

ProSPADD : outil d'aide à l'atténuation de la réponse vibro-acoustique des structures.

Auteurs : Philippe VERDUN¹ (ARTEC), Etienne BALMES² (SDTools)

1. PREAMBULE

Les phénomènes d'amplifications vibratoires des structures mécaniques sont à la base de la plupart des problématiques concernant les prestations vibratoires ou acoustiques et leur maîtrise est impérative dans les secteurs de haute technologie tels que le spatial, l'aéronautique ou l'automobile. Ces amplifications, véritable signature des modes propres de structure, apparaissent sur les courbes de transferts vibratoires de façon exacerbée à leur fréquence de résonance.

Compte tenu du large spectre d'excitation et des contraintes technico-économiques (poids / performance / coût), une parade basique, à partir des seuls facteurs masse et raideur, de séparation entre fréquence d'excitation et de résonance est rapidement limitée.

Dès lors, la technologie amortissante SPADD®³, développée et brevetée par ARTEC Aerospace, ouvre des perspectives innovantes et performantes dans le traitement de ces problèmes vibratoires et dans la méthodologie de conception des structures.

Pour ses propres besoins, ARTEC a ainsi développé des outils numériques « experts » permettant d'identifier les lieux optimums de positionnement des dispositifs SPADD® et d'optimiser ses paramètres dimensionnants.

2. INTRODUCTION

Menée dans le cadre du transfert de technologie de l'industrie spatiale vers les secteurs automobile et aéronautique, ARTEC, en partenariat avec SDTools, acteur reconnu dans le développement d'outil de modélisation des phénomènes vibratoires complexes, souhaite synthétiser ces outils au sein du logiciel « métier » ProSPADD, implantable dans les bureaux d'études.

Ainsi, au-delà de son application strictement curative, la maîtrise de la technologie SPADD® intégrée au cœur de la conception, permettra alors d'accroître notablement la performance d'amortissement des structures d'une part, d'autre part de simplifier la conception et les critères de dimensionnement associés et cela, au plus tôt dans le cycle interactif de conception.

Cette démarche, initialement d'ordre technique, ouvre ainsi de nouvelles solutions industrielles capables de répondre aux enjeux de compétitivité (simplification et standardisation, allègement des structures).

3. STRATEGIE DE DEVELOPPEMENT

Le logiciel ProSPADD constitue, dès les phases de conception, un outil numérique d'aide à l'évaluation du potentiel d'amortissement des structures.

Il permet une optimisation, sur base modale, du positionnement et du dimensionnement de dispositifs qui permettent d'intégrer de l'amortissement dans les structures.

Le modèle éléments finis résultant peut alors être exploité au niveau système (ACV, tenue mécanique, ...) avec l'assurance de la réalité physique d'une solution SPADD® développable, en aval, par ARTEC.

Pratiquement, le logiciel constitue une interface utilisateur conviviale entre un solveur générique du type éléments finis, un module de dimensionnement des dispositifs SPADD®, et des composants d'optimisation interdépendants basés sur des techniques performantes de calculs de sensibilité et de ré-analyse modale.

A ce stade du développement, le logiciel ProSPADD utilise le support MATLAB et est interfacé avec le solveur NASTRAN.

¹ ARTEC Aerospace Direction Technique 6, allée des Tricheries 31840 Seilh

² SDTools 52, rue Vergniaud 75013 PARIS

³ Voir l'article Convergence 03 « Technologie d'amortissement SPADD® » M.Capdepu, M.Hayard, P.Verdun

Il intègre, au sein d'un processus automatique, les étapes suivantes:

- l'importation de la structure EF et son exportation finale incluant une représentation matricielle du ou des dispositifs SPADD® identifiés.
- la prise en compte et la validation des requêtes de l'utilisateur (relecture du modèle pour extraire les zones potentielles de traitements, contraintes d'environnement, performance attendue...),
- une double optimisation sur la recherche de la meilleure position de traitement dans la zone préalablement sélectionnée par l'utilisateur et dans cette configuration, l'identification des paramètres globaux dimensionnant le dispositif en respect avec les contraintes d'environnement.
- à chaque itération, le modèle de calcul est mis à jour, une analyse de sensibilité est effectuée permettant d'identifier rapidement l'optimum d'amortissement.
- une visualisation interactive du processus d'optimisation : résultat en amortissement apporté sur le(s) mode(s) sélectionné(s) ou sur l'ensemble de la base modale.
- L'optimisation est un processus interne à ProSPADD indépendante du solveur NASTRAN

