

——— Traité de Génie Civil ———
de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

Volume 5

ANALYSE DES STRUCTURES ET MILIEUX CONTINUS

Coques

François Frey et Marc-André Studer



PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES

Table des matières

AVANT-PROPOS	v
INTRODUCTION	vii
TABLE DES MATIÈRES	ix
1 Description	
1.1 Élément structural à paroi mince	1
1.2 Géométrie de la surface moyenne	2
1.3 Etat membranaire et état flexionnel	8
1.4 Coques	10
1.5 Structures plissées	16
1.6 Autres structures	17
1.7 Analyse des surfaces	19
2 Théorie des coques minces	
2.1 Introduction	29
2.2 Théorie de Love	29
2.3 Élément de coque	30
2.4 Hypothèses	31
2.5 Autres théories	32
2.6 Cinématique	33
2.7 Statique	38
2.8 Loi constitutive	44
2.9 Bilan des inconnues et équations	45
2.10 Conditions aux limites	46
3 Théories particulières	
3.1 Introduction	49
3.2 Théorie membranaire	49
3.3 Théorie en coordonnées cartésiennes	53
3.4 Coques surbaissées	56
4 Coques de révolution – Théorie membranaire	
4.1 Introduction	61
4.2 Géométrie	61

4.3	Equations d'équilibre	63
4.4	Chargement de révolution	67
4.5	Cinématique	70
4.6	Conditions aux limites	73
4.7	Application – Coque cylindrique (chargement de révolution)	74
4.8	Exercices	77
5	Coques de révolution – Théorie flexionnelle sous chargement de révolution	
5.1	Introduction	83
5.2	Géométrie, charges et efforts intérieurs	83
5.3	Equations d'équilibre	85
5.4	Cinématique	86
5.5	Loi constitutive	88
5.6	Bilan et conditions aux limites	88
5.7	Coque cylindrique	88
5.8	Coque cylindrique – Effet flexionnel de bord	93
5.9	Méthode approchée par superposition	97
5.10	Application – Réservoir cylindrique	99
5.11	Coque sphérique – Effet flexionnel de bord	103
5.12	Exercices	112
5.13	Annexes	114
6	Coques de révolution – Jonctions	
6.1	Position du problème	119
6.2	Anneau raidisseur	122
6.3	Réflexions sur les efforts aux jonctions	123
6.4	Calcul des jonctions de coques	125
6.5	Application – Fond de réservoir sous pression	128
6.6	Exercices	132
7	Coques cylindriques – Théorie membranaire	
7.1	Géométrie	135
7.2	Equilibre	136
7.3	Cinématique	138
7.4	Loi constitutive et bilan	139
7.5	Conditions aux limites	139
7.6	Applications	141
7.7	Forme de la directrice d'une voûte autoportante	146
7.8	Conclusion	147
7.9	Exercices	148

8 Coques cylindriques – Théorie flexionnelle

8.1	Introduction	151
8.2	Equations de la théorie flexionnelle	151
8.3	Calcul d'une coque cylindrique	153
8.4	Voûtes autoportantes	154
8.5	Voûtes longues – Méthode de la poutre	155
8.6	Voûtes raidies	159
8.7	Précontrainte	161
8.8	Exercices	162
8.9	Annexe	165

9 Paraboloïdes

9.1	Description et généralités	167
9.2	Paraboloïdes hyperboliques	170
9.3	Paraboloïdes elliptiques	177
9.4	Exercices	177

10 Structures plissées

10.1	Description	181
10.2	Mode de travail	181
10.3	Coques prismatiques	183
10.4	Coques prismatiques droites à simple portée	183
10.5	Méthode par panneaux	184
10.6	Exercice	193

11 Méthodes numériques

11.1	Introduction	195
11.2	Avantages et inconvénients de la méthode des éléments finis	195
11.3	Exigences communes aux éléments finis	197
11.4	Théories et éléments finis	198
11.5	Eléments de coque mince	201
11.6	Eléments plaques-membranes minces	207
11.7	Eléments de coque d'épaisseur modérée	208
11.8	Quelques problèmes de discrétisation	216
11.9	Eléments finis particuliers	224
11.10	Conclusions	227
11.11	Exercices	227

12 Instabilité

12.1	Complexité et importance du problème	229
12.2	Echec de la théorie classique de l'instabilité	229
12.3	Analyse non linéaire	233

12.4	Forme rationnelle des coques pour lutter contre l'instabilité	240
12.5	Instabilité par fluage et claquement	241
12.6	Deux formules de dimensionnement	242
12.7	Exercices	245
SOLUTION DES EXERCICES		247
BIBLIOGRAPHIE		253
INDEX		257
NOTATIONS		261
ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES		263