

**Turbulences fortes en croisière,  
perte de contrôle momentanée de la trajectoire par l'équipage**

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

<b>Aéronef</b>	Avion Airbus A330-200 immatriculé F-GZCG
<b>Date et heure</b>	27 février 2012 à 00 h 48 <sup>(1)</sup>
<b>Exploitant</b>	Air France
<b>Lieu</b>	En croisière au FL360, au-dessus de la Tanzanie
<b>Nature du vol</b>	Transport public Service régulier international de passagers
<b>Equipage (de conduite)</b>	Commandant de bord (PF) ; copilote (PNF)
<b>Conséquences et dommages</b>	Un passager et un PNC légèrement blessés

**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 d'Antananarivo (Madagascar) à 22 h 45 à destination de l'aéroport de Paris Charles de Gaulle.

A 23 h 10, il reçoit un message ACARS lui décrivant les images satellite de 22 h 30. Il comprend qu'il rencontrera des zones fortement convectives jusqu'au parallèle 12° 30' S, puis que ces zones seront plus isolées jusqu'au point DV (voir figures 1 et 2 ci-après) et que, passé ce point, il ne rencontrera pas de turbulences jusqu'au parallèle 2°30' S.

Plusieurs évitements sont effectués lors de la traversée des zones fortement convectives.

Dix minutes après le passage du parallèle 12°30' S, le pilote en fonction (PF) modifie l'échelle de son écran de navigation (ND) de 40 NM vers 160 NM : les échelles des deux ND sont alors réglées sur 160 NM. L'équipage indique qu'il est en ciel clair avec vue des étoiles. Il précise qu'il règle l'inclinaison du radar météorologique (ou « tilt » : angle entre l'horizontale et le milieu du faisceau radar) sur - 1,5° et qu'il fait régulièrement varier ce réglage ainsi que celui du gain<sup>(2)</sup> afin de surveiller les cellules.

Alors que l'avion est en croisière au FL360, le contrôleur de Dar Es Salaam demande à deux reprises à l'équipage s'il peut monter au FL380. Ce dernier refuse afin de maintenir une marge suffisante par rapport au niveau de vol maximal recommandé (REC MAX). Le pilote automatique et l'auto-poussée sont engagés. Les directeurs de vol (FD) sont affichés. Les modes ALT et NAV sont actifs et l'auto-poussée est en mode SPEED.

Environ six minutes après le passage du point DV, le Mach est de 0,81 et commence à augmenter. Le PF modifie l'échelle de son ND de 160 NM vers 80 NM et indique qu'il sélectionne un tilt de - 1,5°. Il aperçoit ensuite un éclair, puis un nuage sur la droite de l'avion. Il ne voit aucun écho sur l'écran du radar météorologique.

<sup>(2)</sup>Les réglages du tilt et du gain ne sont pas des paramètres enregistrés au FDR.

Le Mach atteint 0,83. L'équipage sélectionne un Mach de 0,8, puis de 0,78 et sort les aérofreins pendant environ quinze secondes. Le Mach diminue jusqu'à 0,79 puis remonte à environ 0,82.

L'équipage aperçoit ensuite un éclair droit devant, puis ressent de violentes turbulences. Le PNF indique qu'il allume les consignes lumineuses demandant aux passagers d'attacher leur ceinture.

Dans les turbulences, l'incidence augmente jusqu'à provoquer le désengagement du pilote automatique. Le PF annonce « AP OFF » puis saisit les commandes. Pendant toute la traversée de la zone convective, l'avion monte malgré les ordres principalement à piquer du PF.

Le pilote automatique est réengagé mais se désengage automatiquement. L'auto-poussée se désengage automatiquement. Le PNF, voyant le PF très occupé par le maintien de la trajectoire, décide de désengager l'auto-poussée et de sélectionner 90 % de N1. Il n'était pas conscient que le dispositif était déjà désengagé.

L'équipage stabilise l'avion au FL380, niveau maximal atteint pendant les turbulences et commence à descendre dix secondes plus tard. Le PF réengage le pilote automatique et le reste du vol se déroule sans incident.

Au cours des turbulences fortes qui ont duré environ quarante secondes :

- l'assiette longitudinale a varié de - 6° à + 11° ;
- le Mach a varié entre 0,77 et 0,83 ;
- l'incidence a été comprise entre - 0,7° et + 10,2° ;
- l'angle de roulis a été compris entre - 16° et + 31° ;
- la vitesse verticale a atteint une valeur maximale d'environ + 8 500 ft /min ;
- le facteur de charge vertical a été compris entre + 0,02 g et + 2,28 g ;
- le facteur de charge latéral a été compris entre - 0,16 g et + 0,17 g ;
- les barres de tendance des directeurs de vol ont disparu et sont réapparues plusieurs fois ;
- le PF a donné principalement des ordres à piquer (notamment pendant dix secondes consécutives, après la déconnexion du pilote automatique).

