

Luc Chevalier

Mécanique des systèmes et des milieux déformables

Cours, exercices et problèmes corrigés

3^e édition

- Sciences industrielles de l'ingénieur
- Agrégation
- Licences
- Master de Mécanique
- Génie Mécanique
- Génie Civil et Sciences pour l'ingénieur
- Écoles d'ingénieurs



Table des matières

Avant-propos.....	1
Chapitre 1 : Description du mouvement.....	5
I. Trajectoire, Vecteur position	5
I.1 Référentiel.....	5
I.2 Trajectoire	7
I.3 Vecteur position	7
II. Vecteurs vitesse et accélération	8
II.1 Vecteur vitesse.....	8
II.2 Vecteur accélération	9
II.3 Dérivation vectorielle dans un repère R	9
II.4 Étude de trois mouvements simples	14
III. Composition des vitesses et des accélérations.....	16
III.1 Composition des vitesses	17
III.2 Composition des accélérations.....	18
III.3 Exemple : Un système régulateur	19
IV. Champ des vitesses d'un solide	20
IV.1 Paramétrage de la position d'un solide.....	20
IV.2 Angles d'Euler.....	21
IV.3 Champ des vitesses d'un solide	21
IV.4 Premier exemple : un bidule inutile	24
IV.5 Autres exemples plus réalistes	26
IV.6 Dernier exemple plus industriel : robot FANUC	37
V. Glissement, roulement et pivotement	40
V.1 Vitesse de glissement	40
V.2 Vecteurs roulement et pivotement	40
V.3 Exemples	41
Chapitre 2 : Actions mécaniques	47
I. Actions mécaniques de surface et de volume	47
I.1 Définition d'une action mécanique.....	47
I.2 Quelques exemples	50
I.3 Torseur résultant	53
I.4 Exemples de torseurs	54
II. Principe fondamental de la statique	56
II.1 Efforts extérieurs à un système matériel	56
II.2 Énoncé du principe fondamental de la statique	56
II.3 Cas particuliers	57
II.4 Utilisation du P.F.S	58
II.5 Exemples	59
III. Lois de frottement	64
III.1 Analyse du contact ponctuel entre deux solides	65
III.2 Lois de Coulomb	65
III.3 Illustrations	67

IV.	Liaisons entre pièces mécaniques (aspects statiques et cinématiques).....	71
IV.1	Torseurs des vitesses relatives et des interefforts	71
IV.2	Inventaire des liaisons mécaniques normalisées	73
Chapitre 3 : Effets de masse et d'inertie		79
I.	Centre d'inertie	79
I.1	Centre d'inertie : définition	79
I.2	Centre d'inertie ; centre de gravité.....	79
I.3	Exemple : demi rondin cylindrique	80
II.	Moment d'inertie, produit d'inertie	80
II.1	Moment d'inertie par rapport à une droite D.....	81
II.2	Produit d'inertie	81
II.3	Exemple de calcul de moments d'inertie	81
III.	Opérateur d'inertie	82
III.1	Propriétés de l'opérateur d'inertie.....	83
III.2	Généralisations	84
III.3	Calculs de divers opérateurs d'inertie	85
IV.	Torseurs cinétique et dynamique.....	90
IV.1	Quantité de mouvement, quantité d'accélération	90
IV.2	Torseur cinétique, torseur dynamique	91
IV.3	Relations cinétique et dynamique	91
V.	Calcul des éléments cinétiques	92
V.1	Résultantes cinétiques et dynamiques	92
V.2	Moment cinétique.....	92
V.3	Exemple : équilibrage dynamique	93
V.4	Utilisation "dynamique" des calculs cinétiques.....	97
VI.	Principe fondamental de la dynamique	99
VI.1	Théorèmes Généraux de la dynamique	100
VI.2	Utilisation des Théorèmes Généraux	101
VI.3	Problèmes simples de dynamique du solide	104
VII.	Questions de stabilité	118
VII.1	Position d'équilibre - Petits mouvements	119
VII.2	Linéarisation des équations de mouvement	121
VII.3	Système gyroscopique.....	124
Chapitre 4 : Théorèmes énergétiques		131
I.	Théorème de l'Énergie cinétique.....	131
I.1	Puissance, travail, énergie potentielle	131
I.2	Énergie cinétique	133
I.3	Théorème de l'énergie cinétique.....	134
II.	Principe des puissances virtuelles	140
II.1	Introduction au principe des puissances virtuelles.....	140
II.2	Méthode des puissances virtuelles	143
III.	Équations de Lagrange.....	147
III.1	Paramétrage réel, paramétrage primitif.....	147
III.2	Application du P.P.V. aux équations de Lagrange	148
III.3	Exemples d'utilisation	152
III.4	Schémas numériques de résolution	166

