

Table des matières

Avant-propos	13
Chapitre 1. Introduction à la dynamique des structures	17
1.1. Formulation des problèmes de dynamique des structures	18
1.1.1. Méthode des éléments finis	20
1.1.2. Méthode de supposition modale	20
1.1.3. Intégration directe	22
1.1.3.1. Méthode de Newmark	22
1.1.3.2. Méthode θ Wilson	23
1.2. Optimisation des structures	24
1.2.1. Optimisation de conception	25
1.2.2. Optimisation de forme	25
1.2.3. Optimisation topologique	26
1.2.4. Définitions et formulation d'un problème d'optimisation	28
1.3. Structures aux paramètres incertains	30
1.3.1. Simulation de Monte-Carlo	31
1.3.2. Méthode analytique	31
1.3.3. Méthode des éléments finis stochastiques	32
1.3.4. Méthode de la logique floue	32
1.3.5. Méthodes de fiabilité	33
1.3.5.1. Technique de simulation	33
1.3.5.2. Méthode analytique	35
1.3.6. Optimisation fiabiliste	38
1.4. Conclusion	39

Chapitre 2. Systèmes découplés	41
2.1. Introduction	41
2.2. Problèmes de dynamique des structures	41
2.2.1. Equation de mouvement	41
2.2.2. Loi de Hooke	42
2.2.3. Formulation variationnelle	43
2.2.4. Approximation par éléments finis	43
2.2.5. Résolution dans le domaine fréquentiel	44
2.2.5.1. Calcul des fréquences propres (analyse modale)	45
2.2.5.2. Calcul de la fonction de réponse en fréquence	45
2.2.6. Résolution dans le domaine temporel	45
2.2.6.1. Méthode de Newmark	46
2.2.7. Réduction du modèle	47
2.2.7.1. Condensation par superposition modale	47
2.2.7.2. Sous-structuration	48
2.3. Problèmes acoustiques	58
2.3.1. Equation des ondes : formulation en pression	58
2.3.2. Formulation variationnelle	59
2.3.3. Approximation par éléments finis	59
2.3.4. Résolution dans le domaine fréquentiel	60
2.3.4.1. Analyse modale : modes de ballonnement/ modes acoustiques	61
2.3.5. Réduction du modèle fluide	61
2.3.5.1. Calcul des modes locaux	64
2.3.5.2. Synthèse modale	65
2.3.5.3. Calcul des modes de ballonnement	68
2.3.5.4. Calcul des modes acoustiques	69
2.4. Conclusion	71
 Chapitre 3. Systèmes couplés	 73
3.1. Introduction	73
3.2. Formulation mathématique	73
3.2.1. Equations de comportement	73
3.2.2. Conditions de couplage fluide-structure	74
3.3. Formulation variationnelle	75
3.4. Approximation par éléments finis	75
3.4.1. Approximation des inconnues physiques	75
3.4.2. Intégration des formes variationnelles	76

3.5. Problème vibro-acoustique	76
3.6. Problème hydro-élastique	77
3.6.1. Calcul de la matrice élémentaire d'interaction fluide-structure	80
3.6.2. Etude dynamique	81
3.7. Réduction du modèle	83
3.7.1. Méthode de superposition modale pour le système couplé.	83
3.7.1.1. Démarche 1	83
3.7.1.2. Démarche 2	84
3.7.1.3. Démarche 3	85
3.7.2. Calcul direct	87
3.7.3. Calcul avec réduction modale.	88
3.7.4. Méthode de synthèse modale pour le système couplé.	89
3.7.4.1. Etapes communes pour les problèmes couplés (vibro-acoustique ou hydro-élastique)	90
3.7.4.2. Problèmes vibro-acoustiques	91
3.7.4.3. Problèmes hydro-élastiques.	93
3.7.5. Calcul numérique direct	97
3.7.6. Calcul numérique avec synthèse modale	99
3.8. Conclusion	100

Chapitre 4. Fiabilité et modélisation sans maillage

en mécanique	101
4.1. Introduction aux méthodes sans maillage	101
4.2. Moindres carrés mobiles	104
4.2.1. Propriétés des fonctions de forme MCM	109
4.2.2. Fonctions de base	111
4.2.3. Fonctions poids	112
4.3. Méthode sans maillage de Galerkin	114
4.4. Imposition des conditions limites essentielles	118
4.4.1. Principe variationnel modifié avec multiplicateurs de Lagrange	119
4.4.2. Principe variationnel modifié sans multiplicateurs de Lagrange	120
4.4.3. Principe variationnel modifié avec une pénalité	121
4.4.4. Connexion avec un maillage d'éléments finis	122
4.5. Intégration dans la méthode EFG	123
4.6. Description des algorithmes de la méthode EFG	125

