

Collection de sciences physiques

Hubert GIÉ
Jean-Pierre SARMANT

Mécanique

2^e année

MP*, MP, PC*, PC, PSI*, PSI, PT*, PT

lavoisier
TEC
&
DOC

TABLE DES MATIÈRES

Chapitre 0	
Quelques outils de la mécanique	
0.1 Repérage d'un solide.	1
0.2 Centre de masse.	2
Exercice résolu 0.I	
Position du centre de masse d'une part de tarte.	4
0.3 Moment d'inertie.	5
Exercice résolu 0.II	
Moments d'inertie d'une barre homogène de longueur $2a$.	7
Exercice résolu 0.III	
Moment d'inertie d'un cylindre de révolution homogène par rapport à son axe	7
0.4 Torseur.	7
Exercice résolu 0.IV	
Barre articulée en pendule conique.	12
0.5 Double produit vectoriel.	13

Chapitre 1

Cinématique du solide

1.1 Deux cas particuliers simples de mouvement d'un solide.	14
1.2 Existence du torseur distributeur des vitesses.	16
1.3 Axe instantané de viration d'un solide.	17
1.4 Deux cas particuliers simples de torseur distributeur des vitesses.	17
1.5 Description du mouvement instantané le plus général d'un solide.	18
1.6 Modèle du contact ponctuel de deux solides.	18
Exercice résolu 1.I	
Etude cinématique d'un disque roulant sur un plan incliné.	20
Exercice résolu 1.II	
Disque roulant sans glisser sur un profil cylindrique fixe.	23
1.7 Dérivation vectorielle dans un trièdre mobile.	25
1.8 Retour sur les changements de référentiel.	26

Chapitre 2

Grandeurs cinétiques

2.1 Torseur cinétique	28
2.2 Concept de système fermé.	29
2.3 Expression de la résultante cinétique.	29

2.4 Référentiel barycentrique.	30
2.5 Théorème de König	32
2.6 Energie cinétique.	32
2.7 Grandeurs cinétiques relatives à un solide animé d'un mouvement de rotation pure.	33
2.8 Expressions générales des grandeurs cinétiques d'un solide.	36
*2.9 Torseur dynamique.	37
Exercice résolu 2.I Etude cinétique d'un pendule double.	38
Exercice résolu 2.II Etude cinétique d'un disque roulant dans un profil cylindrique.	39
Exercice résolu 2.III Energie libérée par le ralentissement de la rotation d'un pulsar.	41

Chapitre 3

Postulats de la dynamique newtonienne.

3.1 Énoncé torsorien du postulat de la dynamique.	42
3.2 Théorèmes de la résultante cinétique et du moment cinétique.	43
3.3 Cas particulier de la statique.	44
3.4 Théorème de l'action et de la réaction.	45
3.5 Formulation historique de de la dynamique newtonienne et formulation torsorielle.	45
3.6 Système de points matériels et milieu continu.	46
3.7 Dynamique dans un référentiel non galiléen.	48

Chapitre 4

Théorèmes généraux de la dynamique newtonienne.

4.1 Diverses formes du théorème de la résultante cinétique.	49
4.2 Diverses formes du théorème du moment cinétique.	50
Exercice résolu 4.I Profil des vitesses dans un fluide visqueux s'écoulant entre deux plaques.	54
Exercice résolu 4.II Précessions microscopiques et macroscopiques.	56
Exercice résolu 4.III Profil d'équilibre d'un fil.	60
Exercice résolu 4.IV A la recherche de la masse manquante.	63
Exercice	64

Chapitre 5

Actions de contact entre solides.

