



Incidents en transport aérien

Numéro 4 - juillet 2006

Edito

L'ensemble du système aéronautique cherche à réduire le risque d'erreur ou à en limiter les effets.

De leur côté, les pilotes, au travers des aptitudes détectées lors de leur sélection, de la formation et de l'entraînement périodique qu'ils reçoivent, possèdent les outils appropriés à la résolution de la plupart des difficultés qui peuvent être rencontrées en vol normal ou dégradé.

Compte tenu de la diversité des événements pouvant survenir au cours d'un vol, il est difficile d'offrir un entraînement permettant de traiter chaque cas. La connaissance des difficultés rencontrées par les uns peut alors utilement nourrir la réflexion des autres et enrichir leur savoir-faire.

C'est dans cet esprit que ce bulletin propose trois exemples de dépassement d'assiette au cours de phases critiques du vol, rotation au décollage et arrondi à l'atterrissage.

La lecture de ces événements peut être complétée par les résultats d'autres enquêtes, qui ont fait l'objet de rapports détaillés.

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

Sommaire

Rebond à l'atterrissage suivi d'un contact du fuselage avec la piste - 1	2
Rebond à l'atterrissage suivi d'un contact du fuselage avec la piste - 2	3
Erreur d'insertion dans le FMS - contact du fuselage avec la piste à la rotation au décollage	5

Rebond à l'atterrissage suivi d'un contact du fuselage avec la piste - 1

Déroulement du vol

Un Boeing 737-800, en provenance de Paris Charles de Gaulle se présente en finale ILS pour la piste 10 de l'aérodrome de Marrakech. Le commandant de bord est Pilote en Fonction. Pendant l'approche, il dit au copilote qu'il se sent un peu fatigué en raison du départ matinal.

La masse calculée à l'atterrissage est de 62,7 tonnes (la masse maximale à l'atterrissage est de 65,3 tonnes). La vitesse de référence en finale volets sortis à 30°, donnée par le FMS et confirmée par le manuel d'utilisation, est de 145 kt ; cette vitesse est inscrite sur le carton d'atterrissage. La visibilité est bonne mais l'approche est réalisée face au soleil levant. Vers 1 300 pieds, le copilote annonce que le localiser n'est pas capturé. Le commandant de bord déconnecte le pilote automatique et l'auto manette pour positionner manuellement l'avion sur l'axe et sur le plan de descente à la vitesse d'approche ($V_{ref} + 5 \text{ kt}$).

Le vent annoncé est du 160° pour 8 kt. La présence d'une inversion de température entre

450 mètres et le sol provoque une composante de vent arrière croissante en courte finale⁽¹⁾.

Le PF ressent un léger enfoncement de l'avion alors que retentit l'annonce dix pieds radioaltimètre du GPWS. Il augmente la poussée et est surpris par le contact prématuré avec la piste. Le toucher, survenant à V_{ref} , est brutal (l'accélération verticale enregistrée est supérieure à 2 g). Le PF réduit les gaz aussitôt. Les spoilers sol et vol se déploient, l'avion rebondit et reste en l'air environ une seconde. Pendant le rebond, les spoilers sol rentrent et les spoilers vol poursuivent leur sortie. L'assiette est maintenue entre 5,1° et 7,7°. L'avion touche à nouveau la piste durement à $V_{ref} - 2 \text{ kt}$, l'assiette atteignant 9,3°. Un bruit inhabituel est entendu. Au roulage vers le parking, le chef de cabine avise le commandant de bord que les passagers et le PNC ont ressenti la brutalité de l'atterrissage.

Au parking, le commandant de bord constate que le sabot de queue et la partie inférieure gauche de l'arrière du fuselage sont râpés et enfouis. Il décide d'annuler le vol retour. L'avion devra être convoyé à vide et subir des réparations importantes, notamment sur les cadres en arrière de la cloison de pressurisation.

2

⁽¹⁾ La vitesse air diminue de 4 kt alors que la vitesse sol diminue de 2 kt. Le vent effectif dans les 50 derniers pieds est compris entre 5 et 9 kt.

⁽²⁾ La manette des spoilers se déplace en position UP et reste dans cette position, sauf si au moins une manette de poussée est avancée au-delà de la position ralenti (la manette des spoilers revient alors en position DOWN et les spoilers rentrent automatiquement).

⁽³⁾ Les spoilers sol ont commencé à se déployer car les manettes ont été amenées au ralenti au moment du toucher (ndlr).

Renseignements complémentaires

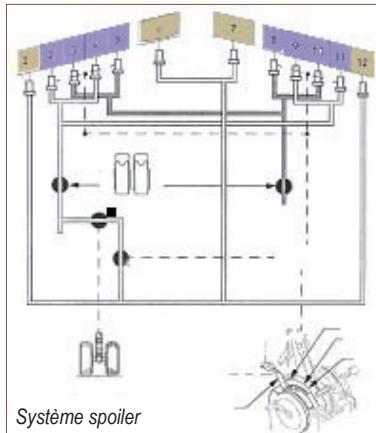
Fonctionnement des destructeurs de portance
Fonctionnement normal décrit dans le manuel d'utilisation du constructeur :

L'extrados de chaque aile est équipé de quatre panneaux spoilers qui assurent des fonctions vol et sol, et de deux panneaux qui assurent seulement la fonction sol.

