

Mohamed KHAOUA

Traité de mécanique des structures



Office des Publications Universitaires

TABLE DES MATIERES

Préface	IX
Introduction	IX
Hommage	XIV
TITRE I NOTIONS DE MECANIQUE DES MILIEUX DEFORMABLES	
CHAPITRE I ELEMENTS D'ANALYSE TENSORIELLE	1
1 - Eléments d'analyse tensorielle	1
1-2 Vecteurs et tenseurs	4
1-3 Tenseurs géométriques fondamentaux	10
1-3-1 Longueur d'un vecteur : tenseurs métriques	10
1-3-2 surfaces et volumes en coordonnées curvilignes	14
2 - Autres applications à la géométrie	27
2-1 Opérateurs vectoriels	28
2-1-1 Gradient d'un scalaire	28
2-1-2 Divergence d'un vecteur	28
2-1-3 Rotationnel d'un vecteur	29
2-1-4 Application aux systèmes de coordonnées usuels	31
2-1-5 Transformation d'intégrales : théorème de Gauss-Ostrogradski	38
2-2 Géométrie des coques	40
2-2-1 Définition	40
2-2-2 Repère intrinsèque	40
2-2-3 Vecteurs de base	42
2-2-4 Courbure des surfaces	45
2-2-5 Application aux coques	47
2-2-6 Exemples	49
CHAPITRE II MECANIQUE DE LA DEFORMATION	51
1 - Cinématique de la déformation	51
1-1 Vecteur déplacement	51
1-2 Tenseur des déformations	53
1-2-1 Définition	53
1-2-2 Interprétation géométrique	53

1 - 2 - 3 Expression du tenseur des déformations en fonction des composantes du déplacement	55
1 - 2 - 4 Expression du tenseur des déformations dans différents systèmes de coordonnées	56
1 - 2 - 5 Variations géométriques	58
1 - 3 Tenseur des rotations	60
1 - 3 - 1 Définition	60
1 - 3 - 2 Interprétation géométrique	61
1 - 3 - 3 Expression du tenseur des rotations dans les systèmes de coordonnées usuels	62
1 - 3 - 4 Correspondance entre le tenseur et le vecteur rotation	64
1 - 4 Expression générale du champ de déplacement d'un milieu déformable	64
1 - 4 - 1 Théorie générale	64
1 - 4 - 2 Application aux corps minces	66
1 - 4 - 3 Variation des courbures	72
2 Statique de la déformation	75
2 - 1 Tenseur des contraintes	75
2 - 2 Equations d'équilibre des forces	76
2 - 2 - 1 Equations d'équilibre dans le cas général	76
2 - 2 - 2 Equations d'équilibre dans les systèmes de coordonnées usuels	77
2 - 3 Equilibre des moments	78
2 - 4 Efforts résultants	80
3 Travail et énergie. Loi de comportement	80
3 - 1 Thermodynamique de la déformation	81
3 - 1 - 1 Travail des forces intérieures	81
3 - 1 - 2 Energie d'un corps en déformation	82
3 - 2 Loi de comportement	83
3 - 2 - 1 Déformation isotherme	85
3 - 2 - 2 Déformation avec variation de température	86
3 - 3 Equilibre d'un corps déformé	90
3 - 3 - 1 Equilibre statique : principe des travaux virtuels	91

3 - 3 - 2 Equilibre dynamique	92
** principes de la conservation de l'énergie	92
** principe de moindre action	94

TITRE II EQUILIBRE DES BARRES ET DES ARCS

CHAPITRE III THEORIE GENERALE 98

1 Champ des déplacements dans les barres	98
1 - 1 Théorie générale	98
1 - 2 Théorie de la torsion pure	104
1 - 3 Application à des sections de formes diverses	108
1 - 3 - 1 Sections circulaires pleines	108
1 - 3 - 2 Sections circulaires creuses	109
1 - 3 - 3 Sections circulaires à parois minces	109
1 - 3 - 4 Sections elliptiques	110
1 - 3 - 5 Sections allongées	111
1 - 3 - 6 Sections rectangulaires	111
1 - 3 - 7 Sections en profilé mince	113
2 Tenseur des déformations	114
3 Tenseur des contraintes	115
4 Efforts dans les barres et arcs	116
4 - 1 Effort normal	116
4 - 2 Moments de flexion	117
4 - 3 Efforts tranchants	118
4 - 4 Moment de torsion	119
5 Energie de déformation et travail des forces extérieures	121
6 Equations d'équilibre et conditions aux limites	125

