

Rapport

Incident grave survenu le **22 juillet 2011**
en croisière au FL350, Océan Atlantique Nord
à l'avion **Airbus A340-313**
immatriculé **F-GLZU**
exploité par **Air France**

BEA

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

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

Avertissement

Ce rapport exprime les conclusions du BEA sur les circonstances et les causes de cet incident grave.

Conformément à l'Annexe 13 à la Convention relative à l'Aviation civile internationale et au Règlement européen n° 996/2010, l'enquête n'a pas été conduite de façon à établir des fautes ou à évaluer des responsabilités individuelles ou collectives. Son seul objectif est de tirer de cet événement des enseignements susceptibles de prévenir de futurs accidents.

En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

Table des matières

AVERTISSEMENT	1
SYNOPSIS	3
1 - DÉROULEMENT DU VOL	3
2 - RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES	6
2.1 Conditions météorologiques	6
2.2 Radar météo	6
2.3 Protection grande incidence	8
2.4 Comportement de l'avion dans le plan longitudinal	9
2.5 Messages et alarmes	9
2.6 Renseignements sur l'équipage de conduite	11
2.6.1 Commandant de bord	11
2.6.2 Copilote en fonction au moment de l'événement	11
3 - ENSEIGNEMENTS ET CONCLUSION	12
3.1 Utilisation du radar météorologique	12
3.2 Alarmes auditives	12
3.3 Surveillance des paramètres de vol et CRM	13
3.4 Conclusion	15
4 - RECOMMANDATIONS	16
4.1 Formation à la surveillance de paramètres lors de turbulences ou de survitesse	16
4.2 Alarme de déconnexion AP	16
4.3 Formation à l'utilisation du radar météorologique	17
4.4 Absence de données CVR pour les incidents	17

Synopsis

Date

22 juillet 2011 à 1 h 00 UTC⁽¹⁾

Lieu

En croisière au FL350, Océan Atlantique Nord à proximité du point 18N 060W

Nature du vol

Transport public ; service régulier international de passagers

Aéronef

Avion Airbus A340-313 immatriculé F-GLZU

Exploitant

Air France

Personnes à bord

Commandant de bord (PF)
2 copilotes (PNF) ; 11 PNC
270 passagers

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

1 - DÉROULEMENT DU VOL

Note : les éléments suivants sont issus de données enregistrées dans le FDR et l'enregistreur de maintenance (DAR) ainsi que de témoignages. L'enregistrement phonique de l'événement (CVR) n'est pas disponible.

L'équipage décolle de l'aéroport de Caracas-Maiquetía Simón Bolívar à 23 h 38 à destination de Paris Charles de Gaulle. Le commandant de bord est PF.

Vers 23 h 52, en passant le FL180 en montée, le PF et le PNF règlent tous les deux l'échelle de leur ND⁽²⁾ sur 320 NM.

Entre 0 h 28 et 0 h 47, le PNF modifie à plusieurs reprises l'échelle de son ND entre 20 et 320 NM, puis conserve ce dernier réglage. L'équipage indique que le radar météorologique, réglé sur le gain maximum et un tilt entre -0,5° et -1°, ne détecte aucune précipitation⁽³⁾. L'avion est stable au FL350, en ciel clair, et à un Mach de croisière de 0,83. Le pilote automatique (AP) n° 1 et l'auto-poussée (A/THR) sont engagés. Le mode du radar météorologique est réglé sur « WX ».

A 1 h 00 min 24 (point n° 1 de la figure 1), environ 2 NM après avoir passé le point de coordonnées 18N 60W, l'avion entre dans une zone de turbulences modérées. L'alarme de survitesse « OVERSPEED » se déclenche⁽⁴⁾ et le voyant « Master Warning » s'allume. L'équipage indique avoir été très surpris par cette alarme. Le Mach atteint 0,87.

A 1 h 00 min 27 (point n° 2), le PNF déconnecte manuellement l'AP par appui sur le bouton de déconnexion du manche. Un ordre à cabrer sur le manche du PNF allant jusqu'aux ¾ de la butée est enregistré pendant 6 secondes. Cet ordre est accompagné par un ordre en roulis à droite puis à gauche. Le PNF indique qu'il ne se souvient pas de ces actions.

⁽²⁾Navigation Display.

⁽³⁾Le gain et le tilt ne sont pas des paramètres enregistrés. L'équipage se souvient, sans pouvoir l'affirmer avec certitude, que le tilt était réglé alternativement entre - 0,5° et - 1°.

⁽⁴⁾Le Mach maximal en opération (MMO) est de 0,86. L'alarme « OVERSPEED » se déclenche à MMO+0,006, soit Mach 0,866. Au cours de l'événement, la protection haute vitesse ne s'est pas activée.

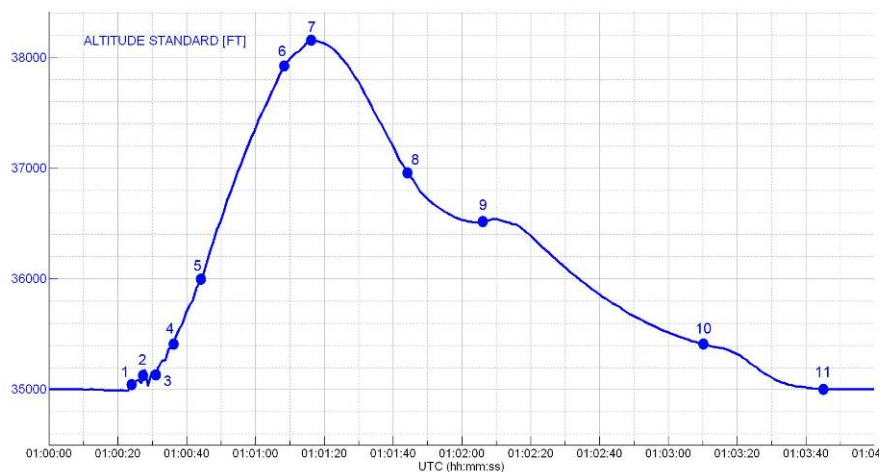


Figure 1 - Trajectoire verticale

Dès le début de l'ordre à cabrer et jusqu'au point n° 9, la protection grande incidence s'active à plusieurs reprises (voir le détail des périodes d'activation en annexe).

