000	Voix Synth	<i>Dual Input</i>
2:13:42.746	CdB	Non, non ,non ne remonte plus là
2:13:43.858	PNF	Ben alors descends
2:13:44.719		Plus on descend
2:13:44.787	Voix Synth	<i>Dual Input</i>
2:13:45.232	PNF	Donne moi les commandes, à moi les commandes
2:13:46.522	PF	Vas y, tu as les commandes
2:13:47.638	Voix Synth	<i>Dual Input</i>
2:13:47.683	PF	On est en TOGA toujours hein
2:13:52.885	CdB	Alors attends
2:13:54.106		Le....
2:13:55.695		
2:13:55.695		
2:14:00.000		Messieurs
2:14:03.188		
2:14:03.188		<i>C-Chord</i>
2:14:03.188	Voix Synth	<i>Dual Input</i>
2:14:05.403	CdB	Attention, tu cabres la, tu cabres
2:14:07.660		Mais faudrait on est à 4000 pieds
2:14:11.103	CdB	Tu cabres là
2:14:16.822	Voix Synth	EGPWS-SINK RATE
2:14:17.500	Voix Synth	EGPWS-PULL UP
2:14:18.413	CdB	Allez tire
2:14:19.735	PNF	Allez on tire, on tire, on tire, on tire
2:14:21.419		

D6716

2:14:21.419		
2:14:22.400		
2:14:22.581	Voix Synth	<i>PRIORITY-RIGHT</i>
2:14:24.000	PNF	Putain on va taper, c'est pas vrai, mais qu'est ce qui se passe
2:14:25.616	PF	"Putain, on est morts"
2:14:26.448	CdB	10 ^o degrés d'assiette

16716

9 CONCLUSIONS

La mission qui a été confiée aux experts était la suivante :

« Nous avons l'honneur de vous prier de bien vouloir déterminer les causes de l'accident de l'aéronef AIRBUS A330-200 effectuant le vol AF 447 en provenance de RIO DE JANEIRO et à destination de PARIS CHARLES DE GAULLE qui s'est produit le 1^{er} juin 2009. »

Les point N° 1.1 et 1.2 répondent à cette question.

« Nous avons l'honneur de vous demander de bien vouloir répondre à la question suivante lorsque vous serez arrivé au terme de vos investigations :

L'accident aurait il pu être évité, et dans l'affirmative, par quels moyens ? »

Les points N° 2.1, 2.2, 3.1, 3.3, 4.1, 5.3, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 7,1 répondent à cette question.

EN RÉPONSE À LEUR MISSION, LES EXPERTS ONT DÉTERMINÉ LES CAUSES SUIVANTES :

1.1 L'appareil a heurté la mer à la suite du décrochage et de la perte de contrôle.

1.2 Le décrochage a été initié par une trajectoire non maîtrisée, alors que survenait la perte de données de pression totale du fait du givrage des sondes Pitot accompagnée des alarmes et de la dégradation des systèmes associés.

LES EXPERTS ONT IDENTIFIÉ LES FACTEURS SUIVANTS AYANT CONTRIBUÉ AUX CAUSES DE L'ACCIDENT :

- 2.1 Le déficit d'information aux équipages concernant le givrage des sondes en altitude est contributif de l'effet de surprise.*
- 2.2 La dangerosité des incidents a été sous-estimée.*

- 3.1 *La procédure « IAS douteuses », procédure non ECAM, bien qu'adaptée à la situation, était inadéquate au vu des symptômes perceptibles.*
- 3.2 *La manoeuvre d'urgence STALL RECOVERY (récupération du décrochage) n'existait pas.*
- 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.*

- 4.1 *Le phénomène des cristaux de glace était officiellement ignoré. (n'était pas pris en compte dans les définitions réglementaires)*
- 4.2 *Conditions de vol défavorables: de nuit, en turbulence et sans références visuelles extérieures.*
- 4.3 *Fatigue maximale dans phase basse du cycle circadien.*

- 5.1 *Le CdB n'a pas assumé ses responsabilités managériales. (a inhibé la volonté de bien faire du copilote).*
- 5.2 *La suppléance du Commandant de Bord n'a pas été préparée.*
- 5.3 *Pas d'exigences particulières complémentaires à la compétence co-pilote, définies par l'exploitant, pour assumer la fonction de suppléant du CdB*
- 5.4 *Pas de respect par l'équipage de la philosophie de traitement de panne en réponse aux alarmes.*
- 5.5 *Pas de réaction appropriée à l'alarme STALL Warning.*

