

# Incidents en transport aérien

## Gradients de vents et turbulences



N° 5  
décembre 2006

Ce numéro présente quatre événements liés à des phénomènes météorologiques, vents forts en altitude ou mouvements convectifs associés à des cumulonimbus. Bien que de natures différentes, ces exemples présentent des points communs : évolution très rapide des conditions, détection tardive, réactions parfois inappropriées, manque de relais de l'information par les équipages.

Parce que leur caractérisation en vol est délicate et que les prévisions météorologiques restent souvent imprécises, ces phénomènes peuvent être sous-estimés et mal maîtrisés. La sensibilisation des différents acteurs, la réactualisation en vol des informations permettant une meilleure anticipation et une vigilance accrue à l'approche des zones à risques peuvent aider les équipages à les éviter ou à en réduire les effets.

On trouvera d'autres cas sur le site du BEA ([www.bea.aero](http://www.bea.aero)) comme, par exemple, le rapport sur l'accident F-GITF (1996).

### Gradient de vent à l'entrée dans un courant jet

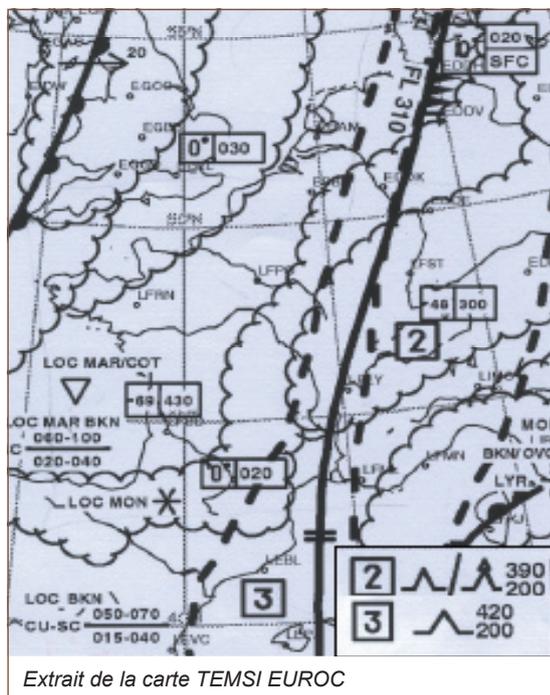
#### Déroulement du vol

##### ► Préparation

Fin décembre, l'équipage d'un Boeing 737-500 prépare la seconde étape de la journée, entre Lyon Saint-Exupéry et Paris Charles-de-Gaulle.

La situation météorologique sur la France est caractérisée par un flux de nord, auquel est associé un courant jet d'environ 160 kt au FL310, au-dessus de la vallée du Rhône. Des zones de turbulence en ciel clair sont associées à ce courant jet.

Sur la carte TEMSI EUROCC (valable 1 h 30 plus tard), l'équipage constate que la trajectoire prévue pénètre dans une zone de turbulence modérée qui s'étend du FL200 au FL420, centrée sur le courant jet.



Les cartes de prévision font état d'un vent de secteur nord, faible en surface, d'environ 30 kt au FL100, 110 kt au FL180 et 145 kt au FL300.

Un SIGMET contenu dans le dossier de vol mentionne de la turbulence modérée à forte entre les FL180 et FL380 sur le trajet. Il est valide jusqu'à l'heure du décollage.

##### ► Montée

Le copilote est PF. Peu après le décollage, face au nord, le commandant de bord signale au PNC qu'il peut se détacher.

Pendant la montée, l'équipage entend le contrôleur faire une remarque à l'équipage d'un autre avion qui a atteint le FL220 alors qu'il n'était autorisé à monter qu'au FL200 pour ne pas gêner les arrivées à Genève. Cet équipage explique que le pilote automatique n'a pas capturé le FL200.

Après avoir croisé le FL100, toujours face au nord et en montée vers le FL200, le copilote active le pilote automatique en modes LNAV et VNAV et insère la valeur de vitesse de montée accélérée de 325 kt dans le FMS.

Alors que l'avion évolue en ciel clair, en passant le FL170, le commandant de bord effectue un contrôle visuel des circuits et instruments. Il constate que la vitesse se rapproche de la VMO (340 kt), et qu'elle est supérieure d'environ 15 kt à la vitesse sélectionnée. Il le signale au copilote et applique une action à cabrer sur la commande de profondeur, provoquant la sélection du mode CWS Pitch qu'il observe au FMA et qu'il annonce. Malgré cette action, la vitesse reste anormalement élevée, toujours en augmentation et les turbulences se font sentir. Au FL191, l'avertisseur d'altitude signale que l'avion approche du niveau sélectionné.

# BEA

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

Zone Sud  
Bâtiment 153  
200 rue de Paris  
Aéroport du Bourget  
93352 Le Bourget Cedex  
FRANCE  
Tél. : +33 1 49 92 72 00  
Fax : +33 1 49 92 72 03  
[incidents@bea.aero](mailto:incidents@bea.aero)

L'assiette est alors de 17° à cabrer et la vitesse verticale d'environ 11 000 ft/min.

