

Comportement dynamique d'un UCAV soumis à un environnement aéroacoustique sévère

FLORIE VIDAL DE SAINT JEAN^a, MURIEL POUZARGUE^b

^a DASSAULT AVIATION, DGT/DTAS/ASP, Saint-Cloud, Cedex France
florie.vidal-de-saint-jean@dassault-aviation.com

^b DASSAULT AVIATION, DGT/DTAS/ASP, Saint-Cloud, Cedex France
muriel.pouzargue@dassault-aviation.com

Résumé: Cet article présente les derniers travaux réalisés par Dassault Aviation dans le domaine des charges et des vibrations aéroacoustiques, liées à la pression engendrée par l'ouverture, en vol, d'une soute à armement.

En effet, dans le cadre du programme de drone nEUROn, Dassault Aviation établit les charges aéroacoustiques s'exerçant sur la structure de la soute à armement et analyse ainsi leur effet en termes de fatigue acoustique et de vibrations d'équipements. Etant données la bande de fréquences étudiée et la complexité des charges aéroacoustiques, de nouvelles méthodologies et de nouveaux outils ont été développés pour prédire le comportement dynamique de la structure, dans le domaine des basses et moyennes fréquences.

Ces méthodes, leur application novatrice chez Dassault Aviation pour ce qui concerne la prédiction de l'environnement vibratoire dans le cadre du nEUROn, ainsi que les tendances d'améliorations ultérieures issues de cette application, font l'objet de cet article.

1 INTRODUCTION

La conception d'un drone de combat furtif tel que le nEUROn, nécessite d'intégrer les armements au sein d'une soute interne. Au début de la phase de tir, cette soute s'ouvre, engendrant une excitation aéroacoustique complexe. Cet environnement spécifique et « nouveau » est susceptible de générer des contraintes acoustiques et un environnement vibratoire sévères.

La problématique de la sécurité des vols, également très spécifique sur un avion non piloté, a conduit à développer des moyens de simulation et des modèles permettant la prédiction de ces environnements.

Le document débute par la présentation des spécificités de l'environnement aéroacoustique.

Dans un second temps, sont présentés les méthodologies et outils d'aéroélasticité adaptés pour représenter le comportement dynamique de la structure soumise à un tel environnement.

Le travail de prédiction des contraintes acoustiques et de l'environnement vibratoire, réalisé sur le nEUROn, est ensuite développé.

Les perspectives et améliorations sont finalement envisagées dans le dernier paragraphe.

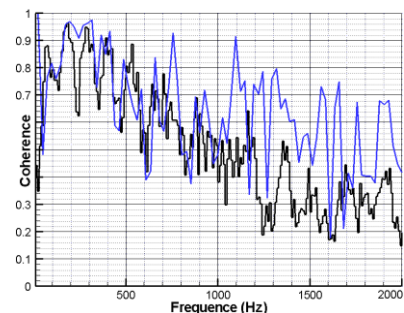
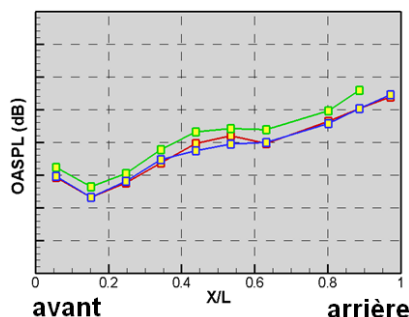
2 ENVIRONNEMENT AEROACOUSTIQUE

Par nature, la soute à armement présente un rapport longueur sur profondeur élevé (>7). Cette géométrie est propice au développement d'un couplage entre la couche limite turbulente et la cavité, générateur d'excitation aéroacoustique de niveau élevé. Ainsi, le niveau d'OASPL peut dépasser significativement les 140 dB: soit plusieurs dizaines de dB au dessus de celui des soutes de trains par exemple.

Cette excitation présente les caractéristiques suivantes :

- Une excitation croissant vers l'arrière de la soute (zone d'impact potentiel de la couche limite) [Fig 1] ;
- Les autospectres ont un contenu fréquentiel [Fig 2] décroissant à partir de 200 Hz, et présentant des modes de cavité, « modes de Rossiter », pouvant dépasser de 20 db le niveau moyen ; ces modes acoustiques sont susceptibles d'un couplage avec des modes énergétiques de la structure ;
- Les interspectres entre les différents points de la cavité [Fig 3]:
 - ont une longueur de corrélation décroissant avec la fréquence, de façon typique des couches limites turbulentes ;
 - sont de type modal aux fréquences de Rossiter.

