

Table des matières

Préface. La simulation numérique, un enjeu stratégique pour notre souveraineté industrielle.	1
Hervé GRANDJEAN	
Avant-propos. Interactions fluide-structure en ingénierie navale .	3
Jean-François SIGRIST et Cédric LEBLOND	
Remerciements.	9
Jean-François SIGRIST et Cédric LEBLOND	
Chapitre 1. Brève histoire de l'hydrodynamique navale.	11
Alain BOVIS	
1.1. L'émergence d'une science nouvelle.	12
1.2. Le perfectionnement de la théorie.	17
1.2.1. Fluides, viscosité et turbulence	17
1.2.2. Théories du potentiel	20
1.2.3. Ondes et vagues	20
1.3. La théorie du navire	23
1.3.1. Stabilité.	23
1.3.2. Résistance à la marche	24
1.3.3. Roulis, tangage et tenue à la mer	28
1.3.4. Hélice et cavitation	30
1.4. La révolution numérique	33
1.5. Bibliographie.	37

Chapitre 2. Méthodes « basses fréquences » en vibro-acoustique des navires	39
Jean-François SIGRIST	
2.1. La signature acoustique des plateformes marines	39
2.2. Modèles vibro-acoustiques.	42
2.2.1. Vibro-acoustique sans effets dissipatifs	42
2.2.2. Dissipation d'énergie dans le fluide	45
2.2.3. Dissipation d'énergie dans les matériaux	47
2.3. Calcul de la réponse en fréquence	48
2.3.1. Modèle numérique, équation vibro-acoustique.	49
2.3.2. Méthodes directes et modales.	51
2.4. Améliorer le caractère prédictif des simulations	54
2.4.1. Domaine des moyennes et hautes fréquences	54
2.4.2. Propagation d'incertitudes et dépendance paramétrique	57
2.5. Bibliographie.	58
Chapitre 3. Méthodes hybrides en vibro-acoustique des structures immergées	61
Valentin MEYER et Laurent MAXIT	
3.1. Bruit et vibration d'une structure immergée.	62
3.1.1. Pourquoi la vibro-acoustique ?	62
3.1.2. Du problème réel au modèle physique.	64
3.2. Résolution du problème vibro-acoustique	65
3.2.1. Approche par sous-structuration	65
3.2.2. Méthode des admittances ponctuelles	66
3.2.3. Méthode des fonctions de transfert condensées	68
3.2.4. Exemples de fonctions de condensation.	70
3.2.5. Théorie spectrale des coques cylindriques	71
3.2.6. Calcul FEM pour les structures internes	73
3.3. Analyse physique du comportement vibro-acoustique d'une coque cylindrique immergée.	75
3.3.1. Influence du fluide lourd.	75
3.3.2. Comportement vibratoire d'une coque cylindrique	76
3.3.3. Influence des raidisseurs.	78
3.3.4. Influence des structures internes non axisymétriques.	81
3.4. Conclusion	83
3.5. Bibliographie.	84

Chapitre 4. Méthodes « avancées » en vibro-acoustique des structures navales	87
Cédric LEBLOND	
4.1. Sur la réduction du temps de calcul.	87
4.2. Modèles d'ordre réduit paramétriques en régime harmonique	90
4.2.1. Éléments de bibliographie.	90
4.2.2. Construction standard du modèle d'ordre réduit paramétrique	91
4.2.3. Construction d'un modèle d'ordre réduit paramétrique <i>goal-oriented</i>	99
4.3. Modèles d'ordre réduit paramétriques en régime temporel.	109
4.3.1. Motivation	109
4.3.2. Sur la stabilité des problèmes vibro-acoustiques complets.	110
4.3.3. Construction de modèles d'ordre réduit stables	111
4.3.4. Construction <i>offline</i> de la base réduite.	112
4.3.5. Illustration de l'approche temporelle	113
4.4. Conclusion	115
4.5. Bibliographie.	115
Chapitre 5. Calcul d'écoulements hydrodynamiques : méthodes LBM et POD	119
Erwan LIBERGE	
5.1. Réduction de modèle	120
5.2. La décomposition orthogonale aux valeurs propres (POD).	122
5.2.1. Calcul de la base réduite POD	122
5.2.2. Utilisation de la POD en interaction fluide-structure	125
5.2.3. Sensibilité aux paramètres et interpolation des bases POD	132
5.3. Méthode de Lattice Boltzmann	134
5.3.1. Historique	135
5.3.2. MRT/BGK	140
5.3.3. Paramètres réels/paramètres LBM	140
5.4. LBM et IFS	142
5.4.1. Conditions aux limites en LBM	143
5.4.2. Méthodes d'immersion de domaines.	145
5.5. Conclusion	148
5.6. Bibliographie.	148
Chapitre 6. Comportement dynamique de faisceaux de tubes	153
Daniel BROC	
6.1. Introduction.	153
6.1.1. Faisceaux de tubes dans l'industrie nucléaire	154