Immédiatement, le commandant de bord repousse la commande de profondeur, sélectionne sur le Mode Control Panel la vitesse préconisée de 280 kt en atmosphère turbulente et ramène les manettes de poussée vers la butée arrière. L'avion croise le FL200 avec une assiette de 14° à cabrer.

Le commandant de bord renforce son action à piquer, provoquant une accélération verticale de -0,15 g. Trois PNC à l'arrière de l'avion sont soulevés, heurtent le plafond de la cabine et retombent en se blessant légèrement. Les passagers sont restés attachés. L'avion redescend après avoir atteint le FL207. Cette séquence a duré 28 secondes. Le copilote avertit le contrôleur du dépassement de niveau, qu'il attribue à la turbulence.

### Renseignements complémentaires

#### ► Calcul du vent effectif rencontré

Le vent de face, recalculé grâce aux paramètres enregistrés, a augmenté de 100 kt en 63 secondes, passant de 40 kt à 140 kt entre le FL140 et le FL190. Cette augmentation peut être décomposée en deux phases : pendant 47 secondes l'accroissement du vent effectif est d'environ un nœud par seconde, puis il passe à trois nœuds par seconde.

#### ► Systèmes avion

##### *Pilote automatique et automanette*

En mode VNAV le pilote automatique maintient la vitesse en agissant sur l'assiette, la poussée des réacteurs restant réglée à la valeur de montée. Le pilote peut surpasser le pilote automatique en agissant sur les commandes de vol. Lorsqu'il agit sur la commande de profondeur, le pilote automatique passe en mode CWS Pitch. L'avion est alors piloté manuellement en tangage<sup>(1)</sup>.

##### *Variomètres*

Les variomètres de l'avion indiquent la valeur de la vitesse verticale calculée par les IRS. Ils sont gradués de -6 000 ft/min à +6 000 ft/min. Ils ont été en butée haute pendant dix-huit secondes.

#### ► Prévisions météorologiques

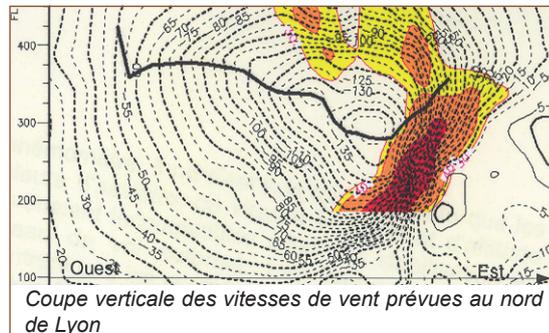
La carte TEMSI EUROOC est établie par un prévisionniste. Au moyen d'un outil informatique, il superpose différents champs de paramètres météorologiques, établis par des modèles de prévision, sur un fond de carte géographique. Il positionne ensuite les éléments graphiques pertinents qui codent les informations météorologiques.

En plaçant un champ d'indices de turbulence sur la carte, le prévisionniste dessine les différentes zones de turbulence en ciel clair au-dessus du FL200.

De manière analogue, il trace les courants

jet en superposant les valeurs de vitesse du vent supérieures à 80 kt. Sur ces trajets, il identifie les points correspondants aux valeurs extrêmes, marqués avec la vitesse du vent et le niveau de vol.

Dans la région de l'incident, le cœur du courant jet était au FL280, 3 000 pieds au-dessous du niveau indiqué sur la carte TEMSI. Des vents supérieurs à 80 kt étaient prévus entre le FL160 et le FL425, ce qui correspond à une « épaisseur » du courant jet de 26 500 pieds.



La comparaison entre les valeurs de vent prévues et celles rencontrées par l'avion montre que la vitesse du vent était en moyenne sous-estimée de 20 kt par le modèle informatique. Le gradient de vent était prévu.

#### ► Evolution de la présentation des informations liées à un jet

Depuis le 8 février 2005, les différences d'altitude minimale et maximale par rapport au courant jet (vitesses supérieures à 80 kt) sont présentées à proximité des symboles de force. Cette représentation, qui permet de connaître l'épaisseur du jet et d'identifier d'éventuels gradients de vent, n'existait pas à l'époque de l'incident. Il s'agit d'une évolution provenant de l'amendement 74 à l'Annexe 3 (OACI - Service Météorologique pour la navigation aérienne internationale<sup>(2)</sup>).

### Axes de jet



Axe d'un courant jet avec indications sur le vent maximal (nœuds) et son niveau.

La double barre indique des changements de niveau de 3 000 pieds au maximum et/ou des changements de vitesse du vent de 20 nœuds au minimum.

La mention au-dessous de la valeur maximale du jet d'un couple de valeurs (+aa/-bb) où aa représente la différence de hauteur entre le noyau du jet et l'isotache 80 KT située au-dessus du jet et de bb est celle comprise entre le noyau du jet et l'isotache 80 KT au-dessous.

Extrait du guide aviation METEO FRANCE 2006-2007

#### ► Procédures de l'exploitant

Le manuel d'utilisation de l'avion contient entre autres les procédures suivantes dans le chapitre « météo défavorable - vol en atmosphère turbulente » :

<sup>(1)</sup> Si le PA est en mode CMD, avec un pilotage transparent en tangage (CWS P), le PA passe en acquisition, puis en tenue d'altitude à l'approche du niveau sélectionné.

