

La maîtrise du bruit cabine des avions Falcon *(The Mastery of Cabin Noise of Falcon Aircraft)*

Christian Petiau, Dominique Trentin, Muriel Pouzargue
Dassault Aviation, Saint Cloud, France.

ABSTRACT

We present the mainlines of the methodology developed to satisfy the very high level of the customer demand for cabin acoustic comfort, which has become a major design driver of our "Falcon" business jets.

Our works are directed along 3 axes:

. Identification of noise sources and paths, mainly with flight tests on aircraft, showing that the Turbulent Boundary Layer and the low frequency vibration lines of engines are the dominant sources of cabin noise

. Setting of means:

- human means, with a "transversal" organisation, co-ordinating teams of each discipline,*
- calculation tools and procedures, combining FEM / BEM , SEA and "MES", "half analytical" tools, all coupled to specific models of aeroacoustic sources,*
- ground and flight test means and procedures .*

. Reengineering of Acoustic Protections of Falcon aircraft, thanks to previous means, performed in 3 phases:

- general improvement of existing aircraft, and development of additional soundproofing kits,,*
- redesigning of all the aircraft internal arrangement for new projects (F 7X),*
- associated with the reengineering of the primary structure design for composite material fuselage.*

In conclusion:

- we propose R&D axes for Research people,*
- we show that a large part of knowledge, tools and technologies developed for the mastery of the Falcon cabin noise, can be directly applied to the resolution of many vibro-aero-acoustic problems of military aircraft .*

RESUME

Nous présentons les grandes lignes de la méthodologie développée pour répondre à l'exigence, particulièrement élevée, de nos clients pour le confort acoustique en cabine, ce dernier étant devenu un "design driver" majeur pour la conception de nos avions d'affaires "Falcon".

Nos travaux ont porté sur 3 axes :

. l'identification des sources et voies de passage du bruit, principalement sur la base d'essais en vol, ayant fait apparaître comme sources acoustiques dominantes la Couche Limite Turbulente et les raies de vibrations moteurs basses fréquences .

. la mise en place de "moyens" :

- humains, avec une organisation "transversale", coordonnant les équipes de chaque discipline,*

Communication présentée lors du Symposium RTO AVT sur "L'habitabilité des véhicules de combat et de transport : bruit, vibrations et mouvements" organisé à Prague, République Tchèque, du 4 au 7 octobre 2004, et publiée dans RTO-MP-AVT-110.

La maîtrise du bruit cabine des avions Falcon

- en outils et procédures de calcul, combinant des méthodes *Eléments Finis / Singularités*, *SEA* et *MES*, "semi analytiques" ("CASC" du CSTB), toutes couplées à une modélisation spécifique des sources aéroacoustiques,

- en moyen et procédures d'essais au sol et en vol.

. la reingénierie des *Protections Acoustiques* des avions Falcon, grâce aux moyens précédents, menée en 3 phases :

- amélioration générale des avions existants et développement de "kits" d'insonorisation additionnels,

- reconception de tout l'aménagement interne avion pour les nouveaux projets (F 7X),

- associée à celle de la structure primaire quand on envisage un fuselage en matériaux composites.

En conclusion:

- nous proposons des axes de R&D pour le monde de la Recherche,

- nous montrons qu'une bonne part des savoirs et technologies développés pour la maîtrise du bruit cabine s'appliquent directement à la solution des problèmes vibro-aéro-acoustiques des avions militaires.

1.0 INTRODUCTION

Pour les avions d'affaires de la gamme "Falcon", l'exigence croissante des clients en confort, et plus particulièrement en confort acoustique, a fait que la réduction des niveaux de bruit cabine est devenu un "design driver" majeur dans la conception de ce type d'avion ; sachant que les clients peuvent demander maintenant des niveaux de bruit cabine de moins de 52 dB "SIL" et de 68 dB "A", cela, évidemment sans pénalisation de masse significative.

Pour répondre efficacement à cette exigence d'amélioration du confort acoustique cabine, nous avons organisé depuis plus de 5 ans un ensemble de R&D entre nous et nos partenaires du monde de la Recherche, avec, pour parties, le soutien du Ministère Français des Transports (DPAC) et celui de la Commission Européenne (projets "ENABLE" et "FACE" du 5^{ème} PCRD).

Ces travaux se sont appuyés sur notre fond préexistant de savoir faire et de moyens de calcul en Vibration des Structures, Aéroélasticité et Aéroacoustique (voir références 1, 2 et 3); fond qu'ils ont eux même ensuite enrichi, donnant maintenant de nouvelles capacités, tant en analyses qu'en solutions technologiques, pour les problèmes d'Aéroacoustique des Avions Militaires .

Pour Dassault-Aviation l'ensemble de ces R&D est coordonné par un "Plan Acoustique" dont nous présentons ici les grandes lignes et certains résultats significatifs .

2.0 LES GRANDS AXES DE TRAVAIL ET LES RESULTATS ACTUELS

Les travaux sont menés sur 3 grands axes :

2.1 Identification précise des sources et voies de passage du bruit

C'est la première tâche qui a été abordée, dont les premiers résultats ont permis d'identifier précisément les problèmes à traiter, pour ensuite fixer rationnellement les priorités de notre "Plan Acoustique" .