Chapitre 5. Systèmes mécaniques à paramètres incertains	133
5.1. Introduction	133
5.2. Simulation de Monte-Carlo	133
5.3. Méthodes de perturbation	134
5.3.1. Expansion en série de Taylor d'ordre 2	136
5.3.1.1. Moments des fréquences propres	136
5.3.1.2. Moments de la fonction de réponse en fréquence	138
5.3.1.3. Moments de la réponse dynamique	139
5.3.2. Méthode de perturbation de Muscolino	142
5.3.2.1. Moments des fréquences propres	142
5.3.2.2. Moments de la fonction de réponse en fréquence	143
5.3.2.3. Moments de la réponse dynamique	144
5.3.3. Méthodes de perturbation et de réduction modale	145
5.4. Projection sur un chaos polynomial	149
5.4.1. Moments de la fonction de réponse en fréquence	151
5.4.2. Moments de la réponse dynamique	153
5.4.3. Projection sur un chaos polynomial avec réduction modale	155
5.4.3.1. Analyse stochastique	159
5.4.3.2. Analyse de fiabilité pour la première fréquence propre	159
5.5. Conclusion	166
Chapitre 6. Méthodes de synthèse modale et méthodes des éléments finis stochastiques	169
6.1. Introduction	169
6.2. Problèmes dynamiques linéaires	170
6.2.1. Equations du mouvement	170
6.2.2. Résolution en régime transitoire	171
6.2.3. Résolution en régime harmonique	172
6.2.3.1. Calcul direct	172
6.2.3.2. Calcul par superposition modale	172
6.3. Méthodes de synthèse modale	173
6.3.1. Introduction	173
6.3.2. Technique d'assemblage des sous-structures	175
6.3.3. Méthode à interface fixe	176
6.3.4. Méthode à interface libre de MacNeal	180
6.3.5. Méthode à interface libre	182
6.3.6. Méthode hybride	185
6.3.7. Réduction des d.d.l. de jonction	185

6.4. Méthodes des éléments finis stochastiques	187
6.4.1. Introduction	187
6.4.2. Discrétisation des champs aléatoires.	188
6.4.2.1. Méthode de discrétisation des points moyens	188
6.4.2.2. Méthode de discrétisation de la moyenne spatiale	189
6.4.2.3. Méthode de discrétisation par fonction de forme	189
6.4.2.4. Méthode de discrétisation de l'estimation linéaire optimale	189
6.4.3. Méthodes de calcul des moments.	190
6.4.3.1. Simulation de Monte-Carlo	190
6.4.3.2. Méthodes de perturbation	190
6.4.3.3. Méthode de Neumann	194
6.4.3.4. Projection sur un chaos polynomial	196
6.5. Conclusion	199

Chapitre 7. Méthodes de synthèse modale stochastiques 201

7.1. Introduction.	201
7.2. Expansion en série de Taylor des équations modales d'une structure stochastique	201
7.2.1. Expression des moyennes et des covariances.	204
7.3. Méthode de perturbation de Muscolino	205
7.3.1. Développement des équations modales d'une structure stochastique	205
7.3.1.1. Moyennes des valeurs et vecteurs propres	206
7.3.1.2. Expression des moyennes et des variances.	206
7.4. Méthode d'interface fixe stochastique : expansion en série de Taylor	207
7.5. Méthode de synthèse modale stochastique	214
7.5.1. Introduction	214
7.5.2. Etude de la structure complète	242
7.5.3. Méthode de Craig et Bampton stochastique	249
7.6. Conclusion	267

Chapitre 8. Réponse dynamique d'une structure à variables incertaines à une excitation donnée. 269

8.1. Introduction.	269
8.2. Méthode de perturbation	270

8.2.1. Expansion en série de Taylor des équations du mouvement	270
8.2.2. Méthode de perturbation de Muscolino	273
8.3. Méthode de synthèse modale stochastique	275
8.4. Projection sur un chaos homogène	277
8.5. Couplage des méthodes de synthèse modale et de la projection sur un chaos homogène	281
8.6. Conclusion	298
Chapitre 9. Fonction de réponse stochastique en fréquence	299
9.1. Introduction	299
9.2. Calcul de la fonction de réponse stochastique en fréquence	300
9.3. Calcul de la fonction de réponse en fréquence stochastique par les méthodes de synthèse modale	305
9.4. Conclusion	316
Chapitre 10. Méthodes de synthèse modale et méthode d'optimisation fiabiliste	317
10.1. Introduction	317
10.2. Couplage des méthodes de synthèse modale et RBDO	317
10.3. Conclusion	328
Chapitre 11. Modèle stochastique d'une transmission par engrenage d'une éolienne	329
11.1. Introduction	329
11.2. Modélisation du comportement dynamique d'un système d'engrenage dans une éolienne	329
11.3. Réponse dynamique d'un système d'engrenage à deux étages d'éolienne à variables incertaines	330
11.3.1. Modèle dynamique d'une transmission d'engrenage à deux étages d'éolienne	330
11.3.1.1. Description du modèle	330
11.3.1.2. Equations de mouvement	331
11.3.2. Etude avec la méthode du chaos polynomial	332
11.3.2.1. Analyse de l'effet des paramètres incertains	333
11.3.2.2. Analyse de l'effet des multiples paramètres incertains	336

11.3.3. Etude avec la méthode de perturbation.	339
11.3.3.1. Analyse de l'effet des paramètres incertains	339
11.3.3.2. Analyse de l'effet des multiples paramètres incertains	344
11.3.4. Comparaison entre les différentes méthodes	348
11.4. Conclusion	350
Bibliographie	351
Index	357