En vol, les spoilers vol servent d'aérofreins et participent au gauchissement.

Au sol, tous les spoilers sortent automatiquement, lorsque les conditions d'extension sont remplies, pour dégrader la portance et plaquer l'avion au sol. L'ensemble des conditions qui permettent leur sortie automatique est :

- commande SPEED BRAKE en position ARMED et signalisation allumée,
- hauteur radio altimètre inférieure à 10 pieds,
- amortisseur d'un train principal compressé pour les spoilers vol et amortisseur du train principal droit compressé pour les spoilers sol,
- deux manettes de poussée sur la position ralenti,
- signal de rotation (> 60 kt) pour les roues du train principal, si la condition train compressé n'est pas remplie.



Fonctionnement en cas de rebond (information présentée dans le manuel de formation du constructeur) :

« au cours d'un rebond, si la phase d'extension a débuté, les spoilers sol rentrent du fait que le train n'est plus compressé, mais les spoilers vol continuent à sortir⁽²⁾ ».

Eléments sur les « Tailstrikes » apparaissant dans le manuel de formation :

« Un rebond à l'atterrissage peut se produire si les manettes de poussée sont dans une position supérieure à celle correspondant au ralenti lors du premier toucher, empêchant le déploiement automatique des spoilers, même s'ils sont armés.

Si les manettes sont amenées en position ralenti pendant le rebond, les spoilers vol se déploient automatiquement⁽³⁾, entraînant une perte de portance et un moment à cabrer qui peuvent conduire à un toucher du fuselage ou à un atterrissage dur. »

Il faut noter que le manuel de formation ne fait pas partie de la documentation qui doit être réglementairement reprise par l'exploitant. La partie sur les « tailstrikes » figurait en item

optionnel de la qualification de type. La mise à jour concernant ce point spécifique était récemment arrivée chez l'exploitant, mais n'avait pas encore été distribuée aux pilotes.

Techniques d'atterrissage

L'assiette de l'avion au seuil pour une finale stabilisée en configuration volets 30° est comprise entre 2° et 4° et l'arrondi s'effectue en augmentant l'assiette vers 4° à 7°.

L'assiette limite de l'avion à l'atterrissage est de 9,2°, très peu différente de celle du Boeing 737-400 (9,4°). La garde au sol, à 7° d'assiette avec les trains compressés est d'environ 37 cm. On notera qu'il y a une faible marge entre une assiette normale à l'atterrissage et l'assiette limite.

Le manuel de vol précise que « si l'avion rebondit, attendre ou reprendre une assiette normale d'atterrissage et ajouter la poussée nécessaire pour contrôler le taux de descente. Il n'est pas nécessaire d'ajouter de la poussée pour un rebond superficiel ou un saut.

Si un rebond important ou dur survient, effectuer une remise de gaz. »

Facteurs modifiant la perception

Le profil de la piste 10 est légèrement en montée (0,5 %) et l'angle du plan d'alignement de descente vaut 2,5° (4 %). La piste n'est pas équipée d'indicateur visuel de trajectoire d'approche de précision (PAPI).

L'assiette de l'avion, ainsi que la hauteur des yeux du pilote à l'arrondi, pour une approche sur un plan de 2,5° (4 %) sont légèrement supérieures à celles pour une approche sur un plan à 3° (5 %).

D'autre part, lorsqu'une approche est réalisée sur une piste qui présente une pente ascendante, la pente apparente est supérieure à la pente réelle, ce qui peut amener à creuser le plan.

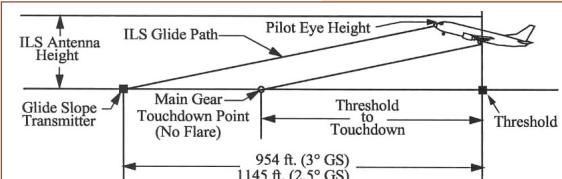
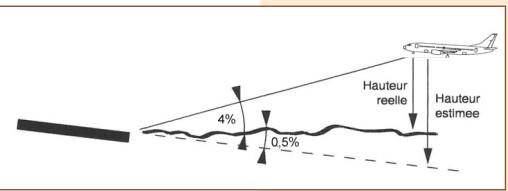
Enseignements

L'angle du plan de descente plus faible que la normale a pour conséquence d'augmenter l'assiette de l'avion en finale.

