

# Table des matières

<b>Avant-propos</b>	<b>iii</b>
<b>Table des matières</b>	<b>v</b>
<b>I L'interaction fluide/structure</b>	<b>1</b>
1 Description de l'interaction fluide/structure . . . . .	1
2 Simulation de l'interaction fluide/structure . . . . .	4
3 Un premier exemple : interaction fluide/structure et effet inertiel . . . . .	8
3.1 Ecoulement de fluide incompressible contenu dans un espace annulaire avec frontières mobiles . . . . .	9
3.2 Système mécanique couplé fluide/structure à un degré de liberté . . . . .	11
3.3 Système mécanique couplé fluide/structure à deux degrés de liberté . . . . .	14
<b>II Eléments finis structure</b>	<b>18</b>
1 Contexte d'étude et hypothèses générales . . . . .	18
2 Mise en équation du problème structure . . . . .	19
3 Discrétisation par la méthode des éléments finis . . . . .	20
4 Matrices de masse et de raideur structure . . . . .	24
4.1 Assemblage des matrices . . . . .	24
4.2 Propriétés des matrices de masse et de raideur structure . . . . .	25
5 Exemple n° 1 : flexion d'une poutre élastique . . . . .	28
5.1 Définition, mise en équation et solution analytique . . . . .	28
5.2 Discrétisation en éléments finis . . . . .	31
5.3 Calcul des modes vibratoires . . . . .	35
6 Exemple n° 2 : flexion/traction d'un anneau élastique . . . . .	41
6.1 Définition et mise en équation . . . . .	41
6.2 Discrétisation en éléments finis . . . . .	42
6.2.1 Eléments finis 1D . . . . .	42
6.2.2 Eléments finis 0D . . . . .	46
6.3 Calcul des modes vibratoires . . . . .	47
<b>III Eléments finis fluide</b>	<b>55</b>
1 Contexte d'étude et hypothèses générales . . . . .	55
2 Mise en équation du problème fluide . . . . .	56
2.1 Domaine des "hautes fréquences" : effet de compressibilité . . . . .	56
2.1.1 Formulation en pression . . . . .	56
2.1.2 Formulations en déplacement et potentiel des déplacements, pression . . . . .	60

2.2	Domaine des "basses fréquences" : effet de gravité . . . . .	62
2.2.1	Formulation en pression . . . . .	62
2.2.2	Formulation en potentiel des déplacements/élévation . . . . .	63
3	Discrétisation par la méthode des éléments finis . . . . .	64
3.1	Discrétisation en éléments finis - Effet de compressibilité . . . . .	64
3.1.1	Élément fini formulé en pression . . . . .	64
3.1.2	Élément fini formulé en déplacement . . . . .	66
3.2	Discrétisation en éléments finis - Effet de gravité . . . . .	66
3.2.1	Élément fini formulé en pression . . . . .	66
3.2.2	Élément fini formulé en potentiel des déplacements/élévation . . . . .	67
4	Matrices de "masse" et de "raideur" fluide . . . . .	67
4.1	Matrices de "masse" et de "raideur" fluide - Effet de compressibilité . . . . .	68
4.2	Matrices de "masse" et de "raideur" fluide - Effet de gravité . . . . .	68
4.3	Interprétation physique des matrices de "masse" et de "raideur" fluide . . . . .	69
5	Exemple n° 1 : modes propres acoustiques . . . . .	71
5.1	Définition, mise en équation et solution analytique . . . . .	71
5.2	Discrétisation en éléments finis . . . . .	74
5.3	Calcul des modes acoustiques . . . . .	79
6	Exemple n° 2 : modes propres de ballonnement . . . . .	84
6.1	Définition, mise en équation et solution analytique . . . . .	84
6.2	Discrétisation en éléments finis . . . . .	85
6.3	Calcul des modes de ballonnement . . . . .	86
<b>IV Couplage fluide/structure en éléments finis</b>		<b>90</b>
1	Contexte d'étude et hypothèses générales . . . . .	90
2	Effet inertiel . . . . .	91
2.1	Formulations du problème couplé . . . . .	91
2.2	Matrice d'interaction fluide/structure . . . . .	92
2.3	Matrice de masse ajoutée . . . . .	94
2.3.1	Assemblage de la matrice de masse ajoutée . . . . .	94
2.3.2	Propriété de la matrice de masse ajoutée . . . . .	95
3	Interaction fluide/structure . . . . .	99
3.1	Formulations couplées non symétriques . . . . .	100
3.1.1	Couplage élasto-acoustique non symétrique . . . . .	100
3.1.2	Couplage hydro-élastique non symétrique . . . . .	101
3.2	Formulations couplées symétriques . . . . .	103
3.2.1	Couplage élasto-acoustique symétrique . . . . .	103
3.2.2	Couplage hydro-élastique symétrique . . . . .	107
4	Exemple n° 1 : effet inertiel pour une poutre en flexion . . . . .	109
4.1	Définition, mise en équations et solution analytique . . . . .	109
4.1.1	Solution analytique exacte . . . . .	110
4.1.2	Solution analytique approchée . . . . .	113
4.2	Discrétisation en éléments finis . . . . .	114
4.3	Calcul modal . . . . .	117
5	Exemple n° 2 : effet inertiel pour un anneau en flexion/traction . . . . .	120
5.1	Définition, mise en équation et solution analytique . . . . .	120
5.2	Discrétisation en éléments finis . . . . .	122
5.3	Calcul modal . . . . .	125