Chapitre 5 : Vibrations de solides	169
I. Vibrations a 1 d.d.l	169
I.1 L'oscillateur élémentaire	169
I.2 Régime de vibration libre	171
I.3 Régime de vibration forcée	177
II. Vibrations des systèmes conservatifs	189
II.1 Vibrations libres : analyse modale	189
II.2 Détermination numérique des modes propres	205
II.3 Vibrations forcées des structures conservatives.....	218
III. Vibrations des systèmes amortis.....	222
III.1 Différents types d'amortissement	222
III.2 Cas général des systèmes amortis.....	226
Chapitre 6 : Milieux déformables élastiques	229
I. Mécanique des Milieux Déformables : Introduction	229
I.1 Comportement et structure des matériaux	229
I.2 Sollicitations simples.....	233
I.3 Introduction à la mécanique des milieux déformables	239
II. Tenseurs des contraintes et des déformations	240
II.1 Tenseur de déformations	240
II.2 PPV - Équations locales d'équilibre	261
II.3 Tenseur des contraintes de Cauchy	264
III. Comportement élastique linéaire	270
III.1 Comportement élastique isotrope.....	272
III.2 Méthodes de résolution d'un pb. élastique	279
III.3 Critères de limite élastique.....	287
III.4 Quelques exemples de problèmes élastiques	291
Chapitre 7 : Résolution de problèmes d'élasticité	303
I. Élasticité plane.....	303
I.1 Problèmes d'élasticité plane	303
I.2 Résolution par les fonctions d'Airy.....	306
I.3 Exemples de résolution par les fonctions d'Airy	307
II. Torsion des poutres cylindriques	318
II.1 Méthode de résolution	319
II.2 Exemples d'applications	323
II.3 Méthode de résolution approchée	329
II.4 Introduction aux éléments finis : Application à la torsion.....	332
III Méthode des éléments finis	338
III.1 Éléments finis en 3D	339
III.2 Résolution approchée par la M.E.F	342
III.3 Méthodes de résolution d'un problème statique.....	349
Chapitre 8 : Approximations des plaques et des poutres	361
I. Théorie des plaques élastiques.....	361
I.1 Cinématique des plaques	361
I.2 Théorie des plaques élastiques	365
I.3 Exemples de résolution des problèmes de plaque.....	370

II.	Théorie des poutres.....	376
II.1	Cinématique des poutres.....	377
II.2	PPV - Équilibre d'un tronçon de poutre	379
II.3	Résolution d'un problème de poutre élastique	389
II.4	Exemples de problèmes de poutres	398
Chapitre 9 : Structures à base de poutres et de barres.....		423
I.	Théorèmes énergétiques.....	423
I.1	Théorèmes énergétiques appliqués aux poutres élastiques.....	423
I.2	Méthode des éléments finis : application aux poutres.....	445
II.	Vibrations de poutres.....	462
II.1	Dynamiques des poutres continues	462
II.2	Résolution approchée du problème de vibration libre	471
II.3	Études statique et dynamique d'une suspension arrière.....	475
Chapitre 10 : Mécanique des fluides.....		485
I.	Précisions sur contraintes et déformations.....	485
I.1	Gradient des vitesses - Vitesses de déformation \underline{D}	486
I.2	Tenseur des contraintes $\underline{\sigma}$	488
I.3	Critère d'écoulement des fluides	489
II.	Statique des fluides	490
II.1	Hydrostatique.....	490
II.2	Forces de pression sur les parois.....	493
III.	Dynamique des fluides parfaits	496
III.1	Écoulement de fluides parfaits	496
III.2	Théorème d'Euler	499
IV.	Comportement visqueux.....	501
IV.1	Loi de comportement visqueux.....	501
IV.2	Exemples d'écoulements	503
Annexe		519
Bibliographie		535