Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 113 (1987)
Heft: 20

Artikel: Fissures découvertes sur plusieurs DC-10: quel danger?
Autor: Weibel, Jean-Pierre
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-76436

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Fissures découvertes sur plusieurs DC-10 : quel danger ?

par Jean-Pierre Weibel, rédacteur en chef

Après l'accident d'un Boeing 747 japonais, auquel n'ont survécu que deux passagers, l'annonce, le printemps dernier, de la découverte de fissures sur l'empennage horizontal de plusieurs Douglas DC-10 de Swissair a retenu l'attention de la presse. S'achemine-t-on vers une suspension de service de ce type d'avion, comme après la catastrophe de Chicago, en 1979, cet avion est-il dangereux ou mal conçu ? Ne peut-on pas construire d'avions exempts de ce genre d'ennuis ? La lecture de nos quotidiens ne répond guère à ces questions, pourtant parfaitement justifiées. Essayons donc de faire le point sur ce problème.

Analyse structurale des avions

Le recours accru à l'ordinateur pour l'analyse de la structure des avions de ligne est illustré par l'évolution connue chez Douglas : pour le DC-8, mis en service au début des années soixante, les ingénieurs n'ont utilisé que les méthodes traditionnelles d'analyse des contraintes, alors que les méthodes faisant appel à l'informatique ont été appliquées pour la vérification de la structure du DC-9, apparu au milieu des années soixante. Le DC-10 a été le premier avion de Douglas entièrement calculé par éléments finis, ce qui a permis, selon les estimations des ingénieurs, un gain de poids de quelque 10% sur la structure, grâce à une fiabilité accrue de l'analyse conduisant à une meilleure utilisation des matériaux.

Il ne fait donc aucun doute que l'ordinateur, permettant une étroite interaction entre la conception et le calcul de la structure, a permis de réaliser des avions meilleurs sur le plan de la rentabilité – 77,1 kg économisés sur la structure représentent un passager supplémentaire, donc des revenus accrus durant toute la durée de vie de l'avion – sans sacrifices sur la marge de sécurité quant à la structure.

Fatigue des matériaux : une préoccupation constante

Il est relativement facile de démontrer que le facteur de sécurité statique de 1.5 demandé par les normes de construction (à l'exception de certains assemblages, par exemple) est atteint. Il y a toutefois lieu de tenir compte des charges répétées, qui conditionnent à la fois la durée de vie de l'avion et sa sécurité en service. Une analyse des contraintes très précise, telle qu'elle est possible par les éléments finis, permet évidemment de cerner de beaucoup plus près le comportement en fatigue d'une structure, mais il subsiste néanmoins plusieurs points faisant l'objet d'hypothèses de travail, plus ou moins bien documentées.

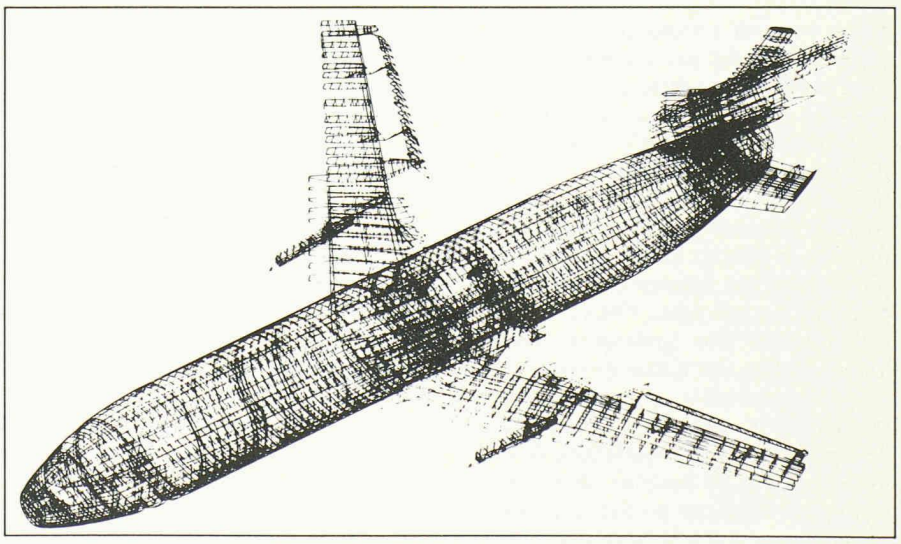
Elles portent sur la grandeur des charges et leur répartition tant spatiale que dans le temps. Pour en tenir compte dans l'estimation de la sécurité à la fatigue, il est nécessaire de systématiser dans une certaine mesure ces données essentiellement aléatoires. Le *spectre de charges*, spécifique à l'utilisation prévue de l'avion, codifie en quelque sorte toutes les charges qui vont agir sur lui au cours de ses vols. Alors que pour un chasseur, les évolutions ou charges de manœuvre vont jouer un rôle essentiel, c'est avant tout le cycle sol-air-sol qui importe pour l'avion de ligne, la turbulence venant s'y ajouter ; les manœuvres ont un poids moindre, le confort des passagers demandant d'en maintenir le niveau le plus bas possible.