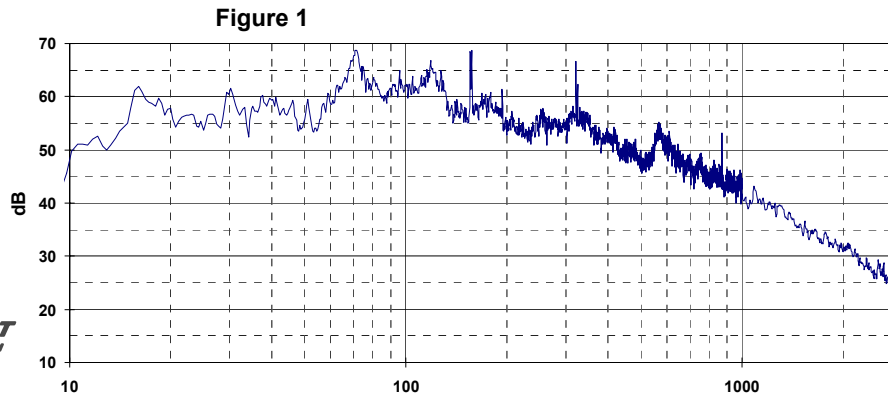
Cette identification s'appuie essentiellement sur des mesures en Essais en Vol, avec :

- des procédures d'essais en vol essayant de réaliser des séquences "On - Off", ou, au moins, des variations de niveau significatives, les plus indépendantes possibles, sur les principales sources de bruit potentielles (bruit aérodynamique, moteurs, conditionnement, etc.),

- des mesures :

- . de pressions acoustiques par microphones, à l'intérieur de la cabine (voir figure 1), et sur la paroi externe (voir figure 2),
- . de flux acoustiques rayonnés à l'intérieur de la cabine par les différentes zones des parois internes de la cabine (panneaux décors, hublots, cloisons AV et AR, planchers, ...), par sondes intensimétriques,
- . de mouvements des attaches moteurs et de points structuraux caractéristiques, par accéléromètres

Exemple de spectre de bruit cabine



- l'identification mathématique des puissances acoustiques entrantes par ces différentes zones de la paroi cabine, avec la séparation des parts provenant des différentes sources ; en combinant des méthodes plus ou moins sophistiquées selon les cas, allant :

- . de techniques de traitement du signal, utilisant les interspectres entre les mesures des capteurs supposées corrélées aux sources et celles des pressions en cabine,
- . à des méthodes d'identification mathématique des paramètres des modèles présentés § 2.2 ; cela, en particulier, pour séparer, dans le flux acoustique rayonné par les parois mesuré par sonde intensimétrique :
 - la part de flux "entrant", provenant des sources extérieures, qu'on recherche,
 - de la part de bruit réfléchi par la paroi ;

on met là en œuvre une approche générale similaire à celle décrite dans la référence 4, mais adaptée aux modèles d'analyse "MES" des champs acoustiques cabine mentionnés § 2.2.2 .

Figure 2
Mesure en vol des interspectres des pressions pariétales extérieures (projet Européen "ENABLE")



La maîtrise du bruit cabine des avions Falcon

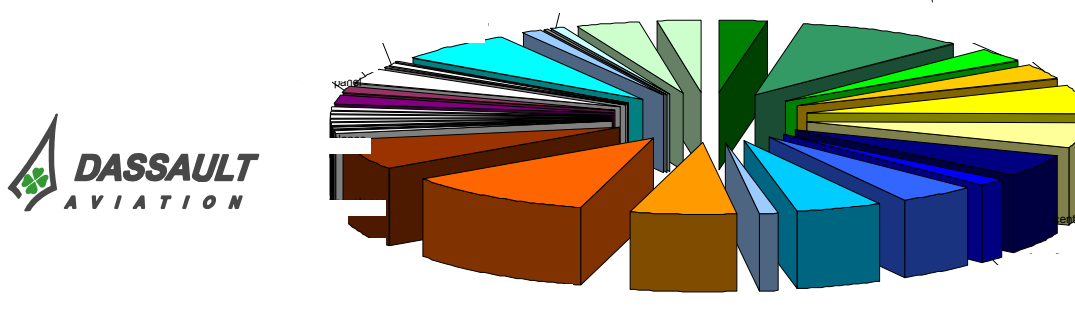
Ce processus conduit à l'obtention des puissances acoustiques entrantes :

- . par les différentes zones de la paroi cabine,
- . pour chaque type de source,
- . pour chaque bande de fréquence ;

Nous montrons figure 3 un des types de visualisation de cette répartition, qui est exploité ensuite pour déterminer où porter les efforts d'amélioration des protections acoustiques .

Figure 3

*Exemple de résultats de l'identification des "puissances entrantes "
à partir des mesures en vol
Répartition de l'énergie provenant de chaque zone de paroi cabine pour l'octave 4 kHz*



Dès les premiers résultats il est ressorti 2 contributeurs principaux au bruit cabine en croisière pour nos avions Falcon :

- la Couche Limite Turbulente ,
- les vibrations "synchrones " basses fréquences du moteur (fréquences N1 du fan et N2 du corps HP, et quelques unes de leurs harmoniques) .