D6716

- 6.1 *Le givrage simultané des trois sondes Pitot constitue, de fait, une perte de redondance dont les conséquences sur le respect de la réglementation n'ont pas été évaluées.*
- 6.2 *Donnée de pression totale invalide utilisée par les systèmes. (Notamment, Altimètre, Variomètre, Alarme écart d'altitude, puis désactivation de l'alarme STALL Warning.....)*
- 6.3 *Apparition intermittente des informations générant des changements involontaires de mode de guidage (FMA, FD, Speedtape), notamment les indications des barres de tendance du Directeur de Vol (FD) positionnées (centrées) pour adopter une assiette à cabrer élevée.*
- 6.4 *La loi de pilotage ALT2B, loi hybride, ne garantit pas la stabilité longitudinale pour des vitesses inférieures à la vitesse de décrochage (VSIg)*
- 6.5 *Le Trim automatique du THS n'est pas désactivé en dessous de la vitesse minimale de vol (VLS.) en loi ALT2B*
- 6.6 *Un mode commun a été identifié dans l'architecture de fonctionnement du PHC et des modifications ont été réalisées sans analyse de sécurité.*

- 7.1 *Les spécifications de certification (CS25), notamment les définitions décrites dans l'appendice C, n'ont pas évolué à la suite des incidents de perte d'indication de vitesse depuis 2004.*
- 7.2 *L'absence des réponses de l'EASA n'a pas permis l'examen et l'analyse des sujets concernant l'autorité de certification.*

10 RÉPONSE AUX DEMANDES D'ACTES DES PARTIES CIVILES

10.1 Maître VON JEINSEN

Sujet	Référence dans le rapport
BEA	4.1.6
Comments with regard to EFCS	6.2
THS	5.3.1 et 5.7.1.2

10.2 FENVAC, Maître BUSY

Sujet	Référence dans le rapport
PRIM SEC (séquences de vol)	6.2.7
Critères certification sondes	7.3.1.4
Entretiens PNT	4.2.4
Date mise à jour calculateurs 3 PRIM et 2 FMGEC et 2 SEC	5.7.1.1
Analyse incidents	4.2
Débris	7.2
Séance simulateur	7.4.2
Impartialité des experts	2.2
Conséquences dysfonctionnement calculateurs	5.3, 7.5.2, 7.5.1
Carte satellite	6.1.3.2
Carburant embarque	6.1.3.4
Domaine de vol (FDR + séquences de vol)	6.2
Déviations (FDR + séquences de vol)	6.2 et 6.4
MSG ACARS FPV	7.4.1
Classement des incidents	4.2.2 et 4.2.3
Soufflage sonde	4.5.2.2.3 et 7.3

Tolérances espacements Check A	4.1.1.7
PHC	7.3.1.13
Sélection incidents	4.2.1
Entretien suite incidents sondes	4.2.3 et 4.2.2
Demande Airbus 1995 sondes	7.3
Analyse sécurité système	7.3.1.13
Utilisation radar	6.4.7.8

10.3 AIRBUS, Maître N'DAYE

Sujet	Référence dans le rapport
Impartialité des experts	2.2

10.4 HIOP 447, Maître CROLOW

Sujet	Référence dans le rapport
Gestion de la sécurité des vols chez Air France	4.1.1.3
Entraînement équipages	4.2.5
Communications réseau international recherches	7.1
SGS	4.1.1.1
Procédures remplacement des sondes	4.5.2.2.3
Transmissions incidents à l'EASA	4.2.2 et 4.2.3
BUSS	5.7.1.4
Calculateurs	4.5.2
Entretien sondes	4.5.2.2.3 et 7.3
Entraînement PNT	4.2.5
Réserve carburant	6.2.3

DC16

Équipage renforcé	4.2.5 et audition Air France
Entraînement pilotes 2009	4.2.5.6 et 4.2.5.7

10.5 Maître PAPIN

Sujet	Référence dans le rapport
Procédure inadaptée	4.4.1
Nettoyage sondes	4.5.2.2.3 et 7.3
EASA	pas de réponse EASA
Traitement des incidents par DGAC	4.1.5.4 et 4.2.2.3
Carte satellite	6.1.3.2
Choix de la route	6.1.3.4

10.6 Maître BOUAZIZ

Sujet	Référence dans le rapport
Impartialité experts	2.2
Simulateur	7.4.2
Informations fournies par AIRBUS	2.3.2
Dossiers professionnels	4.1.8 et 4.2.5
Vol renforcé (CVR)	4.2.5 et audition Air France
CdB au poste	6.2 Analyse du CVR
Tolérance VHF RMP1	4.5.3
Marge de manœuvre	4.3 et 4.4
Analyse des incidents	4.2.1.3 et 4.2.2