<sup>(2)</sup> La symbologie retenue est mise au point dans des groupes de travail de l'OACI entre pilotes et météorologistes et soumise à l'agrément de l'Organisation Mondiale de la Météorologie.

- « Mettre en marche l'allumage permanent dès que la turbulence est rencontrée... »
- « Engager le pilotage automatique en CWS dans les zones de turbulence sévère... »,
- « L'AFS peut être utilisé en turbulence à la discrétion de l'équipage. De courtes excursions de vitesse de 10 à 15 kt peuvent se produire et l'AFS peut rester engagé à moins que les performances soient inacceptables... »
- « La vitesse de montée recommandée<sup>(3)</sup> pour la pénétration en turbulence sévère est de 280 kt/M 0,73... »
- « L'horizon est l'instrument de base pour contrôler l'attitude de l'avion. [...] Ne pas effectuer de correction d'assiette brutale ou de forte amplitude. Réagir posément, en douceur. [...] De grandes variations d'altitude sont possibles en atmosphère très turbulente. Si les marges par rapport au relief le permettent, ces variations sont admissibles. Maintenir avant tout l'attitude avion, puis corriger la vitesse, l'altitude et le cap... »

### Enseignements

Cet événement n'est pas directement lié à un phénomène de turbulence mais à un gradient de vent, qui en est souvent la cause. Les renseignements relatifs à la turbulence peuvent donc également être utiles pour identifier la présence de tels gradients.

#### ► Identification d'un gradient de vent

##### *Par les services de la météorologie*

A l'époque de l'événement, il était difficile pour le prévisionniste de faire apparaître l'étendue verticale du jet. L'évolution de la symbologie permet désormais de mieux rendre compte de ce phénomène. Cependant, la représentation d'un gradient de vent important reste délicate. Le SIGMET est un moyen complémentaire pour mettre en garde contre un phénomène météorologique particulier. La turbulence en ciel clair a souvent pour origine un gradient de vent.

##### *Par les équipages*

Les cartes de vent disponibles ne donnent que

des valeurs espacées dans le plan vertical. Les intervalles importants entre ces valeurs ne permettent pas de prévoir un gradient de vent survenant sur une tranche réduite d'altitude. Un fort gradient de vent peut entraîner des variations rapides de la vitesse indiquée. Les automatismes tentent de corriger ces variations tout en limitant l'amplitude des corrections, ce qui peut conduire à des excursions de vitesse.

#### ► Réaction de l'équipage

Le commandant de bord ne s'attendait pas à un gradient de vent de cette amplitude. Il a été surpris par l'augmentation de la vitesse. En première analyse, il l'a attribuée à un manque de réactivité du pilote automatique qu'il a alors surpassé. Comme cette action n'a pas eu le résultat escompté, l'équipage a envisagé une défaillance anémométrique. Compte tenu de la soudaineté du phénomène et de son amplitude, il n'a pas pu revoir son analyse. Des circonstances génératrices de stress et de pression temporelle favorisent une focalisation sur quelques paramètres et peuvent réduire le champ de l'attention. Alors que le commandant de bord contrôlait les résultats de son action à cabrer sur l'anémomètre, il ne s'est pas rendu compte que les valeurs d'assiette, de vitesse verticale et d'altitude devenaient incompatibles avec une stabilisation au niveau de vol autorisé. Les paramètres de vol montrent que les accélérations verticales subies par l'avion étaient principalement la conséquence des actions manuelles sur la commande de profondeur.

Le dépassement de niveau par un autre équipage quelques minutes plus tôt, et possiblement lié au même phénomène, a pu inciter le commandant de bord à accentuer son action à piquer pour limiter le dépassement du FL200.

#### ► Information aux équipages

L'annonce sur la fréquence de la rencontre de phénomènes météorologiques significatifs peut permettre aux services du contrôle de les relayer et aux équipages dans la même zone de les anticiper.

## Turbulences au sommet d'un cumulonimbus

### Déroulement du vol

Un A320 effectue en fin de matinée la liaison Paris-Genève. Au cours d'une première rotation, les pilotes avaient rencontré des orages aux alentours de Genève mais pas sur le reste du trajet. Ils ne s'attendent pas à en rencontrer sur ce vol durant la croisière.

L'avion vole au FL270 à Mach élevé (vitesse managée de M 0,84) afin de rattraper du retard. Les pilotes viennent de terminer leur repas et

préparent l'arrivée. Le copilote, PF, insère dans le FMGS des informations correspondant à un changement de QFU pour l'atterrissage. Le PNC termine le service. L'avion évolue en limite de couche nuageuse lorsque le commandant de bord aperçoit un cumulonimbus droit devant, dont le sommet est plusieurs milliers de pieds au-dessus. Il déconnecte le pilote automatique et vire à gauche afin de l'éviter. Il fait l'annonce en cabine « Ici le poste de pilotage, turbulences, PNC assis, attachés ». Voyant qu'il n'évitera

<sup>(3)</sup> En croisière, le N1 recommandé est accessible sur la page CRZ du FMS.