Le constructeur indique que l'avion est resté dans le domaine de vol pendant toute la durée de l'incident.

## RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

### Conditions météorologiques

Il faisait nuit noire, il n'y avait pas de lune.

Les informations météorologiques à la disposition de l'équipage au départ montraient la présence de cumulonimbus isolés dans la zone où se sont produites les turbulences.

La carte TEMSI de 00 h 00 était disponible dans le dossier de vol ; la trajectoire prévue dans le plan de vol y était indiquée.



## Suivi des vols Air France

Un suivi de tous les vols long courrier est assuré par le CCO (Centre de Contrôle des Opérations), conformément à la procédure « *référentiel dispatch* ». Celle-ci mentionne notamment que « *le dispatcher assure une veille permanente sur l'évolution de l'environnement aéronautique de l'ensemble de son secteur (infrastructure et météo). Pour chaque nouvelle information, une recherche de tous les vols impactés par celle-ci est effectuée. Les communications avec les équipages en vol sont faites de préférence avec l'ACARS. Par ailleurs, les messages signalant des phénomènes météo significatifs envoyés par les équipages sont analysés et éventuellement recités aux vols pouvant être concernés* ».

Il est d'usage que le dispatcher effectue également un point de suivi météorologique dans l'heure qui suit le décollage. Ce point n'est pas clairement mentionné dans les procédures. Il s'agit en fait d'un premier contact entre le dispatcher et les équipages.

## Analyse de la situation météorologique

### Phénoménologie

Le développement vertical d'un cumulonimbus est généralement limité par la tropopause, dont l'altitude se situe entre le FL500 et le FL600 dans la zone de convergence intertropicale. Lorsque le sommet d'un cumulonimbus en phase de maturité atteint la tropopause, sa partie supérieure s'étale horizontalement en forme d'enclume.

L'air qui alimente un cumulonimbus se détend et se refroidit en montant. Lorsque le sommet se rapproche de la tropopause, il devient plus froid ce qui stoppe son développement vertical. Par effet d'inertie, les nuages les plus puissants pénètrent dans la tropopause et leurs sommets sont alors beaucoup plus froids que leur environnement : c'est le phénomène d'*overshoot*, visible sur les images infrarouge, qui permet de caractériser les nuages les plus puissants.

Les mouvements verticaux les plus puissants sont observés dans la tour du cumulonimbus et dans sa phase de croissance rapide, c'est-à-dire avant que le sommet n'atteigne la tropopause et que l'enclume ne se forme. Les vitesses ascendantes peuvent alors atteindre 110 km/h et les vitesses descendantes 50 km/h. La vitesse verticale peut ainsi varier très rapidement à l'intérieur du cumulonimbus lors de la traversée de la tour.

L'activité électrique peut être très forte, avec la possibilité d'apparition de foudre dans les phases de croissance ou de maturité d'un cumulonimbus, à n'importe quelle altitude. La foudre peut apparaître entre le nuage et le sol, au sein d'un même nuage ou entre deux nuages.

### Analyse de la situation météorologique

Les images infrarouges prises par Météosat 9 sont disponibles toutes les quinze minutes. Elles sont issues d'un balayage par le satellite de la zone présentée. Ainsi, la zone de l'image où s'est produite la turbulence a été balayée par le satellite neuf minutes avant l'heure de l'image infrarouge : la zone de turbulences traversée par l'avion a été balayée par le satellite à 00 h 36 (image infrarouge de 00 h 45) et à 00 h 51 (image infrarouge de 01 h 00).

Ces images permettent d'évaluer la température du sommet des nuages dont on peut déduire l'altitude du sommet.