DGAC
350

10.7 Maître BOTTAI

Sujet	Référence dans le rapport
Liste des passagers	Consulter la procédure
Formation pilotes	4.2.5
Intégralité messages ACARS	7.4.1
Audition PNT vol même route AF447	6.4
AD Changement sondes	7.3.1
impartialité experts	2.2

10.8 Maître VENA

Sujet	Référence dans le rapport
Application SB AIRBUS	Audition Air France et 7.3.1

10.9 Maître JAKUBOWICZ

Sujet	Référence dans le rapport
Déroulement de la mission	2.3 et auditions et procédure
Pages 118a 125 parties non visibles	Intentionnellement pour raison de sûreté
Simulateur	7.4.2
Rapport autopsie CdB	7.4.6
Indépendance des experts	2.2
Contamination systèmes	5.5
Poussée maximale continue	5.1 et 5.2
Carte satellite	6.1.3.2, 6.1.3.3, 6.1.3.4

OCTAVE carburant	6.1.3.4
Plan de vol complet	À consulter dans la procédure
Témoignage AF459	6.4.4
Déviation de trajectoire	6.2.3 à 6.2.5 et 6.4
Disparition FPV	7.4.1
Messages ACARS HARD/INTERMITTENT	7.4.1
Totalité messages ACARS	A consulter dans la procédure
Déclenchement des alertes	7.1.1
Exploitation des incidents	4.2.2, 4.2.3
Demande AIRBUS 1995 sondes	7.3.1
Procédure IAS DOUTEUSES	4.4
Soufflage des sondes	4.5.2.2.3 et 7.3
Périodicité Check C	4.5
Porte du poste	Sans lien avec l'accident
PHC	4.5.2.2.1, 4.5.2.2.2 et 7.3.1.13
Analyse des systèmes	7.3.1.13
Utilisation radar	6.4.4.8 et 6.4.3.8

10.10 Maître BELLECAVE

Sujet	Référence dans le rapport
Références standard logiciels	5.7.1.1

10.11 Maître ROY

Sujet	Référence dans le rapport
-------	---------------------------

DG 716 / 352

Exploitation incidents	4.2.3
Suite données aux incidents par Air France	Audition Air France
Traçabilité sondes	7.3
Soufflage des sondes	4.5.2.2.3 et 7.3
Incidents givrage sondes	4.2.3
Fonctionnement dégivrage sondes	7.3.1
Explications verbales PEQ incidents	4.2.4

10.12 Maître GUIDICELLI

Sujet	Référence dans le rapport
Défaillance Pitot	7.3.2
Équipements hors service	6.2.5 à 6.2.7

10.13 Maître BOGUET

Sujet	Référence dans le rapport
Vérification pitots	7.3
Périodicité Check À et C	4.5
Situation MTO	6.2.3 et 6.2.4

10.14 Maître RAPPAPORT

Sujet	Référence dans le rapport
Impartialité des experts	2.2
Certification des sondes Pitot	7.3

DG 716
353

Unsafe condition	4.2.1, 4.2.3 et 7.3
Echanges Airbus Air France	4.2.2.1 et 4.2.2.5

10.15 Maître GOSSET

Sujet	Référence dans le rapport
Situation MTO sur la route	6.4
Déclenchement alerte	7.1.1

10.16 Maîtres RAPPAPORT ET GOSSET

Sujet	Référence dans le rapport
Messages ACARS	7.4.1
Analyse incidents	4.2.1 et 4.2.2
Analyse débris	7.2

10.17 Monsieur SOULAS

Sujet	Référence dans le rapport
MTO et trajectoires voisines	6.4 et 6.1.3
Organisation secours	7.1.1

10.18 MAÎTRE SCHMIDT

Sujet	Référence dans le rapport
Déclenchement des recherches	7.1.1

DG716

Analyse incidents	4.2.1 et 4.2.2
Dérive	7.2

10.19 Maître MAZUR

Sujet	Référence dans le rapport
Analyse QF 72	pas de défaut IR de l'ADIRU sur AF 447
Dérive	7.2
Echanges AF Airbus	4.2.2.1 et 4.2.2.5

11 DEPOT DU RAPPORT

Tel est le résultat des travaux de la mission qui nous a été confiée et que nous attestons avoir accomplie en honneur et conscience.

En foi de quoi, nous avons dressé le rapport que nous avons clos le 29 juin 2012.

Le Collège d'Experts :

Charles MAGNE
Eric BRODBECK
Michel BEYRIS
Alain de VALENCE
Hubert ARNOULD