Il est remarquable que, pour ce type d'avion à moteur arrière, les sources acoustiques à transmission "aériennes" du moteur (fan, jet, ...) ne s'entendent pas en cabine au Mach de croisière .

A noter aussi que les bruits du système de conditionnement n'apparaissent pas car ils ont déjà été traités "à la source" pour ne pas émerger du bruit aérodynamique.

La dominance de la Couche Limite Turbulente dans les sources du bruit cabine nous a demandé une identification spatio-fréquentielle fine des champs de pression pariétale, sachant que la transmissibilité acoustique de la paroi cabine est sensible aux longueurs de corrélation dans ce champs (à même fréquence, ces longueurs de corrélation sont très différentes entre le bruit de CLT et le classique "bruit acoustique diffus") ; ce qui nous a conduit, dans le cadre du projet de recherche Européen "ENABLE", à la calibration des modèles d'interspectres des pressions pariétales en fonction des caractéristiques de la Couche Limite (voir figure 2 et référence 5).

2.2 Mise en place de moyens

2.2.1 - Des moyens humains

Pour préserver à la fois :

- une bonne intégration de la conception de la fonction protection acoustique dans un dessin "multifonctionnel" de la cellule et de l'aménagement cabine,

- les synergies entre les méthodes d'analyse acoustique et celles des disciplines aéronautiques classiques, en particulier d'analyses des vibrations structurales et d'aérodynamique,

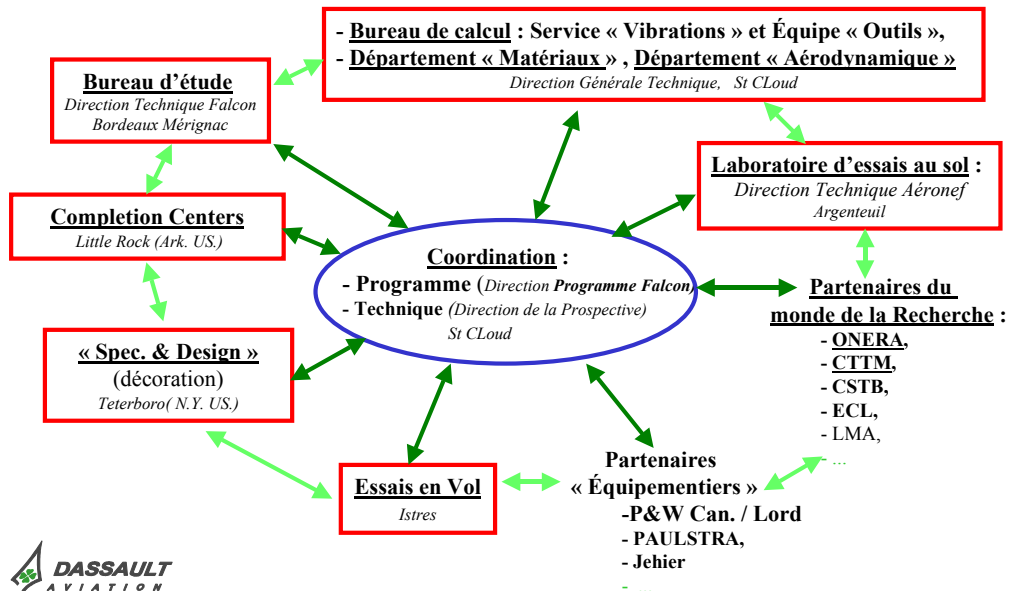
ces moyens humains sont déployés dans une organisation "transversale", coordonnant les équipes d'acteurs des différents métiers aéronautique classiques (bureaux d'étude cellule et de "design" cabine, "completion centers", bureau de calcul, essais en laboratoire et en vol, ...), au lieu d'isoler les spécialistes d'acoustique dans une équipe spécifique comme c'est le cas dans beaucoup de compagnies aéronautiques ou automobiles .

Noter que cette organisation, schématisée figure 4, doit coordonner les travaux :

- d'équipes Dassault réparties sur une demi douzaine de sites en France et en Amérique,
- des partenaires équipementiers fournisseurs des divers composants des protections acoustique,
- des Centres de Recherches qui nous soutiennent .

Figure 4

Des "hommes", dans une organisation "transversale" des différentes disciplines



2.2.2 - des outils et procédures de calcul

Pour supporter l'opération visée de reconception des Protections Acoustiques de nos avions Falcon, les coûts et les délais d'une approche seulement expérimentale seraient prohibitifs .

Le support calcul est indispensable pour :

- comprendre les mécanismes physiques à la base de la transmission vibro-acoustique et du fonctionnement des divers composants des protections acoustiques,
- orienter qualitativement les choix des solutions de protections acoustiques,
- dimensionner quantitativement leurs dessins, après validation et calibration des procédures de calcul par confrontation aux résultats expérimentaux,
- transposer les résultats des essais de transmissibilité menés au sol, aux conditions de vol (non exactement simulables au sol, voir plus loin).

