

Vibrations, rupture du compas du train principal droit lors du roulement à l'atterrissage

Aéronef	Avion Boeing B737-300 immatriculé G-CELD
Date et heure	23 juillet 2011 à 8 h 10 UTC ⁽¹⁾
Exploitant	Jet2.com
Lieu	Aérodrome Paris Charles de Gaulle (95)
Nature du vol	Transport public Service régulier international de passagers
Personnes à bord	Commandant de bord Copilote 3 PNC 128 passagers
Conséquences et dommages	Train droit endommagé

⁽¹⁾Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné (UTC). Il convient d'y ajouter 1 heure pour obtenir l'heure en France métropolitaine le jour de l'événement.

1 - DÉROULEMENT DU VOL

Les éléments suivants sont issus des données enregistrées et de témoignages.

Le samedi 23 juillet 2011 à 8 h 11, l'équipage se présente en approche stabilisée pour la piste 27R de l'aéroport de Paris Charles de Gaulle (95) en provenance de Leeds/Bradford (Grande Bretagne).

L'avion atterrit avec une vitesse sol de 129 kt. L'équipage indique qu'il ressent des vibrations violentes dès le toucher des roues, notamment dans les pédales de palonnier. Lors du roulement à l'atterrissage, le facteur de charge latéral enregistré oscille avec une amplitude grandissante atteignant 0,8 g à 90 kt (le facteur de charge latéral atteint alors la valeur absolue maximale de 0,41 g) puis diminuant vers 0,4 g à 80 kt. La trajectoire de l'avion commence à dévier légèrement sur la droite de l'axe central de la piste. Les oscillations cessent soudainement lorsque la vitesse atteint 75 kt. L'écart latéral de l'avion par rapport à l'axe central atteint ensuite un maximum d'environ 10 m à droite, puis l'avion regagne l'axe central.

L'avion quitte la piste via le taxiway Z3 et s'immobilise avant d'être tracté jusqu'au point de stationnement. Des dommages importants sont constatés sur le train d'atterrissage droit, en particulier au niveau du compas inférieur.

2 - RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

2.1 Principe de fonctionnement de l'amortisseur de shimmy

L'amortisseur de shimmy ou shimmy damper est un ensemble hydraulique installé sur chaque train principal. Il permet de limiter les vibrations engendrées par une vitesse de roulage forte associée à une sollicitation en freinage importante. Son corps principal est fixé sur la partie avant du demi-compas supérieur ou « *upper torsion link* ». La tige du vérin traverse les demi-compas supérieur et inférieur ou « *lower torsion link* » sur leur partie avant.