La somme de ces incertitudes a d'abord été prise en compte par la conception « Fail Safe », qui admet que puissent survenir en service des dommages dus à la fatigue des matériaux, mais qui en délimite clairement les conséquences admissibles par deux moyens :

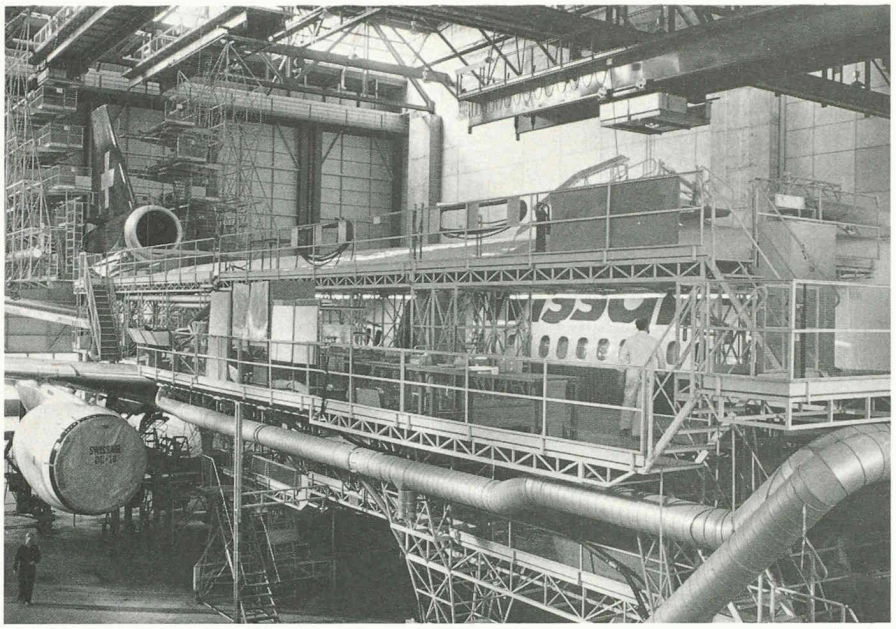
- restriction de l'étendue du dommage et
- garantie de sa découverte en temps utile.

Cette conception « Fail Safe » ayant déjà été exposée dans ces colonnes[1], nous n'y reviendrons pas en détail. Il faut relever que c'est précisément son application qui a permis de détecter sur les DC-10 de

[1] « Fatigue des structures métalliques et en béton », par Jean-Pierre Weibel, *Ingénieurs et architectes suisses* N° 6 du 18 mars 1982.



Le DC-10, premier Douglas entièrement calculé par éléments finis.



Par leurs seules dimensions, les gros porteurs modernes exigent, pour l'entretien et le contrôle, des équipements complexes et onéreux, tels que ce dock de maintenance permettant d'accéder à l'ensemble de la cellule.

Swissair l'apparition de fissures avant qu'elles ne constituent un danger.
La démonstration de la sécurité à la fatigue se fait en général par des essais sur une structure complète, à laquelle on applique – à un rythme accéléré – les charges que l'avion va rencontrer en vol. La valeur de la conception «Fail Safe» est vérifiée par l'observation de la propagation de dommages introduits artificiellement dans des zones critiques. Ces essais en vraie grandeur permettent en outre de détecter le lieu et le moment de l'apparition de fissures, donc d'établir des procédures d'inspection que l'on appliquera sur les avions en service. En effet, les fissures n'apparaissent pas forcément là où on les attend...