La pente ascendante de la piste accentue la perception de hauteur inhabituelle par rapport aux références visuelles extérieures. Ces deux raisons ont probablement conduit le pilote à légèrement creuser sa trajectoire. L'avion est rentré prématurément en contact avec la piste durant l'arrondi, avant que la poussée ne soit réduite.

Les manettes de poussée ramenées au ralenti pendant que le train de l'avion était toujours enfoncé ont conduit à l'extension de tous les spoilers avant le rebond. Compte tenu de la logique de fonctionnement du système, cette extension s'est poursuivie pour les spoilers vol au cours du rebond, tandis que les spoilers sol se rétractaient. La vitesse faible associée au couple cabrer occasionné par la sortie des spoilers, a provoqué le dépassement de l'angle maximal d'assiette à l'atterrissage.

Les rebonds à l'atterrissage sont des événements rares sur les avions de transport. Ils ne font pas l'objet d'entraînement spécifique au simulateur et leur gestion repose essentiellement sur la formation de base. Le complément d'information émis par Boeing pour remédier au problème spécifique des contacts du fuselage avec la piste n'avait pas été relayé par l'exploitant aux équipages.



Model	Glide Path (deg)	Airplane Body Attitude (deg)	Main Gear (feet)	Pilot Eye Height (feet)	Threshold to Main Gear Touchdown Point - No Flare (feet)
737	2.5	2.9	33	49	753
- 800	3.0	2.4	33	48	627

Assiette de l'avion et hauteur des yeux du pilote au seuil
Source Boeing

Rebond à l'atterrissage suivi d'un contact du fuselage avec la piste - 2

Déroulement du vol

L'équipage d'un Airbus A321 effectue sa troisième et dernière étape courte de la journée. Le PF est en adaptation en ligne, commandant de bord en place gauche, l'instructeur PNF est en place droite. La journée a été difficile avec de nombreux problèmes aux escales⁽⁴⁾ et des vents très forts rencontrés sur toutes les étapes. Le décollage a lieu de nuit. La croisière débute

au FL270. A ce niveau souffle un fort vent arrière. Les conditions turbulentes conduisent l'équipage à annuler le service à bord et à demander une descente au FL230 pour poursuivre la croisière.

Approche

L'équipage prépare une approche ILS, débute la descente, puis vire vers le premier point

⁽⁴⁾ Notamment l'établissement manuel de tous les devis de masse et centrage avec plusieurs changements de dernière minute pour la dernière étape.

⁽⁵⁾ La carte d'approche aux instruments précise que l'IAF doit être survolé au maximum à 5 000 ft.

⁽⁶⁾ Masse maximum à l'atterrissement 73,5 t.

de l'approche. Pendant la descente, le vent effectif arrière passe de 40 kt au FL100 à 8 kt à 3 000 pieds. L'avion est maintenu au FL120 pendant une minute, à la demande du contrôle. Il survole l'IAF, situé à 23 milles marins de la piste au FL100 soit environ 3 000 pieds au-dessus du plan normal⁽⁵⁾. Sa vitesse est alors de 276 kt. L'équipage déconnecte alors le PA et conserve l'ATHR ; il commande la sortie du train d'atterrissage. Trois minutes plus tard, le plan est rejoint par le haut, en passant 3 000 ft à environ 200 kt. L'ATHR est désactivée. L'approche est stabilisée vers 1 000 pieds. Pour une masse estimée de 71 tonnes⁽⁶⁾, en configuration de becs et volets FULL, la vitesse d'approche en finale est de 140 kt (Vref 135 kt + 5 kt).

Atterrissage

L'atterrissement est effectué manuellement, sous la pluie. Entre 100 ft et 50 ft, alors que la vitesse verticale est inférieure à 1 000 ft/min, les pilotes ressentent un enfouissement de l'avion, et l'instructeur annonce « Attention au vario ». La loi d'arrondi s'active dans la seconde qui suit. La vitesse est en légère diminution. L'arrondi est débuté au passage des 30 ft.

L'action à cabrer initiale est normale et commence à s'atténuer quand le PF augmente légèrement la poussée. Il poursuit ensuite son action à cabrer avec une plus forte amplitude, ce qui augmente le taux de variation d'assiette. L'avion touche avec une assiette de 4,5° à une vitesse de 139 kt alors que les N1 sont en augmentation. L'extension des spoilers sol et vol débute.

Lors du contact avec la piste, le facteur de charge atteint presque 2 g. L'avion rebondit et la loi d'arrondi est progressivement remplacée par la loi sol. La vitesse diminue vers 134 kt. Avec environ une seconde de retard par rapport à la commande, la poussée augmente. L'angle d'assiette dépasse alors 6° et son taux de variation augmente de nouveau légèrement. Le PF rend la main jusqu'au neutre et le taux de variation de l'assiette diminue, puis il exerce une nouvelle action modérée à cabrer.