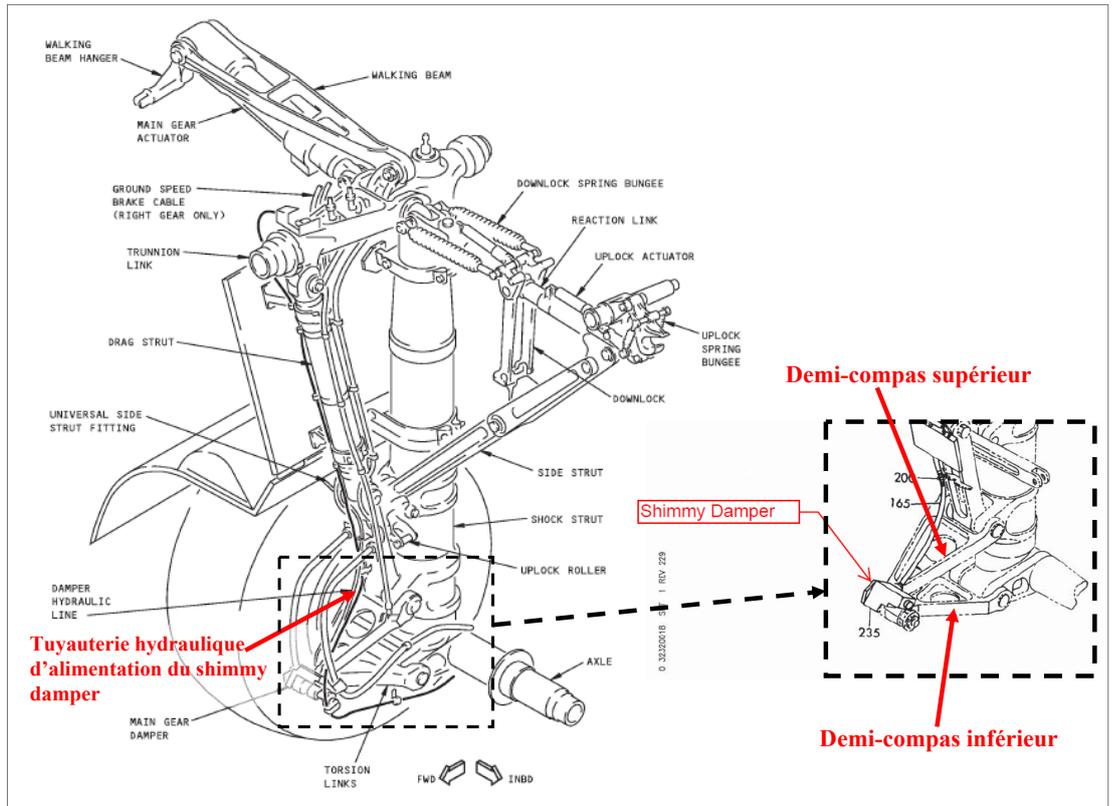


Figure 1 - Vue générale du train principal

Trois clapets anti-retour ou « *check valves* » permettent au liquide hydraulique de pénétrer dans le vérin. L'oscillation rotative entre les cylindres interne et externe de l'amortisseur du train principal « *shock strut* » de la figure 1 est absorbée par le piston du vérin ou « *actuator piston* ». Le déplacement du vérin agit comme amortisseur afin de contrer les vibrations. Le taux de déplacement est régulé au travers d'un orifice calibré d'amortissement ou « *damping orifice* ».

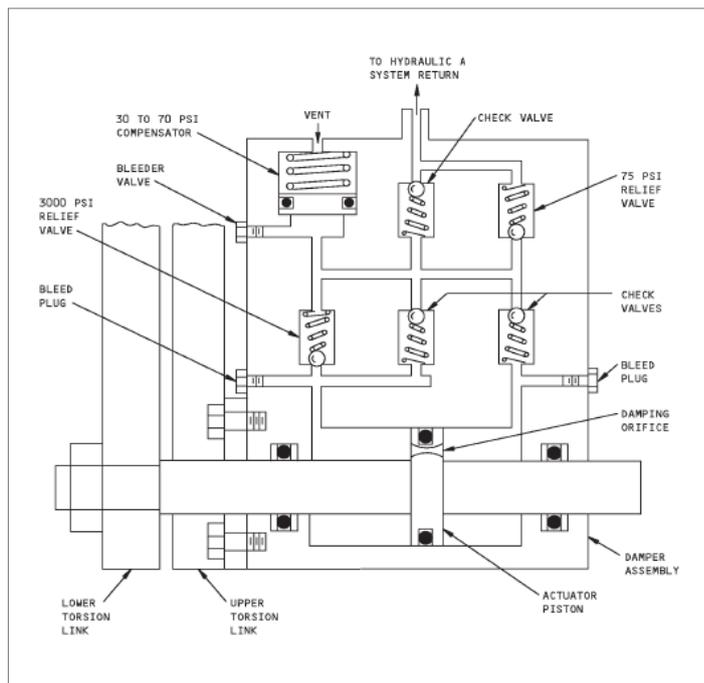


Figure 2 - Schéma de principe de l'amortisseur de shimmy

Une tuyauterie souple relie l'amortisseur de shimmy au té d'alimentation du circuit avion, situé dans la partie haute du train (voir figure ci-dessous).