La maîtrise du bruit cabine des avions Falcon

Outils mis en œuvre :

- Méthodes Éléments Finis

On s'appuie là sur notre outil maison "ELFINI" (voir références 1, 2 et 3), en particulier sur de nouveaux développements de sa branche d'analyses "aéro-vibro-acoustique" ; les principales caractéristiques de cet outil sont :

- des analyses "domaines fréquence", avec :

. la capacité de résolution des équations d'équilibre dynamique à chaque fréquence :

$$[Kd(\omega)] X = F(\omega)$$

sans réduction en base modale, cette réduction étant sans intérêt quand le nombre de modes est très élevé, et délicate avec le matériaux visco et poro élastiques dont la rhéologie est établie directement en fréquence (sachant qu'on garde la capacité d'analyse "modale" pour la compréhension de certains problèmes),

. la capacité de calculer les fonctions de transferts $[T(\omega)]$ entre les pressions ou les forces d'excitation p , et les réponses en pression cabine ou accélération structurales r , soit :

$$[T(\omega)] = [\partial/\partial X] [Kd(\omega)]^{-1} [\partial F/\partial p] \quad \text{avec} \quad [\partial X/\partial p] = [Kd(\omega)]^{-1} [\partial F/\partial p]$$

et, de là, les autospectres réponses : $rr^* = [T(\omega)] [p.p^*] [T(\omega)]^*$, en fonction de l'interspectre des excitations $[p.p^*]$.

. des problèmes traitables allant jusqu'à l'ordre de quelques millions de degrés de liberté, et de plusieurs dizaines de milliers de composantes d'excitations p (voir figure 6), grâce à l'utilisation de "solveurs" de systèmes d'équation linéaires "creux" et d'algorithmes particulièrement performants,

- une bibliothèque d'éléments finis adaptée :

. "élastiques" classiques,

. "viscoélastiques" pour la représentation des élastomères (incompressibles),

. "poroélastiques", pour la représentation des matelas fibreux et des mousses (formulation "u-p", avec à chaque nœud 3d.d.l. de translation du squelette solide et 1 d.d.l. de pression pour l'air),

. "acoustiques" (EF "Helmoltz" pour l'air des cavités, avec 1d.d.l. de pression par nœud),

incluant aussi les opérateurs de couplage entre ces différents types d'éléments pour des maillages de structure fuselage et d'air cabine pas nécessairement compatibles,

- le couplage à un modèle de rayonnement acoustique par singularité ("BEM"),

- le couplage "aéroélastique", éventuel, aux écoulements externes ou internes ("BEM" ou "Euler linéarisé")

- l'écriture des équations des vibrations linéarisées élastiques au voisinage de l'équilibre statique non linéaire "Grands Déplacements", qui est indispensable pour représenter les changements de rigidité, par endroit importants, dus aux effets de membrane induits par la pressurisation cabine.

- excitations par les matrices interspectrales des pressions ou des forces d'excitation discrétisées $[p.p^*]$, dont les modèles peuvent provenir soit :

. de modèles théoriques recalés sur des essais (c.f. : modèles de Couche Limite Turbulente identifiés avec le programme de recherche Européen "ENABLE" déjà mentionné),

. directement de mesures expérimentales en soufflerie ou en vol.

L'outil Eléments Finis est utilisé aussi bien pour :

- des calculs "locaux", en moyennes et hautes fréquences (500 - 5000 Hz), dont les résultats vont fournir des entrées pour un modèle de calcul "énergétique" ("SEA" ou "MES", voir plus loin) de l'ensemble de la cabine, voir figure 7,

- des calculs plus "globaux", en basse fréquence (moins de 500 Hz), avec des modélisations de grosses parties, voir (en préparation actuellement) de l'ensemble de la structure fuselage couplée aux différentes cavités acoustiques (cabine, toilettes, soutes, ...) voir figures 5 et 6 ; ces calculs sont actuellement couplés à ceux des moteurs par une technique de "super-élément dynamique" .

Figure 5

*Exemple de modèle vibro-acoustique
"avion complet"
(valable seulement en très basse fréquence,*