La tolérance aux dommages: complément à la conception «Fail-Safe»

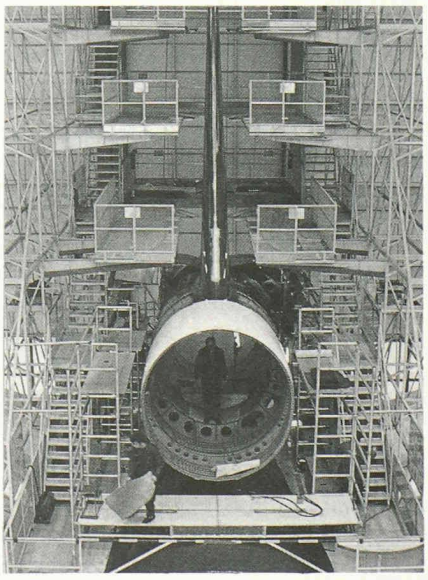
Quel que soit le génie du constructeur, une structure d'avion comporte des éléments vitaux auxquels le principe «Fail Safe» ne peut s'appliquer, les charges étant transmises par un seul élément, dont la défaillance serait catastrophique. Pensons par exemple à une jambe de train d'atterrissage ou à l'axe d'un rotor de turbine. Les progrès de la recherche dans le domaine de la mécanique de la rupture permettent de mieux comprendre et prévoir le phénomène de la propagation des fissures en fonction des contraintes appliquées. Ces connaissances trouvent leur application dans la détermination des éléments critiques et de leurs intervalles d'inspection. Il est dorénavant possible, moyennant de solides vérifications expérimentales, de fixer des séquences de contrôle, dont l'intervalle peut diminuer au fur et à mesure qu'augmente le temps de service de l'élément en question; la procédure d'inspection est complétée par des critères précis d'utilisation ou de rejet. L'économie y trouve son compte, puisque le rebut n'est pas systématique après une certaine durée de service, mais est prescrit en fonction des sollicitations et de l'état réel de l'élément concerné.
Cette conception «Damage Tolerance», ou tolérance aux dommages, implique pour le constructeur soit de prévoir une bonne accessibilité favorisant l'inspection des zones critiques, que cette inspection soit purement visuelle ou qu'elle recoure notamment aux rayons X, soit de choisir un mode de construction faisant obligatoirement apparaître les fissures dans les éléments visibles de l'extérieur.

Des fissures: et après?

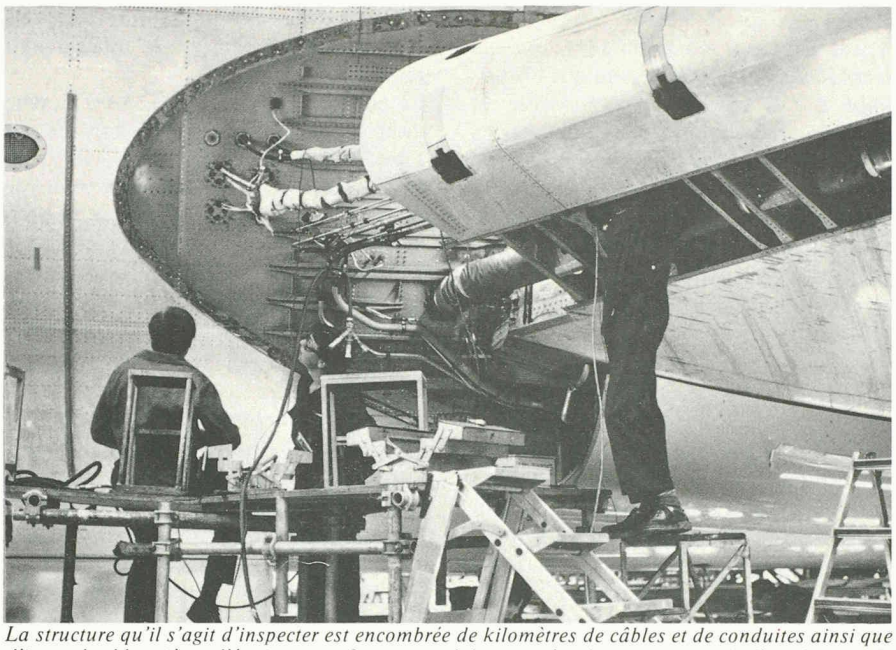
Les deux avions de Swissair sur lesquels ont été découvertes des fissures avaient plus de 50000 heures de vol, ce qui correspond à une dizaine d'années de service pour des avions long-courriers comme le DC-10. Ce n'est pas une surprise pour le constructeur, puisqu'il avait demandé aux exploitants d'inspecter l'empennage horizontal des avions de ce type ayant dépassé 40000 heures de vol ou 12000 atterrissages (on sait qu'un des facteurs critiques sur les Boeing 747 des lignes intérieures japonaises vient de ce que ces appareils long-courriers sont utilisés sur de courtes distances, d'où un plus grand nombre d'atterrissages par heure de vol que ne l'avait prévu le constructeur).
A fin mars, 127 appareils du type DC-10 avaient dépassé l'un ou l'autre de ces critères (sur une flotte mondiale de quelque 500 de ce modèle). Les inspections n'ont révélé que sept fissures.
Le simple fait qu'une procédure d'inspection précise soit prescrite et qu'elle ne touche qu'une partie bien définie de la flotte montre que le constructeur a déjà analysé en détail les points critiques de l'empennage; parallèlement à cette procédure, il a développé une solution de réparation, d'une part, et de renforcement, d'autre part. C'est dire qu'on ne se trouve pas dans une situation totalement inattendue, comme à Chicago. Dans ce dernier cas, on se trouvait confronté à un dommage entraînant la destruction de l'avion et dont on ne connaissait de surcroît pas l'origine, ce qui a entraîné le retrait du service de tous les DC-10 jusqu'à ce que le mystère soit élucidé avec un degré de probabilité acceptable. De fait, le constructeur n'était pas en cause: la rupture d'un boulon d'attache avant de réacteur était consécutive à une méthode défectueuse de montage après dépose du réacteur pour des travaux d'entretien, méthode développée par une compagnie aérienne américaine pour gagner du temps.
C'est dire que le passager qui monte actuellement dans un DC-10 ne court aucun danger supplémentaire: la sécurité structurelle de l'avion est parfaitement assurée.