<sup>(4)</sup> La certification prévoit une enveloppe de vol comprise entre - 1 g et + 2,5 g. L'arrêt de la génératrice a été attribué aux turbulences associées à un

pas le nuage, il sélectionne un Mach de 0,77 et remet les ailes horizontales. L'avion entre dans une zone de fortes précipitations (grêle) et de turbulences. Pendant une vingtaine de secondes, il est soumis à des accélérations verticales variant de -0,7 g à +3 g. Une perte momentanée de la génératrice N°1 entraîne l'extinction des écrans du côté gauche<sup>(4)</sup>. L'avion passe 750 ft au-dessus de son niveau. La documentation non attachée et les plateaux repas sont projetés.

Les consignes « attachez vos ceintures » étaient éteintes au moment des turbulences. Un passager qui n'était pas attaché a été blessé. En dépit de l'annonce faite par le commandant de bord, le personnel de cabine n'a pas eu le temps de s'attacher.

A l'arrière, les deux PNC ont amené les voitures de service dans les galleys, sans avoir le temps de les placer dans leur logement ni le temps de s'attacher. Ils ont été soulevés au-dessus de leur siège, puis sont retombés, l'un d'eux se blessant légèrement.

A l'avant, un PNC ramenait la voiture de service vers le galley, précédé du chef de cabine. Tous deux ont été soulevés plusieurs fois avec la voiture de service avant de heurter le plafond et de retomber en se blessant légèrement.

### Renseignements complémentaires

#### ► Météorologie

##### *Informations à la disposition de l'équipage*

L'équipage avait un dossier météorologique composé de la carte TEMSI EUROCC valable 6 h 00 avant l'événement, prévoyant des cumulonimbus noyés dans la masse sur le trajet jusqu'au FL340, de l'ensemble des TAF et METAR et d'un SIGMET pour la FIR de Marseille, dont la validité était expirée, qui concernait le développement d'orages dans la couche nuageuse sur le nord du massif central : EMBD TS OBS ON LFMM FIR, NORTH MASSIF CENTRAL, TOP CB FL 320/340 MOVE SLW NE, INTSF.

L'équipage a reçu par ACARS le dernier ATIS de Genève annonçant un changement de QFU neuf minutes avant le passage dans la turbulence.

##### *Situation rencontrée*

Le cumulonimbus traversé avait commencé à être détecté par le radar de Bourges quinze minutes avant l'événement. Un faible noyau de précipitations indique que le nuage était peu développé à cet instant.

Le ciel était envahi de cirrus plus ou moins épais, issus des cumulonimbus nés deux heures plus tôt au sud-ouest. La visibilité était ainsi médiocre en altitude. Les images radar et satellite montrent que le développement du cumulonimbus a été très rapide.

<sup>(5)</sup> Le radar détecte la pluie, la grêle humide et les particules sèches de glace si leur diamètre est supérieur à 3 mm.

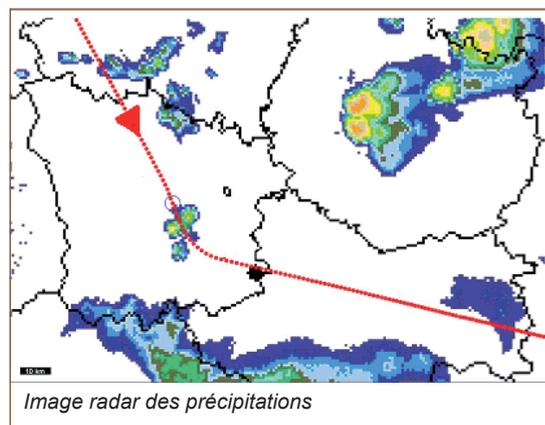


Image radar des précipitations

Les précipitations sont devenues significatives quatre minutes avant le passage de l'avion.

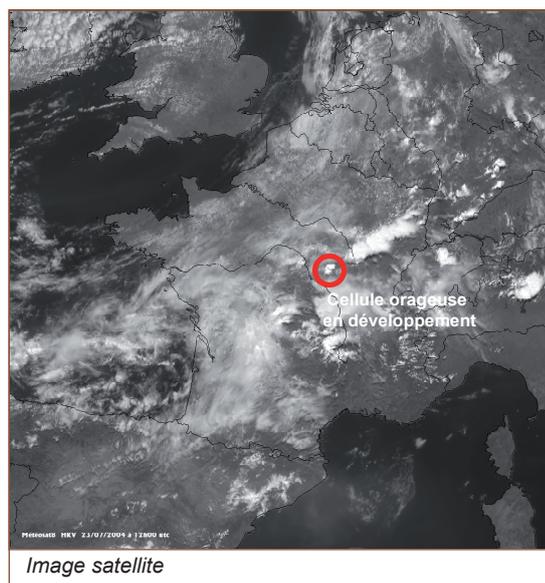


Image satellite

► Utilisation du radar météorologique de bord  
Le sommet des cumulonimbus étant majoritairement composé de cristaux de glace, leur détection à l'aide du radar météorologique embarqué nécessite une recherche active avec changement du gain, du tilt et du range, pour pouvoir détecter les zones humides. Elle doit être effectuée suffisamment en amont pour permettre l'évitement. Par ailleurs la formation rapide de ces nuages nécessite une réitération fréquente de la recherche.