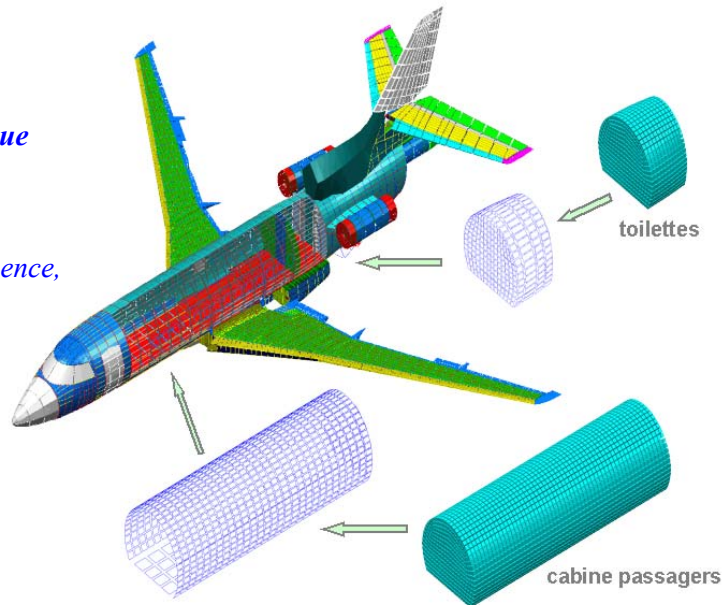
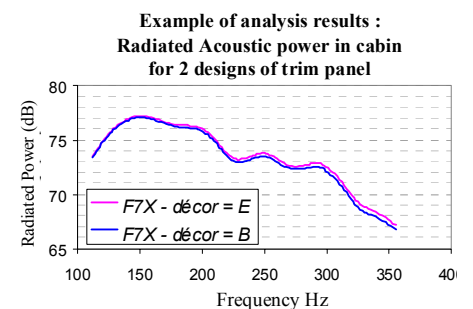
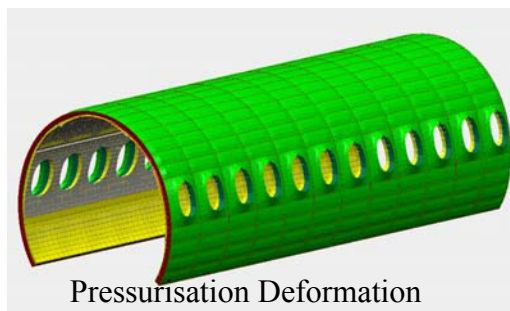
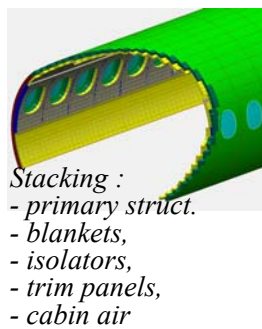
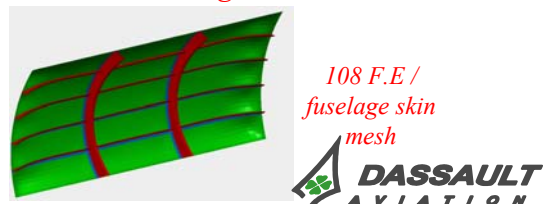
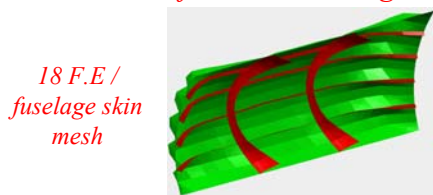


Figure 6

*Exemple de modèle vibro-acoustique pour le calcul du bruit de Couche Limite
(valable jusqu'à 500 Hz),*



FE mesh fineness convergence validated via "local" convergence studies



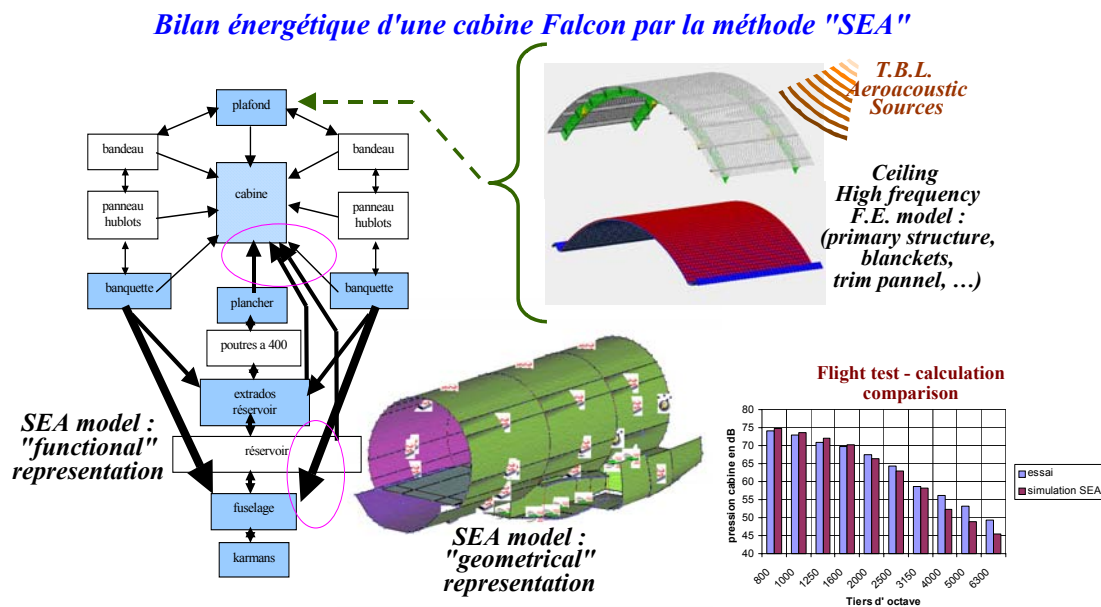
La maîtrise du bruit cabine des avions Falcon

- Méthodes "Énergétiques" :

Nous les utilisons pour les calculs "globaux" en moyennes et hautes fréquences, avec principalement 2 approches :

- La méthode "SEA" (Statistical Energy Analysis), avec le logiciel commercial "AutoSEA 2", que nous utilisons d'une façon assez particulière en remplaçant la plupart de ses calculs analytiques de coefficients de transmission ou de couplage entre élément SEA par des résultats d'analyses "locales" découplées, menées soit par calculs Eléments Finis soit expérimentalement, pour ne garder que le calcul de l'équilibre énergétique par bande de fréquence entre les Eléments "SEA" ; ce processus est illustré sur la figure 7 ci dessous :