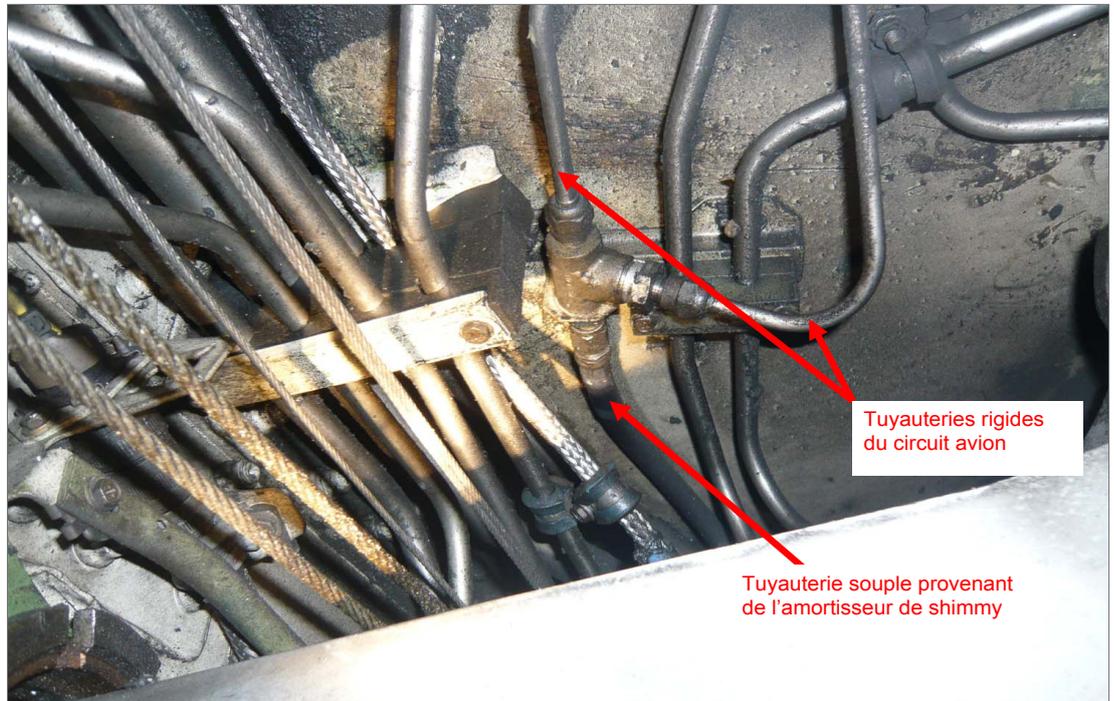


Figure 3 - Installation des tuyauteries en position normale

2.2 Etude de la défaillance du système anti-shimmy

Le vendredi 22 juillet 2011, l'avion a subi des opérations d'entretien qui incluaient le remplacement complet des trains d'atterrissage. Ces opérations ont eu lieu dans le centre de maintenance de Jet2.com sur l'aéroport de Leeds/Bradford. Lors du montage du nouveau train droit, la tuyauterie hydraulique de l'amortisseur de shimmy n'est pas reconnectée au réseau hydraulique de l'avion. Le lendemain, l'équipage décolle à destination de Paris Charles de Gaulle. C'est le premier vol après le changement des trains d'atterrissage.

Les examens menés après l'accident ont permis de mettre en évidence que l'embout fileté, permettant de recevoir la tuyauterie souple au niveau du té d'alimentation, était obturé par un bouchon métallique, similaire à celui de la figure 4 ci-dessous.

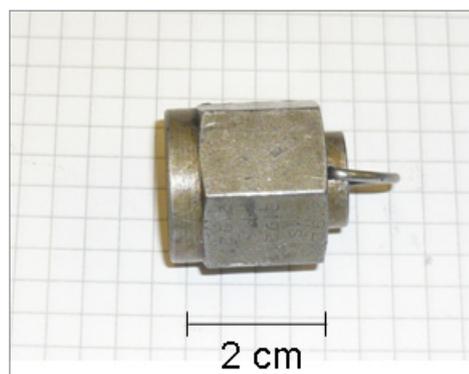


Figure 4 - Metal plug

Ce bouchon permet de maintenir la pression hydraulique du système avion, même si l'amortisseur de shimmy n'est pas connecté. Les tests de contrôle effectués à l'issue de l'opération de maintenance consistent à rentrer et sortir le train d'atterrissage une dizaine de fois, avec l'avion encore surélevé sur vérins. Ces tests ne sollicitent pas l'amortisseur de shimmy et n'ont pas permis de détecter l'anomalie.

