

STRUCTURAL ACOUSTICS AND VIBRATION
Mechanical Models
Variational Formulations and Discretization
Roger OHAYON & Christian SOIZE

Notes de lecture

par Philippe PASQUET, SAMTECH France

La vibro-acoustique, savant mélange des effets de vibrations mécaniques pures (*in vacuum*) et d'acoustique, conduit à un système couplé que l'on peut toujours découpler selon certaines hypothèses qui restent à vérifier a posteriori par le bon sens, l'expérimentation, la comparaison avec des solutions connues, ... Le problème peut, dans les cas les plus simples, se résoudre à l'aide d'un calcul modal suivi d'un travail d'interprétation ou d'extrapolation ; mais, le plus souvent, c'est évidemment la réponse qui est intéressante car, tout comme en vibrations mécaniques, les sollicitations peuvent être déterministes ou aléatoires.

Le fait que l'on s'intéresse en plus à l'acoustique nécessite aussi l'exploration d'un domaine inédit pour les vibrations en général : celui des moyennes et hautes fréquences, pour lequel il va falloir mettre en œuvre des méthodes adaptées permettant des modélisations raisonnables.

Telle est la matière de l'ouvrage de Roger Ohayon et Christian Soize, **Structural acoustics and vibration**, paru aux éditions Academic Press en 1998. Il aborde quatre thèmes (vibrations, acoustique, vibro-acoustique, "structures floues") déclinés (au moins pour les trois premiers) selon un même plan (équations linéarisées, réponses basses fréquences, réponses moyennes fréquences), ce qui les rend autonomes.

La première partie (qui occupe près de 40 % de la rédaction) est consacrée à la théorie des vibrations mécaniques ; elle établit rigoureusement l'ensemble des propriétés des modes propres élastiques ou rigides. On en retiendra en particulier les paragraphes sur les conditions de symétrie, qui auraient mérité de plus amples développements, voire quelques exercices. Ensuite, le chapitre concernant les structures non conservatives (chap. IV) nous paraît essentiel pour deux raisons : il est difficile de trouver l'équivalent dans la littérature et l'aspect amortissement devient fondamental dès que l'on s'intéresse aux moyennes fréquences. On remarque, au travers du développement du modèle visco-élastique linéaire, que la dépendance en fréquence du tenseur d'élasticité (et d'amortissement, évidemment) ne peut plus être négligée. Ce problème, latent, se révèle critique lorsqu'il s'agit de calculer la réponse. La stratégie d'intégration directe est alors choisie avec l'inévitable casse-tête du pas de temps pour lequel les auteurs fournissent une suggestion (ce qui est une position assez rare) que nous laissons aux lecteurs le soin de rechercher, avant de peut-être la mettre en œuvre.

La deuxième partie est consacrée à l'acoustique. En trois chapitres, on y retrouve l'essentiel avec la même rigueur mathématique. Les hypothèses principales sont posées : le fluide est homogène, compressible, au repos et sans effet de gravité. Elles conduisent à l'équation de propagation via les équations de conservation. Au passage, l'ingénieur retrouvera quelques valeurs de coefficients pour les deux fluides essentiels en vibro-acoustique (l'air et l'eau). Les cavités contenant un fluide posent des problèmes spécifiques liés, entre autres, aux conditions sur l'interface fluide-solide. Ces développements s'appuient sur la méthode des éléments finis. Avec le fluide externe naît un autre problème, lié à une autre condition aux limites à l'infini.

Dans ce cas, les auteurs semblent choisir la méthode des équations intégrales comme alternative aux éléments finis spéciaux. C'est, à notre sens, le deuxième chapitre fondamental (chap. XII). Il contient de nombreuses remarques concernant les conditions de radiation à l'infini de Sommerfeld, la présence de surface libre (et donc quand même un effet de la gravité) ou de zones à pression nulle. Parallèlement à la partie précédente, on retrouve les mêmes points-clés : calcul des modes, réponse.

La troisième partie, consacrée à la vibro-acoustique, peut maintenant être étudiée, d'autant plus facilement que tous les éléments nécessaires sont en place. Il reste cependant à construire une formulation, symétrique si possible, utilisant modes de la structure et modes acoustiques dus au fluide interne puis au fluide externe. La formulation choisie permet d'utiliser les algorithmes classiques tant que l'on s'intéresse aux basses fréquences. Pour le calcul des réponses, les auteurs conseillent de se référer aux méthodes déjà exposées, en rappelant que les excitations possibles sont : forces de surface ou forces de volume pour la structure, sources acoustiques pour le fluide interne et externe et, dans ce dernier cas, onde plane incidente. Pour les moyennes fréquences, on retrouvera la technique de transformation temporelle qui utilise deux échelles de temps, un pas faible associé au centre de la bande et un pas plus long associé à la largeur de bande. Au demeurant, on notera que, si le cas du fluide externe semble bien maîtrisé, celui du fluide interne fait encore l'objet de recherche.

La dernière partie de l'ouvrage nous offre quelques développements sur ce que Ch. Soize nomme la théorie des structures floues (*fuzzy structure theory*), qui a pour but de prédire la réponse d'une structure avec ses multiples équipements, qui ont été négligés dans les sections précédentes. Sans entrer dans les détails, ce qui deviendrait rapidement trop complexe, cette théorie utilise les méthodes que l'on applique pour les problèmes inverses (optimisation, identification).

Nous avons essayé ici d'extraire de cet ouvrage, austère en apparence, l'essentiel de ce que retiendra un ingénieur. Autant dire que son étude demande un prérequis mathématique assez important, permettant d'assimiler un contenu très théorique. En ce sens, il intéressera davantage les étudiants et les chercheurs, mais il est souhaitable que quelques bons professionnels puissent aussi y consacrer le temps nécessaire tant il est vrai que nous sommes entourés de fluide. Précisons enfin, à l'attention des lecteurs, que le propos exclut volontairement le domaine des hautes fréquences et ses méthodes spécifiques.