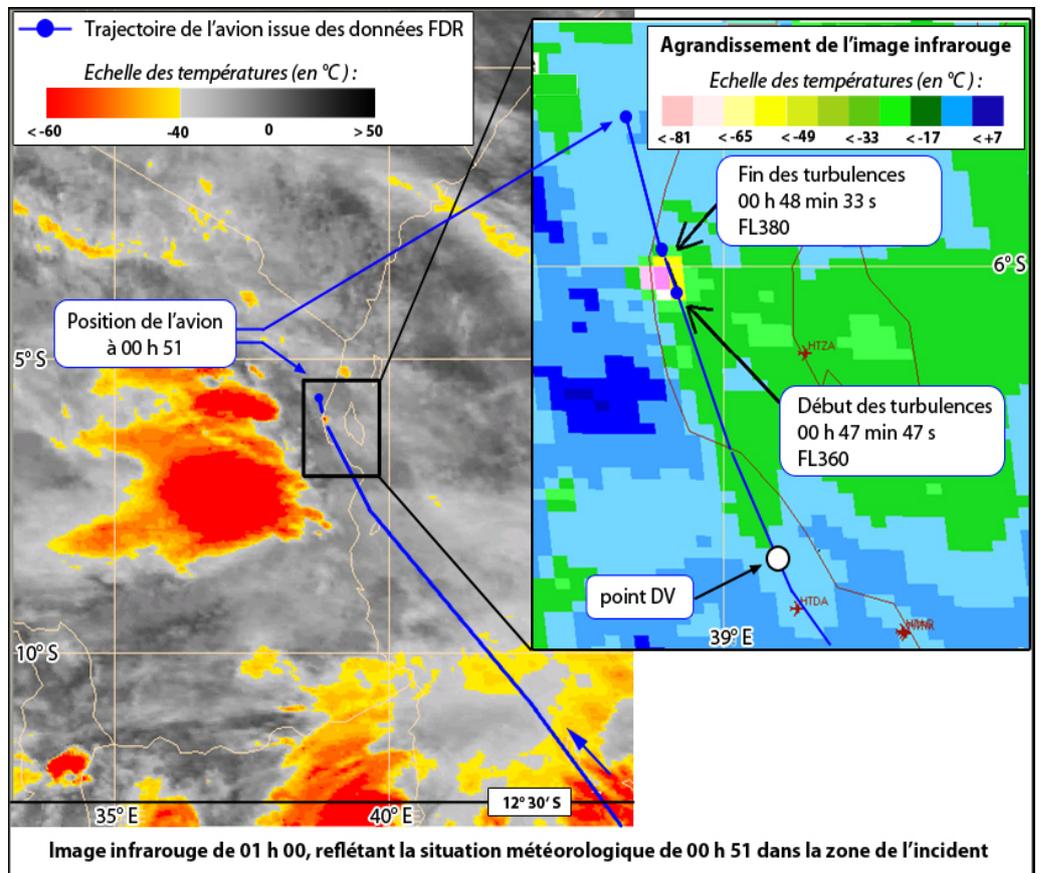
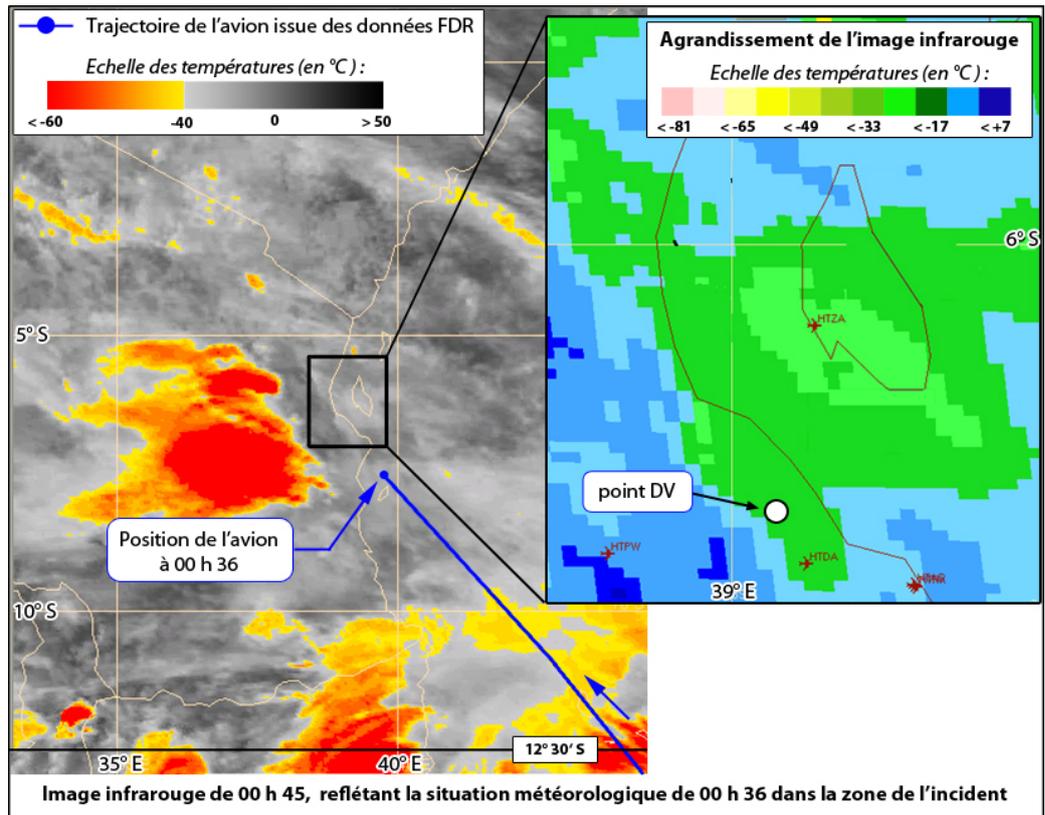