A la fin du processus, la configuration optimale étant intégrée sous forme de super-éléments connectés aux nœuds de la structure, aucune étape de remaillage (adaptatif ou global) de la structure de référence n'est nécessaire ce qui respecte, dans une démarche totalement automatique, la qualité du maillage fixée par l'utilisateur.

L'ensemble des propriétés physiques et matériaux définissant les dispositifs sont par ailleurs stockés comme base de dimensionnement depuis la conception détaillée de la solution SPADD® (prise en compte des contraintes industrielles et d'intégration) jusqu'à la qualification numérique et expérimentale et fabrication (prototype, série).

4. EXEMPLE D'APPLICATION AUTOMOBILE

Un cas simple de traitement sur un élément de structure automobile est mis en œuvre pour illustrer la méthodologie, démontrer les capacités et la précision du logiciel de pré-dimensionnement ProSPADD.

- *Préparation*

La phase de préparation est une phase de réflexion de l'utilisateur :

- quel(s) est le(s) mode(s) à amortir ?
- quelles sont les zones de traitement potentiel identifiées en terme de performances ou de contrainte d'encombrement, de positionnement.
 - Si la zone est strictement définie, la recherche des solutions SPADD® sera limitée à la sélection de l'utilisateur
 - Si la zone est large voire inconnue, le logiciel va rechercher le ou les meilleurs positionnements parmi la zone proposée.

C'est enfin, une phase de mise en donnée NASTRAN permettant une relecture complète du modèle EF (file.dat) et de sa base modale (file_sol103.op2) par PROSPADD.

- Récupération du modèle « Project »

C'est une phase préliminaire à l'optimisation permettant, de mettre à jour la base de données ProSPADD / MATLAB pour un fonctionnement totalement indépendant du solveur NASTRAN.

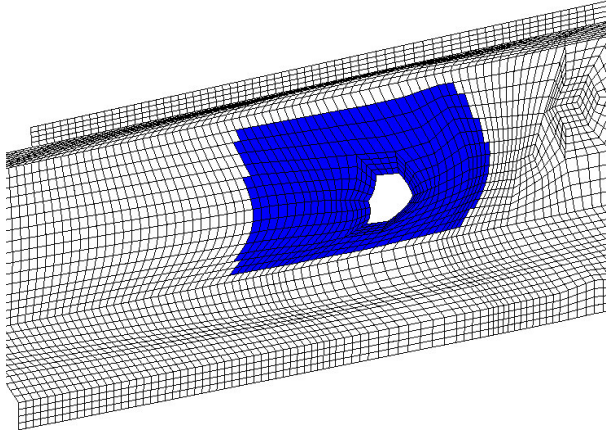


Figure 1 : Sélection par l'utilisateur d'une surface de traitement potentielle (Vue sur le 1^{er} mode de flexion)

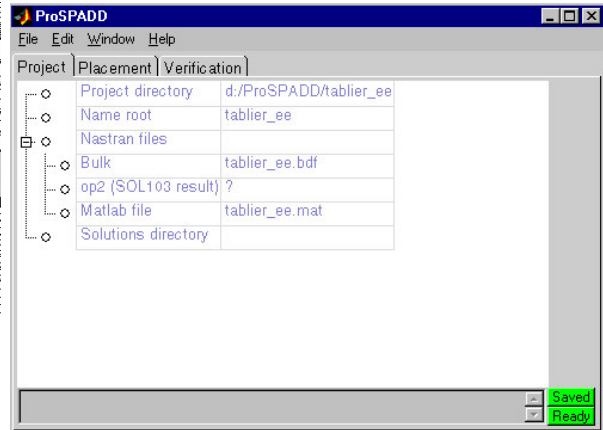


Figure 2 : ProSPADD, gestion des interfaces

En sortie de cette phase de récupération, ProSPADD propose des outils de visualisation et de manipulation de la base de données EF.

