

Avant-propos

Au cours des dernières années, des ingénieurs, des scientifiques et des décideurs ont manifesté un fort intérêt pour la dynamique stochastique et l'optimisation des systèmes mécaniques. Ces deux domaines ont reçu un intérêt grandissant en raison de leurs difficultés théoriques et de leurs applications industrielles. Actuellement, les modèles déterministes ne prennent pas en compte la variabilité des paramètres, souvent mal identifiée, et donnent des résultats erronés de la réalité du problème traité.

L'ouvrage intègre les idées les plus récentes issues de la recherche et de l'industrie dans le domaine de la dynamique stochastique et l'optimisation en mécanique des structures. Il est composé de onze chapitres. Ces chapitres font le point sur les différents outils traitant les incertitudes, la dynamique stochastique, la fiabilité et l'optimisation des systèmes. Le couplage optimisation-fiabilité en dynamique des structures est abordé afin de prendre en compte les incertitudes dans la modélisation et la résolution des problèmes rencontrés. Chaque chapitre explique clairement les techniques utilisées et développées accompagnées par des exemples illustratifs complètement traités.

Le premier chapitre introduit les problèmes liés à la dynamique des structures mécanique. Les travaux présentés traitent de la prise en compte des incertitudes dans les problèmes d'optimisation. La dernière section est consacrée à la description des différents outils pour l'analyse des structures comportant des paramètres incertains. Le deuxième chapitre concerne la présentation des systèmes mécaniques découplés. La structure et le fluide sont étudiés séparément. Pour chaque domaine, des hypothèses de départ sont adoptées. Les équations sont mises sous la forme variationnelle, puis discrétisées par éléments finis, afin d'obtenir des systèmes matriciels à résoudre numériquement le problème découplé. Le troisième chapitre présente les équations décrivant un système couplé fluide-structure et leurs mises sous forme variationnelles. Puis, elles sont discrétisées moyennant la méthode des éléments finis, afin d'obtenir des systèmes matriciels à résoudre numériquement par la suite. Enfin, on s'intéresse à l'application des

méthodes de réduction modale aux systèmes couplés. Les méthodologies de la condensation modale sont décrites ensuite pour les problèmes vibro-acoustique et hydro-élastique.

Le quatrième chapitre présente des méthodes de modélisation des structures sans maillage et la théorie formelle de la méthode EFG (*Element Free Galerkin*). On présente les différentes méthodes sans maillage, l'approximation des moindres carrés mobiles et l'utilisation de la forme faible des équations de l'élasticité pour déterminer les valeurs des inconnues nodales dans l'approximation sans maillage de Galerkin. Le cinquième chapitre s'intéresse à allier les méthodes de condensation modale aux méthodes stochastiques non itératives et les appliquer à l'étude dynamique des systèmes mécaniques (couplé et découplé) à paramètres incertains. On présente l'évaluation de l'impact de la condensation modale en ce qui concerne l'économie en temps de calcul lors de l'analyse fiabiliste des systèmes non déterministes. Le sixième chapitre est consacré à la présentation des équations générales de la dynamique en envisageant de les appliquer aux méthodes de synthèse modale stochastiques. On rappelle la stratégie de la sous-structuration, initialement formulée pour des problèmes en statique. Elle consiste à traiter une structure comme un assemblage de sous-structures interconnectées les unes aux autres. Les méthodes de synthèse modale diffèrent dans le choix des modes pour représenter la dynamique de chaque sous-structure et dans les procédures d'assemblage. On propose ensuite une stratégie de réduction des d.d.l. de jonction, après assemblage. Cette stratégie est basée sur l'utilisation des modes de l'interface. Ces modes sont obtenus à partir de la condensation aux interfaces de Guyan de la structure complète. Dans le septième chapitre, on cherche les fréquences et modes propres d'un système dynamique conservatif, où les matrices de masse et de rigidité sont fonction de paramètres aléatoires. On utilise deux méthodes de perturbation. La première est celle du développement en série de Taylor du second ordre. La deuxième est celle proposée par Muscolino, qui utilise un développement du premier ordre. L'objectif est de mettre en évidence les avantages des méthodes de synthèse modale pour prévoir le comportement dynamique des structures stochastiques. On compare la solution classique du problème stochastique à celle utilisant les méthodes de sous-structuration.

Le huitième chapitre est consacré à la réponse dynamique d'une structure à variable incertaine à une excitation donnée. On présente deux méthodes stochastiques. La première est celle de perturbation. La deuxième consiste à projeter la solution sur un chaos polynomial. Ces deux méthodes permettent de déterminer les deux premiers moments de la réponse à partir de la connaissance des lois de probabilité des paramètres structuraux. L'utilisation des méthodes de synthèse modale permet de réduire les dimensions du modèle avant intégration de l'équation de mouvement. On présente ensuite l'extension des méthodes de synthèse modale pour évaluer la réponse stochastique d'un système dynamique à une excitation donnée utilisant la méthode de perturbation. La dernière

section de ce chapitre est consacrée au couplage des méthodes de sous-structuration dynamique et à la méthode de projection sur un chaos homogène, pour évaluer la variabilité de la réponse vis-à-vis des variabilités des paramètres d'un modèle de grande taille. Dans le neuvième chapitre, on présente le développement de la méthode de projection sur un chaos homogène pour déterminer la fonction de réponse stochastique en fréquence. On présente deux méthodes. Dans la première, le calcul se fait directement. La deuxième méthode est basée sur l'utilisation des modes propres de la structure. On présente ensuite l'extension des méthodes de synthèse modale pour réduire la taille du modèle mécanique, permettant de calculer la fonction de réponse en fréquence d'une structure de grande taille, comportant des paramètres incertains. La réduction de la taille du modèle est obtenue généralement à partir des matrices de transformation qui sont construites à partir de modes de chaque sous-structure qui peuvent être des modes normaux de vibration, des modes statiques, des modes d'attache, ou des modes de corps rigides. Ces modes contiennent les paramètres incertains de chaque sous-structure. Enfin, on présente une application numérique, pour montrer l'efficacité et la précision de l'utilisation du chaos homogène à partir du modèle mécanique réduit par les méthodes de synthèse modale. L'objectif du dixième chapitre est de présenter une méthodologie couplant les techniques de synthèse modale et l'optimisation fiabiliste de conception. On présente un algorithme qui nous permet d'intégrer les méthodes de synthèse modale dans le processus d'optimisation fiabiliste. Finalement, nous évaluons cet algorithme sur différentes applications pour montrer l'efficacité et la robustesse de la méthode proposée. Dans le onzième chapitre, l'objectif est d'étudier le comportement dynamique d'une transmission par engrenage dans une éolienne comportant des paramètres incertains.

Enfin, l'ouvrage constitue un support précieux pour les enseignants et les chercheurs. Il s'adresse aussi aux élèves ingénieurs, aux ingénieurs en activité et aux étudiants universitaires du niveau master.

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cet ouvrage, nos familles et en particulier les doctorants de l'INSA de Rouen que nous avons eus en charge au cours de ces dernières années.