A 1 h 00 min 28, le Mach est de 0,84 et l'alarme « OVERSPEED » s'arrête pendant deux secondes. Elle réapparaît ensuite pendant une seconde, puis disparaît de nouveau. L'avion monte à une vitesse verticale de 1 950 ft/min.

A 1 h 00 min 30, le voyant « Master Warning » s'éteint. L'équipage sélectionne un Mach de 0,76 pendant 3 secondes, puis de 0,85.

A 1 h 00 min 31 (point n° 3), le PF sort les aérofreins. Le Mach est de 0,84 et commence à diminuer 2 secondes plus tard.

Le PF indique que, dans les secondes qui suivent, il allume les phares et constate être en IMC et qu'il y a des précipitations. Il indique également qu'il se retourne ensuite pour poser son plateau repas sur le siège derrière lui et pour prendre le combiné téléphonique du Public Address afin de faire une annonce aux passagers et aux PNC. Le combiné lui échappe des mains. Le PNF le récupère et l'utilise pour effectuer l'annonce.

A 1 h 00 min 32, l'altitude passe au-dessus de 35 200 ft. L'équipage précise ne pas se souvenir d'avoir entendu l'alarme « Altitude alert », qui se déclenche si l'altitude courante est supérieure de plus de 200 ft à l'altitude sélectionnée. L'assiette longitudinale augmente en passant de 3° à 9° en 5 secondes.

A 1 h 00 min 37 (point n° 4), les aérofreins commencent à rentrer automatiquement. L'assiette longitudinale varie ensuite entre 8° et 10°.

A 1 h 00 min 44 (point n° 5), l'avion est au FL360. Les aérofreins sont rentrés. L'assiette longitudinale augmente vers 12° environ en 2 secondes. L'avion continue de monter et le Mach diminue.

Le PF indique qu'il s'aperçoit que la vitesse est faible. Peu après, à 1 h 00 min 47, l'équipage sélectionne un Mach de 0,93. L'avion est toujours en montée avec une vitesse verticale qui atteint un maximum de 5 700 ft/min. L'équipage n'en a pas conscience. Les N1 sont à 100 %.

A 1 h 00 min 48, le PF positionne l'échelle de son ND sur 160 NM.

A 1 h 00 min 53, le PNF appuie sur le voyant « Master Warning ». L'altitude est de 36 900 ft.

A 1 h 01 min 08 (point n° 6), alors que l'avion est à 37 950 ft en montée, le PF désengage l'A/THR et avance les manettes de poussée dans le cran TO/GA.

A 1 h 01 min 17 (point n° 7), l'altitude atteint son maximum : 38 150 ft. Le Mach vaut 0,66.

Le PF indique qu'il s'aperçoit avec surprise que l'altitude est de 38 000 ft et demande au PNF s'ils sont bien autorisés au FL350.

A 1 h 01 min 42, alors que l'avion passe 37 000 ft en descente et que l'altitude sélectionnée est de 35 000 ft, le PF tire sur le bouton de sélection de l'altitude (ALT knob), ce qui engage le mode longitudinal OPEN DES. Le PF indique qu'il veut donner l'ordre à l'AP de redescendre au FL350, mais que « rien ne s'affiche au PFD »⁽⁵⁾. La vitesse indiquée est 226 kt, soit 19 kt en dessous de la VLS⁽⁶⁾. Les 2 directeurs de vols (FD) disparaissent alors⁽⁷⁾ (point n° 8). Au même moment le PNF effectue pendant une minute des transmissions sur la HF1 avec le centre de contrôle en route de New York afin de l'informer de l'écart d'altitude et des turbulences rencontrées.

A 1 h 02 min 06 (point n° 9), l'avion passe 36 520 ft en descente. Le PF prend alors conscience de la déconnexion de l'AP et actionne son mini-manche à piquer. L'assiette longitudinale commence à diminuer deux secondes plus tard.

A partir de 35 400 ft (point n° 10), le PF reconnecte l'AP1, l'altitude se stabilise au FL350 (point n° 11), et l'A/THR est réengagée.

A 1 h 25 min 38, un message ACARS reçu du CCO d'Air France indique qu'il n'y a rien de visible à 10 NM au nord de la position 18N 60W sur la photo satellite de 1 h 00 et qu'aucune turbulence en ciel clair n'était prévue à ce point non plus.

Le vol se poursuit sans autre incident jusqu'à l'aéroport de ParisCharles de Gaulle, où l'équipage atterrit à 8 h 33.

⁽⁵⁾ L'AP est toujours déconnecté à cet instant.

⁽⁶⁾ Vitesse minimum sélectionnable.

⁽⁷⁾ Lorsque les directeurs de vol (FD) sont engagés en mode OPEN DES, avec l'AP déconnecté et que la vitesse est inférieure à VLS-2 kt, la protection automatique de vitesse en descente se déclenche. Les FD se déconnectent alors et les barres de tendance disparaissent du PFD. Une alarme sonore « triple-click » est déclenchée.

2 - RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

2.1 Conditions météorologiques

Les informations à la disposition de l'équipage ne montraient pas de phénomène significatif sur la route jusqu'au milieu de l'Atlantique environ.

En revanche, les images satellite infrarouge obtenues par le BEA auprès de Météo-France montrent la présence de cumulonimbus isolés d'intensité modérée entre 0 h 30 et 1 h 30 aux alentours du point 18N 60W, dont le sommet se situait vers le FL380⁽⁸⁾. La trajectoire enregistrée montre que l'avion est passé à proximité de ces nuages pendant l'événement.

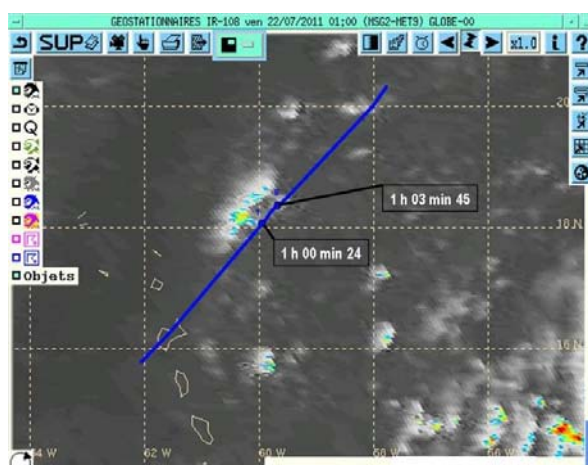


Figure 2 - Trajectoire sur fond d'image IR de 1 h 00

Il est à noter que ce type de nuages isolés en zone intertropicale est au-delà des capacités de prévision autres que la prévision immédiate ou à très courte échéance.