CHAPITRE IV DEFORMATION DES BARRES RECTILIGNES

APPLICATIONS	127
1 Considérations générales	127
2 Déformation longitudinale des barres	133
2 - 1 Caractéristiques de la déformation	133
2 - 2 Barres isolées sous diverses charges	133
2 - 3 Barres assemblées rigidement	136

2 - 4 Barres en treillis	138
3 Flexion des barres	141
3 - 1 Théorie générale	141
3 - 2 Flexion des barres isolées sous divers cas de charge	143
3 - 2 - 1 Poutres isostatiques	143
3 - 2 - 2 Poutres hyperstatiques	147
3 - 3 Poutres continues	152
3 - 4 Poutres sur appuis «élastiques isolés	157
3 - 5 Poutres sur appuis élastiques continus	159
3 - 6 Cisaillement pur dans les barres. Application au calcul des poutres larges	162
3 - 7 Portiques	167
4 Torsion des barres	176
4 - 1 Torsion pure des barres	176
4 - 2 Torsion gênée des barres	179
5 Barres inclinées. Changement de coordonnées	184
6 Application au calcul des bâtiments en voile	188
CHAPITRE V DEFORMATION DES ARCS APPLICATIONS	193
1 Rappels théoriques	193
2 Application aux arcs plans	197
2 - 1 Déformation d'un anneau mince	197
2 - 2 Arc en porte à faux	201
2 - 3 Arcs uniformément chargés dans le plan	202
2 - 3 - 1 Charge normale à la ligne moyenne	202
* Arc articulé à ses deux extrémités	202
* Arc encastré à ses deux extrémités	203
2 - 3 - 2 Charge verticale	204
* Arc articulé à ses deux extrémités	205
* Arc encastré à ses deux extrémités	206
3 Arc associé à une barre	208
4 Arcs chargés perpendiculairement à leur plan	210
5 Déformation des arcs hélicoïdaux	212
5 - 1 Considérations théoriques	212

5 - 2 Application	216
TITRE III EQUILIBRE DES PLAQUES ET DES COQUES	
CHAPITRE VI THEORIE GENERALE	220
1 Fondements des lois de l'équilibre des plaques et coques	221
1 - 1 Construction du champ des déplacements	221
1 - 2 Tenseur des déformations	228
1 - 3 Tenseur des contraintes	228
1 - 4 Energie de déformation	230
1 - 5 Travail des forces extérieures	235
2 Equations d'équilibre. Conditions aux limites	236
3 Application à des corps de formes diverses	241
3 - 1 Equilibre des plaques rectangulaires	241
3 - 2 Equilibre des coques cylindriques de révolution	244
3 - 3 Equilibre des coques sphériques de révolution	246
CHAPITRE VII DEFORMATION DES PLAQUES APPLICATIONS	250
1 Introduction	250
2 Déformation longitudinale des plaques : théorie de la membrane	251
2 - 1 Fondements de la théorie de la membrane	251
2 - 2 Déformation des plaques circulaires de révolution	255
2 - 2 - 1 Plaque en rotation uniforme autour de son axe	255
2 - 2 - 2 Disque soumis à des forces tangentielles	256
2 - 3 Déformation de membrane des plaques rectangulaires	258
2 - 3 - 1 Solution en forme de polynôme	259
2 - 3 - 2 Solution en forme de série trigonométrique	261
2 - 3 - 3 Solution par la méthode des éléments finis	264
3 Flexion des plaques rectangulaires	266
3 - 1 Rappels théoriques	266
3 - 2 Plaques en appui simple de conditions de chargement variées	270
3 - 2 - 1 Plaque uniformément chargée. Solution de Navier	271
3 - 2 - 2 Action d'une force et de moments concentrés	275

3 - 2 - 3	Plaques nervurées	278
3 - 2 - 4	Solution de Maurice Lévy	280
3 - 2	Plaques de modes de fixations variés	282
3 - 3	Plaques sur appuis élastiques	284
4	Flexion des plaques circulaires de révolution	286
4 - 1	Rappels théoriques	287
4 - 2	Plaques circulaires uniformément chargées	290
4 - 2 - 1	Plaques circulaires de révolution diversement appuyées	290
4 - 2 - 2	Plaque circulaire présentant une singularité au centre	292
4 - 3	Plaques circulaires sur appui élastique	295
CHAPITRE VIII DEFORMATION DES COQUES. APPLICATIONS		297
1	Rappel des notions fondamentales	297
2	Déformation des coques cylindriques	298
2 - 1	Déformation longitudinale des coques cylindriques	300
2 - 2	Flexion des coques cylindriques de révolution	304
3	Déformation des coques sphériques	309
3 - 1	Déformation longitudinale des coques de révolution	310
3 - 2	Flexion des coques sphériques de révolution	315
BIBLIOGRAPHIE		321