Figure 2 : images infrarouges et position de l'avion

Sur l'image correspondant à la situation de 00 h 36, on observe une couverture nuageuse dont le sommet est situé vers les FL280/300 (couleur vert foncé). La cellule est vraisemblablement en formation, mais encore indétectable par le radar à ce moment. Sur l'image correspondant à la situation de 00 h 51, on distingue des sommets de nuages situés entre le FL360 et le FL450 (points roses). La cellule convective, de dimension relativement petite, n'est donc pas visible sur l'image de 00 h 45 mais est facilement détectable sur l'image de 01 h 00.

Ainsi, il s'agit d'une évolution particulièrement rapide d'une cellule orageuse isolée. L'évolution de cette cellule en vaste amas convectif dans les heures qui suivent peut laisser suggérer la présence de fortes ascendances et de turbulences fortes. De plus, la rapidité de sa croissance pourrait expliquer les phénomènes violents rencontrés, liés au dynamisme et non à la taille de la cellule.

### **Radar météorologique**

Le radar météorologique est conçu pour détecter l'eau sous forme liquide (pluie ou grêle humide). Il détecte difficilement l'eau sous forme solide, comme les cristaux de glace ou la neige sèche.

L'image obtenue sur le ND est fonction de trois paramètres : le gain, le tilt et l'échelle du ND. Le réglage du tilt détermine la zone traversée par le faisceau radar. Tout nuage se situant devant l'avion mais non traversé par le faisceau reste invisible au radar.

Le réglage du gain permet de s'adapter à la réflectivité des zones de précipitations rencontrées.

Il existe différents types de radars météorologiques :

- les radars manuels pour lesquels le tilt est ajusté manuellement par l'équipage avec un réglage commun aux deux ND ;
- les radars manuels pour lesquels le tilt est ajusté manuellement par l'équipage avec un réglage indépendant pour chaque ND ;
- les radars de type « Autotilt », pour lesquels le tilt est automatiquement ajusté en fonction de l'échelle, de l'altitude et du terrain (à l'aide de la base de données terrain de l'EGPWS) ;
- les radars de type « Multiscan », pour lesquels le tilt et le gain sont automatiquement ajustés en fonction de la position géographique, de l'altitude et de la saison ;
- les radars de type « fully automatic », pour lesquels un scan est stocké de façon continue dans une mémoire tampon volumétrique en trois dimensions. Ces radars permettent de présenter sur le ND la situation météorologique détectable à l'altitude choisie par l'équipage.

Le F-GZCG est équipé d'un radar météorologique manuel de marque Rockwell Collins, pour lequel le réglage du tilt est commun aux deux ND et donc unique. Sur ce type de radar, le tilt est à adapter à l'échelle du ND. En croisière, il doit être réglé pour que les échos de sol n'apparaissent que dans la limite des cercles de distance les plus éloignés. Un bulletin d'information d'Airbus<sup>(3)</sup> indique un ordre de grandeur de valeurs à utiliser en croisière en fonction de l'échelle.

<sup>(3)</sup>Référence FOBN :  
FLT\_OPS-ADV\_WX  
– SEQ 07 – REV  
02 – FEB. 2007.

Echelle du ND	Tilt (°)
320 NM	- 1,0
160 NM	- 1,5
80 NM	- 3,5
40 NM	- 6,0

Les consignes de l'exploitant préconisent l'utilisation d'une échelle du ND de 160 NM en veille et de 80 NM en évitement. Dans un bulletin d'information aux équipages, diffusé après l'événement, il est recommandé que le PF adopte l'échelle 80 NM et que le PNF utilise l'échelle 160 NM. Les valeurs ci-dessus y sont également rappelées.

