

Cours et exercices corrigés

BTS • IUT • CPGE • Écoles d'ingénieurs

MÉCANIQUE DU SOLIDE

Applications industrielles

2e édition

CAMPUS LMD

Pierre Agati
Yves Brémont
Gérard Delville

531-75.1

DUNOD

Avant-propos

Dans la collection **Sciences Industrielles** proposée aux étudiants des classes préparatoires aux grandes écoles, DUT, BTS, ainsi qu'aux étudiants du premier cycle universitaire, cet ouvrage **Mécanique du solide** développe les trois grandes parties de la mécanique générale du solide indéformable :

- Cinématique
- Statique
- Dynamique

Les chapitres de ce livre sont construits sur le même plan :

- **Cours**

Un cours concis et complet où chaque notion importante est suivie d'une courte application.

- **À savoir**

Un résumé des résultats essentiels du cours.

- **Exercice résolu**

Un exercice dont la correction détaillée montre la mise en œuvre du cours.

- **Conseils pour la résolution**

Des conseils pour éviter les erreurs classiques.

- **Exercices corrigés**

Des exercices, pour la plupart issus de mécanismes industriels, avec des réponses plus ou moins détaillées.

Nous souhaitons que la méthode pédagogique utilisée et le choix des exercices permettent au futur ingénieur ou technicien de comprendre, d'assimiler et d'appliquer les concepts fondamentaux de la mécanique du solide pour arriver à une modélisation et une étude correcte des systèmes mécaniques industriels.

Les auteurs

Table des matières

AVANT-PROPOS I

PARTIE I • CINÉMATIQUE 1

CHAPITRE 1 • **MODÉLISATION ET PARAMÉTRAGE DES MÉCANISMES** 3

1.1 Modélisation des pièces mécaniques 3
1.2 Modélisation des liaisons 3
1.3 Nombre de degrés de liberté d'une liaison 9
1.4 Paramétrage de la position d'un solide par rapport à un repère 10
1.5 Schéma cinématique des mécanismes 13
1.6 Loi « entrée-sortie » d'un mécanisme 15

Exercice résolu : Mélangeur de pâtisserie 16

Exercices corrigés :
1.1. Guidage en rotation 18
1.2. Joint de OLDHAM 19
1.3. Actionneur de trieur à grains 19
1.4. Échelle contre un arbre 20
1.5. Solides en contact avec un plan 21
1.6. Système bielle manivelle 22
1.7. Régulateur centrifuge Citroën 22
1.8. Joint de Cardan 23
1.9. Barrière de passage à niveau 24
1.10. Moteur de modèle réduit 26
1.11. Machine d'essai de fatigue en flexion 26

CHAPITRE 2 • **VECTEURS POSITION, VITESSE ET ACCÉLÉRATION D'UN POINT D'UN SOLIDE** 29

2.1 Mesure du temps 29
2.2 Vecteur position d'un point d'un solide 30
2.3 Vecteur vitesse d'un point d'un solide 30
2.4 Vecteur accélération d'un point d'un solide 30
2.5 Calcul du vecteur vitesse et du vecteur accélération d'un point d'un solide 31
2.6 Dérivation graphique 35

Exercice résolu : Mouvement d'un outil de fraise 40

Exercices corrigés :

2.1. Mouvement hélicoïdal 43
2.2. Mouvement cycloïdal 43
2.3. Manipulateur de fonderie 44
2.4. Tronçonneuse de tube en continu 45
2.5. Navigation à la surface de la Terre 47
2.6. Compresseur volumétrique ROOT 47
2.7. Détermination d'un profil de came 48
2.8. Aérogénérateur à hélice bipale 49
2.9. Équilibreuse de roue 49

CHAPITRE 3 • **CHAMP DES VECTEURS VITESSE ET ACCÉLÉRATION DES POINTS D'UN SOLIDE** 51

3.1 Champ des vecteurs vitesse des points d'un solide 51
3.2 Champ des vecteurs accélération des points d'un solide 59

Exercice résolu : Échelle contre un mur 61

Exercices corrigés :

3.1. Pompe à eau 64
3.2. Machine à fileter 65
3.3. Pince à troncs d'arbres 67
3.4. Manipulateur 67
3.5. Pendule double 68
3.6. Régulateur à boules 68

CHAPITRE 4 • **COMPOSITION DES MOUVEMENTS** 70

4.1 Composition des vecteurs vitesse 70
4.2 Vecteur vitesse de glissement en un point entre deux solides 71
4.3 Composition des vecteurs rotation 73
4.4 Vecteurs rotation de roulement et de pivotement 74
4.5 Composition des torseurs cinématiques 75
4.6 Composition des vecteurs accélération 79

Exercice résolu : Roulement à billes 82

Exercices corrigés :

4.1. Train d'atterrissage 84
4.2. Rectifieuse plane 86
4.3. Mécanisme de changement de vitesse 88
4.4. Poulie réductrice REDEX 88
4.5. Pompe oscillante 90
4.6. Réducteur à billes 91
4.7. Variateur de vitesse Graham 92
4.8. Variateur de vitesse « palin » 93
4.9. Variateur de vitesse à billes PIV 94

CHAPITRE 5 • **MOUVEMENT PLAN SUR PLAN** 96

5.1 Centre instantané de rotation. Base et roulante 96
5.2 Recherche géométrique du centre instantané de rotation 97
5.3 Propriété de la base et de la roulante 98