5.1 Position du problème.	66
5.2 Nature physique des actions de contact.	67
5.3 Lois de Coulomb pour le frottement de glissement.	68
5.4 Les articulations rotule et pivot et leur éventuel caractère parfait.	71
Exercice résolu 5.I Oscillateur amorti par frottement de glissement.	74

Exercice résolu 5.II	
Disque roulant sur un plan incliné (étude dynamique).	76
Exercice résolu 5.III	
Un problème de statique : l'arc-boutement	78
Exercices	80

Chapitre 6

Aspects énergétiques de la Mécanique newtonienne

6.1. Quelques rappels relatif au point matériel.	84
6.2 Puissance des actions exercées sur un milieu continu.	85
6.3 Puissance des actions exercées sur un solide.	86
6.4 Puissance d'un torseur nul.	88
6.5 Changement de référentiel pour la puissance.	88
6.6 Puissance des actions de contact entre deux solides.	89
6.7 Théorèmes de la puissance cinétique et de l'énergie cinétique pour un système.	91
6.8 Energie potentielle d'un système.	92
6.9 Energie mécanique d'un système.	95
6.10 Considérations énergétiques dans un référentiel non galiléen.	95
Exercice résolu 6.I	
Retour sur le disque roulant sans glisser sur un plan incliné : étude énergétique ou étude dynamique?	96
Exercice résolu 6.II	
Modèle très simplifié d'un véhicule à roues	97
Exercices	101

Chapitre 7

Les lois de conservation en mécanique

7.1 Les trois lois d'évolution de la mécanique newtonienne.	108
7.2 Eventuelle conservation de la quantité de mouvement d'un système.	109
7.3 Eventuelle conservation du moment cinétique d'un système.	111
7.4 Eventuelle conservation de l'énergie mécanique d'un système.	113
7.5 Les principes de conservation de la mécanique.	116
*7.6 Conservation et invariance.	118
Exercice résolu 7.I	
Etude d'un système déformable à l'aide des lois de conservation.	119

Chapitre 8

Dynamique des systèmes de solides

Exercice résolu 8.I	
Pendule composé.	123
Exercice résolu 8.II	
Disque roulant sur un prisme mobile.	125
Exercice résolu 8.III	
Pendule double.	128
Exercice résolu 8.IV	
Disque roulant dans un profil cylindrique.	129
Exercices	132

Les chapitres qui suivent, relatifs à la mécanique des fluides, sont destinés aux seules classes PC et PSI.

Chapitre 9

Cinématique des fluides

9.1. Champ des vitesses dans un fluide.	138
9.1.a. Description lagrangienne -Description eulérienne.	138
9.1.b. Écoulement stationnaire.	139
9.1.c Dérivée particulaire du champ de masse volumique - Notion d'écoulement incompressible.	140
9.1.d Dérivée particulaire du champ de vitesses - Accélération d'une particule de fluide.	142
9.1.e. Vecteur-tourbillon.	144
9.2. Équation locale de conservation de la masse et conséquences.	147
9.2.a. Débit volumique -Débit massique.	147
9.2.b. Conséquences sur les conditions aux limites.	148
9.2.c Équation locale de conservation de la masse.	149
9.2.d. Conséquences pour les écoulements stationnaires.	150
9.2.e. Signification de $\nabla \cdot \mathbf{v}$ et conséquences pour les écoulements incompressibles.	152
Exercice résolu 9.I	
Expansion uniforme	155
Exercice résolu 9.II	
Écoulement autour d'une sphère	156
Exercice résolu 9.III	
Tornade	159
Exercices	161

Chapitre 10

Actions de contact dans les fluides

10.1 Traînée d'une sphère dans un fluide.	167
10.1.a Première notion de viscosité.	167
10.1.b Étude de la traînée en fonction de la vitesse : nombre de Reynolds.	168
10.1.c Notion d'écoulement laminaire et d'écoulement turbulent.	170
10.2 Actions de contact au sein d'un fluide.	171
10.2.a Contraintes normale et tangentielle dans un fluide.	171
10.2.b Interprétation microscopique de la viscosité dans un gaz.	173
10.2.c Conséquence : une autre interprétation du nombre de Reynolds.	175
10.2.d Expression des forces volumiques de viscosité.	176
10.3 Notion d'écoulement parfait et de couche limite.	177
10.3.a Définitions.	177
10.3.b Conditions aux limites.	178
Exercice résolu 10.I	
Écoulement de Poiseuille	179
Exercices	182