Les consignes de navigabilité

Fondamentalement, l'exploitant de quelque avion que ce soit n'est pas abandonné à son sort en ce qui concerne sa sécurité. Les constructeurs des avions, des moteurs et des équipements de tout genre sont tenus au courant des pannes ou avaries survenant à leurs produits. Les exploitants sont en effet tenus de les annoncer sans délai aux autorités aéronautiques du pays où est immatriculé l'avion. Tout incident touchant à la sécurité est communiqué aux autorités du pays du constructeur ainsi qu'à ce dernier, invité à prendre des mesures – également préventives – pour y remédier. Si la sécurité est compromise, les autorités aéronautiques peuvent suspendre de vol le type concerné. En général, le construc-



Inspection de l'empennage d'un DC-10 dans les ateliers de Swissair.



La structure qu'il s'agit d'inspecter est encombrée de kilomètres de câbles et de conduites ainsi que d'innombrables pièces d'équipement, fixes ou mobiles ; ici, c'est la partie avant de l'emplanture de l'aile qui est soumise à inspection périodique.

Source des illustrations :
McDonnel-Douglas (1),
Swissair (3),
Jean-Pierre Weibel (1).

teur est amené à édicter des inspections ayant pour but de découvrir si d'autres appareils présentent le même défaut.
Les inspections prescrites par les constructeurs peuvent revêtir un caractère de recommandation ou impératif. Leur nécessité est communiquée aux exploitants dans la mesure où ils sont connus des constructeurs ou de leurs représentants locaux.
Au cas où les autorités aéronautiques jugent que l'application de mesures de contrôle, d'échange ou de réparation sont indispensables sous l'angle de la sécurité, elles émettent des *consignes de navigabilité.* Ces documents sont envoyés aux exploitants avec l'indication du degré d'urgence de leur application :

- avant le prochain vol, ou
- dans un délai précis, exprimé en heures de service.