L'équipage d'un autre vol Air France, environ 40 minutes derrière le F-GLZU au même niveau (FL350) et sur une route sensiblement parallèle, a pu chercher puis observer une série d'échos dans cette zone.

2.2 Radar météo

Le F-GLZU est équipé d'un radar météorologique de marque Rockwell Collins. L'image radar obtenue est fonction de trois paramètres : le gain, le tilt (angle entre l'horizontale et le milieu du faisceau radar) et l'échelle du ND. L'ouverture du faisceau radar est de 1,7° en dessous et au-dessus du tilt sélectionné.

Le radar météorologique est conçu pour détecter l'eau sous forme liquide (pluie ou grêle humide), en mesurant un taux de précipitation. Selon le taux détecté et le gain sélectionné, des échos de couleurs différentes sont présentés sur le ND. Il détecte peu l'eau sous forme solide, comme les cristaux de glace ou la neige sèche.

Le réglage du tilt détermine la zone traversée par le faisceau radar et par conséquent les échos qui sont détectés et affichés sur le ND. Le réglage du gain permet ensuite de s'adapter à la réflectivité des précipitations rencontrées. Il est à noter que les nuages se situant devant l'avion mais non traversés par le faisceau ne sont pas visibles au radar.

⁽⁸⁾ D'après le modèle « Arpège » de Météo-France valable le 22 juillet à 00 UTC.

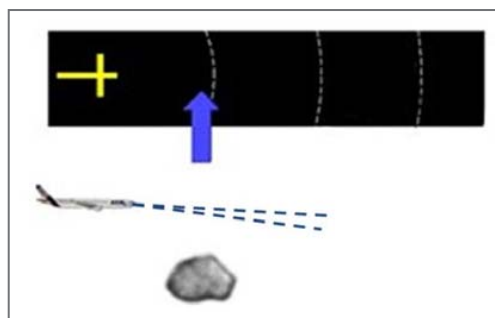


Figure 3 - Exemple de visualisation radar

Par ailleurs, la structure des cumulonimbus requiert un ajustement du tilt et de l'échelle au fur et à mesure que l'avion se rapproche d'une cellule convective. En effet, la réflectivité des précipitations à l'intérieur d'un cumulonimbus est fonction de la température.

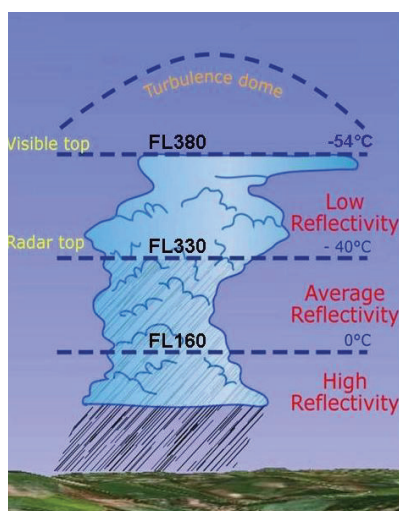


Figure 4 - Réflectivité radar du cumulonimbus

Les zones les plus réfléchissantes (précipitations liquides) se situent sous l'ISO 0 °C. La réflectivité y est élevée.

Entre l'ISO 0 °C et l'ISO - 40 °C (appelé « radar top »), la réflectivité est moyenne, et fonction du ratio eau liquide/cristaux de glace.

Quand la température est inférieure à - 40 °C, la réflectivité est très faible (cristaux de glace).

Le jour de l'événement, les données de Météo France indiquent que le sommet visible des nuages correspondait au FL380, l'ISO - 40 °C au FL 330 et l'ISO 0 °C au FL160.

Le tilt est à adapter à l'échelle du ND. Le FCTM⁽⁹⁾ du constructeur et le manuel TU A330/A340 d'Air France recommandent de régler l'échelle en croisière sur 160 NM ou 80 NM.

Le FCTM indique qu'en croisière le tilt doit être réglé pour que les échos de sol n'apparaissent que dans la limite des cercles de distance les plus éloignés. Ce même principe de réglage est repris dans le manuel TU pour la croisière au-dessus de 20 000 ft.

⁽⁹⁾Flight Crew Training Manual .

Aucun de ces deux documents n'indique explicitement de valeurs numériques de tilt en fonction de l'échelle. En revanche un bulletin d'information FOBN⁽¹⁰⁾ d'Airbus⁽¹¹⁾ indique un ordre de grandeur de valeurs de tilt à utiliser en croisière en fonction de l'échelle :

ECHELLE DU ND	TILT (°)
320 NM	- 1,0
160 NM	- 1,5
80 NM	- 3,5
40 NM	- 6,0

Les données enregistrées indiquent qu'aucun écho n'a pu apparaître sur le ND du PNF entre 0 h 29 et 0 h 46, car la zone convective est au-delà de l'échelle du ND. Après cela, les calculs montrent qu'un tilt réglé sur - 1° permet en théorie l'apparition d'un écho sur les 2 ND jusque 0 h 48 environ, car le faisceau traverse la zone de réflectivité élevée. Ensuite, même avec une échelle suffisante, le faisceau s'éloigne de plus en plus de la zone de réflectivité élevée. Avec un tilt réglé sur - 0,5°, la possibilité d'avoir un écho sur les ND est faible car le faisceau ne traverse jamais la zone de réflectivité élevée.

2.3 Protection grande incidence

En pilotage manuel et dans les conditions normales d'exploitation, le contrôle longitudinal se fait selon la loi de commandes de vol « normale ». Les ordres en tangage au manche commandent les gouvernes de profondeur et le PHR pour maintenir un facteur de charge en fonction du débattement du manche. Avec le manche au neutre, ailes horizontales, le système maintient un facteur de charge vertical de 1 g de telle sorte que la trajectoire est maintenue constante. Le réglage du PHR est automatique.

En loi normale, quand l'incidence dépasse un seuil appelé « Alpha Prot », la commande des gouvernes de profondeur et du PHR passe à un mode de protection où l'incidence est proportionnelle au débattement du manche. L'incidence commandée ne peut pas dépasser une limite appelée « Alpha MAX », même si le manche est amené en butée à cabrer. Si le manche est relâché, l'incidence diminue et est maintenue à Alpha Prot.