Chapitre 11

Équations locales de la dynamique des écoulements parfaits

11.1 Équation d'Euler.	187
11.1.a Obtention de l'équation d'Euler	187
11.1.b Conséquence : évolution du vecteur-tourbillon d'un écoulement parfait, incompressible et homogène, dans le champ de pesanteur uniforme.	188

11.2 Les théorèmes de Bernoulli.	189
11.2.a Cas d'un écoulement parfait, stationnaire, irrotationnel, incompressible et homogène	189
11.2.b Cas d'un écoulement parfait, stationnaire, incompressible et homogène	190
11.2.c Généralisation aux écoulements parfaits, stationnaires et compressibles	191
11.2.d Généralisation à d'autres champs de forces	191
11.2.e Généralisation aux écoulements parfaits, instationnaires, irrotationnels, incompressibles et homogènes	191
11.3 Applications des théorèmes de Bernoulli.	192
11.3.a Le phénomène de Venturi.	192
11.3.b Vidange d'un réservoir.	194
11.3.c Tube de Pitot.	196
11.3.d Portance des avions.	197
11.3.e Effet Magnus.	198
Exercice résolu 11.I	
Paradoxe de D'Alembert	200
Exercice résolu 11.II	
Cavitation	202
Exercice résolu 11.III	
Vent solaire	205
Exercice résolu 11.IV	
Vidange d'un tuyau	208
Exercices	210

Chapitre 12

Bilans macroscopiques en dynamique des fluides

12.1 Notion de bilan – Dérivée particulière.	220
12.1.a Bilan de masse.	220
12.1.b Bilans mécaniques.	221
12.1.c Bilans thermodynamiques.	222
12.2 Étude d'un modèle de fusée.	223
12.3 Étude d'un tourniquet hydraulique.	225
12.4 Onde de choc dans une canalisation.	228
12.4.a Bilan de masse.	229
12.4.b Bilan de quantité de mouvement.	229
12.4.c Modèle de l'écoulement parfait -Bilan d'entropie.	230
12.4.d Modèle de l'écoulement adiabatique -Bilan d'énergie interne.	231
12.5 Démonstrations énergétiques du théorème de Bernoulli.	232
12.5.a Démonstration thermodynamique.	232
12.5.b Bilan d'énergie cinétique.	234
Exercice résolu 12.I	
Action d'un jet d'eau sur une plaque	235
Exercice résolu 12.II	
Écoulement dans un échangeur thermique	239
Exercices	243
INDEX	255

programme de physique I
Cette collection de sciences physiques couvre les nouveaux programmes des classes préparatoires aux grandes écoles mis en application à la rentrée de septembre 1995 pour les classes de première année et à celle de septembre 1996 pour les classes de seconde année. Elle est entièrement conforme à la lettre de ces programmes qui correspondent à une séparation plus marquée des différentes filières, lesquelles apparaissent plus spécialisées que par le passé et conduisent à un véritable choix d'orientation.

Cette diversification a permis d'alléger les programmes en les orientant et en les finalisant davantage.

classe de première
En continuité avec la réforme des lycées, les aspects expérimentaux et qualitatifs sont davantage pris en compte. Les développements formels sont gommés au profit d'une analyse plus physique mettant en évidence les paramètres significatifs qui gouvernent les phénomènes et soulignent les liens unificateurs. Dans le même esprit des notes historiques permettent de mieux saisir la construction de l'édifice. Egalement, l'utilisation de l'outil informatique appuie cette démarche en permettant un test direct et rapide des modèles.

Le présent ouvrage s'adresse spécifiquement aux étudiants des filières MP*, MP, PC*, PC, PSI *, PSI et PT*, PT. S'appuyant sur le cours de première année, l'ouvrage propose une approche aussi simple et directe que possible des phénomènes mécaniques.

ouvrage N°

2-7430-0130-5



9 782743 00 130 8