L'exploitant indique que le réglage du tilt à - 3,5° pour une échelle du ND de 80 NM n'est en pratique utilisable qu'en survol maritime. En survol terrestre, il est habituel qu'un tel réglage sature une partie de l'écran en raison de la présence d'échos sol. L'équipage indique ainsi qu'à cause du relief, il recevait les échos sol à partir de - 2°.

Le réglage unique du tilt implique que seul l'un des deux ND aura un réglage adapté ; le réglage par défaut en croisière est a priori celui correspondant à l'échelle 160 NM. L'équipage doit ainsi manipuler régulièrement le tilt afin d'effectuer une surveillance sur le ND réglé sur l'échelle de 80 NM.

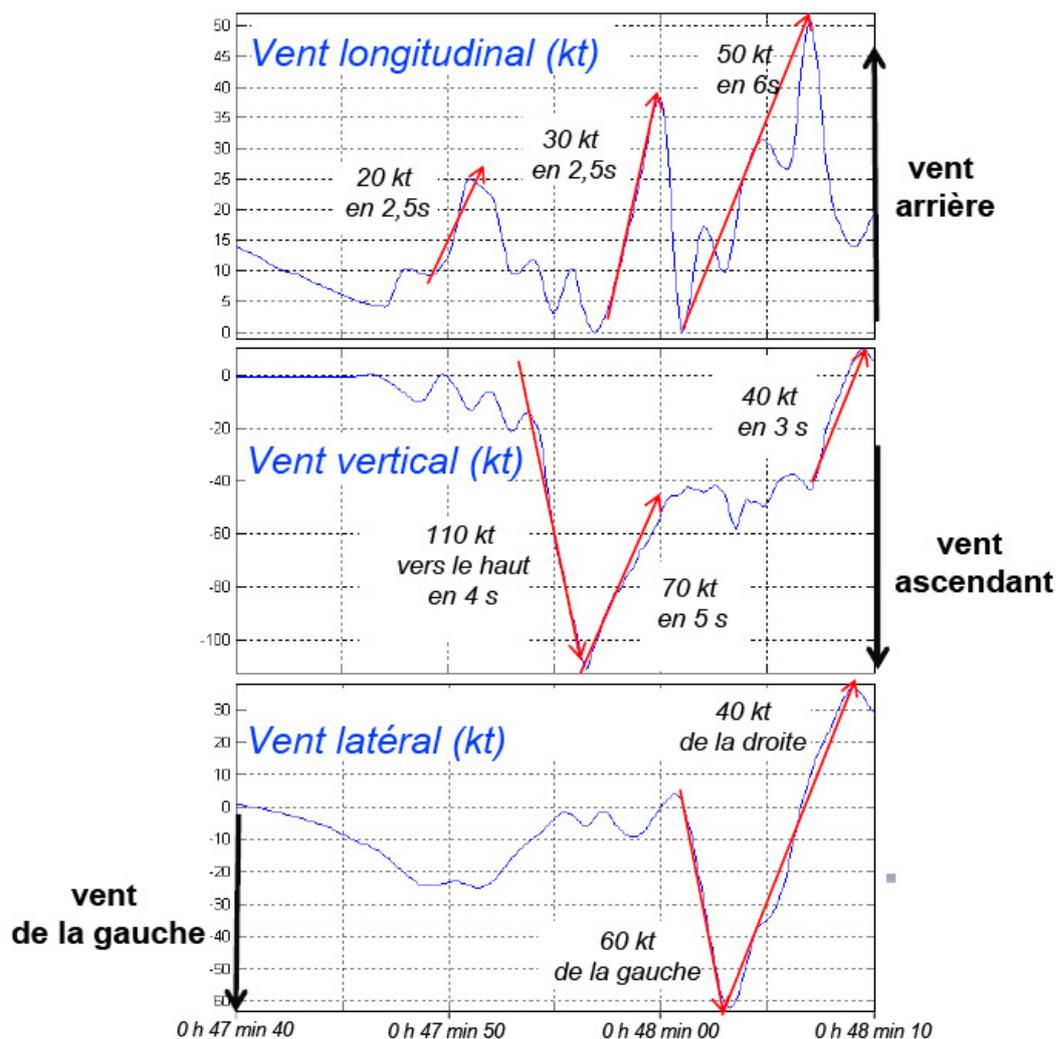
A partir de la position du centre de la cellule, on peut déduire que :

