

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	XI
CHAPITRE 1 PROBLÈME MODÈLE DE LA BARRE (PRINCIPE DES TRAVAUX VIRTUELS)	1
1.1 Cinématique: description matérielle.....	3
1.2 Dynamique: équilibre des forces.....	7
1.3 Mécanique: principe des travaux virtuels.....	10
1.4 Non-linéarités géométrique et matérielle.....	17
1.5 Lois de comportement des matériaux solides.....	19
1.6 Discontinuités dans l'espace.....	27
1.7 Thermique: équation de la chaleur.....	32
1.8 Mathématiques: notions d'analyse fonctionnelle.....	34
1.9 Résumé.....	42
CHAPITRE 2 DISCRÉTISATION SPATIALE PAR LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS	43
2.1 Point de vue global: méthode de Galerkin.....	49
2.2 MEF nodale: fonctions de base polynomiales par morceaux... ..	57
2.3 Localisation des déplacements nodaux du maillage.....	62
2.4 Interpolation des déplacements nodaux élémentaires.....	66
2.5 Intégration des forces nodales élémentaires.....	71
2.6 Assemblage des forces nodales du maillage.....	75
2.7 Propriétés des vecteurs forces.....	79
2.8 Automatisation: isoparamétrage et intégration numérique.....	81
2.9 Condensation des conditions aux limites.....	84
2.10 Algorithme: boucle sur les éléments.....	86
2.11 Mise en pratique: discrétisation de l'équation de la chaleur... ..	87
2.12 Convergence: normes et estimations d'erreur.....	90
2.13 Résumé.....	95
CHAPITRE 3 SOLUTION DES NON-LINÉARITÉS PAR LA MÉTHODE DES ITÉRATIONS LINÉAIRES	97
3.1 Linéarisation: dérivées classique et directionnelle.....	102
3.2 Linéarisation de la contrainte nominale.....	105

3.3	Equation linéarisée du mouvement : matrices masse, amortissement et rigidité	111
3.4	Matrices masse et rigidité tangente d'un élément fini	114
3.5	Assemblage des matrices masse et rigidité	116
3.6	Propriétés des matrices masse et rigidité	120
3.7	Equation linéarisée de la chaleur	123
3.8	Condensation des conditions aux limites après linéarisation	124
3.9	Méthode des itérations linéaires : algorithme et variantes	125
3.10	Méthodes de Newton standard et modifiée	127
3.11	Méthodes de sécantes et gradients conjugués	130
3.12	Méthodes du gradient et de Jacobi	132
3.13	Convergence locale et globale des méthodes itératives	135
3.14	Convergence locale des MIL: consistance et stabilité	141
3.15	Convergence globale des MIL: amortissement et continuation ..	143
3.16	Résumé	149
CHAPITRE 4	INTÉGRATION DANS LE TEMPS PAR LA MÉTHODE DES DIFFÉRENCES FINIES	150
4.1	Règle des trapèzes généralisée ou schéma d'Euler (appliquée à l'équation linéaire de la chaleur)	156
4.2	Analyse modale de l'équation de la chaleur	158
4.3	Analyse d'erreur générale: sommaire et glossaire	161
4.4	Stabilité de l'algorithme trapèze-chaleur	165
4.5	Consistance de l'algorithme trapèze-chaleur	169
4.6	Convergence de l'algorithme trapèze-chaleur	171
4.7	Règle des trapèzes généralisée ou schéma de Newmark (appliquée à l'équation linéaire des ondes)	173
4.8	Analyse modale de l'équation des ondes	176
4.9	Stabilité de l'algorithme trapèze-onde	180
4.10	Consistance de l'algorithme trapèze-onde	187
4.11	Convergence de l'algorithme trapèze-onde	190
4.12	Résumé	191
CHAPITRE 5	COMBINAISON COMPACTE DES MÉTHODES D'ÉLÉMENTS FINIS, D'ITÉRATIONS LINÉAIRES ET DE DIFFÉRENCES FINIES	193
5.1	Révision des formulations du problème	196
5.2	Révision de l'algorithme EF-Galerkine	197
5.3	Révision de l'algorithme IL-Newton	200
5.4	Révision de l'algorithme DF-Newmark	201
5.5	Combinaison des trois algorithmes EF, IL et DF	203
5.6	Algorithme pour la thermique non linéaire	204
5.7	Algorithme pour la dynamique non linéaire	206

5.8 Synthèse pour la thermodynamique non linéaire	209
5.9 Bilan sur la convergence	210
5.10 Conseils de programmation (l'exemple de TACT)	213
5.11 Programmation des méthodes DF et IL	215
5.12 Programmation des méthodes EF et algébriques	216
5.13 Résumé	220
CHAPITRE 6 SOLIDES DÉFORMABLES BI- ET TRIDIMENSIONNELS	221
6.1 Cinématique : description matérielle	223
6.2 Dynamique : équilibre des forces	228
6.3 Mécanique : principe des travaux virtuels	234
6.4 Lois de comportement objectives	240
6.5 Linéarisation de la contrainte nominale	243
6.6 Lois de comportement des matériaux solides	250
6.7 Discrétisation spatiale en trois dimensions	263
6.8 Mécanique discrète linéarisée (liaison MEF-MIL)	274
6.9 Éléments finis solides isoparamétriques	279
6.10 Intégration dans le temps par la MDF	287
6.11 Algorithme final	288
6.12 Résumé	288
CONCLUSION	291
BIBLIOGRAPHIE	292
ANNEXE A LISTE DES SYMBOLES	293
ANNEXE B ÉNONCÉS D'EXERCICES	303
INDEX	329