L'amortisseur de shimmy n'était donc pas alimenté par le système hydraulique de l'avion. Il ne pouvait alors pas exercer sa fonction. A l'atterrissage, les vibrations engendrées par la vitesse importante des roues et le freinage n'ont pas pu être amorties. Les fortes vibrations ont fragilisé rapidement le compas inférieur jusqu'à sa rupture brutale.

2.3 Carte de travail

Les opérations d'installation du train principal droit sont exécutées chez Jet2.com en utilisant la carte de travail n° 32-011-00-02 intitulée « RIGHT MAIN LANDING GEAR », éditée par Boeing⁽²⁾. Cette carte s'applique aux B737, version 300, 400 et 500 et est basée sur l'AMM (Aircraft Maintenance Manual). Elle détaille le déroulement et le processus avec lesquels le personnel de maintenance effectue les tâches requises. Cette carte de travail est générée par le département « Planning » de Jet2.com et imprimée avant chaque opération.

Cette carte de travail contient la tâche n° 32-11-00-404-096 « Main Landing Gear Installation », qui elle-même comporte 42 sous-tâches. Chaque sous-tâche peut contenir jusqu'à une dizaine d'actions. La sous-tâche n° 32-11-00-034-169 correspond à la reconnexion des tuyauteries hydrauliques une fois le train fixé. Elle s'applique à toutes les tuyauteries situées dans la partie supérieure du train principal, dont celle de l'amortisseur de shimmy, mais sans le préciser spécifiquement:

SUBTASK 32-11-00-034-169

(18) Remove the plugs and the caps and connect the upper hydraulic lines.

Une tâche ou une sous-tâche est toujours exécutée par un mécanicien, et vérifiée par au moins un superviseur. Tous apposent leurs visas dans les cases correspondantes sur la carte de travail. Lorsqu'une tâche ou une sous-tâche est qualifiée de critique, soit par la réglementation, soit par décision de la compagnie, alors un deuxième superviseur vérifie aussi la tâche ou sous-tâche. Celle-ci est alors considérée comme « vérifiée indépendamment ». A la date du 22 juillet 2011, la sous-tâche n° 32-11-00-034-169 n'est pas une tâche à vérifier indépendamment chez Jet2.com : un seul superviseur a donc apposé son visa lors du changement de train.

Lorsque la carte de travail éditée par Boeing ne convient pas parfaitement à l'opérateur, celui-ci a la possibilité d'ajouter des notes techniques sur ses cartes de travail. Aucune note de ce type n'existait au sujet de la tâche n° 32-11-00-404-096 au 22 juillet 2011.

Les compagnies utilisant les cartes de travail Boeing ont la possibilité de faire part à ce dernier des clarifications ou des modifications lui semblant nécessaires. Boeing indique ne jamais avoir reçu de retour concernant la sous-tâche relative à la reconnexion de la tuyauterie de l'amortisseur de shimmy.

⁽²⁾Il existe aussi une carte de travail pour le changement du train principal gauche (n° 32-011-00-01).

2.4 Charge de travail et pression temporelle

Le 22 juillet 2011, les équipes de maintenance de Jet2.com étaient dimensionnées pour traiter 2 avions : le G-CELD ainsi qu'un autre avion soumis à des inspections planifiées. Lorsqu'un troisième avion est arrivé pour subir une réparation non planifiée sur son fuselage, la charge de travail a dépassé les capacités du personnel.

Ainsi, le superviseur s'est interrompu pour s'occuper d'une difficulté survenue sur un des deux autres avions. Les mécaniciens ont également été redirigés d'un avion vers un autre, sans que la coordination entre eux ne s'établisse conformément aux procédures en place. Ceci a engendré des erreurs et des approximations. En particulier la reconnexion de l'amortisseur de shimmy au circuit hydraulique du G-CELD a été omise, alors que les visas du mécanicien et du superviseur avaient été apposés en face de la tâche correspondante de la carte de travail.

Un rapport d'enquête interne de Jet2.com indique que le superviseur travaillant sur le G-CELD avait déjà accumulé un nombre excessif d'heures de travail, provoquant de la fatigue et influant sur ses performances. Une pression temporelle importante s'est installée, en essayant de traiter trois avions dans le même temps et en utilisant les mêmes ressources que celles nécessaires pour deux avions.