Au cours de ce vol, le radar<sup>(5)</sup> était sur le mode WX, le gain sur AUTO, le tilt réglé à -2° et la distance sélectionnée sur les ND de 160 NM côté commandant de bord et 80 NM côté copilote.

Le commandant de bord s'attendait à rencontrer une activité orageuse à l'arrivée à Genève, mais pas en croisière. Le copilote concentrait son attention sur la programmation du FMGS pour l'arrivée. L'équipage n'a pas fait de recherche particulière d'orage à l'aide du radar.

### ► Considérations opérationnelles

Les repas de l'équipage peuvent être pris au cours du vol, même s'il s'agit d'une étape courte<sup>(6)</sup>.

Le manuel d'utilisation décrit la procédure à suivre en cas d'entrée dans une zone de turbulences fortes :

- SEAT BELT ON
- PNC PREVENU
- AP ON
- IAS/MACH SELECTE  
(cf. vitesse recommandée)
- A/THROFF
- N1 AJUSTE  
(cf. N1 requis)

La vitesse recommandée en atmosphère turbulente dépend du niveau et se trouve dans un tableau du QRH. Au FL270, elle est de 275 kt.

Le N1 requis pour maintenir la vitesse recommandée est présenté dans le même tableau.

### ► Aménagement du poste de pilotage et de la cabine

La mallette de poste, qui avait été arrimée avant le vol derrière le siège du copilote, n'a pas bougé pendant les turbulences. En revanche, les plateaux repas posés sur cette mallette ainsi que des manuels placés dans des boîtiers métalliques ont « volé » lors des turbulences. Le casque du copilote, suspendu à son support, a été cassé par la chute des objets.

## Enseignements

### ► Préviation

La carte TEMSI EUROCC du dossier de vol faisait état de cumulonimbus sur la route, mais ceux-ci n'étaient pas présents lors du premier aller-retour. L'équipage est resté sur cette constatation sans considérer les évolutions parfois rapides des phénomènes orageux.

### ► Vigilance durant le vol

L'attention de l'équipage n'était pas attirée par la présence possible de cumulonimbus en croisière. La priorité a été donnée au rattrapage du retard par le choix d'un Mach élevé<sup>(7)</sup>. Compte tenu de la courte durée du vol, l'équipage a été occupé par des activités (prise du repas, nouvelle programmation du FMGS) qui n'ont pas favorisé la surveillance de phénomènes météorologiques, sur le radar ou à l'extérieur.

### ► Sécurité cabine

L'absence d'arrimage d'une partie de la documentation dans le poste de pilotage constitue un risque pour les personnes et les équipements en cas de turbulence forte.

Le PNC, en cours de service, n'a pas eu le temps d'assurer le matériel et de s'asseoir. Depuis, l'exploitant a ajouté une procédure en cas de turbulence forte non anticipée qui permet notamment au PNC de bloquer le matériel sur place, de s'asseoir et de s'attacher sur le siège le plus proche.

<sup>(6)</sup> Le temps de vol total prévu à 340 kt était de 48 minutes, dont vingt de croisière.

<sup>(7)</sup> Les consignes de rattrapage d'horaire de l'exploitant demandent d'accélérer sans suggérer de restrictions liées aux conditions environnementales.

## Turbulences fortes en marge d'un cumulonimbus

### Déroulement du vol

#### ► Préparation

Un Beech 1900D effectue un vol entre Lyon et Angoulême en fin de journée, au cours du mois de juillet. L'équipage dispose d'un dossier de vol comprenant :

- la carte TEMSI EUROCC, valable deux heures avant l'incident, qui prévoit sur tout le parcours et à l'arrivée une couverture nuageuse avec des cumulonimbus isolés (bases 4 000 à 8 000 ft, sommets FL300 à FL360) ;
- les cartes de vents prévus qui sont de secteur sud, inférieurs à 30 kt jusqu'au FL180 et d'environ 50 kt au-dessus.

Les conditions météorologiques prévues à l'arrivée sont bonnes avec temporairement une possibilité d'orages liés à des cumulonimbus isolés et noyés dans la couche.

Le carburant embarqué permet quarante minutes d'attente à l'arrivée et un décollage sur Poitiers.

#### ► Croisière et approche

Le copilote est PF. Le radar météorologique est en marche et quelques altérations de cap sont effectuées en croisière au FL200 pour éviter des cellules orageuses isolées. Les conditions météorologiques transmises par l'agent AFIS vingt minutes avant l'arrivée sont : vent du 300° / 12 à 15 kt et visibilité supérieure à 10 km, avec présence de cumulonimbus à 5 000 ft, sans précipitations. Alors que l'avion entame l'approche finale en piste 28, une cellule orageuse très active en provenance du sud-ouest atteint l'aérodrome. Le vent tourne rapidement au 220° et se renforce avec des rafales. L'agent AFIS signale un impact de foudre sur l'aérodrome.

A 4 NM en finale, le vent communiqué est du 220° / 30 à 45 kt. L'équipage évoque la procédure prévue en cas de cisaillement de vent.

<sup>(8)</sup> La MSA dans le secteur est de 2 800 ft.

