

Recalage de modèles à partir de mesures *in situ*

P.-É. Charbonnel¹, P.Ladevèze^{1,2}, F.Louf¹, D.Haerens³

¹ LMT-Cachan (ENSCachan/CNRS/Paris6University), France, {charbonnel,ladeveze,louf}@lmt.ens-cachan.fr

² EADS Foundation Chair "Advanced Computational Structural Mechanics"

³ EADS Astrium Launcher & ATV Mechanical Analysis Department
A5 Production & Future Vehicles Mechanical Loads Section

Résumé — La validation/recalage de modèle est une question centrale quant à la diminution des marges notamment dans le cas des lanceurs spatiaux. Les modèles sont de plus en plus performants, mais malgré tout, des méconnaissances fortes subsistent, quant aux excitations et aux paramètres structuraux de certaines liaisons complexes. La démarche de recalage développée a pour but de mettre à profit les mesures réalisées en phase de vol atmosphérique, ce afin de réduire les méconnaissances.

Mots clés — Validation/Recalage, Erreur en Relation de Comportement, Méconnaissances.

1 Contexte

La démarche de recalage consiste à améliorer la qualité d'un modèle numérique en le confrontant à un certain nombre de résultats d'essais. Certes les modèles sont de plus en plus performants, mais malgré tout, des méconnaissances fortes subsistent par exemple quant aux amortissements ou encore à certaines rigidités. Les sources d'excitation sont elles aussi mal connues tant par leurs niveaux que par leur temps d'apparition et leurs durées. Ainsi les essais en vol, s'ils sont bien instrumentés, constituent pour la validation ou le recalage des ensembles d'information extrêmement riches et originaux dont il doit être possible de tirer des enseignements majeurs. Notons qu'un essai en vol est un fait un multi-essai au sens où plusieurs sources d'excitations sont excitées ; une des difficultés et non des moindres est que ces sources d'excitation ne sont pas connues *a priori*.

En matière de validation ou de recalage, il existe deux philosophies très différentes :

- La première est de supposer très peu de chose sur le modèle et les excitations, les informations que l'on tire étant lues quasiment directement sur les mesures. Son avantage est la facilité de mise en oeuvre, les outils s'appliquant à de très larges familles de problèmes [1], [2].
- La seconde, celle que nous suivrons ici, est au contraire de tirer partie des connaissances que l'on a sur le modèle et les excitations. Seule une partie du modèle et des excitations est considérée comme mal connue, le reste étant supposé fiable. En d'autres termes, une partie du modèle entre dans ce que l'on peut entendre comme la référence. Cette démarche a été initiée au LMT-Cachan [3], [4] et a depuis connu de nombreux développements, notamment dans le domaine de la validation de modèles probabilistes [5]. Son inconvénient est son coût ; par contre elle est susceptible de fournir des informations inaccessibles par toute autre méthode.

Dans cette communication nous proposons un développement de cette démarche, applicable à des modèles industriels complexes comme ceux du lanceur Ariane 5E, pour lesquels les mesures en vol peuvent fournir un ensemble d'informations riche et original pour le recalage. Rappelons que dans le cas que nous traitons, les excitations sont considérées comme partiellement inconnues ; nous précisons la façon dont on s'affranchira de cette difficulté. Nous présenterons enfin un premier jeu de résultats obtenus à l'aide du modèle de lanceur le plus simple utilisé par ASTRUM-ST. Après avoir identifié les paramètres du modèle qui sont les plus erronés, la méthode restreint ces paramètres à des intervalles de confiance (réduction des méconnaissances). A partir de ces intervalles, associés à un faible niveau d'erreur relative, la méthode fournit une estimation des excitations, tout en "qualifiant" la réponse du modèle numérique par rapport aux phénomènes physiques impliqués

2 Méthode

2.1 Séparation des quantités

Le point fondamental de la méthode qu'on développe est de séparer les données de l'étude en une partie fiable, et une partie non-fiable. Ainsi, on considérera :

Données fiables

- Conditions aux limites en déplacement
- Equations d'équilibre dynamique

Données non-fiables

- Relations de comportement
- quantités mesurées \tilde{U}

Lors d'un essai en vol, considéré ici comme un "multiessai", on connaît à chaque instant t :

$$(\omega, \tilde{U}(\omega)) \text{ pour } \omega \in \Omega_t \quad t \in [0, T] \quad (1)$$

- les excitations F

Les excitations seront supposées partiellement inconnues mais les sous-structures sur lesquelles elles s'appliquent sont connues.

2.2 Erreur en relation de comportement modifiée

A partir des données "non-fiables" du problème on forme une fonctionnelle e^2 qui permet de confronter le modèle numérique aux mesures. La méthode développée dans cette communication est fondée sur le concept d'erreur en relation de comportement, et la fonctionnelle que l'on construit est une norme constituée de deux termes.

$$e^2 = \|\underline{\underline{\sigma}} - \mathbb{K}\varepsilon(\underline{U}) - \mathbb{B}\dot{\varepsilon}(\underline{U})\|^2 + |\underline{U} - \tilde{U}|^2 \quad (2)$$

Le premier terme est une erreur de modèle, le deuxième terme est une erreur sur les mesures.

2.3 Algorithme de Recalage

Après avoir identifié sur le modèle de lanceur les zones qui étaient les plus mal modélisées, l'algorithme de recalage que l'on développe consiste à trouver les paramètres optimaux au sens de e^2 pour les zones entachées d'erreur.

En sortie de procédure, on est en mesure de fournir :

- des intervalles de confiance pour les paramètres structuraux erronés, associés aux faibles valeurs de l'erreur (2)
- une estimation des excitations que l'on considère dans toute l'étude comme inconnue

Références

- [1] J.E.Mottershead , M.I.Friswell. *Model updating in structural dynamics : a survey* , Journal of Sound and Vibrations.
- [2] P.Stoca , R.L.Moses. *Introduction to spectral analysis*. PrenticeHall, 1997.
- [3] P.Ladeveze , D. and M.Reynier. *Updating of finite element models using vibrations tests*. AIAAJournal, 7(32),1485–1491,1994.
- [4] P.Ladeveze , A.Chouaki. *Application of posteriori error estimation for structural model updating*. IOP, InverseProblems(15),49–58,1999.
- [5] P.Ladeveze , G.Puel , T.Romeuf. *Validation of structural dynamics models containing uncertainties*. Computer methods in applied mechanics and engineering,195(4-6),373–393,2005.