Il s'ensuit un second toucher, trois secondes après le premier, à Vref - 1 kt. A cet instant le déploiement des destructeurs de portance est complet. L'assiette atteint le maximum enregistré de 9,5°⁽⁷⁾. Cela correspond sans doute, compte tenu de la précision d'enregistrement, au moment où la queue de l'avion touche la piste, puisque l'angle permettant le toucher de queue est de 9,7° avec les amortisseurs compressés. Au cours de ce second toucher, légèrement moins dur que le premier, le pilote réduit la poussée et maintient son action à cabrer. Il commande les inverseurs de poussée alors que l'assiette commence à diminuer et avant que le train avant ne touche le sol.

La fin de l'atterrissement se déroule normalement. Au cours du roulage, le chef de cabine informe l'équipage de conduite que certains PNC ont eu

l'impression que l'arrière de l'avion avait heurté la piste. Au parking, l'instructeur constate que la partie inférieure du fuselage arrière est éraflée sur un mètre.

Renseignements complémentaires

« Mode d'Arrondi » (Flare Mode)

En loi normale, la commande de profondeur fonctionne en vol de telle sorte que lorsque le mini-manche est au neutre, le système maintient, via les calculateurs des commandes électriques de vol, un facteur de charge normal de 1 g.

Lorsque l'avion passe la radio-altitude de 50 ft, le mode d'arrondi remplace la loi normale. L'assiette de l'avion est mémorisée et devient la référence pour le contrôle du tangage. C'est-à-dire que cette assiette est conservée, manche au neutre, jusqu'à 30 ft.

Lorsque l'avion passe 30 ft, l'assiette de référence diminue pour atteindre 2° à piquer huit secondes plus tard. Cela signifie qu'il faut une action modérée à cabrer de la part du pilote pour effectuer l'arrondi.

Au sol, c'est la loi sol qui prend progressivement le relais et c'est une loi directe qui s'applique.

Fonctionnement des destructeurs de portance

Les destructeurs de portance sortent automatiquement à l'atterrissement quand les deux trains principaux sont compressés :

- s'ils ont été armés et si la position des manettes de poussée est inférieure à 15°,
- ou si au moins un inverseur de poussée est sélectionné, l'autre manette de poussée étant sur ralenti.

Les spoilers rentrent automatiquement quand au moins une manette de poussée est avancée entre 4° et 20° pendant au moins 3 secondes ou dès qu'elle atteint 20°.

La manette des spoilers reste fixe.

Il existe une fonction d'extension partielle des spoilers lorsque l'avion touche sur un seul train principal et qu'au moins un inverseur de poussée est sélectionné. Cela aide à poser le second train et à l'extension complète des spoilers.

Touchers de queue (Airbus FCOM Bulletin 22/3)

Un A321 touchera de la queue si l'assiette à l'atterrissement atteint 9,7° avec les amortisseurs complètement enfoncés. Il est également indiqué qu'il y a une décélération de huit nœuds durant l'arrondi et que si la vitesse d'approche diminue de cinq nœuds, l'assiette de l'avion au toucher des roues est augmentée de 1,3°.

La procédure préconisée pour éviter les grands angles d'assiette est que le PNF surveille l'attitude de l'avion sur le PFD et l'annonce lorsque l'assiette atteint ou dépasse 7,5°.

Airbus attire également l'attention sur le moment cabreur qu'engendre la sortie des spoilers sol.

⁽⁷⁾ Aucun des deux pilotes n'a eu l'impression d'une assiette exagérée.

Flight Operations Briefing Note « Bounce recovery – Rejected landing » (Airbus) : un rebond à l'atterrissement est généralement le résultat d'une ou de plusieurs des causes suivantes :

- Cisaillement de vent ;
- Activité thermique ;
- Taux de descente excessif ;
- Arrondi tardif ;
- Technique d'arrondi incorrecte ;
- Vitesse excessive ;
- Remise de puissance au toucher (pouvant empêcher la sortie des spoilers).

En cas de faible rebond, la procédure préconisée comprend le maintien d'une assiette « normale » pour l'atterrissement et le maintien des manettes sur idle. En cas de fort rebond, la procédure préconisée est d'effectuer une remise de gaz en maintenant une assiette normale. Il est cependant conseillé de ne pas refuser un éventuel second toucher. Le maintien d'une assiette raisonnable empêche l'endommagement de l'avion.

Dans cette note est également citée la note « Preventing tailstrike at landing » à paraître sur leur site.

Exploitation

Lorsque la vitesse verticale est supérieure à 1 000 ft/min en dessous du plancher de stabilisation, le PNF doit annoncer « VARIO ». Lorsque la vitesse est inférieure de 5 kt à la vitesse d'approche, l'annonce à utiliser est « vitesse ».

Le nombre d'étapes à réaliser sur A321 est un facteur à prendre en compte durant la phase d'adaptation en ligne. L'instructeur avait décidé de faire réaliser les étapes de la journée par le stagiaire commandant de bord en tant que PF. Comme celui-ci était issu d'un autre secteur, il y a eu cumul de l'apprentissage sur un nouvel avion et de l'apprentissage dans la fonction.