Figure 7



- la méthode "MES" (Méthode Énergétique Simplifiée), développée par l'Ecole Centrale de Lyon, voir référence 6, dont la partie "acoustique" est opérationnelle ; par rapport à la méthode SEA, elle a l'intérêt considérable de fournir les variations des champs de puissance acoustique à l'intérieur du volume cabine, à partir de la donnée des champs pariétaux de puissances entrantes et des coefficients d'absorptions pariétaux ; elle est utilisable aussi en calcul "inverse" à partir des mesures en vol pour l'identification des flux acoustiques "entrants" (voir § 2.2.1) .

- Méthode "Semi Analytique"

Pour l'analyse et l'optimisation rapide des empilements multicouches "poro" et "visco" élastiques, avec le code "CASC" (Calcul Acoustique de Structures en Couches par décomposition en ondes) du CSTB .

2.2.3 - Des Moyens et des Procédures d'Essais

- Essais sur éprouvette au sol

A deux niveaux :

- Essais d'éprouvettes "élémentaires" en laboratoire, pour la mesure des caractéristiques rhéologiques et d'absorption pariétale des matériaux de protection visco et poro élastiques, pratiqués pour partie dans notre laboratoire Dassault, et pour les mesures les plus complexes sous traités à l'Université du Mans (ex. : mesure des paramètres du modèle de Biot des matériaux poroélastiques) .

- Essais de transmissibilité de gros ensembles de parois fuselage (structure primaire / matelas d'isolation thermo-acoustique / panneau décord / ...), mesurée entre 2 chambres acoustiques (chambre réverbérante – chambre anéchoïde), en utilisant soit les installations du laboratoire de Dassault soit celles du Mans (CTTM) .

A signaler que nous implantons actuellement chez Dassault une installation de mesure de transmissibilité acoustique pour grandes éprouvettes (~ 2 m x 1.5 m) capable de fonctionner dans nos conditions de température de vol à -35°C .

- Essais sur avion

- au sol : mesures de fonctions de transfert vibro-acoustique, principalement par "tap tests", utilisées pour des validations / calibrations partielles des modèles numériques précédents,
- en vol : avec les mesures précitées de pressions acoustiques en cabine, accélérations structure, "flux rentrant", séparation des sources indépendantes, fonctions de transferts, etc. .

2.2.4 Critères "psycho-acoustiques"

Au départ on a utilisé les critères classiques de "dB SIL" (Speech Interference Level") dimensionnant les protections acoustiques en moyenne et haute fréquences (octaves 1000, 2000 et 4000hz) et de "dB A" pour les plus basses fréquences, que nous avons enrichi pour contrôler les bruits de raies moteurs . Ces travaux ont été initiés par une coopération avec le CNRS-LMA de Marseille .

2.2.5 remarque importante : complémentarité calculs - essais

Noter que l' "analyse" des solutions de protection acoustique passe par l'utilisation combinée des calculs et des essais ; en particulier du fait de la non représentation dans les essais partiels en chambre acoustique des effets :

- de bruit de couche limite turbulente (on ne réalise en chambre qu'un bruit "diffus" très différent en longueur de corrélation),
- de membrane dus à la pressurisation,
- des températures en vol sur la rigidité des composants viscoélastiques (avant l'utilisation de nos chambres "froides mentionnées précédemment) ,

obligeant à une transposition par calcul des résultats d'essais aux conditions de vol ;

et de façon générale l'ensemble des procédures de calcul est systématiquement à recalculer, en tout ou partie, sur les essais disponibles.

2.3 La reingénierie des Protections Acoustiques des avions Falcon

C'est un travail considérable, basé sur :

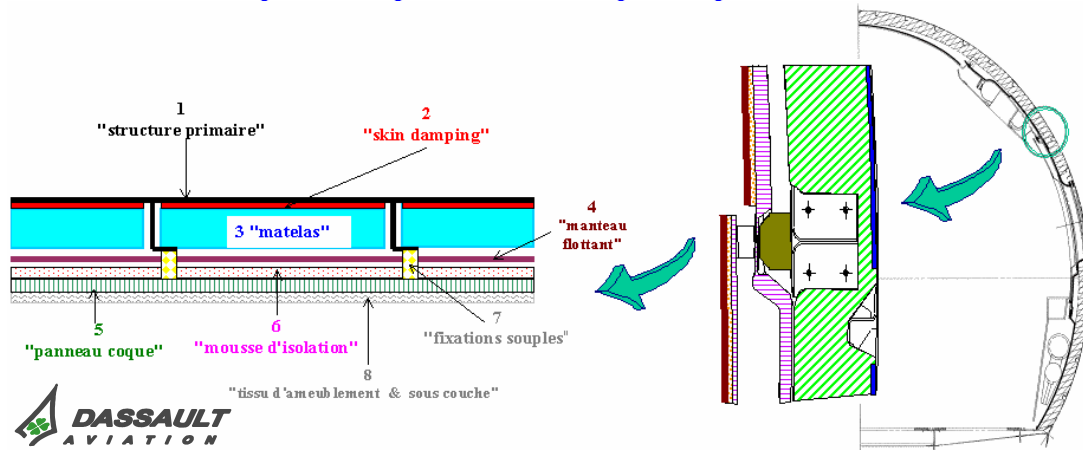
- la recherche des modifications envisageables des dessins des protections acoustiques ,de l'aménagement de la cabine, de la structure, et de leurs combinaisons possibles,
- le calcul de l'influence de ces modifications sur le bruit cabine, par rapport aux avions identifiés en vol,
- ces modifications sont, autant que possible, testées en essais chambre,
- leurs modèles de calculs sont là calibrés et validés (partiellement),
- avant transposition, par calcul, des résultats à la situation du vol