Les modèles et bases de données, mis en œuvre sur le programme nEUROn, sont issus de calculs CFD couplés à des modélisations analytiques simplifiées, et recalés sur des essais de soufflerie. L'établissement de ce type de base aéroacoustique est détaillé dans les références [5] et [6].



Figures 1, 2, 3: exemples d'OASPL, d'autospectre et d'interspectre, échelle 1:4

3 REPONSE DE LA STRUCTURE- METHODOLOGIE DE CALCUL

La méthodologie consiste à coupler une représentation dynamique de la structure avec l'excitation acoustique dans le but d'extraire une réponse de type probabiliste (type DSP ou RMS) pour les valeurs de contraintes dans la structure ou d'accélération en pied d'équipements.

Le principe du calcul de la réponse structurale est basé sur des méthodes et outils utilisés dans le domaine de l'aéroélasticité linéaire et de vibration des structures (Ref [1] et [2]); ces dernières ont simplement été adaptées aux spécificités de l'excitation et du domaine fréquentiel concerné.

Les principales étapes, [Fig 4], sont les suivantes :

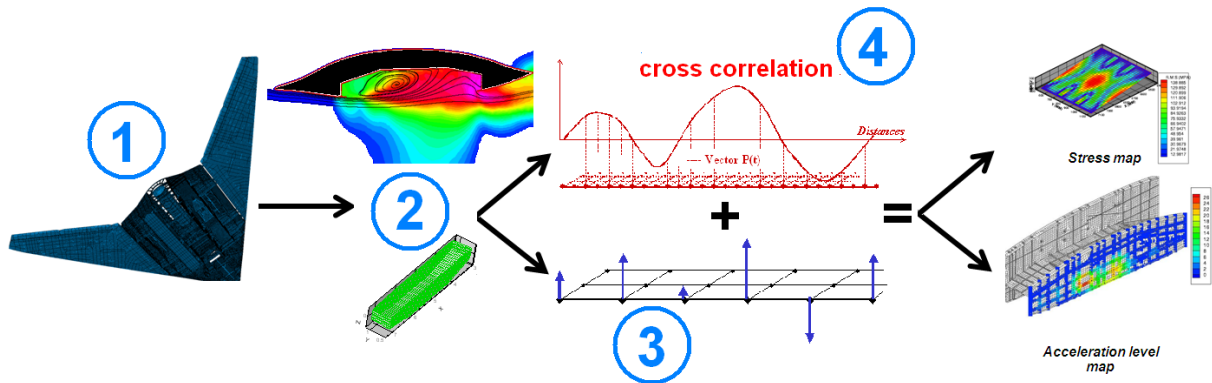


Figure 4: schématisation des étapes de calcul

1. **Elaboration du modèle élément fini (MEF)** adapté au domaine fréquentiel considéré : de l'ordre de 1 million de degrés de liberté.
2. **Elaboration de l'excitation aéroacoustique.** Celle-ci est décrite sur une grille de chargement composée de facettes de pression uniforme. Sa finesse dépend en général des longueurs de corrélation de l'excitation.
 A chaque facette, correspond un spectre de pressions ainsi qu'une description de sa corrélation avec toutes les autres facettes du modèle; ces grandeurs dépendant de la fréquence. On décrit ainsi, pour chaque fréquence, une matrice inter-spectrale dont la dimension correspond au carré du nombre de facette : soit une dimension de l'ordre de 10^6 à 10^8 .
3. **Réponse unitaire de la structure.** Les réponses fréquentielles de la structure au chargement unitaire de chacune des facettes de la grille aéroacoustique sont calculées. Le calcul est réalisé en base modale. Les suivis linéaires (contraintes ou accélérations) sont calculés à partir de ces réponses unitaires indépendantes.
4. **Corrélation des suivis.** A partir des matrices interspectrales de l'excitation, les valeurs unitaires probabilistes des suivis sont recombinaées. Cette phase de calcul est coûteuse, au vu de la taille des matrices. Elle est cependant proportionnelle au nombre de suivi.

Pour répondre à cette méthodologie, les outils ont été développés/adaptés en interne Dassault dans le code ELFINI (Ref [3]). Du fait des tailles de calcul, des solveurs particulièrement adaptés à ce type de résolution ont été employés.