La répartition des tâches de l'exploitant prévoit que la décision de remise de gaz est du ressort du commandant de bord.

Enseignements

L'enfoncement de l'avion ressenti par l'équipage associé à l'annonce de l'instructeur PNF, « attention au vario », en courte finale ont conduit le PF à augmenter la poussée peu avant le toucher.

Le rebond est possiblement dû à une action légèrement tardive sur la commande de profondeur lors de l'arrondi effectué de nuit sous la pluie.

Au cours du rebond, bien que le pilote ait réduit l'action à cabrer, l'assiette a continué à augmenter du fait de l'effet conjugué du surcroît de poussée et de la sortie de tous les destructeurs de portance.

Le deuxième arrondi effectué à partir d'une assiette élevée a conduit au dépassement de l'assiette limite. Il n'y a eu qu'une seconde et demie entre le moment où l'avion a atteint l'assiette de 7,5° et le moment où il a atteint l'assiette limite. Il est peu probable qu'un équipage ait eu le temps de détecter, de faire l'annonce prévue et d'agir dans ce délai très court. L'annonce d'une vitesse faible peut néanmoins alerter sur ce type de risque.

Dans un rapport de l'AAIB⁽⁸⁾, il est noté qu'une telle annonce de la part du PNF (en particulier lorsqu'il est commandant de bord) est peu réaliste dans la phase d'arrondi étant donné que l'attention de ce dernier se focalise généralement à l'extérieur et que la marge d'assiette est faible. Airbus a introduit, pour les A340-500 et A340-600, une alarme sonore et une indication visuelle sur le PFD en cas d'assiette élevée et étudie l'extension de cette modification à tous les avions à commandes de vol électriques.

Les contraintes de formation ont amené l'instructeur à faire réaliser toutes les étapes au commandant de bord stagiaire pour familiarisation avec l'A321, ce qui peut avoir eu un effet sur la charge de travail et donc sur la fatigue. La composition particulière de l'équipage ne permet pas d'établir de façon claire dans ce cas, qui doit être à l'origine d'une remise de gaz. Puisque les deux membres d'équipage en ont la possibilité, chacun peut attendre que l'autre le fasse. En l'occurrence, le PF a songé à une remise de gaz au cours du rebond mais il n'a pas concrétisé cette idée.

⁽⁸⁾ Accident d'un A320, immatriculé C-GTDK à Bristol le 16 juin 2003.

Erreur d'insertion dans le FMS Heurt du fuselage à la rotation au décollage

Déroulement du vol

Préparation du vol dans les locaux de l'exploitant

Un A340-313 doit réaliser un vol long courrier dont la durée prévue est de 11 h 35 min. L'OPL, qui est PF, édite un carton de décollage pour

une masse de 270 tonnes (la masse prévue étant 268,6 tonnes, proche de la MTOW de 271 tonnes) en utilisant le système informatique d'interrogation/réponse de la base de données de limitations au décollage.

Il insère dans le masque de saisie les paramètres

de décollage prévus, dont la masse au décollage.

Le système fournit le carton de décollage informatique qui contient dans un encadré les paramètres de décollage (T° fictive, V1, VR, V2, N1 réduit et N1 maxi T/O). Le carton fait apparaître la MTOW au milieu des hypothèses de décollage. Des corrections de dernière minute (non reproduites sur l'illustration ci-contre) sont disponibles sur le carton mais ne permettent pas d'intégrer une modification de masse.

paramètres V1, VR, V2 et T° FLEX.

A son retour au poste, le CDB vérifie les paramètres insérés dans le FMGS en prenant comme référence le carton de décollage ATSU.

Son attention se porte vers la MTOW (271 tonnes qui est inscrite parmi les hypothèses de la demande) au lieu de la masse de calcul présentée comme « PLANNED WEIGHT » sur le carton. Elle est proche de celle du devis de masse et de celle calculée par le système avion. Il valide les paramètres.

Briefing

Lors du briefing avant le décollage, l'OPL lit : - sur le System Display (SD) la masse correcte de décollage calculée qui apparaît après la mise en route : 265 t, somme du ZFW inséré et du carburant jaugé par l'avion ;

- sur la page performance de décollage du FMGS, les vitesses de décollage insérées manuellement (V1, VR et V2), qui apparaissent à côté des autres vitesses caractéristiques calculées par l'avion (F, S et clean⁽¹¹⁾).

Le CDB, au moment de vérifier la masse de décollage sur le carton, lit de nouveau la MTOW. Puis il vérifie que les vitesses insérées dans le FMGS sont bien celles du carton de décollage; l'équipage ne détecte pas d'anomalie.