Si l'incidence devient supérieure à Alpha MAX et que les aérofreins sont sortis, alors ils rentrent automatiquement.

Par ailleurs, la valeur d'Alpha Prot dépend du Mach et de la position des aérofreins : lorsque le Mach augmente jusqu'au MMO (0,86), la valeur d'Alpha Prot diminue.

La protection grande incidence est prioritaire sur toutes les autres protections.

Pour quitter la protection grande incidence :

- le manche doit être poussé de plus de la moitié du débattement en avant, ou
- le manche doit être poussé pendant au moins 1 s quand l'incidence est inférieure à Alpha MAX, ou
- le manche doit être au neutre ou poussé, pendant au moins 0,5 s quand l'incidence est inférieure à Alpha Prot.

⁽¹⁰⁾Flight Operations Briefing Notes.

⁽¹¹⁾Référence FOBN : FLT_OPS-ADV_WX – SEQ 07 – REV 02 – FEB. 2007.

2.4 Comportement de l'avion dans le plan longitudinal

Des simulations numériques effectuées par Airbus à la demande du BEA ainsi que des essais en simulateur de vol ont pu mettre en évidence que :

- ❑ le comportement de l'avion lors du vol de l'événement correspond à celui du modèle numérique ;
- ❑ si l'AP n'avait pas été déconnecté manuellement, il serait resté engagé ; il n'y aurait pas eu d'écart de trajectoire significatif, avec un gain d'altitude d'environ 200 ft.

Note : sans la protection grande incidence, l'avion aurait conservé sa trajectoire ascendante jusqu'au déclenchement de l'alarme de décrochage.

Le détail du comportement de l'avion lors de l'écart d'altitude est en annexe.

2.5 Messages et alarmes

Les données enregistrées montrent que l'AP a été déconnecté par appui sur le bouton de déconnexion AP situé sur le manche de droite. Cette déconnexion par appui sur le bouton du manche provoque une alarme auditive appelée « Cavalry Charge » pendant 1,5 s maximum, fait clignoter le voyant « Master Warning » pendant 3 s maximum, et affiche un message « AP OFF » ambre pendant 9 s à l'ECAM. Par ailleurs, l'affichage de « AP1 »⁽¹²⁾ disparaît du bandeau FMA. Il est possible d'éteindre les alarmes visuelles et auditives avant la fin de leurs durées maximales en appuyant de nouveau sur le bouton de déconnexion AP du manche.

La condition « OVERSPEED » génère un « Master Warning », qui ne peut pas être annulé par simple appui sur le voyant « Master Warning ». L'alarme sonore correspondant à un « OVERSPEED » est un CRC⁽¹³⁾. Elle est prioritaire sur l'alarme de déconnexion de l'AP.

L'alarme auditive d'écart d'altitude, appelée « C-chord » ou « Altitude alert » sonne notamment lorsque l'altitude courante est supérieure de plus de 200 ft à l'altitude sélectionnée au FCU. Cela n'entraîne ni l'allumage du voyant « Master Caution », ni du voyant « Master Warning ». En revanche, un appui sur ce dernier permet d'éteindre un « C-chord ». Cet écart d'altitude provoque également le clignotement d'un cadre autour de l'indication d'altitude sur le PFD.

⁽¹²⁾C'était l'AP n° 1 qui était engagé lors de l'événement.

⁽¹³⁾Continuous Repetitive Chime.

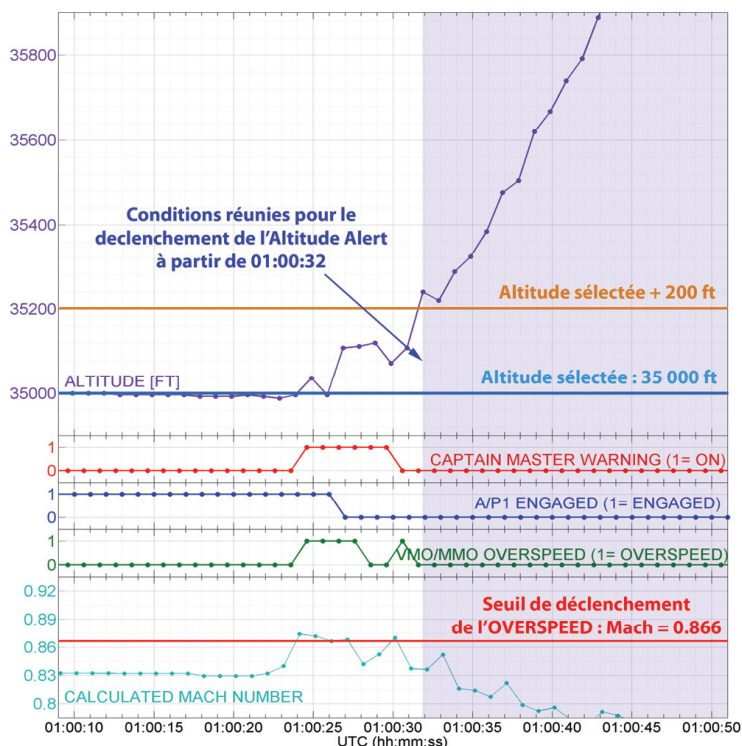


Figure 5 - Alarmes enregistrées

Les données enregistrées montrent qu'il y a d'abord eu une alarme « OVERSPEED », qui a généré une alarme auditive CRC. Cette alarme est active tant que le Mach est supérieur à 0,866.

Trois secondes plus tard, l'AP est déconnecté, mais le CRC étant toujours actif, l'alarme auditive « Cavalry Charge » n'est pas générée, car masquée par le CRC. Tant qu'elle n'est pas générée, elle ne peut pas être annulée par un éventuel deuxième appui sur le bouton du manche.

L'instant où le premier « OVERSPEED » s'interrompt correspond à la fin des 1,5 s d'émission maximale du « Cavalry Charge », qui n'a donc pas été émis. Le « Master Warning » continue d'être actif entre le premier et le deuxième « OVERSPEED » car la déconnexion de l'AP génère un « Master Warning » de 3 s s'il n'est pas interrompu.