Enfin, la méthode et les outils de calcul ainsi que la précision des bases de données aérodynamiques ont pu être évaluées, dans le cadre de projets européens et d'études gouvernementales qui confrontaient simulations, essais en soufflerie et essais en vol pour des structures soumises à des excitations aéroacoustiques complexes de type turbulentes (Ref [4], Ref [5]). Cette précision, bonne vis à vis de l'énergie globale (OASPL), se détériore sur le niveau atteint aux alentours des modes de Rossiter. Il apparaît aussi que les variations d'inter-spectre de l'excitation dans les hautes et moyennes fréquences sont difficiles à prédire. Or tant les modes de Rossiter que les interspectres ont un rôle prépondérant dans la réponse de la structure.

Cependant, ces études ont aussi montré que moyennant une bonne connaissance de l'excitation, les accélérations structurales et les grandeurs acoustiques dans les soutes adjacentes sont correctement estimées.

4 APPLICATION AU PROJET D'UCAV« NEURON »

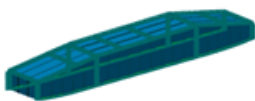
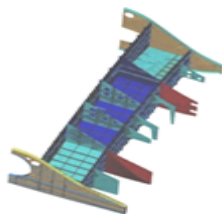
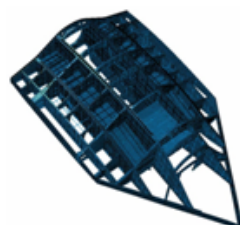
Modèle dynamique EF de la structure

Le modèle doit être représentatif dans le domaine de fréquence où l'excitation fournit une énergie significative, soit jusqu'à plusieurs centaines de Hz ; il doit également permettre de représenter correctement le comportement global de la structure sans dépendance aux conditions limites.

Les équipements sont représentés simplement en masse sauf pour les plus gros dont les rigidités d'ancrage sont modélisées (moteur, tains, accrochage bombe).

L'amortissement structural est issu de bases de données expérimentales.

Des modèles successifs, adaptés aux différentes phases du projet et donc de plus en plus complets, ont été élaborés.

				
Objet	Etude amont	Faisabilité	Charges L1	Charges L2
Date	06/2006	04/2007	03/2008	01/2011
Nb ddl	100 000	200 000	600 000	1 000 000
CPU time	1J	4J	15J	20J

Le modèle « charge L1 » est le modèle utilisé pour spécifier, en phase de dimensionnement, les niveaux de contraintes et de vibrations. Le modèle « charge L2 », en cours de dépouillement, permet de contrôler la non régression des spécifications aux évolutions du dessin en cours de dimensionnement.

Travaux et résultats en fatigue acoustique

En phase d'étude de faisabilité, l'impact de la fatigue acoustique sur l'architecture et la masse, a été évalué en comparant l'endommagement résultant de la contrainte RMS, aux valeurs admissibles issues des ESDU. L'hypothèse a été faite que cette contrainte RMS est générée par un mode unique de fréquence élevée.

En phase de dimensionnement des « charges acoustiques » ont été livrées aux coopérants sous forme de cartographie de champ RMS des contraintes dans la structure courante [Fig 5].

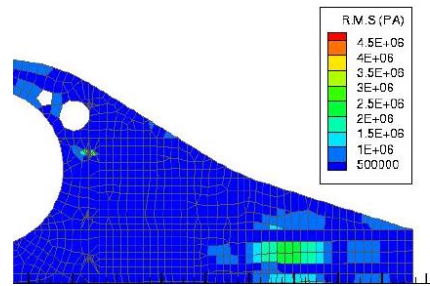


Figure 5: exemple de cartographie de champ RMS

Pour les zones sévèrement chargées, une analyse complémentaire plus détaillée, du ou des modes de vibrations impliqués est possible. La fréquence de cycle du critère peut alors être précisée et ajustée à celle des modes excités. Elle permet surtout de connaître le mode d'endommagement prépondérant et de recalculer ainsi la valeur de la contrainte principale qui provoquera l'apparition d'une crique de fatigue [Fig 6].