Décollage

L'accélération semble normale avec une légère sensation de lenteur ; la rotation est effectuée à VR qui apparaît sur les échelles de vitesse des PFD. Le PF ressent un comportement anormal de l'avion : une grande lourdeur nécessitant une action au manche supérieure à la normale. L'assiette oscille entre 10° et 12,5°. Ce n'est que plusieurs secondes après la fin de la rotation que l'avion décolle.

Dès l'envol le PF constate que VLS⁽¹²⁾ est supérieure à V2. La poussée TOGA n'est pas utilisée.

La vitesse verticale est faible pendant l'accélération⁽¹³⁾.

Les PNC à l'arrière de l'avion ont perçu au moment de la rotation un bruit sans choc et un raclement pour l'un d'entre eux. Les PNT en sont informés et supposent que le fuselage a pu toucher la piste lors de la rotation. Le CDB contacte la maintenance et le contrôle opérationnel et décide de faire demi-tour.

Remarque : il n'y avait pas de procédure d'urgence/secours associée à un toucher de fuselage au décollage ou en remise de gaz.

L'avion est dirigé vers une attente au FL 270 où une vidange carburant d'une heure est entreprise.

L'équipage qui poursuit son analyse constate l'erreur de masse sur le carton ATSU.

L'avion atterrit à une masse proche de la masse maximale à l'atterrissement après 1 h 54 min de vol. Les services de sécurité incendie alertés le suivent jusqu'à son arrivée au poste

WIND 00 DRY RWY	QNH 1020 AC ON APU	TEMP +21 A/I OFF	MTOW 271.00
PLANNED WEIGHT 270.0 T			ENG FAILURE PROCEDURE
REDUCED THRUST TEMP: +36 C	ZAC: 1900 FT		
V1 143			
VR 153			
V2 161			
N1 FLEX 96.1			
N1 TOGA 99.0			

Extrait du carton de décollage de la préparation du vol

⁽⁹⁾ATSU : Air Traffic Service Unit

⁽¹⁰⁾FMGS : Flight Management and Guidance System

Ce carton est vérifié par l'OPL de renfort.

Phase « départ » dans le poste de pilotage

Le CDB vérifie les paramètres du carton de décollage édité lors de la préparation du vol puis s'absente du poste de pilotage pour gérer la phase d'embarquement.

Une information que la masse au décollage sera diminuée de 5,2 tonnes par rapport à la charge prévisionnelle est transmise à l'OPL.

Il édite un nouveau carton de décollage (dit carton ATSU⁽⁹⁾) en utilisant l'interface FMGS⁽¹⁰⁾ qui permet l'interrogation à distance de la base de données.

Il insère par erreur une masse de 165 tonnes (proche du ZFW, 164,480 tonnes) dans la case « PLANNED TOW » de l'écran du FMGS.

Le ZFW a par ailleurs été inséré correctement dans la page INIT du FMGS et est conforme au devis de masse définitif.

Carton de décollage ATSU

Le carton ATSU est imprimé sur l'imprimante de bord et l'OPL insère dans le FMGS les nouveaux

MASSE EN COMPARTIMENTS	MASSE 10398
PAX/BAG CARTINE	17982
CHARGEMENT TOTAL	28320
MASSE DE BASE CORRIGEE	136160
MASSE REELLE SANS CARBU	164480
CARBURANT DECOLLAGE	100400
MASSE REELLE DECOLLAGE	264880
DELESTAGE	87400
MASSE REELLE ATTERRISS	177480
CENTRAGE ET REPARTITION PAX	
DA 22 / DB 21 / DC 83 / DO	
ATTRIBUTION DE SIEGES	
DENSITE CARB : 0,791	
DOI 42,8	
LITFW 39,5 MACZFW 28,2	
LITXW 40,4 MACTXW 27,2	

Extrait du devis de masse et centrage

⁽¹¹⁾F : flaps, S : slats et C : clean = green dot

⁽¹²⁾VLS : vitesse minimum

⁽¹³⁾1 000 pieds en 1 min 26 s.

FLAPS 2	WIND 00 DRY RWY	QNH 1020 AC ON APU	TEMP +23 A/I OFF	MTOW 271.00
REDUCED THRUST	PLANNED WEIGHT : 165.0 T			
*****	*****	*****	*****	ENG FAILURE PROCEDURE
* RED THRUST TEMP: 52 C (FIVE TWO)	*	*	*	* ZAC : 1900 FT
*	*	*	*	*
*	V1 129 (ONE TWO NINER)	*	*	*
*	VR 131 (ONE THREE ONE)	*	*	*
*	V2 137 (ONE THREE SEVEN)	*	*	*
*	N1 FLEX 89.80%	*	*	*
*	N1 TOGA 99.30%	*	*	*
*****	*****	*****	*****	*****

Extrait du carton de décollage ATSU

Phase	Procédures	Événement
Préparation du vol dans les locaux de l'exploitant	- Edition carton	- Edition carton
Préparation poste	- Insertion ZFW - Insertion vitesses	- Nouveau carton, établi en confondant ZFW/TOW- Insertion vitesses
Départ (pleins terminés)	- Carburant bloc inséré et vérifié, vérification TOW - Vérification des vitesses insérées basée sur le carton de décollage	- Le CDB vérifie la TOW en se basant sur la MTOW - Pas de détection de l'anomalie sur les vitesses (simple relecture du carton ATSU)
Avant décollage	- Vérification TOW - Vérification des vitesses	TOW FMGS = ZFW + carburant (sans erreur) - Vitesses conformes au carton de décollage ATSU

Tableau comparant les actions prévues et les actions effectuées selon les phases de la chronologie.

de stationnement. Des traces de frottement sans enfouissement visible de la structure sont constatées sur environ 1,2 m x 0,40 m.