- quinze minutes avant les turbulences, l'avion était à environ 120 NM du centre de la cellule. Cette dernière, probablement en formation, n'était pas détectable au radar ;
- dix minutes avant les turbulences, l'avion était à environ 80 NM du centre de la cellule. Un réglage de l'échelle sur 80 NM avec un réglage du tilt correspondant aurait peut-être permis à l'équipage de détecter la cellule convective en cours de développement ;
- cinq minutes avant les turbulences, l'avion était à environ 40 NM du centre de la cellule. Le réglage de l'échelle sur 80 NM avec un réglage du tilt correspondant n'aurait probablement pas permis à l'équipage de détecter la cellule convective. Un réglage de l'échelle sur 40 NM aurait vraisemblablement permis de détecter la cellule à cet instant.

### Reconstruction du vent

La reconstruction du vent a été effectuée par le constructeur.

L'avion a ainsi rencontré un phénomène de turbulence très dynamique et de très grande intensité, sur les trois axes.



### Protection haute incidence

En pilotage manuel et dans les conditions normales d'exploitation, le contrôle longitudinal de l'avion se fait selon la loi de commandes de vol « normale ». Les ordres en tangage au mini-manche commandent un facteur de charge. 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 passe dans un mode de protection. Les ordres en tangage au mini-manche ne commandent plus un facteur de charge mais une incidence proportionnelle au débattement du manche. Quel que soit l'ordre, cette incidence commandée ne peut dépasser une limite appelée « Alpha MAX ».

En configuration lisse, les valeurs de « Alpha Prot » et « Alpha MAX » dépendent du Mach et de la position des aérofreins. En particulier, lorsque le Mach augmente jusqu'au MMO (0,86), la valeur de « Alpha Prot » diminue. Le seuil « Alpha Prot » est compris entre 4° et 5° pendant la traversée des turbulences.

## Fonctionnement des automatismes

Les fonctions de pilotage automatique, de directeur de vol et d'auto-poussée sont assurées par deux calculateurs de gestion, guidage et protection d'enveloppe du vol (FMGEC). Chacun de ces deux calculateurs peut assurer les trois fonctions.

En fonctionnement normal, la fonction PA1 est assurée par le FMGEC1 et la fonction PA2 par le FMGEC2. La fonction auto-poussée (A/THR) est assurée prioritairement par le FMGEC associé au pilote automatique engagé. Lorsque les FD sont engagés, le FD1 affiche les ordres du FMGEC1 sur le PFD1 (côté gauche) et le FD2 affiche les ordres du FMGEC2 sur le PFD2 (côté droit).

Pour élaborer les ordres des FD, les FMGEC utilisent les données valides d'au moins deux ADR (Air Data Reference) et IR (Inertial Reference). La validité des données se fait à l'aide des surveillances d'écarts 2 à 2. Si la surveillance d'au moins un paramètre conduit à son invalidité dans une ADR, l'ADR est considérée comme invalide et n'est plus utilisée par les FMGEC. Il en est de même pour les IR. Si au moins deux ADR ou IR sont invalidées, le FMGEC ne peut plus élaborer les ordres du FD et les barres de tendance disparaissent. Cependant, tant que les FD sont sélectionnés au panneau de contrôle (FCU), les barres réapparaissent lorsque les conditions d'engagement des FD sont de nouveau réunies.

Si seul l'un des FMGEC n'est plus valide, les FD des deux PFD affichent les ordres de l'autre. Si le pilote automatique associé est engagé, il est automatiquement désengagé. Le contrôle de l'auto-poussée est automatiquement transféré au FMGEC restant.

Si les deux FMGEC deviennent invalides, les deux FD disparaissent et les pilotes automatiques ainsi que l'auto-poussée sont automatiquement désengagés, s'ils étaient engagés.

## Désengagement des automatismes

### ❑ *Premier désengagement du pilote automatique*

Le pilote automatique s'est automatiquement désengagé sur un critère d'incidence élevée, puis la protection haute incidence s'est activée en pilotage manuel. Elle s'est activée à trois reprises, pendant huit secondes au total.

### ❑ *Réengagement et désengagement du pilote automatique*

Le commandant de bord indique qu'il a essayé de réengager le pilote automatique mais pense ne pas y être arrivé en raison des fortes secousses dues aux turbulences. Les paramètres de l'enregistreur de vol indiquent que le PA1 a bien été réengagé mais seulement durant un très bref instant (moins de deux secondes). L'analyse des pannes enregistrées par le FMGEC1 montre que le PA1 s'est désengagé du fait du rejet des IR par le FMGEC1. Le contrôle de l'auto-poussée a été automatiquement transféré au FMGEC2.

