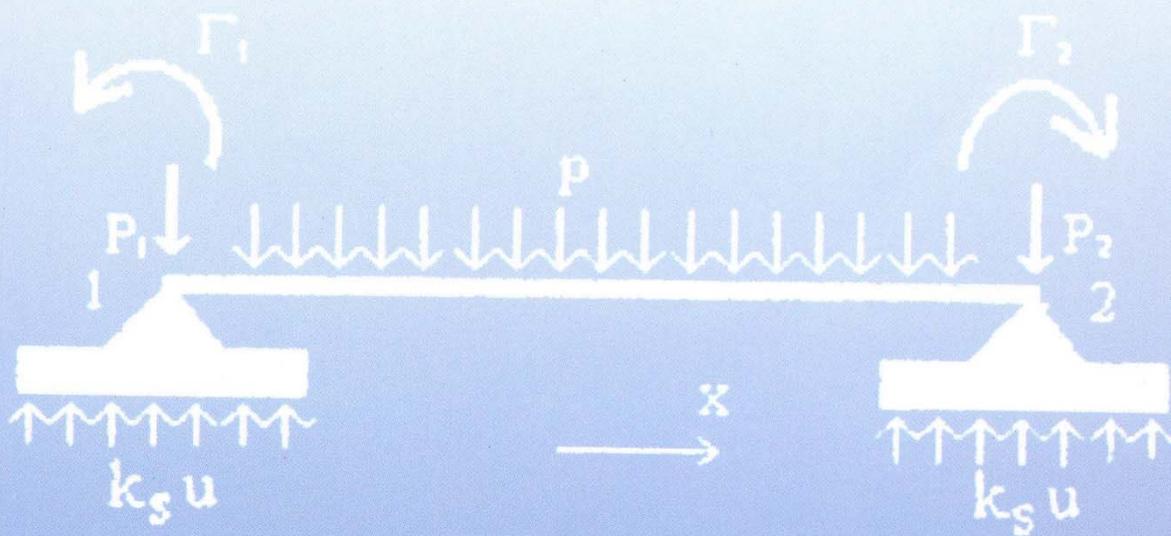


Mohamed KHAOUA

# Traité de mécanique des structures



*Office des Publications Universitaires*



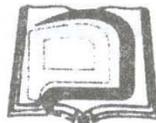
2-624-140-19

Mohamed KHAYOUA



# TRAITÉ DE MÉCANIQUE DES STRUCTURES

3<sup>ème</sup> Edition



OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERSITAIRES

## TABLE DES MATIERES

Préface	IX
Introduction	IX
Hommage	XIV
<b>TITRE I NOTIONS DE MECANIQUE DES MILIEUX DEFORMABLES</b>	
<b>CHAPITRE I ELEMENTS D'ANALYSE TENSORIELLE</b>	<b>1</b>
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
<b>CHAPITRE II MECANIQUE DE LA DEFORMATION</b>	<b>51</b>
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