- Module d'optimisation « Placement »

L'onglet « Placement » gère l'ensemble du module d'optimisation du placement et de la définition de la solution SPADD®.

Bien que le processus d'optimisation soit complexe, l'objectif est de proposer une mise en données utilisateur la plus simple possible avec :

- des champs obligatoires (flèches rouges)
- des champs calculés automatiquement mais modifiables (flèches noires)
- des champs calculés automatiquement non modifiables.

Ces champs sont regroupés en catégorie :

- *general parameters* définissant la taille attendue et le nombre des dispositifs SPADD® et les modes cibles à amortir
- *placement strategy*, déclare la zone potentielle de traitement et lance le processus automatique de placement dans la zone potentielle proposée (*lineic automated*) ou manuel, dans le cas où l'utilisateur fixe la position a priori des dispositifs (*lineic manual* ou *point_to_point*)
- *Optimize parameter* permet, dans une configuration de positionnement validée :
 - d'estimer le potentiel d'amortissement de la technologie SPADD® sur l'ensemble des modes de la structure
 - d'exporter le résultat au format NASTRAN pour validation

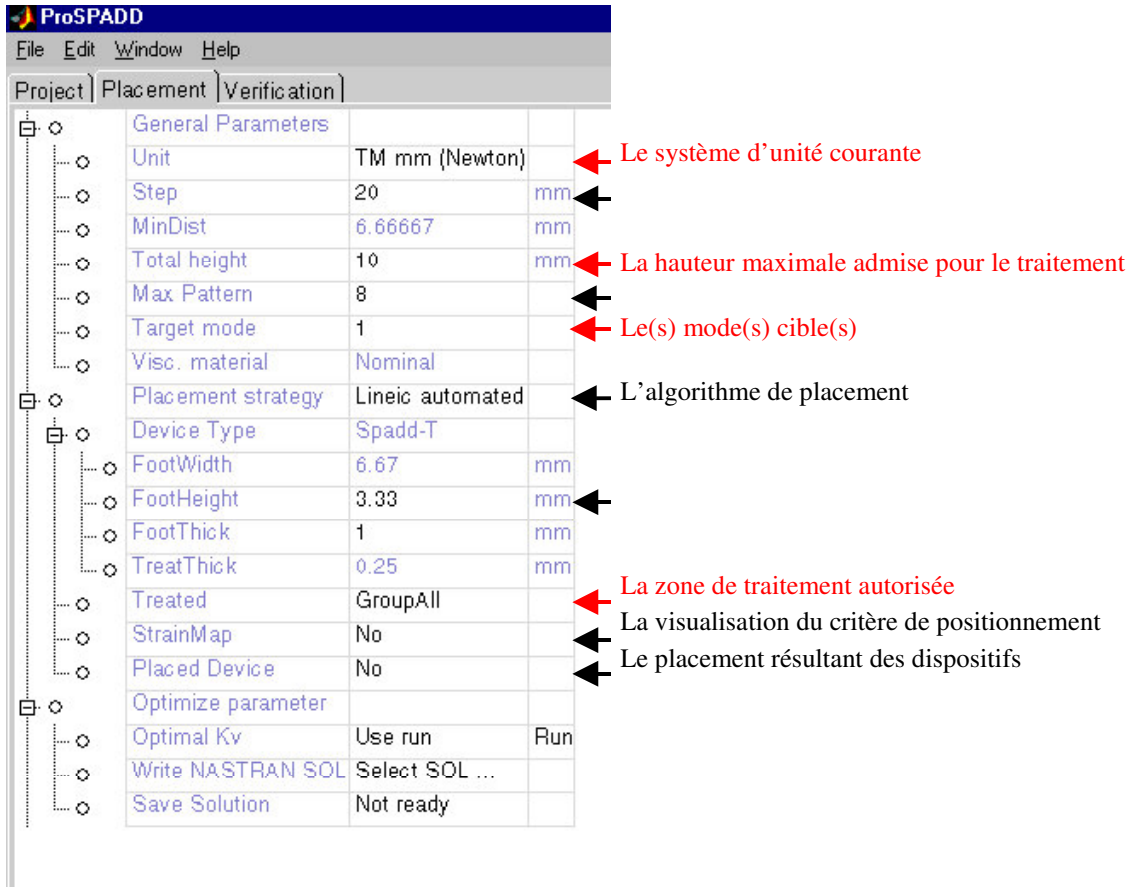


Figure 3 : ProSPADD, définition des contraintes de positionnement et optimisation