### □ Désengagement de l'auto-poussée

La perte du FD2 est enregistrée quasi-simultanément avec le désengagement de l'A/THR. L'analyse des paramètres montre que le désengagement de l'auto-poussée et la perte des FD 1 et 2 correspondent à la perte de ces fonctions dans les FMGEC 1 et 2 du fait du rejet des IR par ces deux calculateurs. Ceci signifie que pour deux IR, la surveillance d'au moins un des paramètres IR dans les FMGEC a détecté une invalidité.

Il n'a pas été possible de déterminer les raisons du rejet des IR par les FMGEC.

A partir du premier désengagement du pilote automatique, les pertes répétées des deux FD ont duré au total environ vingt secondes.

### Témoignage de l'équipage

Le commandant de bord indique avoir été surpris par la force des turbulences, qui ont rendu illisibles la totalité des instruments de bord, ainsi que par l'intensité du bruit dans le poste de pilotage, qui a entraîné une impossibilité de communiquer au sein de l'équipage. Il parle d'effet de surprise suivi d'un « état de choc ».

Par ailleurs, il mentionne les illusions sensorielles qui, d'après lui, ont fait penser au copilote que l'avion descendait alors que lui pensait que l'avion montait.

Le copilote indique avoir été impressionné par la soudaineté du phénomène rencontré. Il insiste sur la force des turbulences, qui ne permettait pas d'effectuer les tâches habituelles, et sur l'intensité du bruit aérodynamique. Il parle de focalisation sur quelques éléments (la puissance, l'assiette et la vitesse).

Le copilote précise qu'il a été surpris de ne pas avoir remarqué une échappée d'altitude de plus de 2 000 ft car il pensait que le commandant de bord avait réussi à maintenir l'assiette.

## ENSEIGNEMENTS

### Radars météorologiques

L'utilisation du radar demande une bonne connaissance de la structure des cumulonimbus, une bonne compréhension du principe de fonctionnement du radar, une surveillance active ainsi qu'une interprétation permanente des images présentées. La gestion adaptée du tilt est notamment essentielle pour bien estimer et évaluer le développement vertical des cumulonimbus. Un réglage incorrect peut induire la non-détection de ce développement.

Dans le cas présent, le réglage n'était pas optimisé pour détecter la cellule convective traversée. Les deux échelles des ND étaient sélectionnées sur 160 NM alors qu'une échelle de 80 NM, associée à un réglage adapté du tilt, aurait été plus appropriée.

Malgré tout, le développement très rapide de la cellule la rendait difficilement détectable : douze minutes avant l'incident, elle n'était pas visible sur l'image infrarouge du satellite. Il n'est donc pas possible d'affirmer avec certitude qu'un réglage optimal des échelles des ND et du tilt du radar en auraient permis la détection.

En outre, dans les longues phases de croisière, une surveillance continue par l'équipage est peu envisageable. En effet, un réglage du tilt commun aux deux ND, cas du modèle équipant le F-GZCG, nécessite une manipulation régulière par le PF pour effectuer la surveillance des cellules convectives sur son ND lorsque les échelles utilisées sont différentes.

Le BEA a émis des recommandations sur l'utilisation du radar météorologique dans le rapport relatif à l'incident grave survenu le 22 juillet 2011 en croisière au FL350, au-dessus de l'océan Atlantique Nord, à l'avion Airbus A340-313, immatriculé F-GLZU, exploité par Air France :

- *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]*

En réponse à cette recommandation, la DGAC a indiqué :

- qu'elle va étudier, en liaison avec les FTO et les TRTO l'opportunité de consolider les formations initiales sur l'utilisation du radar météorologique,
- qu'elle va examiner avec les compagnies aériennes françaises concernées le besoin de réaliser des sensibilisations complémentaires sur l'utilisation du radar météorologique.

Pour Air France, des rappels sur l'utilisation adéquate du radar sont prévus dans le plan triennal de révision des systèmes de l'avion. De plus, au cours de la saison 2012-2013, ce sujet fait l'objet d'un module spécifique comprenant cours au sol, séance de simulateur et contrôle en ligne.