Le moment du déclenchement théorique de l'alarme « C-chord », à 35 200 ft, se situe une seconde après la fin du deuxième « OVERSPEED ». En appuyant sur le voyant « Master Warning », à 36 900 ft, le PNF a annulé l'« Altitude alert » environ 20 s après qu'elle est apparue. En l'absence d'enregistrement CVR, il n'a pas été possible de confirmer quelle a été la durée réelle de l'alarme « C-chord ».

L'Airbus A340-313 a été certifié en mars 1995, selon les normes en vigueur à cette date⁽¹⁴⁾. Ces normes ne précisait pas que l'alarme de déconnexion de l'AP devait être annulée par le pilote dans le cas d'une déconnexion volontaire.

Les normes actuelles de certification du CS25⁽¹⁵⁾ requièrent que les alarmes soient facilement détectables et intelligibles par l'équipage dans toutes les conditions de fonctionnement prévisibles, y compris lorsque plusieurs alarmes sont émises. Une priorité des alarmes est aussi à définir, afin de masquer ou d'interrompre

⁽¹⁴⁾JAR25 (change 13).

⁽¹⁵⁾CS25 Amendement 11, paragraphe CS 25.1322(a) (2) et (c)(1).

une alarme considérée comme moins prioritaire qu'une autre. Les moyens de conformité pour cette spécification indiquent que si la condition qui a déclenché l'alarme interrompue est toujours remplie, cette alarme peut être répétée une fois que l'alarme de plus haute priorité s'est arrêtée.

Par ailleurs, les moyens de conformité pour la spécification CS 25.1329(j) précisent que l'alarme de déconnexion de l'AP devrait être continue jusqu'à ce qu'elle soit annulée par un des pilotes. Cela peut se faire en appuyant une deuxième fois sur le bouton du manche, ou en réengageant l'AP ou par tout autre moyen acceptable.

Sur les avions de transport public certifiés récemment comme le Boeing B787 ou l'Airbus A380, l'alarme de déconnexion de l'AP sonne tant qu'elle n'est pas annulée par un des pilotes.

2.6 Renseignements sur l'équipage de conduite

2.6.1 Commandant de bord

Homme, 48 ans

- Licence ATPL
- Qualification de type Airbus A340 obtenue le 17 février 2007 et prorogée le 19 janvier 2011
- Expérience :
 - 23 226 heures de vol, dont 3 081 sur type A330/A340
 - 181 heures sur Airbus A330/A340 dans les trois mois précédant l'événement
 - Aucun vol effectué du 13 au 19 juillet 2011
 - Vol de Paris Charles de Gaulle à Caracas le 20 juillet 2011
 - Dernière formation CRM « 4S » effectuée le 17 décembre 2010

2.6.2 Copilote en fonction au moment de l'événement

Homme, 50 ans

- Licence ATPL
- Qualification de type Airbus A340 obtenue le 10 mai 2006 et prorogée le 17 avril 2011
- Expérience :
 - 9 647 heures de vol, dont 2 410 sur type A330/A340
 - 140 heures sur Airbus A330/A340 dans les trois mois précédant l'événement
 - Aucun vol effectué du 17 au 19 juillet 2011
 - Vol de Paris Charles de Gaulle à Caracas le 20 juillet 2011
 - Dernière formation CRM « 4S » effectuée le 15 avril 2011

3 - ENSEIGNEMENTS ET CONCLUSION

3.1 Utilisation du radar météorologique

L'utilisation du radar demande de la part des pilotes une bonne connaissance de la structure des cumulonimbus, une bonne compréhension du principe de fonctionnement du radar, une surveillance active et une interprétation permanente des images présentées. En particulier, une gestion adaptée du tilt est essentielle pour correctement estimer et évaluer le développement vertical des cumulonimbus. Un mauvais réglage du tilt peut amener à ne pas voir de cumulonimbus sur l'affichage radar alors qu'ils sont visibles à l'œil nu.

Le réglage du radar météorologique n'a pas été optimal pour détecter la zone convective traversée. En effet, les échelles sélectionnées sont longtemps restées sur 320 NM, alors que le manuel TU de la compagnie requiert de privilégier 160 NM ou 80 NM. Ceci a probablement contribué à l'absence de détection par l'équipage de la cellule convective à proximité du point 18N 060W.

On peut noter que choisir une échelle de 320 NM sur le ND peut venir de la pratique consistant à adapter l'échelle pour voir le prochain waypoint sur le ND. Dans les zones où les waypoints sont éloignés les uns des autres, cette pratique va à l'encontre de l'optimisation de l'utilisation du radar météo.

Ni le manuel TU A330/A340 de la compagnie, ni le FCTM proposé par le constructeur ne font apparaître de valeurs numériques de tilt à utiliser en croisière en fonction de l'échelle. Seule la technique consistant à régler le tilt pour que les échos apparaissent dans la partie supérieure du ND figure dans ces deux documents. Des ordres de grandeur de tilt à utiliser en croisière sont en revanche disponibles dans le FOBN d'Airbus « Use of weather radar ». L'absence de tels ordres de grandeur dans le manuel TU de l'exploitant peut contribuer à l'utilisation inadéquate du radar météorologique.

3.2 Alarmes auditives

Une grande partie des vols long-courrier se déroule en croisière, pendant laquelle les principales tâches à effectuer sont relatives à la surveillance des paramètres de vol, à la gestion de la navigation et à la veille météorologique. Une certaine routine peut alors s'installer pendant ces périodes habituellement calmes. Lorsqu'une alarme sonore inattendue se déclenche, elle peut générer une période momentanée de stress (effet de « sursaut », ou « startle effect » en anglais) et un effet de surprise.

L'effet de « sursaut » généré par un événement soudain comme une alarme auditive peut produire une réaction de type « réflexe » chez certains pilotes. Il arrive parfois que cet effet suscite des réactions instinctives primaires, des réponses motrices instantanées et inadéquates. Ces réflexes de base peuvent se révéler incorrects et difficiles à corriger sous la pression temporelle et affecter la capacité décisionnelle du pilote.

L'effet de surprise se produit typiquement quand il existe une différence entre la représentation mentale qu'a le pilote du comportement de l'avion et son comportement réel (pannes d'instruments, perturbation de la trajectoire) ou lorsqu'un événement inattendu survient. Son intensité dépend de la gravité, de la fréquence et de la prévisibilité de l'événement, ainsi que de l'expérience préalable de l'équipage.

L'effet de surprise peut dans certains cas entraîner :

- une perturbation des mécanismes de mémorisation ;
- une diminution ou une perte de conscience de la situation ;
- l'oubli des procédures ;
- une absence de réaction ou un temps de réaction trop long.