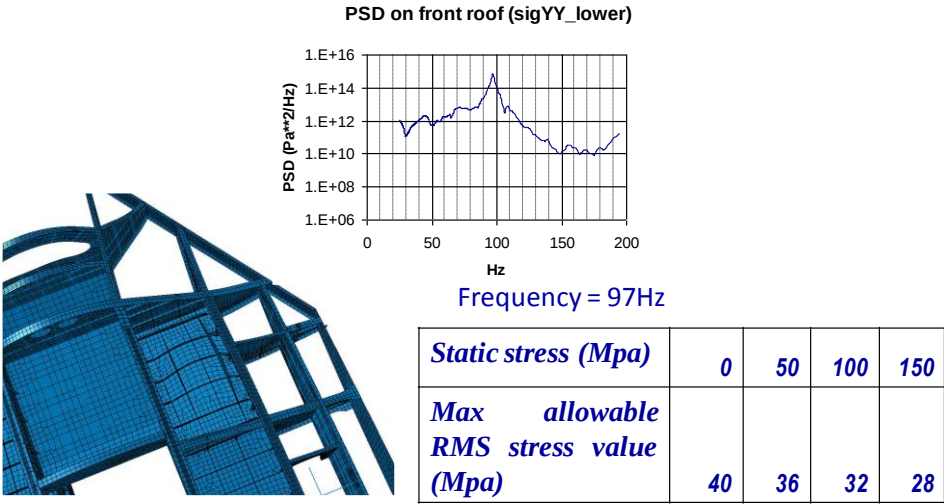


Figure 6: exemple d'analyse détaillée

Travaux et résultats relatifs à l'ambiance vibratoire des équipements

Les niveaux de vibrations initialement calculés, en phase de développement, ont été jugés trop importants et ont conduit à une adaptation du raidissage de la soute, en particulier pour repousser les modes de la structure au-delà du domaine prépondérant, en énergie, de l'excitation.

En dépit de cet effort de dessin, les accélérations calculées sur la structure, en condition « soute ouverte », demeurent souvent supérieures aux niveaux des qualifications générales des équipements et imposent donc de spécifier aux équipementiers de nouveaux essais de qualification.

Dans ce contexte spécifique, la méthode retenue pour élaborer ces spécifications est la suivante :

1. Définition des niveaux du spectre à large bande au point de vol correspondant à la base de données aéroacoustique :

L'enveloppe des DSP d'accélération, sur l'ensemble des raidisseurs d'une même zone géométrique et dans les 3 axes X, Y et Z avion est établie dans la gamme de fréquences d'intérêt.

A partir de cette enveloppe, la spécification est établie de façon homothétique à la courbe C de la norme DO-160. Au-delà d'une certaine fréquence, une décroissance importante est appliquée, en conformité avec les résultats d'essai de validation des calculs aéroacoustiques sur maquette réduite [Fig 7]. Le niveau de spécification est fixé de manière à conserver le niveau d'accélération RMS de l'enveloppe des calculs sur la zone.

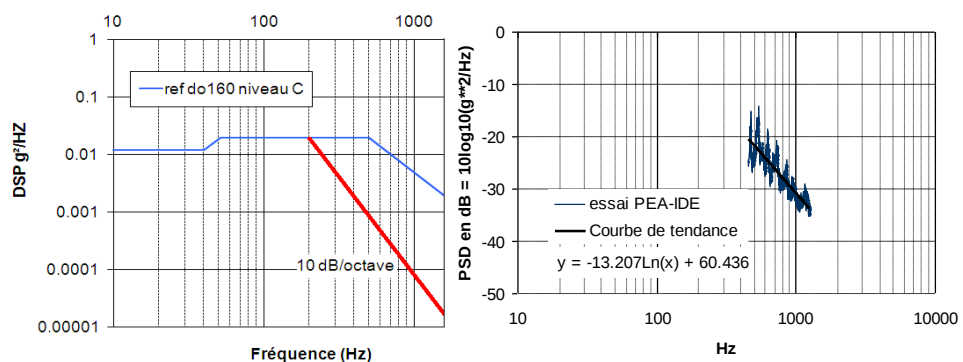


Figure 7: Décroissance expérimentale de l'accélération en haute fréquence

2. Définition des niveaux du spectre à large bande à Vc quelconque :

Les niveaux de spécification à un point de vol quelconque, s'obtiennent à partir de la spécification précédente, par application d'un coefficient de proportionnalité homothétique au rapport des (P_{dyn}^2/V_c) des deux points de vol considérés.

3. Application d'une équivalence de fatigue pour la durée de vie soute ouverte :

À partir des niveaux vibratoires calculés aux différentes vitesses du scénario d'ouverture de la soute, on calcule la DSP de pression à appliquer à l'équipement pendant 1 heure (durée d'essai) pour être à iso-endommagement.