6.1.2. Faisceaux de tubes, problématiques industrielles	157
6.1.3. Modélisations des IFS dans les échangeurs.	159
6.2. Modèles physiques et équations.	160
6.2.1. Interaction fluide-structure avec les équations d'Euler	160
6.2.2. Méthodes numériques pour les équations d'Euler avec IFS	163
6.2.3. Homogénéisation dans le cas des faisceaux de tubes	165
6.2.4. Méthodes numériques pour l'homogénéisation	168
6.2.5. Équations d'Euler, amortissement de Rayleigh	169
6.2.6. Homogénéisation, amortissement de Rayleigh.	170
6.2.7. Mise en œuvre de la méthode d'homogénéisation.	171
6.3. Validation et illustration de la méthode d'homogénéisation	173
6.3.1. Modes propres de vibration	173
6.3.2. Amortissement de Rayleigh : méthode directe et homogénéisation	179
6.4. Méthodes d'homogénéisation pour les équations de Navier-Stokes.	179
6.5. Applications	184
6.5.1. Comportement dynamique des cœurs RNR-Na	184
6.5.2. Générateur de vapeur embarqué	186
6.6. Conclusion	188
6.7. Bibliographie.	189

Chapitre 7. Calcul de spectres d'excitation turbulente 191

Myriam SLAMA

7.1. Vibrations induites par un écoulement turbulent	191
7.2. Caractéristiques du spectre de pression pariétale.	194
7.2.1. Couche limite turbulente sans gradient de pression	194
7.2.2. Écoulement avec gradient de pression.	199
7.3. Modèles empiriques	200
7.3.1. Modèle de Corcos.	201
7.3.2. Modèles de Chase.	201
7.3.3. Modèle de Smol'yakov	203
7.3.4. Modèle de Goody	204
7.3.5. Modèle de Rozenberg	205
7.3.6. Comparaison des modèles.	206
7.4. Résolution de l'équation de Poisson pour les fluctuations de pression pariétale	209
7.4.1. Formulations pour la partie TMS de la pression pariétale	210
7.4.2. Formulations pour les parties TMS et TT de la pression pariétale.	213
7.5. Conclusion	217
7.6. Bibliographie.	218

Chapitre 8. Calcul d'interaction fluide-structure par co-simulation	221
Laëtitia PERNOD	
8.1. Introduction	221
8.2. Physique de l'interaction fluide-structure	225
8.2.1. Nombres adimensionnels propres à l'écoulement du fluide	228
8.2.2. Nombres adimensionnels propres au mouvement de la structure	229
8.2.3. Nombres adimensionnels liés au couplage fluide-structure	229
8.2.4. Nombres adimensionnels supplémentaires et effets génériques d'un fluide sur une structure	230
8.2.5. Synthèse des nombres adimensionnels et intensité du couplage fluide-structure	232
8.3. Formulation mathématique de l'interaction fluide-structure	234
8.3.1. Formulation mathématique du problème fluide	235
8.3.2. Formulation mathématique du problème structure	236
8.3.3. Formulation mathématique des conditions de couplage à l'interface	237
8.4. Méthodes numériques en dynamique des fluides et des structures	237
8.4.1. Méthodes numériques en dynamique des fluides	237
8.4.2. Méthodes numériques en dynamique des structures.	239
8.4.3. Formulation arbitrairement lagrangienne-eulérienne (ALE) et maillage mobile	239
8.5. Résolution numérique de l'interaction fluide-structure	241
8.5.1. Stratégie logicielle	242
8.5.2. Méthodes de couplage en temps dans le cas des approches partitionnées	245
8.5.3. Méthodes de couplage en espace	250
8.5.4. Effet de masse ajoutée	256
8.6. Exemples d'application de co-simulations en hydrodynamique navale.	258
8.6.1. Foil en matériau composite	258
8.6.2. Hydrodynamique de carène	259
8.7. Conclusion : quelle méthode pour quelle physique ?	260
8.8. Bibliographie	261
 Chapitre 9. Tenue à la mer des navires	 265
Jean-Jacques MAISONNEUVE	
9.1. Pourquoi prédire la tenue à la mer des navires ?	266
9.1.1. Garantir la tenue structurelle	266
9.1.2. Garantir la sécurité du navire à la mer	267
9.1.3. Prédire les domaines d'opérabilité	268