Des études récentes montrent que les effets de surprise ou de « sursaut » ne font actuellement l'objet que de peu, voire d'aucun, entraînement au simulateur.

Le PNF, vraisemblablement surpris par l'alarme « OVERSPEED » ainsi que par les turbulences non anticipées, a subi un effet de « sursaut ». Il a appuyé brièvement sur le bouton de déconnexion AP de son mini-manche, puis donné un ordre à cabrer pendant 6 s, probablement par action réflexe et sans s'en rendre compte. L'alarme auditive de déconnexion AP, qui devait durer 1,5 s, a été masquée par l'alarme sonore « OVERSPEED », cette dernière étant prioritaire. L'équipage n'a pas vu les différents changements d'affichage (message « AP OFF » ambre de l'ECAM, disparition de l'indication « AP1 » du bandeau FMA). Pendant près d'une minute et demie, l'équipage n'a pas eu conscience que l'AP était déconnecté. Le fait que l'alarme sonore de déconnexion AP n'a jamais été émise y a fortement contribué. En effet, si l'alarme avait retenti après l'arrêt de l'« OVERSPEED » et/ou si l'équipage avait eu à effectuer une action pour éteindre l'alarme de déconnexion AP, alors la perception de la déconnexion de l'AP aurait été facilitée.

Le voyant « Master Warning » est resté allumé 6 secondes. L'alarme auditive d'écart d'altitude (« Altitude Alert ») a probablement sonné une vingtaine de secondes, avant d'être annulée par l'équipage par appui sur le voyant « Master Warning ». L'effet de surprise et l'altération des mécanismes de mémorisation qu'il engendre ont probablement contribué au fait que l'équipage n'a pas le souvenir d'avoir entendu l'« Altitude Alert ». Le cadre autour de l'indication d'altitude sur le PFD s'est mis à clignoter pendant la même période de temps.

Le type de CVR qui équipait l'avion a une durée d'enregistrement de 2 heures. Etant donné que l'incident a eu lieu près de 8 heures avant l'atterrissage à Paris Charles de Gaulle, le CVR ne contenait plus les enregistrements phoniques relatifs à l'événement. Ceci a empêché de confirmer par le CVR l'ordre et le masquage des alarmes sonores.

3.3 Surveillance des paramètres de vol et CRM

La procédure « Turbulence forte » de la QRH (Quick Reference Handbook) du constructeur est la suivante :

SIGNS.....	ON
AUTO PILOT.....	KEEP ON
ATHR (when thrust changes become excessive).....	DISCONNECT

La procédure de la QRH d'Air France prévoit deux items supplémentaires avant l'item vérifiant l'état de l'AP :

- allumer la consigne lumineuse « attacher les ceintures » ;
- prévenir l'équipage commercial ;
- prévenir l'ATC si l'avion se situe en espace RVSM ;
- vérifier que l'AP est engagé ;

- ❑ sélectionner une vitesse inférieure ou égale à la vitesse recommandée fonction du niveau de vol et de la masse ;
- ❑ déconnecter l'A/THR et ajuster les N1 à la valeur recommandée en fonction du niveau de vol et de la masse.

L'équipage a tout d'abord été occupé à se retourner pour poser un plateau repas et à saisir le combiné du Public Address. Par conséquent, le PFD est sorti du circuit visuel des deux pilotes pendant ces quelques secondes. L'attention du PF s'est ensuite portée sur l'observation de la situation météorologique, en regardant d'abord à l'extérieur pour constater les précipitations, puis en modifiant l'échelle de son ND. L'attention du PNF s'est portée sur l'annonce aux PNC. Cette hiérarchisation des priorités s'est faite au détriment de la surveillance de paramètres essentiels comme l'assiette, l'altitude et le bandeau FMA pendant la phase de montée. Aucun des deux pilotes n'avait alors conscience que l'AP était déconnecté. Les indications visuelles suivantes n'ont pas été détectées (voir figure 6) :

- ❑ l'assiette importante, qui a atteint 12° à cabrer ;
- ❑ la vitesse verticale importante, qui a atteint 5 700 ft/min ;
- ❑ le cadre clignotant autour de l'indication d'altitude sur le PFD lorsque l'altitude est devenue supérieure à 35 200 ft ;
- ❑ la position des barres de tendance du FD ;
- ❑ l'altitude jusqu'à ce qu'elle atteigne plus de 38 000 ft ;
- ❑ l'indication « AP1 » qui a disparu du bandeau FMA.
- ❑ Le message « AP OFF » ambre de l'ECAM qui est resté affiché pendant 9 s après la déconnexion de l'AP.



Figure 6 - Reconstruction des indications au PFD lors de la montée à 1 h 00 min 49

Il est à noter que la perception de ces indications a été rendue plus difficile en raison de l'absence de certaines alarmes auditives correspondantes et du niveau de turbulence qui rend la lecture des instruments plus délicate.

L'attention du PF se porte à nouveau sur les paramètres du vol une dizaine de secondes avant d'atteindre l'altitude maximale. Il constate alors que l'altitude est de 38 000 ft.

Ce n'est qu'environ 30 s plus tard qu'il prend conscience que l'AP est déconnecté.

L'analyse de nombreux événements rencontrés lors de turbulences sévères indique que les conséquences défavorables peuvent être minimisées si l'équipage utilise le niveau d'automatisme préconisé. La recommandation du constructeur consiste à maintenir l'AP connecté et à éviter une réaction instinctive de reprise des commandes en manuel.

Les données enregistrées du F-GLZU montrent que l'AP serait resté connecté s'il n'avait pas été déconnecté manuellement. Une simulation numérique effectuée à la demande du BEA montre que le gain d'altitude aurait alors été limité à 200 ft.

En raison de l'absence d'enregistrement CVR, il n'a pas été possible d'évaluer le CRM pour expliquer le manque de surveillance des paramètres de base et de la trajectoire.

3.4 Conclusion

L'incident grave est dû à la surveillance inadéquate des paramètres de vol, qui a entraîné l'absence de détection de la déconnexion de l'AP et de l'écart d'altitude, à la suite d'une action réflexe sur les commandes.