### ► Remise de gaz et attente

Compte tenu des turbulences et de la valeur du vent traversier devenue supérieure à la limitation de l'avion à l'atterrissage (22 kt), le commandant de bord prend les commandes et effectue une remise de gaz à environ 400 ft. Alors que l'agent AFIS lui annonce des rafales à 55 kt, il suit une trajectoire différente de la remise de gaz publiée, en direction opposée à la cellule orageuse et monte vers 5 000 ft afin d'augmenter la marge par rapport au relief<sup>(8)</sup>.

L'équipage se reporte au nord-est de l'aérodrome pour faire un point de la situation météo en effectuant des évolutions pour rester hors des nuages. Ces évolutions s'effectuent au PA en configuration attente à 150 kt, dans une atmosphère calme. L'équipage prend la décision de dégager vers Limoges, situé dans l'est à quinze minutes de vol, puis rentre les volets. En virage par la droite, l'avion entre alors dans une zone de turbulences fortes qui persistent pendant 2 min 30 s.

Le PF déconnecte le pilote automatique. L'altitude augmente jusqu'à 6 200 ft avant de diminuer vers 4 000 ft en une minute puis d'augmenter jusqu'à 5 500 ft ; la vitesse indiquée varie entre 160 kt et 250 kt (VMO) ; l'accélération verticale évolue entre -0,3 g et +1,9 g<sup>(9)</sup>. L'inclinaison atteint à deux reprises 42° à droite avec des valeurs d'assiette proches de 10° à piquer.

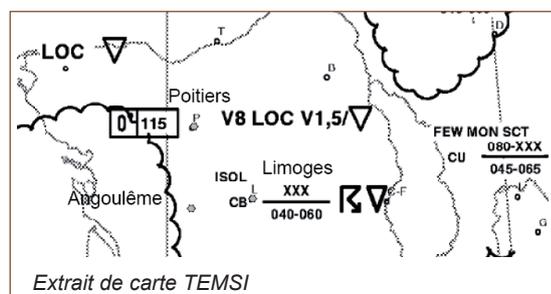
## Renseignements complémentaires

### ► Météorologie

#### Prévisions

Les prévisions faisaient apparaître des risques d'orage. Le phénomène s'est développé rapidement, en ne laissant pas le temps d'amender l'information météorologique.

Un SIGMET signalant des Cb noyés dans la masse avait été émis mais l'équipage n'en disposait pas. Cette information apparaissait par ailleurs sur la carte TEMSI<sup>(10)</sup>. Le développement de la ligne de grains n'était pas en contradiction avec l'information fournie.

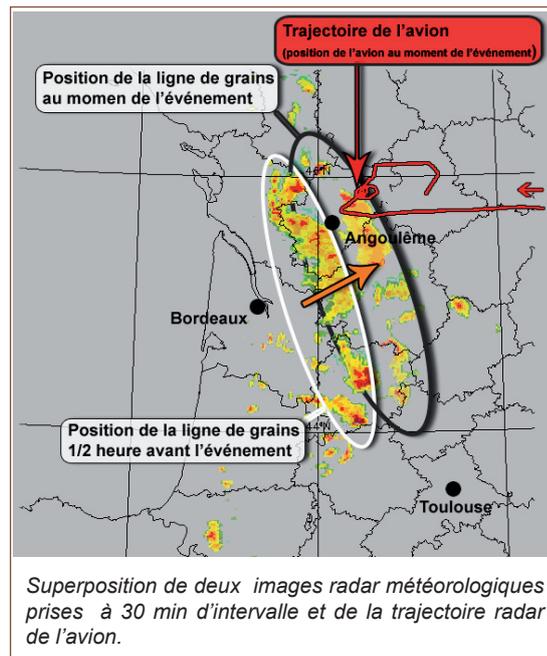


<sup>(9)</sup> L'avion est certifié entre -2,0 g et +3,0 g en configuration lisse et entre -0,0 g et +2,0 g volets sortis.

<sup>(10)</sup> La mention ISOL associés à la présence de Cb signifie que jusqu'à 50% de la zone peut être affectée.

### Observations au sol

Les images satellites, les radars de précipitations et l'enregistrement des impacts de foudre soulignent l'intensité des phénomènes.



### Utilisation du radar bord

Au cours de l'approche, l'équipage voyait la position des cellules orageuses sur le radar météorologique de bord. C'est notamment grâce à cette information qu'a été fait le choix de la zone d'attente. En revanche, lors des évolutions pour rester hors des nuages et alors qu'il faisait nuit, l'utilisation du radar s'est avérée plus problématique car il ne permet de voir que les zones devant l'avion et son image est inexploitable en virage en raison de l'inclinaison de l'antenne.

## Enseignements

Les paramètres environnementaux d'une approche réalisée dans des conditions orageuses peuvent se dégrader très rapidement. L'approche a été interrompue à cause de ces phénomènes.

Le choix initialement approprié de la zone d'attente n'a pas été actualisé. Après quelques minutes, la cellule orageuse très active qui avait déclenché la remise de gaz à Angoulême a atteint cette zone. Les turbulences subies par l'avion étaient directement liées à cette cellule.