La position du chargement et la conformité des masses sont vérifiées ; il n'y a pas d'anomalie. Il y a eu frottement du fuselage avec la piste sur environ 100 mètres lorsque l'assiette a dépassé 10,1° avec les amortisseurs comprimés.

Renseignements complémentaires

Programmation du FMGS

La consigne de l'exploitant sur ce type d'avion est de demander l'édition d'un nouveau carton de décollage pour une variation de masse dépassant 5 tonnes.

Les procédures prévoient que les paramètres de masse et de vitesse sont insérés dans le FMGS lors de la phase « départ » qui commence lorsque les pleins sont terminés :

- sur la page initialisation, est insérée la ZFW pré-calculée. La masse au bloc est calculée par le FMS après les pleins, avec le carburant bloc jaugé ou inséré.

- sur la page performances de décollage, les valeurs de vitesses caractéristiques calculées lors de la préparation du vol sont retranscrites. Ces paramètres sont éventuellement actualisés lors de la phase « avant mise en route » en fonction des changements de dernière minute. Le nouveau carton a été édité avant que les vitesses calculées lors de la préparation du vol n'aient été insérées, c'est-à-dire avant la fin des pleins, ce qui ne correspond pas à un changement de dernière minute. Comme les vitesses du carton édité lors de la préparation du vol n'avaient pas été saisies, il n'y a pas eu de comparaison entre les valeurs des deux cartons. Cela n'a pas facilité la prise de conscience d'un écart important lors de l'insertion.

L'exploitant ne prévoit pas l'insertion de la masse carburant prévue au bloc avant la fin des pleins. La masse au décollage n'apparaît

donc pas au FMS tant que le plein n'est pas terminé, ni sur le SD tant qu'un moteur n'est pas mis en route. Cela peut avoir une influence au moment de la saisie de la demande de carton de décollage via l'ATSU, car seule la ZFW est alors affichée.

Les trois membres de l'équipage de conduite avaient peu d'expérience sur ce type d'avion et étaient ainsi peu familiarisés avec les particularités de ce système FMGS. Ils avaient réalisé entre quinze et trente étapes chacun en tant que PF.

Présentation des documents

Devis de masse :

Les masses y sont retrancrites au kilogramme près alors que les masses sont introduites en tonnes et centaines de kilogrammes sur les écrans. Les libellés « masse réelle sans carburant » et « masse réelle au décollage » sont différents des libellés de masse sur les écrans de saisie (respectivement ZFW et PLANNED WEIGHT). L'écart entre la masse sans carburant et la masse au décollage est très proche de 100 tonnes (164 480/264 880) et peut générer une confusion de lecture des nombres.

Cartons de décollage :

Les différences de présentation entre les deux cartons peuvent avoir une influence sur la sélection des données. Sur celui édité à la préparation du vol, la masse de calcul et les paramètres de décollage sont en caractère gras et dans une police de taille supérieure, ce qui n'est pas le cas sur le carton ATSU.

Protection logicielle du système

Le système informatique n'a pas décelé d'anomalie. Il ne propose pas de vitesses de décollage à l'équipage et ne fait pas de corrélation entre la masse au décollage et les vitesses associées insérées manuellement ; il n'en fait pas non plus entre V2 et VLS. De plus, l'information VLS est inhibée au sol jusqu'à une seconde après le décollage, ce qui ne permet pas de vérification par l'équipage avant le décollage.

Des incidents de type « tailstrike », également liés à des erreurs d'insertion, sont survenus sur divers types d'avions⁽¹⁴⁾.

A la suite d'un incident sur l'un de ses avions, Boeing a publié des bulletins opérationnels techniques pour les exploitants utilisant des avions équipés de FMS. Les thèmes abordés sont l'insertion par inadvertance du ZFW sur la ligne masse totale ou de vitesses de référence au décollage erronées.

Ces bulletins proposent comme solution que les équipages insèrent le ZFW et permettent au FMS de calculer la masse au décollage en ajoutant le carburant mesuré par le système de jaugeage⁽¹⁵⁾.

Le NTSB a recommandé que les constructeurs de FMS modifient le logiciel de façon à ce

⁽¹⁴⁾ 12 mars 2003 : B747-400 à Auckland - 14 juin 2002 : A330 à Francfort - 11 novembre 1998 : MD11 à Portland.