3 - ENSEIGNEMENTS ET CONCLUSION

3.1 Actions correctives de Jet2.com

Dans le cadre de la sécurité des vols et de l'assurance qualité, la compagnie Jet2.com a conduit une enquête interne à la suite de l'accident. Les mesures suivantes ont été recommandées pour améliorer la gestion de la charge de travail et s'assurer en particulier de la reconnexion des tuyauteries hydrauliques. Elles sont en vigueur depuis septembre 2011.

- Une nouvelle procédure technique a été publiée au sujet de la gestion et du contrôle des bouchons pour l'obturation des systèmes hydrauliques, mais aussi pneumatiques et gazeux. Elle prévoit notamment d'accrocher des étiquettes d'identification bien visibles sur les bouchons utilisés et d'inscrire sur un log chaque fois qu'un bouchon est placé sur une tuyauterie. Dès qu'un bouchon est retiré, une nouvelle entrée dans le log est à effectuer. A la fin de l'opération, la procédure demande de vérifier que le nombre de bouchons placés soit égal au nombre de bouchons retirés.
- Jet2.com a ajouté des items sur les cartes de travail de changement des trains d'atterrissage, qui demandent notamment à vérifier spécifiquement la connexion hydraulique de l'amortisseur de shimmy et à procéder à une vérification indépendante par un 2^{ème} superviseur.

- ❑ Un nouveau système d'emploi du temps a été implémenté afin de mieux gérer la fatigue. Ce système impose 4 jours travaillés, suivi de 4 jours de repos. Il limite également à 48 le nombre d'heures travaillées sur une période de 7 jours. Cette limite peut être portée à 60 heures en cas de contraintes de travail non prévues.
- ❑ La planification des tâches de maintenance a été réévaluée et ajustée afin de ne pas surcharger les ressources disponibles.
- ❑ Le retour d'expérience de cet événement a été intégré dans le programme de formation du personnel de maintenance.

3.2 Actions correctives de Boeing

Les opérations de maintenance consistant à remplacer les trains principaux sur B737, version 300, 400 et 500 sont décrites dans des cartes de travail se basant sur des informations provenant de la documentation de Boeing. En juillet 2011, au moment où le train d'atterrissage a été changé chez Jet2.com, cette documentation indiquait de reconnecter les tuyauteries hydrauliques d'une façon générale, mais ne mentionnait pas spécifiquement la tuyauterie de l'amortisseur de shimmy du train principal.

En novembre 2011, Boeing a publié des révisions temporaires à l'AMM des B737, version 300, 400 et 500 concernant la dépose/installation de l'amortisseur de shimmy⁽³⁾ et la dépose/installation du train d'atterrissage principal⁽⁴⁾. Elles requièrent dorénavant spécifiquement de reconnecter la tuyauterie hydraulique de l'amortisseur de shimmy, ainsi que de le purger. Il est prévu d'incorporer ces révisions temporaires dans la version de l'AMM du 25 mars 2012, ce qui mettra aussi à jour les cartes de travail associées.

3.3 Conclusion

L'accident est dû à l'omission, non détectée par le personnel de maintenance, de la reconnexion de la tuyauterie de l'amortisseur de shimmy du train principal droit au système hydraulique de l'avion. Les vibrations engendrées lors roulement à l'atterrissage n'ont pu être amorties et ont fragilisé le compas jusqu'à sa rupture brutale.

Les facteurs suivants ont contribué à l'accident :

- ❑ La planification inadaptée des ressources a provoqué un dépassement des capacités du personnel lors de l'apparition d'une surcharge de travail imprévue. Ceci a engendré une pression temporelle entraînant des oublis et des approximations dans l'exécution des cartes de travail.
- ❑ Le superviseur avait travaillé pendant un nombre d'heures excessif et sur une période prolongée, ce qui a diminué ses performances et son aptitude à effectuer efficacement ses contrôles.
- ❑ La carte de travail n° 32-011-00-02 de Boeing en vigueur en juillet 2011 ne mentionnait pas spécifiquement de reconnecter la tuyauterie de l'amortisseur de shimmy au circuit hydraulique de l'avion.

⁽³⁾Temporary Revision
n°32-1015¹

⁽⁴⁾Temporary
Revision n°32-1016