La configuration lisse de l'avion au moment de la turbulence lui a permis de rester dans le domaine de vol, qui est plus large que volets sortis.

# Turbulences fortes en ciel clair

## Déroulement du vol

Au mois de février, un A340 décolle de Paris Charles de Gaulle à destination des Etats-Unis.

Au-dessus du Groenland, l'équipage d'un avion de l'US Air force, en croisière au FL350, rapporte des turbulences fortes en ciel clair sur la fréquence HF<sup>(11)</sup>. Six minutes plus tard l'A340, en croisière au FL320 dans la même zone, aux environs du 45 W, rencontre des turbulences fortes. Le commandant de bord allume la consigne « attachez vos ceintures » et fait l'annonce de turbulences à l'attention du PNC. Les fortes turbulences durent cinq minutes environ, au cours desquelles un passager est blessé au bras, puis diminuent progressivement. Un médecin, présent à bord, prodigue les premiers soins assisté par l'équipage de cabine. Au vu de l'état général du passager et de l'avis du médecin, le commandant de bord décide de ne pas se dérouter.

A l'issue du vol, le commandant de bord fait un compte-rendu oral à l'assistance technique locale sans mentionner la turbulence sur le CRM. Un mécanicien effectue un examen visuel détaillé de l'avion. Aucune référence à l'AMM n'est portée sur le CRM.

## Renseignements complémentaires

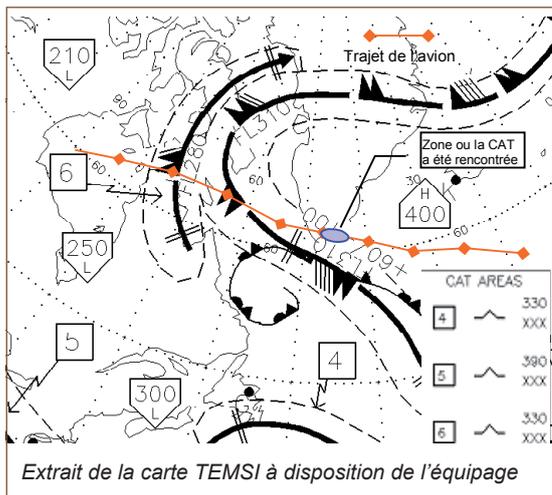
### ► Situation météorologique

Sur la route, la situation était la suivante :

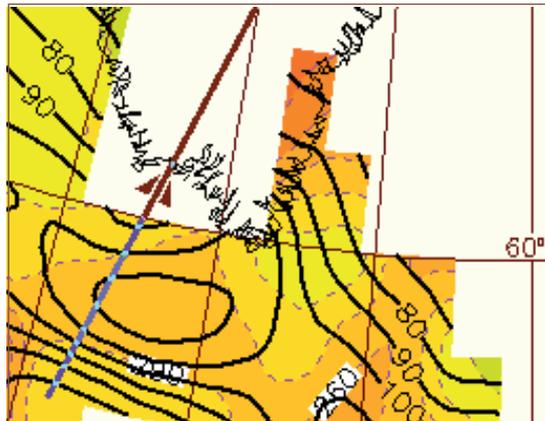
- l'Atlantique Nord était le siège de deux dépressions, une centrée sur la baie d'Hudson se prolongeant par un thalweg au nord de Terre-Neuve basculant vers les Açores et la seconde centrée sur le golfe de Gascogne.

- entre ces deux dépressions, une étroite mais puissante dorsale<sup>(12)</sup> forçait de l'air chaud au-delà du cercle polaire, du nord du Groenland à la Norvège.

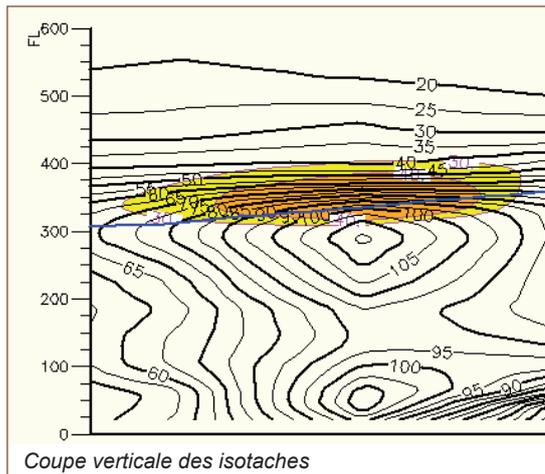
- cette situation, assez inusuelle à cette époque de l'année et à cette latitude, générant un courant jet de 120 kt orienté SSE/NNW au sud du Groenland.



La coupe verticale de l'atmosphère, perpendiculairement au courant jet, montre un resserrement des isotaches dans sa partie sommitale, l'air chaud forçant l'air froid supérieur. Ce resserrement situé entre les FL300 et FL400 génère une vaste zone de turbulence en air clair.



Position horizontale des isotaches (la ligne marron correspond à l'axe de la coupe verticale ci-dessous)



Coupe verticale des isotaches

### ► Prévision météorologique

La situation décrite ci-dessus était prévue dix heures avant le décollage par le modèle de prévision français Arpège. Par contre, la carte TEMSI fournie par le centre mondial du WAFS en Angleterre signalait des turbulences modérées dans cette zone.