5.4 Profils conjugués 99
5.5 Mouvement plan sur plan de trois plans 101
Exercice résolu : Pompe à débit réglable 102
Exercices corrigés :
5.1. Presse à décolleter 103
5.2. Roulement à billes 105
5.3. Poulie réductrice REDEX 106
5.4. Croix de Malte 107
5.5. Guidage à billes 107
5.6. Rectification des dentures d'un pignon 108
5.7. Variateur GUSA 109
5.8. Piqueuse plate Singer 110
5.9. Tracé d'un profil conjugué 111
5.10. Véhicule sur un plan 112

PARTIE II • STATIQUE 115

CHAPITRE 6 • **MODÉLISATION DES ACTIONS MÉCANIQUES** 117

6.1 Représentation mathématique des actions mécaniques 117
6.2 Modélisation des actions mécaniques à distance 121
6.3 Modélisation des actions mécaniques de contact 125
Exercice résolu : Limiteur de couple 139
Exercices corrigés :
6.1. Centre de surface 142
6.2. Centre de masse 142
6.3. Poutre encastrée 142
6.4. Barrage poids 143
6.5. Vanne à secteur circulaire 144
6.6. Transmission par roues coniques 144
6.7. Flotteur de carburateur 145
6.8. Effet Magnus 146
6.9. Butée Michell 146
6.10. Relations de Hertz 148

CHAPITRE 7 • **PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA STATIQUE** 150

7.1 Équilibre d'un ensemble matériel par rapport à un repère 150
7.2 Principe fondamental 150
7.3 Théorème des actions mutuelles 152
7.4 Application : système vis-écrou 152
Exercice résolu : Meuble sur rouleaux 157
Exercices corrigés :
7.1. Portique 163
7.2. Porte tôle 163
7.3. Fixation de sécurité pour ski 164
7.4. Suspension avant de véhicule 166
7.5. Robot manipulateur 167
7.6. Montage de tournage 169

7.8. Compresseur pneumatique 170
7.10. Solides sur un plan incliné 171

CHAPITRE 8 • **HYPERSTATISME ET MOBILITÉ DES MÉCANISMES** 172

8.1 Hypothèses de l'étude 172
8.2 Graphe des liaisons d'un mécanisme 172
8.3 Torseurs d'action mécanique transmissible et cinématique d'une liaison 173
8.4 Liaison équivalente 174
8.5 Liaisons en parallèle 175
8.6 Liaisons en série 176
8.7 Structure des mécanismes 177
8.8 Hyperstatisme d'un mécanisme 178
8.9 Mobilité d'un mécanisme 180
8.10 Relation entre hyperstatisme et mobilité 182
8.11 Avantages et inconvénients d'un mécanisme isostatique par rapport à un mécanisme hyperstatique 184

Exercice résolu : Robot de manutention 185

Exercices corrigés :

8.1. Bride de serrage 185
8.2. Guidage de translation 191
8.3. Montage de fraisage 192
8.4. Tripode de joint articulé 194
8.5. Montage de perçage 195
8.6. Table d'affuteuse 196
8.7. Épandeur d'engrais 198
8.8. Plateau tournant 198
8.9. Butée pour table de fraiseuse 202

PARTIE III • DYNAMIQUE 205

CHAPITRE 9 • **CINÉTIQUE** 207

9.1 Principe de conservation de la masse 207
9.3 Torseur dynamique 208
9.4 Relation entre le moment cinétique et le moment dynamique 209
9.5 Énergie cinétique 210
9.6 Application 210
9.7 Remarques 211
9.8 Moment d'inertie d'un solide par rapport à un axe 212
9.9 Opérateur d'inertie d'un solide 213
9.10 Base principale d'inertie 215
9.11 Les différents moments d'inertie 216
9.12 Théorème de Huygens 217
9.13 Moment cinétique d'un solide 219

Exercice résolu : Régulateur de vitesse 225

Exercices corrigés :
9.1. Matrices d'inertie 229
9.2. Pale d'hélicoptère 230
9.3. Plateau tournant 231
9.4. Vilebrequin 233
9.5. Bras manipulateur 235
9.6. Table élévatrice 235
9.7. Équilibreuse de roue 236
9.8. Roulement à rouleaux coniques 237
9.9. Différentiel 238

CHAPITRE 10 • **PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA DYNAMIQUE** 240

10.1 Principe fondamental 240
10.2 Théorème des actions mutuelles 241
10.3 Cas particuliers 242
10.5 Expression du principe fondamental de la dynamique dans un repère non galiléen 247
10.6 Équilibrage dynamique 249

Exercice résolu : Véhicules au démarrage 253

Exercices corrigés :
10.1. Variateur de vitesse à plateau 256
10.2. Tourelle de machine-outil 257
10.3. Mandrin anti-centrifuge 258
10.4. Système tige-excentrique 260
10.5. Effet gyroscopique 261
10.6. Butée à billes 262
10.7. Aérogénérateur 264
10.8. Équilibrage dynamique 265
10.9. Broche multiplicatrice de vitesse de coupe 267
10.10. Pendule de torsion 269

CHAPITRE 11 • **ÉNERGÉTIQUE** 270

11.1 Puissance 270
11.2 Travail 275
11.3 Énergie potentielle 275
11.4 Théorème de l'énergie cinétique 278

Exercice résolu : Démarreur pour moteur Diesel 284

Exercices corrigés :
11.1. Extracteur à inertie 287
11.2. Dispositif de marquage automatique 287
11.3. Embrayage 289
11.4. Moteur électrique de laminoir 290
11.5. Voiture jouet à friction 290
11.6. Vérin à double effet 291
11.7. Détermination expérimentale d'un moment d'inertie 292
11.8. Résolution des problèmes de statique 293
11.9. Rendement d'un train d'engrenages 295
11.10. Volant d'inertie 297
11.11. Démarrage d'une MOCN 299

INDEX 301