9.1.4. Améliorer l'opérabilité	268
9.1.5. Connaître l'environnement et sa perturbation par le navire	269
9.1.6. Cas particulier des multicorps.	270
9.1.7. Connaître les efforts moyens ou basse fréquence dus à la houle	270
9.2. La houle	272
9.2.1. Origine, nature et description de la houle	272
9.2.2. Houle monochromatique.	273
9.2.3. Houle irrégulière	275
9.2.4. Modélisation non linéaire complète de la houle	276
9.2.5. Prise en compte de la vitesse d'avance du navire	276
9.3. Résolution hydromécanique linéaire fréquentielle	277
9.3.1. Hypothèses et formulation générale	277
9.3.2. Réponse sur houle régulière.	279
9.3.3. Réponse sur houle irrégulière.	287
9.4. Résolution non linéaire temporelle à base de modèles d'efforts	290
9.4.1. Principes de la méthode	291
9.4.2. Résultats	293
9.4.3. Outils : utilisations et limites	294
9.5. Résolution complète des équations de Navier-Stokes	295
9.5.1. Méthode	295
9.5.2. Applications aux problématiques de tenue à la mer.	298
9.6. Conclusion	301
9.7. Bibliographie.	302

Chapitre 10. Modélisation des effets d'explosions sous-marines sur structures immergées. 305

Quentin RAKOTOMOLALA

10.1. Les explosions sous-marines	306
10.1.1. Caractérisation de la menace	307
10.1.2. Calcul de l'écoulement	309
10.1.3. Les modèles semi-analytiques pour la réponse de structures immergées	311
10.2. Modèles semi-analytiques pour le mouvement d'une coque rigide	313
10.2.1. Mouvement local d'une coque rigide avec ou sans équipement	313
10.2.2. Mouvement global d'une coque rigide avec ou sans équipement	317
10.3. Modèles semi-analytiques pour le mouvement d'une coque déformable	322
10.3.1. Signal de choc sur coque déformable seule	323
10.3.2. Correction du mouvement de corps rigide.	327

10.3.3. Équipement fixé de façon rigide sur la coque	331
10.3.4. Représentation simplifiée des raidisseurs de coque	336
10.4. Remarques sur l'implémentation des modèles	339
10.5. Conclusion	341
10.6. Bibliographie	341

Chapitre 11. Tenue des structures composites

sous chargements hydrodynamiques sévères 343

Jean-Christophe PETITEAU, Pierre BERTHELOT, Kevin BROCHARD
et Alexis BLOC

11.1. Comportement des matériaux composites	344
11.1.1. Comportement élastique linéaire orthotrope	344
11.1.2. Comportement non élastique	345
11.1.3. Effets de la vitesse de déformation	348
11.2. Explosions sous-marines	349
11.2.1. Catégorisation des phénomènes	350
11.2.2. Formulations analytiques et expériences simples	352
11.2.3. Méthodes numériques.	357
11.3. <i>Slamming</i> : phénomène et formulation	365
11.4. Conclusion	368
11.5. Bibliographie	369

Liste des auteurs 373

Index 375