6	Exemple n° 3 : couplage élasto-acoustique sans ballonnement . . . . .	130
7	Exemple n° 4 : couplage élasto-acoustique avec ballonnement . . . . .	134
<b>V</b>	<b>Calcul de réponse forcée de systèmes couplés</b>	<b>144</b>
1	Contexte d'étude et hypothèses générales . . . . .	144
2	Calcul temporel avec méthodes directe et modale . . . . .	149
2.1	Méthode directe appliquée à un système soumis à un effort . . . . .	149
2.2	Méthode modale appliquée à un système soumis à une accélération . . . . .	151
2.2.1	Caractéristiques modales d'un système mécanique linéaire . . . . .	151
2.2.2	Orthogonalité des modes propres et cumul des masses effectives . . . . .	152
2.2.3	Projection sur base modale . . . . .	154
2.2.4	Troncature de la base modale et correction statique . . . . .	155
3	Exemple n°1 : calcul de masses effectives . . . . .	159
3.1	Définition et mise en équation . . . . .	159
3.2	Discrétisation en éléments finis . . . . .	160
3.3	Calcul de masses effectives . . . . .	163
4	Exemple n° 2 : réponse fréquentielle d'une poutre élastique . . . . .	165
4.1	Définition, mise en équation et discrétisation en éléments finis . . . . .	165
4.2	Calcul de la réponse en fréquence . . . . .	167
5	Exemple n° 3 : réponse temporelle d'une poutre élastique . . . . .	173
5.1	Définition , mise en équation et discrétisation en éléments finis . . . . .	173
5.2	Analyse modale . . . . .	175
5.2.1	Calcul des modes propres et des masses effectives . . . . .	175
5.2.2	Fréquences propres et spectre d'oscillateurs . . . . .	177
5.3	Calcul de la réponse statique . . . . .	178
5.4	Calcul de la réponse dynamique . . . . .	181
6	Exemple n° 4 : anneau élastique immergé et excité par une onde acoustique . . . . .	187
6.1	Définition et mise en équation . . . . .	187
6.2	Solution semi-analytique . . . . .	188
6.3	Modélisation simplifiée de l'interaction fluide/structure . . . . .	191
6.4	Discrétisation en éléments finis . . . . .	195
6.5	Calcul de la réponse dynamique . . . . .	196
	<b>Index</b>	<b>198</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>200</b>