Les facteurs suivants ont contribué à l'incident grave :

- l'alarme auditive de déconnexion AP n'a pas été émise, en raison de sa simultanéité avec l'alarme « OVERSPEED » de plus haute priorité ;
- les turbulences rencontrées au début de la montée ont rendu la lecture des paramètres difficile ;
- la vérification de l'engagement de l'AP prévue dans la procédure « Turbulence forte » de l'exploitant n'a pas été effectuée ;
- l'utilisation inadaptée du radar météorologique n'a pas permis d'éviter l'entrée dans une zone de turbulences.

4 - RECOMMANDATIONS

Rappel : conformément au règlement européen n° 996/2010 sur les enquêtes accidents, une recommandation de sécurité ne constitue en aucun cas une présomption de faute ou de responsabilité dans un accident ou un incident. L'article R.7312 du Code de l'aviation civile et le règlement européen n° 996/2010 stipulent que les destinataires des recommandations de sécurité font connaître au BEA, dans un délai de 90 jours après leur réception, les suites qu'ils entendent leur donner et, le cas échéant, le délai nécessaire à leur mise en œuvre et, si aucune mesure n'est prise, des motifs de cette absence de mesure.

4.1 Formation à la surveillance de paramètres lors de turbulences ou de survitesse

L'enquête a montré qu'à la suite de la survenue de turbulences et d'une situation de survitesse, la surveillance inadéquate des paramètres a entraîné l'absence de détection d'indications essentielles, comme la déconnexion de l'AP, et l'écart d'altitude. Ceci est probablement dû à l'effet de surprise qui a provoqué une action réflexe du PNF sur les commandes et entraîné une diminution ou une perte de conscience de la situation par l'équipage. Des études récentes montrent que les effets de surprise ou de « sursaut » ne font actuellement l'objet que de peu, voire d'aucun, entraînement au simulateur.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **l'AESA introduise dans les scénarios d'entraînement des effets de surprise afin d'entraîner les pilotes à réagir à ces phénomènes et à travailler sous stress. [Recommandation FRAN-2012-021]**

4.2 Alarme de déconnexion AP

Par conception, l'alarme de déconnexion AP sur Airbus A340 ne sonne que pendant 1,5 s maximum si la déconnexion est effectuée par appui sur le bouton d'un des mini-manches. Si une alarme plus prioritaire est active pendant ce temps, alors il est possible que l'alarme de déconnexion AP soit interrompue ou ne soit même jamais émise. Ceci est conforme aux normes en vigueur en mars 1995, lors de la certification de l'A340.

Depuis le 27 décembre 2007, les moyens de conformité relatifs à la norme CS 25.1329(j) précisent que l'alarme auditive de déconnexion de l'AP devrait être continue jusqu'à ce qu'elle soit annulée par un des pilotes. Cela peut se faire en appuyant de nouveau sur le bouton du manche, ou en réengageant l'AP ou par tout autre moyen acceptable. De plus, depuis le 4 juillet 2011, les moyens de conformité relatifs à la norme CS 25.1322 indiquent que si la condition qui a déclenché l'alarme interrompue est toujours remplie, cette alarme peut être répétée une fois que l'alarme de plus haute priorité s'est arrêtée.

L'enquête a montré que l'absence d'alarme auditive de déconnexion AP a contribué à l'incident grave.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **l'AESA évalue la possibilité d'imposer pour tous les avions de masse maximale au décollage supérieure à 5,7 t que l'alarme auditive de déconnexion du pilote automatique soit émise conformément aux paragraphes AMC 25.1322 et AMC 25.1329(j) du CS-25. [Recommandation FRAN-2012-022]**

4.3 Formation à l'utilisation du radar météorologique

L'utilisation du radar demande de la part des pilotes une bonne connaissance de la structure des cumulonimbus et une bonne compréhension du principe de fonctionnement du radar. Cela requiert aussi une surveillance active, notamment de nuit ou en IMC ou dans certaines zones, et une interprétation permanente des images présentées. L'enquête a montré que le réglage par l'équipage du radar météorologique n'a pas été optimal, ce qui a contribué à la survenue de l'incident grave.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **la DGAC s'assure que les exploitants donnent à leurs équipages des formations et des entraînements permettant d'améliorer l'utilisation du radar météorologique ; [Recommandation FRAN-2012-023]**
- **la DGAC demande aux exploitants de vérifier, par exemple dans le cadre de l'analyse des vols ou du LOSA, que l'utilisation du radar météorologique est conforme aux procédures ou bonnes pratiques. [Recommandation FRAN-2012-024]**

4.4 Absence de données CVR pour les incidents

Le type de CVR qui équipait l'avion a une durée d'enregistrement de 2 heures. L'incident ayant eu lieu près de 8 heures avant l'atterrissage à Paris Charles de Gaulle, le CVR ne contenait plus les enregistrements phoniques relatifs à l'événement. Des éléments importants de l'enquête n'ont donc pas pu être confirmés par le CVR.

La détermination des causes d'un grand nombre d'incidents, dont certains graves, a pu être limitée voire compromise par l'absence de conservation des enregistrements phoniques des phases de vol concernées en raison principalement d'une durée d'enregistrement trop courte, en particulier sur long-courrier. Par ailleurs, les contraintes réglementaires qui interdisent de voler sans CVR (sauf dans certains cas de pannes) n'incitent pas les exploitants à pénaliser leur exploitation pour les besoins d'une enquête.