Le BEA a aussi recommandé que :

- *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 soit conforme aux procédures ou bonnes pratiques. [Recommandation FRAN-2012-024]*

En réponse à cette recommandation, la DGAC a précisé qu'en septembre 2011, elle a demandé aux compagnies aériennes que la bonne connaissance des fonctions du radar embarqué ainsi que son utilisation soient vérifiées lors des contrôles en ligne. Il s'agit du moyen le plus efficace pour sensibiliser les équipages dans ce domaine. La DGAC évaluera, avec les opérateurs concernés, le gain supplémentaire que pourrait apporter l'analyse de vols, ou éventuellement le LOSA.

L'incident du F-GZCG met en évidence que le modèle de radar utilisé est également un critère important de détection de cellules convectives, notamment lorsque leur développement est rapide. L'installation d'un modèle technologiquement plus évolué aurait probablement aidé l'équipage à détecter ce type de cellule, sans pour autant le dispenser d'une surveillance active de la situation météorologique.

### Suivi des vols

Le CCO assure une veille permanente de l'évolution météorologique sur les trajectoires des avions. Compte tenu du développement rapide de la cellule, du délai induit par la réalisation de l'image satellite et des outils à sa disposition, il n'était pas en mesure d'alerter l'équipage à temps.

Le message ACARS envoyé dans l'heure suivant le départ a conforté l'équipage sur le fait qu'il n'allait pas rencontrer de cellule convective à cet endroit. Il ne l'a pas incité à effectuer une surveillance active des phénomènes météorologiques à ce moment de la croisière.

Ainsi, les équipages doivent être conscients que les informations fournies par le CCO sont limitées et qu'une veille reste nécessaire.

### Informations météorologiques disponibles aux équipages

Le CCO retranscrit occasionnellement la situation météorologique générale aux équipages au travers de courts messages ACARS. Dans d'autres compagnies, certains avions sont équipés pour recevoir les cartes infrarouges via ACARS. Ces informations sont alors présentées sur les ND, en superposition de la trajectoire avion.

L'analyse météorologique montre qu'un tel système n'aurait pas été suffisant lors de cet incident, la cellule orageuse n'apparaissant pas sur la carte avant le passage de l'avion dans cette zone. Cependant, il pourrait s'avérer utile dans les cas d'une cellule orageuse se formant plus tôt ou moins rapidement. Cela permettrait notamment d'augmenter la conscience de la situation des équipages et donc d'augmenter la vigilance et la surveillance active des phénomènes météorologiques (échelle du ND sur 40 NM quand nécessaire).

Par ailleurs, la foudre est très présente dans les cumulonimbus. L'équipage indique avoir vu par deux fois des éclairs avant d'entrer dans les turbulences. Dans une étude récente, le NTSB recommande (ref. A-12-20) l'affichage des cartes d'impact de foudre dans les postes de pilotage.

### CONCLUSION

L'incident est dû à la non-détection d'une zone convective lors de la formation rapide d'un cumulonimbus en zone intertropicale. Cette zone était particulièrement difficile à détecter en raison du développement extrêmement rapide de la cellule.

L'absence de moyens de bord et d'outils à la disposition du CCO permettant de détecter de manière plus fiable et efficace les cellules convectives en formation a contribué à l'incident. Un réglage inapproprié de l'échelle du ND n'a pas placé l'équipage dans des conditions optimales de détection. Compte tenu du développement extrêmement rapide de la cellule, il n'est pas certain qu'une telle détection ait été possible sans une surveillance active du radar météorologique embarqué à l'approche de la zone de turbulences.

La réaction appropriée de l'équipage sur les commandes de vol lui a permis de garder un bon contrôle de l'avion dans des conditions de vol devenues soudainement très difficiles.

## RECOMMANDATIONS

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

La traversée d'une zone convective, associée à de très fortes turbulences, entraîne une variation de nombreux paramètres (assiette, incidence, attitude, vitesse, vitesse verticale, facteurs de charge, altitude) qui, combinée à des actions inappropriées d'un équipage surpris, pourrait amener l'avion à sortir de son domaine de vol.

Cet incident a mis en évidence que l'installation d'un modèle de radar technologiquement plus évolué aurait probablement aidé l'équipage à détecter la cellule convective, sans toutefois le dispenser d'une surveillance active de la situation météorologique.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **l'AESA, en liaison avec les autorités nationales, conduise des études préalables au déploiement éventuel des outils de dernière génération en matière de détection de cellules convectives sur l'ensemble de la flotte des exploitants ; [Recommandation FRAN-2013-055]**
  
- **l'AESA et la FAA veillent à ce que les constructeurs aéronautiques poursuivent leur effort dans le développement de moyens de détection de cellules convectives plus efficaces. [Recommandation FRAN-2013-056]**

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