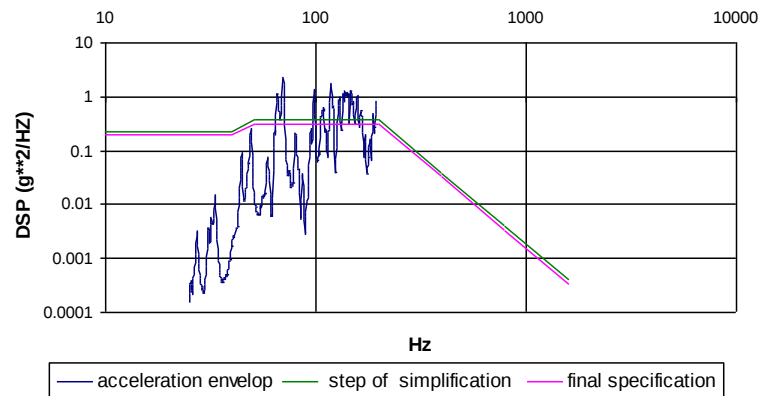


Figure 8: Visualisation des différentes étapes pour la spécification de zones

5 PERSPECTIVES ET AMELIORATIONS

Interaction structure – équipement

Les équipements "courants" ne sont modélisés que par leur masse. Ainsi, les modes locaux et les échanges d'énergie possibles avec les équipements sont mal connus. La prise en compte des impédances des équipements serait possible si celles-ci étaient identifiées au préalable et permettrait une meilleure évaluation du niveau d'accélération dans ces zones.

Variation de l'amortissement

Les amortissements sont issus de bases de données expérimentales et identifiés pour des niveaux d'excitation faibles par rapport aux sollicitations de cette étude. L'évolution de l'amortissement avec le niveau de déplacement est pour l'instant négligée.

Approche par enveloppe des spécifications

Nous avons choisi d'effectuer une enveloppe des accélérations de tous les points du modèle appartenant à cette zone. Cette démarche, très exhaustive puisqu'elle tient compte de tous les déplacements modaux, est très conservative. Par ailleurs, l'enveloppe sur les trois axes conduit à appliquer le niveau maximum sur des axes en réalité parfois peu sollicités, et suivant lesquels l'aménageur aura peut-être « naturellement » orienté les parties sensibles de l'équipement.

Gabarit en plateau

Le niveau du gabarit en plateau n'englobe pas l'ensemble de l'enveloppe des accélérations (modes locaux, modes de Rossiter) mais restitue une énergie équivalente sur une bande de fréquence très large. Des pics d'accélération

calculée dépassent le niveau de spécification. Cette méthodologie n'assure donc pas une qualification de l'équipement en robustesse mais en fatigue.

6 CONCLUSION

Le projet nEUROn et le dimensionnement à l'environnement « soute ouverte » a permis d'explorer un domaine nouveau qui se situe à la limite des procédures habituelles de justification des structures. A cette occasion, les méthodologies et outils ont été enrichis. Ainsi, pour la première fois, une spécification de vibration a été établie sur la base de simulations. Le suivi des essais en vol du nEUROn permettra d'approfondir et de calibrer les méthodes et modèles développés pour l'élaboration des contraintes acoustiques et des vibrations.

La mise en œuvre de ces modèles reste lourde compte tenu de leur taille et difficile à synchroniser dans la vie d'un programme. Elle nécessite en effet une maturité suffisante de dessin de la structure ; maturité difficile à atteindre dans la phase initiale du programme, pendant laquelle les spécifications de vibration doivent, en particulier, être établies.

Ce sujet, plutôt militaire dans le cas précis, peut également concerner des applications dans le domaine de l'aviation civile ou des problèmes de fatigue acoustique sont également rencontrés.

7 REFERENCES:

Documents

1. « Aerolastic and structural vibration – State of the arts and trends » C. PETIAU European forum on aeroelasticity and structural dynamics. Strasbourg 1993
2. «Acoustic Fatigue and Related damage Tolerance of advanced composite and metallic structures » D TOUGARD Brite Euram AERA5 Aeronautics Final Technical Report 1993
3. «ELFINI»
4. «Acoustic Fatigue and Related damage Tolerance of advanced composite and metallic structures » D TOUGARD Brite Euram AERA5 Aeronautics Final Technical Report 1993
5. «Synthesis report on the overall methodology and guidelines for industrial use » D. Melluso Environmental Noise Associated with Turbulent Boundary Layer Excitation WP4 – Task 4 march 2003
6. «LES and DES aeroacoustic simulations for inflight opened weapon bay » Laurent Daumas¹, Frederic Chalot, Vincent Levasseur, Michel Mallet, Nicolas Reau, IFASD 2009