La maîtrise du bruit cabine des avions Falcon

Nous montrons, sur la figure 8 ci dessous, un exemple des composants de la paroi cabine en "zone courante" sur lequel ce processus a été appliqué.

Figure 8

Composants de protection acoustique en "paroi courante"

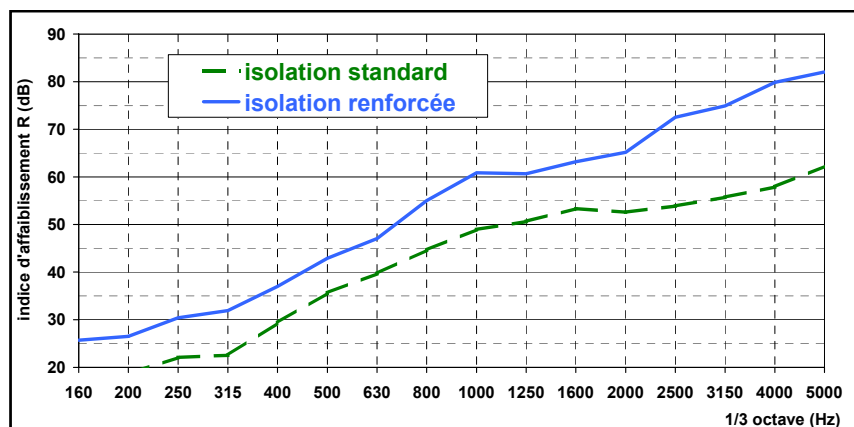


Cette reconception est menée en 3 phases :

- amélioration, déjà obtenue, des avions existants (Falcon 900, 900-EX, 2000, 2000-EX), avec :
 - . la mise au point et livraison de "kits" d'insonorisation additionnels, répondant aux exigences particulières de certains clients (gain ~ 8 à 10 dB SIL, voir figure 9),
 - . les modifications, industriellement "simples" et sans pénalité significative de masse, de tous les avions "de base" (gain ~ 4 à 5dB SIL),

Figure 9

Kit d'isolation acoustique renforcée des avions Falcon, gains par fréquence mesurés en vol



- réingénierie de tout l'aménagement interne avion, hors structure primaire, pour les nouveaux projets, en commençant par notre Falcon 7X ; l'objectif, que nous sommes en bonne voie d'atteindre, est de retrouver les performances des "kits" d'insonorisation additionnels précédents, mais sans masse ajoutée significative ; cet objectif est atteint par la combinaison :

- . de dispositions innovantes combinant l'emploi de matériaux poroélastiques et viscoélastiques,

. d'amélioration, de la fonction insonorisation des composants à fonctions multiples du système de protection thermo-acoustique et du "mobilier" cabine,

. et surtout, grâce aux moyens d'analyse, qui donnent la compréhension intime du fonctionnement, et, de là, permettent l'optimisation systématique, locale et globale, du dessin et du dimensionnement du Système de Protection Acoustique .

- en plus, réingénierie de la structure primaire, voir du dessin général de l'avion, pour les projets plus lointains ; un des 1ers objectifs est la conception des systèmes de protection acoustique efficaces adaptés aux structures primaires en matériaux composites (problème traité dans le cadre du projet Européen "FACE") .

3 – CONCLUSIONS : AXES DE R&D ET APPLICATIONS AUX AVIONS MILITAIRES

Même si nous disposons déjà d'un 1er niveau de moyens et de solutions technologiques pour commencer à "faire face", nous souhaitons initier ou poursuivre des R&D en coopération avec le monde de la Recherche .

Exemples d'axes possibles :

- "solveurs" Éléments Finis pour les problèmes au delà du 1 000 000 de ddl (méthodes "fréquentielles" ou "temporelles", schémas hybrides explicites-implicites, ...),
- compréhension, modélisation, des sources moteurs, "linéaires" et "non linéaires", et de leur propagation, et, de là, savoir mener une optimisation "concourante" des dessins moteur, suspensions, mats réacteur, avion,
- modélisation vibratoire pertinente de tous les équipements et aménagements, dont les comportements dynamiques, voir les définitions précises, sont souvent mal connus ; sachant que cette "matière floue" (dont la masse peut être supérieure à celle de la structure primaire) a ses modes de suspension , voir ses modes internes, largement dans la bande 0-500 Hz où nous entendons mener un calcul vibratoire "global" par Éléments Finis,
- optimisation de la fonction d'insonorisation des composants à fonctions multiples (acoustiques, structurales, thermiques, ...), par exemple la quête d'un nid d'abeille "amortissant" et résistant au cisaillement !
- pour les matériaux poroélastiques établir les relations entre les paramètres modèle de Biot et les caractéristiques physiques définissables au fabricant,
- critères psychoacoustiques,
- systèmes "actifs" (quand nous verrons s'esquisser des solutions efficaces et compétitives),

Noter aussi que nous pouvons louer nos chambres d'essais de transmissibilité à des partenaires intéressés par la représentation des basses températures .