Le fait de ne pas se conformer à ces consignes implique que l'avion n'est plus apte au vol jusqu'à ce qu'elles soient appliquées.
L'arrivée d'une consigne de navigabilité est un événement redouté par les propriétaires d'avion, car elle signifie inévitablement des frais : inspection, matériel et travail de montage ou démontage. La durée de vie moyenne d'un avion est bien supérieure à celle d'une voiture, par exemple. C'est dire que la garantie est souvent échue, de sorte qu'on ne peut guère espérer du constructeur qu'il participe à ces coûts, à moins qu'il ne s'agisse d'une erreur grave et manifeste de sa part. Il n'est pas rare qu'une consigne de navigabilité touche un type dont la fabrication est terminée depuis longtemps : on imagine le peu d'intérêt que le constructeur manifeste pour une participation financière, par exemple pour un avion de tourisme ayant quitté l'usine quinze ans auparavant ! Les compagnies aériennes sont logées à meilleure enseigne, car elles restent des clients potentiels qu'il s'agit de ménager... Mais par ailleurs, les conséquences de tout retrait du service, même très bref, se chiffrent en centaines de milliers de francs de manque à gagner : remettre l'avion en état de vol n'est pas une question de semaines, mais de jours voire d'heures !
Les grandes compagnies aériennes sont généralement bien préparées à affronter ce genre de problème. En effet, il ne s'agit pas seulement d'appliquer des consignes toutes faites, mais aussi d'en comprendre les raisons pour exercer le cas échéant une influence sur leur élaboration. J'ai pu constater que des ingénieurs de Swissair et de la Lufthansa étaient des participants assidus à des symposiums internationaux consacrés à la fatigue des structures d'avions : les connaissances qu'ils y acquéraient leur permettaient de dialoguer en partenaires avec les spécialistes des constructeurs et de développer eux-mêmes des solutions de réparation ou des procédures d'inspection.
Au fond, cette façon de suivre pendant de longues années – souvent à grands frais – l'état des avions est profondément honnête : il n'existe guère de produits « bons pour le service » sans restriction ni entretien. Si on vous les vend comme tels, c'est qu'on accepte d'un commun accord la possibilité d'une défaillance plus ou moins coûteuse (pas pour le fabricant !), moyennant l'économie d'une sollicitude constante. La sécurité prohibe ce pari. Dans l'automobile, l'industrie a commencé à le comprendre : la découverte de défauts mettant la sécurité en jeu (direction, freins, par exemple) conduit les constructeurs à rappeler les voitures en atelier pour vérification ou échange. Cette pratique est sans conteste inspirée par l'aéronautique.
Toutes ces considérations débouchent sur une conclusion banale, ô combien : la sécurité, en tant qu'élément de la qualité, a son prix, qu'on n'a pas entièrement acquitté lors de l'achat. Cette évidence a parfois été oubliée lors de la déréglementation de l'industrie des transports aériens aux Etats-Unis. L'épaisseur des sandwiches est peut-être un élément visible de l'appréciation de la qualité des services offerts par une compagnie aérienne ; il est tentant de répondre à la baisse des recettes, consécutive à une concurrence moins surveillée, par des économies derrière les coulisses.
Hypothèse malveillante ? Que non point : il y a quelques années, certaine compagnie américaine aux tarifs imbattables a vu son vol inaugural à destination de l'Europe retardé de plusieurs heures parce qu'elle ne disposait pas du personnel capable de remettre en place un toboggan de secours éjecté par erreur. Dans un autre ordre d'idées, l'Office fédéral de l'aviation civile a dû retirer l'autorisation de transporter des passagers à une compagnie étrangère incapable de produire un certificat d'assurance pour ses avions...

Prix des billets et sécurité

Qu'il ne soit pas possible à une compagnie aérienne d'offrir des billets d'avion à des prix de dumping sans conséquences économiques tombe sous le sens. Des rabais importants ne sauraient être conçus que comme un moyen d'utiliser des capacités sans cela inexploitées : la loi de l'offre et de la demande joue ici comme ailleurs. Cela signifie évidemment que de tels rabais ne portent pas sur les trajets et les horaires les plus fréquentés. Mais le report, sur le prix des billets, du rendement économique favorable d'une capacité entièrement utilisée a aussi ses limites. Une fois les possibilités de rationalisation des services exploitées, il reste à exploiter, à amortir et à entretenir les avions. Si des plateaux de repas peu appétissants, un personnel de cabine « mal ficelé » ou des retards d'une douzaine d'heures ne constituent que des désagréments, des avions mal entretenus ou des pilotes mal entraînés sont des facteurs de risque. Il est bon de le savoir lorsqu'on compare des tarifs apparemment disproportionnés.
Inversement, les compagnies présentant les statistiques de sécurité les plus favorables savent bien qu'elles ne sont pas à l'abri de tout risque ; c'est pourquoi elles consacrent des moyens importants à l'examen constant de tous les facteurs concernant la sécurité, active et passive. Les mesures et les procédures qui en résultent peuvent aller bien au-delà des exigences légales : la sécurité ne saurait en effet peser moins que des considérations économiques. *Jean-Pierre Weibel*