Dans le cadre d'une recherche automatique du placement des dispositifs, l'utilisateur peut visualiser le critère de positionnement pour chacun des modes cibles et le positionnement proposé des dispositifs SPADD®.

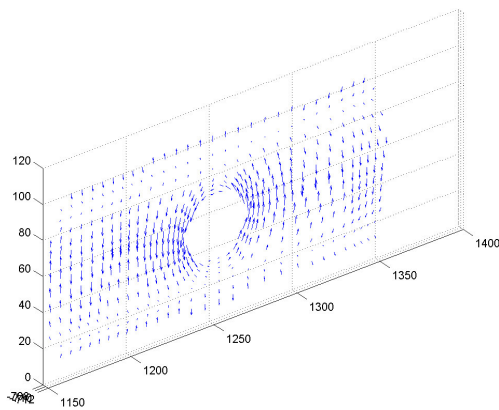


Figure 4 : Strain Map

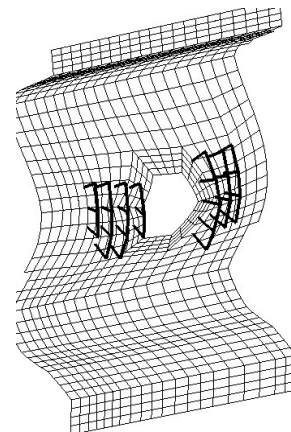


Figure 5 : Place device associé à une animation de la déformée modale du mode cible

Dès lors que le positionnement est accepté par l'utilisateur, le lancement *optimal Kv* permet, par une recherche de pôles, sur la base modale réduite de la structure (méthodes dites de ré-analyse modale) d'extraire très rapidement le potentiel d'amortissement que peut apporter la technologie SPADD® sur les modes cibles. On vérifie rapidement l'impact du traitement sur l'ensemble de la base modale.

La figure 6 montre l'évolution des pôles pour chacun des modes. On retrouve une des caractéristiques essentielles des dispositifs amortisseurs : l'existence d'un optimum d'amortissement par rapport à la raideur intrinsèque du dispositif.

Ainsi, un système trop souple ne peut dissiper les énergies élastiques associées au mode, et à l'inverse, un système trop raide, dissipatif ou non, bloque toute déformation, ce qui correspond à une solution standard de raidisseur.

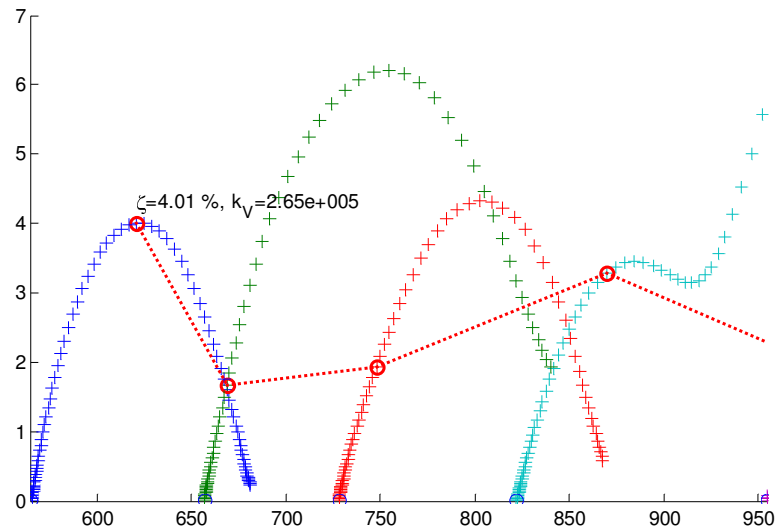


Figure 6 : Estimation du potentiel d'amortissement ($\xi(\%)$) fonction de la fréquence du mode en Hz

Ce processus d'optimisation est interne à ProSPADD et ne nécessite pas, en règle générale (voir onglet *Vérification*) d'itérations avec le solveur NASTRAN.