Nous rappelons aussi que, à la fois avec les outils d'analyse et avec les solutions technologiques développées, les recherches menées pour la maîtrise du bruit cabine des avions Falcon ont des retombées directes pour les avions militaires ; ce sont en particulier :

- les problèmes d'excitation des structures par les écoulements turbulents et, par là, de fatigue acoustique,
- les problèmes de réponse vibratoire des structures et des équipements en moyenne et haute fréquences .

La maîtrise du bruit cabine des avions Falcon

Ils sont à traiter par les mêmes types de modélisations ; et ils posent des problématiques similaires :

- de résolution Eléments Finis fréquentielle avec des modèles de la classe du million de degré de liberté,
- de modélisation des champs de pressions des sources d'excitations aéroacoustiques,

Une bonne partie, aussi, des principes des solutions palliatives pour le bruit cabine, peut aussi être réutilisée, en particulier les dispositifs amortissant les modes résonnants à base de matériaux viscoélastiques .

Références

- [1] C. Petiau, S. Brun - *"Tendances Actuelles de l'Analyse Aéroélastique des Avions Militaires"*, AGARD conf. proceedings No 403 - Athens 1986, (republié dans *"l'Aéronautique et l'Astronautique"* No 122 1987 - 1)
- [2] C. Petiau, A. Paret - *"Dimensionnement et Qualification Aéroacoustique des Tuiles Hermes"*, AGARD conf. proceeding No 549 - Lillehammer 1994
- [3] C. Petiau, E. Garrigues - *"Progresses in Aeroelasticity & Structural Dynamics during the last decade at Dassault-Aviation"*, IFASD 2003 forum proceedings – NLR - Amsterdam 2003
- [4] C. Petiau, Ph. Nicot - *"A General Method for Mathematical Model Identification in Aeroelasticity"*, IFASD 1993 forum proceedings - Royal Aeronautical Society - Manchester 1993
- [5] P. Hardy, L. Jézéquel, M.N. Ichchou - *"Absorption coefficient and energy flow path identification by means of inverse local energy method "*, 144th meeting of the Acoustical Society of America, First Pan-Anamerican / Iberian Meeting on Acoustics, Cancun, Mexico, 2-6 December 2002.
- [6] EU Research Programme - FP5 Contract No. G4RD-CT-2000-00223 - *"Environmental Noise Associated with Turbulent Boundary Layer"* - Final Technical Report By Dassault-Aviation (co-ordinator), Ecole Centrale de Lyon, Alenia, University of Naples DPA, EADS, Dornier, IST, QinetiQ, ISVR, INASCO, CIRA, Trinity College Dublin, ONERA, FFA, KTH - May, 2003

Detailed Analysis or Short Description of the AVT-110 contributions and Question/Reply

The Questions/Answers listed in the next paragraphs (table) are limited to the written discussion forms received by the Technical Evaluator. The answers were normally given by the first mentioned author-speaker.

P18 C. Petiau, D. Trentin, M. Pouzargue ‘La maîtrise du bruit Cabine des avions Falcon – The Noise Mastery of Falcon Aircraft’, (Dassault Aviation, FR)

This paper clearly illustrates the interaction between Human Factors, Technical and Environmental Engineering techniques aiming , in this case, the re-engineering of the Falcon business jets. The author described the methodology followed to reach those objectives: first, the identification of noise sources and paths, mainly with flight tests on aircraft, showing that the Turbulent Boundary Layer and the low frequency vibration lines of engines are the dominant sources of cabin noise, with an average noise SPL of about 60 dB over 1000 Hz. Then the comprehensive coordination of the Human means (engineers , technicians, managers...) over the Dassault teams focusing as well on acoustical as on structural engineering tools (the aero-vibro-acoustic ELFINI software, the commercial AutoSEa 2 as energetic method for higher frequencies, etc.) , mathematical models leading to a significant reduction of trial costs. Finally the introduction of re-engineered parts or kits of the aircraft. M.Petiau concludes his presentation by offering R&D axes but also existing performant tools that could solve similar problems when military aircrafts/vehicles have to be redesigned or developed.

Discussor’s name: B. Masure

Q. Vous avez présenté, pratiquement uniquement, les exigences des clients pour la réduction du bruit interne des avions civils. Existe-t-il des exigences de même nature pour le bruit externe?

R. Oui, de la part des autorités (règlement OACI, règles spécifiques de certains Aéroports, avec micro d’enregistrement et amendes à la clef). Nous avons un plan d’action spécifique pour la réduction de ce bruit externe. (Qui implique une prise en compte dès le début de la conception d’un avion).

La maîtrise du bruit cabine des avions Falcon