C'est ce qui avait été noté dans le dossier de vol : « zone de CAT MOD du 45 W au 78 W puis RAS sur le reste du parcours ».

Un seul message de compte rendu en vol (AIREP) concernant cette turbulence a été reçu par l'ATC.

### ► Données du vol

La consigne lumineuse « attachez vos ceintures » a été utilisée à trois reprises avant la zone de l'événement. Dix-huit minutes avant l'événement, la force du vent est passée progressivement de 60 kt à 120 kt, puis a décliné de 100 kt en deux minutes. Simultanément la

<sup>(11)</sup> Les équipages civils ne veillant pas les fréquences HF, ce message vers l'ATC n'a pas été entendu par l'équipage de l'A340. Le contrôleur lui a demandé douze minutes plus tard s'il avait rencontré des turbulences et un message SIGMET a été émis par la suite.

<sup>(12)</sup> Entre 20° W et 30° W avec un gradient de 3 °C par 1 000 ft entre les FL300 et FL340. La tropopause se situait au FL385 à une température de -66 °C.

<sup>(13)</sup> Variation de 10 °C en une minute environ.

<sup>(14)</sup> Selon le message du dossier de vol la zone de CAT s'étendait sur 900 mille marins sur la route prévue.

<sup>(15)</sup> Les conditions étaient telles que la tropopause, très élevée dans cette zone à cette époque de l'année, permettait de conserver une marge suffisante avec la vitesse maximale en opérations.

direction du vent a varié du sud-est au sud-ouest pour revenir au secteur est /sud-est.

Une première accélération de +1,5 g a déclenché l'allumage de la consigne lumineuse. Une série d'accélération variant entre +1,96 g +0,26 g a été ensuite enregistrée durant cinq minutes. Des turbulences plus modérées se sont prolongées pendant une heure et vingt minutes.

Le pilote automatique et l'auto-poussée (ATHR) sont restés activés pendant toute cette phase de vol. Le Mach sélectionné de 0,81 en croisière a été réduit, d'abord à 0,784 puis à 0,776 jusqu'à la fin des turbulences. La vitesse (CAS) a varié entre 256 kt et 308 kt.

#### ► Procédures en atmosphère turbulente

Les vitesses ou mach recommandés de pénétration en turbulence sont définis pour assurer la portance nécessaire au facteur de charge provoqué par la rafale verticale tout en limitant au mieux les contraintes structurales.

En cas de turbulence modérée, la procédure prévoit de conserver les automatismes et de réduire la vitesse à une valeur supérieure à la vitesse recommandée. Quand la turbulence est forte il est demandé de désactiver l'ATHR et d'amener la vitesse au-dessous de la valeur recommandée (280 kt au niveau FL 320).

Le tableau de la documentation de bord est donné en vitesse indiquée jusqu'au FL350 et en Mach au-dessus.

### Enseignements

#### ► Choix de la route et actualisation des informations météorologiques

La traversée du courant jet perpendiculairement à la position prévue de ce dernier sur la carte TEMSI pouvait laisser supposer la rencontre de turbulences, même si le centre du jet a

un écoulement laminaire. L'avion a pénétré vent arrière dans la zone perturbée. En effet, la prévision sur la position du courant jet est relativement imprécise. L'avion a subi une accélération importante, sa vitesse augmentant de 60 kt, aussitôt perdus en pénétrant dans la zone de CAT sommitale du jet. Le cisaillement de vent subi a été proportionnel au gradient de température subi<sup>(13)</sup>. L'information sur les prévisions de zones et d'intensité des turbulences ne pouvait pas alerter l'équipage avec précision<sup>(14)</sup>. Seul le message AIREP transmis par l'équipage américain aurait pu le faire mais il n'a pas été retransmis à temps.

L'équipage n'a cependant pas lui-même émis ce type de message. Le RCA définit les règles applicables à la transmission d'AIREP. Les SIGMET peuvent être notamment émis sur cette base.

#### ► Conduite du vol en atmosphère turbulente

Le pilote a affiché un Mach, et non une vitesse, conforme aux consignes en turbulence modérée, ce qui a conduit à des vitesses supérieures à la vitesse recommandée (308 kt au maximum) sans toutefois approcher la VMO<sup>(15)</sup>. Ces actions n'ont pas été suffisantes devant la force de la turbulence effectivement rencontrée.

#### ► Inspection de l'avion

Le pilote n'a pas inscrit les turbulences fortes sur le CRM. Il n'avait pas à cet instant connaissance des valeurs d'accélération subie. De son côté, le centre de contrôle des opérations de l'exploitant ne disposait pas des moyens permettant l'accès instantané aux données techniques du vol pour cet avion. En l'absence de données d'accélération, la vérification de l'avion n'a été que superficielle et la procédure adaptée de l'AMM n'a pas été appliquée.

### Sommaire

Gradient de vent à l'entrée dans un courant jet .....	1
Turbulences au sommet d'un cumulonimbus .....	3
Turbulences fortes en marge d'un cumulonimbus.....	5
Turbulences fortes en ciel clair .....	7