Au final, la solution SPADD® intégrée à la structure de référence est mise en données au format NASTRAN (représentation matricielle du type super-éléments K,C,M), sous forme de fichier externe sans aucun impact sur la modélisation initiale.

Dès lors, une validation ultime est proposée sous la forme d'une base modale réelle (SOL103) ou complexe (SOL110), qui peut être associée, par l'utilisateur, à un calcul de la réponse vibro-acoustique de la structure amortie.

- *Module « Vérification »*

Ce module, en développement, permet de s'assurer de la réalité de la solution SPADD® proposée suivant les critères suivants :

- validité de la base modale
- faisabilité / réalité physique de la solution amortissante.

En effet, les techniques de ré-analyse modale partant du principe de conservation de la nature des modes, il est proposé une nouvelle extraction sous NASTRAN, au cours du processus d'optimisation, de la base modale incluant la configuration courante de solution SPADD®. La base modale ainsi re-générée sert de nouveau support à la poursuite de l'optimisation.

Par ailleurs, les incohérences possibles entre une performance numérique (solution théorique) et la conception future du dispositif SPADD® (solution réaliste) sont prises en compte dans ProSPADD.

Ainsi l'optimum proposé (figure 7) peut être borné à des solutions SPADD® connues, au-delà desquelles (pôles grisés), une conception spécifique devra être engagée.

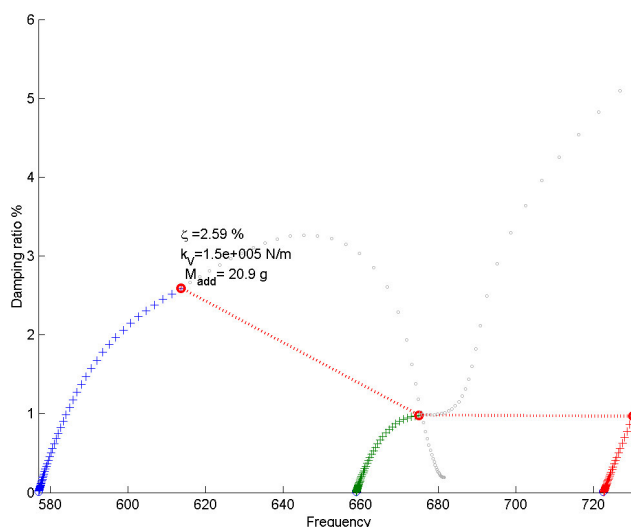


Figure 7 : Potentiel « réaliste » d'amortissement ($\xi(\%)$) fonction de la fréquence du mode en Hz)

5. CONCLUSIONS

ARTEC Aerospace et SDTools, de part leur expérience respective dans l'atténuation vibro-acoustique des structures et le développement d'outil numérique d'optimisation, développent l'outil ProSPADD⁴ d'évaluation du potentiel d'amortissement structural associé à la technologie SPADD®.

Construit sur la base de méthodes et logiciels « experts », le logiciel est destiné aux utilisateurs de bureau d'études avec une accessibilité et une philosophie conformes aux exigences des domaines aéronautiques et automobiles.

Dès lors, ProSPADD permet de spécifier et de concevoir des structures intégrant le paramètre « amortissement », non plus comme une variable globale et subie mais comme acteur majeur dans la réduction des phénomènes vibratoires.

Totalement intégrable dans le processus collaboratif de conception, il ouvre de plus, des perspectives nouvelles dans les méthodologies de dimensionnement des structures vis à vis des critères vibratoires :

concevoir plus simplement (diminution des coûts récurrents et non récurrents)

des structures moins raides, moins lourdes mais plus amorties,

pour les désensibiliser des excitations

⁴ la version PROSPADD V1.0 sera disponible au cours du 1^{er} trimestre 2004