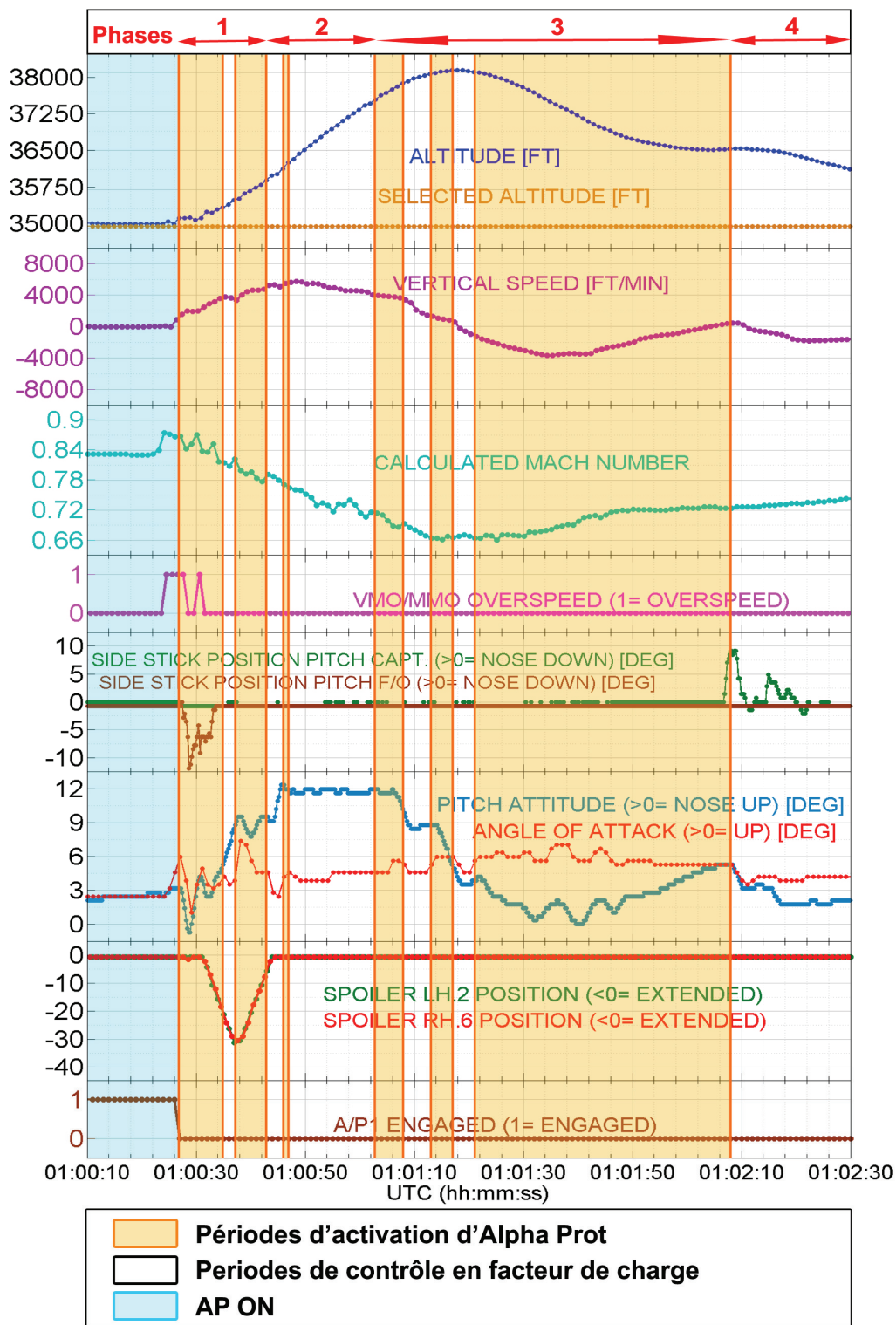
La majorité des CVR offre aujourd'hui une capacité d'enregistrement de 2 heures, ou de 30 minutes pour les plus anciens. La durée historique des CVR à 30 minutes est vraisemblablement liée aux limitations techniques d'utilisation de la bande magnétique. La capacité maximale de 2 heures des enregistreurs actuels peut être liée aux limitations de capacité des mémoires flash disponibles à l'origine de leur mise en service. Mais l'évolution technologique de ces systèmes permet maintenant des durées d'enregistrement d'au moins 10 heures. Des CVR avec de telles durées sont d'ailleurs déjà disponibles sur le marché.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **l'AESA et l'OACI imposent que la durée minimale des CVR soit augmentée pour permettre l'enregistrement de l'intégralité des vols long-courrier. [Recommandation FRAN-2012-025]**

ANNEXE

L'écart de trajectoire peut être divisé en 4 phases :



- ❑ Phase 1 : dans un premier temps, une rafale de vent de face⁽¹⁾ génère une survitesse et l'activation de l'alarme « OVERSPEED ». Quelques secondes plus tard, une rafale ascendante entraîne une augmentation de l'incidence et de la vitesse verticale. Puis, le PNF déconnecte le pilote automatique et donne un ordre à cabrer pendant 6 s tandis que le PF sort les aérofreins. Dès le début de l'ordre à cabrer, l'incidence étant supérieure à Alpha Prot, la protection grande incidence s'active. Puis, pendant 2 s, l'incidence passe brièvement sous Alpha Prot, avec le manche au neutre, ce qui fait sortir de la protection. Les effets conjoints de la turbulence, de l'action au manche et de la sortie des aérofreins entraînent la prise d'assiette, de vitesse verticale et d'altitude. Un pic d'incidence supérieure à Alpha Prot active de nouveau la protection grande incidence. L'incidence continue d'augmenter et dépasse Alpha MAX, ce qui provoque la rentrée automatique des aérofreins.
- ❑ Phase 2 : l'intensité des turbulences diminue et l'incidence redevient inférieure à Alpha Prot (sauf pendant 2 s). En l'absence d'ordre au manche, la protection grande incidence se désactive. La loi de commande en facteur de charge conserve alors la trajectoire ascendante de l'avion. Lors de la montée, la vitesse verticale ayant dépassé les capacités de montée à vitesse constante, la vitesse de l'avion diminue. Lorsque la portance devient inférieure au poids, la pente diminue. Le maintien du facteur de charge à 1 g induit une légère augmentation d'incidence.
- ❑ Phase 3 : la protection grande incidence s'active de nouveau (sauf pendant 9 s). En l'absence d'action sur les mini-manches, l'incidence est donc maintenue à la valeur d'Alpha Prot. La diminution de pente s'accompagne alors d'une diminution d'assiette. L'altitude de l'avion atteint 38 152 ft, avant de diminuer.
- ❑ Phase 4 : l'incidence est égale à Alpha Prot donc inférieure à Alpha MAX. Par conséquent, l'action à piquer du PF pendant plus d'une seconde sur le manche provoque la sortie de la protection grande incidence et la loi de contrôle longitudinal repasse en facteur de charge. L'assiette diminue puis se stabilise jusqu'au réengagement du pilote automatique par l'équipage.

⁽¹⁾Des simulations numériques montrent que la turbulence rencontrée lors de l'évènement se caractérise essentiellement par une rafale de face de 25 kt suivie quelques secondes plus tard par une rafale ascendante de 35 kt. Une deuxième rafale ascendante de 15 kt se produit environ 10 secondes plus tard. La durée totale des turbulences est d'environ une minute.

BEA

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

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