⁽¹⁵⁾ Le FMS Boeing calcule automatiquement des vitesses au décollage (V1, Vr, V2) à partir des masses introduites. Ces vitesses sont proposées aux équipages qui les acceptent ou non en fonction des conditions du jour. Le FMS Airbus n'a pas cette fonctionnalité.

qu'une alarme apparaisse lorsqu'une vitesse potentiellement dangereuse est insérée et, plus généralement, de revoir la robustesse aux erreurs du système.

Enseignements

Les mécanismes de production de l'erreur d'insertion peuvent avoir plusieurs origines. La présentation des paramètres sur le devis de masse, associée aux valeurs particulières de ce vol, a pu conduire à des confusions de lecture entre la masse au décollage et la masse sans carburant. Ceci d'autant plus qu'il n'est pas habituel de saisir un autre paramètre que le ZFW dans l'interface FMS.

La différence entre les masques de saisie des paramètres et leur présentation dans le devis de masse est également de nature à générer des erreurs.

L'ensemble des vérifications ultérieures à l'erreur n'ont pas été efficaces pour empêcher sa propagation :

- la vérification « avant mise en route » des vitesses insérées est une simple relecture du carton de décollage et ne permet pas de détecter une anomalie.

- le briefing de décollage ne fait pas appel à une comparaison entre la masse au décollage et les vitesses caractéristiques.

- les systèmes avions n'assurent pas systématiquement de cohérence entre les paramètres saisis, ce qui souligne l'importance d'avoir des défenses multiples contre les erreurs d'insertion :

- il n'y a pas de filtre à l'insertion d'une erreur importante de masse dans la demande d'édition de carton ATSU ;

- il n'y a pas de filtre dans le FMGS à l'introduction d'une erreur importante de performances ou de vitesses.

Il peut cependant s'instaurer une fausse sensation de sécurité liée à l'impossibilité de rentrer certains paramètres erronés, dépassant les limites ou formatés incorrectement (par exemple dans le cas de l'introduction d'une vitesse de décollage erronée, un message d'erreur ne s'affichera que si la valeur introduite est inférieure à 100 kt).

Les protections interviennent principalement une fois en vol.

L'exploitant a introduit depuis des changements au niveau des procédures pour améliorer la détection d'erreurs :

- vérification à l'aide d'un tableau que V2

Commentaire : cet événement souligne que la propagation d'une erreur de saisie est difficile à arrêter au niveau individuel s'il n'existe pas de barrières efficaces. Avec des systèmes automatisés, la détection de l'erreur n'est pas non plus aisée, surtout si l'équipage a peu d'expérience sur le type d'avion et ainsi peu de références sur les ordres de grandeur.

calculée est supérieure à VMU à la masse avion compte tenu des conditions les plus pénalisantes ;

- inscription de la green dot sur les cartons ATSU ainsi que sur les cartons prévol imprimés ; comparaison avec la green dot calculée (Clean) par le FMS ;

- suppression de la valeur de la MTOW sur le carton décollage (elle est mentionnée sur le devis de masse) ;

- présentation des cartons de décollage favorisant la visualisation de la valeur de la masse de calcul ;

- inscription de la masse du devis de masse sur le carton de décollage, dans un encart à côté de la masse de calcul ;

- modification du manuel d'exploitation avec mention au briefing avant décollage de la disponibilité TOGA et des conditions de réajustement de poussée dans le cas de perception de performances insuffisantes. Les essais effectués au simulateur ont montré que le passage en TOGA lors du déjaugeage n'apporterait qu'un risque supplémentaire de cabrage, mais que le passage en TOGA dès la phase vol acquise permettrait d'améliorer les performances de montée.

D'autres axes d'amélioration sont à l'étude :

- étude de faisabilité d'un test de cohérence entre la masse utilisée pour la demande du carton de décollage et la masse probable ou réelle du système informatique de chargement ;

- réflexion sur la structure des briefings qui comprend une relecture par tous les membres d'équipage technique des éléments essentiels de calcul (notamment la masse réelle, la masse utilisée pour le calcul des performances, la masse de l'état de charge et la masse FMS) ;

- installation si possible de sabots électriques type A340-500/600 avec une alarme de toucher de fuselage au poste ;

- réflexion sur la nécessité de réactualisation du carton décollage pour une diminution de plus de 5 tonnes. Pour mémoire, dans cet événement, une variation de 5 tonnes entraînait une variation de vitesses d'environ 1 kt.

Par ailleurs, une procédure urgence/secours « tailstrike » a été introduite par Airbus demandant :

- de limiter la montée au FL100 ou à l'altitude minimale de sécurité avec une vitesse verticale inférieure ou égale à 500 ft/min ;

- de dépressuriser l'avion et d'atterrir sur l'aérodrome approprié le plus proche.