

Table des matières

Avant-propos	v
CHAPITRE 1 Les fondements de la mécanique	3
1.1 La formation scientifique	3
1.2 Cinématique du point matériel	4
1.3 Les lois de Newton	7
1.3.1 Première loi de Newton et référentiel d'inertie	9
1.3.2 Deuxième loi de Newton pour le point matériel	10
1.4 Action et réaction	11
1.5 Objectifs de la dynamique	13
1.6 Accélération normale et tangentielle	14
1.7 Coordonnées cylindriques et sphériques	16
1.8 Rotations	19
1.9 Contraintes géométriques	22
1.10 Energie, puissance, travail	23
1.11 Potentiel d'une force et énergie potentielle	25
1.12 Collisions	27
1.13 Moment cinétique et moment de force	30
1.14 Autres forces	31
1.14.1 Les forces en électromagnétisme	31
1.14.2 Modèles de forces de frottement	33
1.15 Référentiels accélérés	35
1.15.1 Cinématique	35
1.15.2 Dynamique	37
1.16 Dynamique terrestre	39
1.17 Systèmes de point matériels, lois de conservation	41
1.17.1 Référentiel du centre de masse	41
1.17.2 Énoncé général de la troisième loi de Newton	43
1.17.3 Lois de la dynamique pour un système de points matériels	44
1.17.4 Principes de conservation	45
1.18 Cinématique du solide	46
1.18.1 Coordonnées indépendantes	47
1.18.2 Vitesse et accélération d'un point du solide	47
1.19 Dynamique du solide	49
1.19.1 Lois fondamentales	49

1.19.2	Tenseur d'inertie	51
1.19.3	Energie cinétique de rotation	53
1.20	Solide avec un axe fixe	54
1.20.1	Moment d'inertie par rapport à un axe	54
1.20.2	Equation d'évolution pour les projections sur un axe fixe	55
1.21	Mouvement quelconque du solide	57
1.21.1	Equations d'Euler	57
1.21.2	Moments exercés sur un axe fixe	58
1.22	Principe de relativité	60
1.22.1	La relativité de Galilée	60
1.22.2	Le principe de relativité d'Einstein	62
1.23	Cinématique relativiste	64
1.23.1	Les transformations de Lorentz	64
1.23.2	Mesure de l'intervalle espace-temps	68
1.23.3	Composition des vitesses	69
1.24	Aperçu de dynamique relativiste	70
1.24.1	L'énergie-quantité de mouvement en relativité	71
1.24.2	Quantité de mouvement relativiste	72
1.24.3	Energie relativiste	73
CHAPITRE 2 Pratique de la mécanique		79
2.1	Objectifs de formation	79
2.2	Repères	81
2.2.1	Produit scalaire, produit vectoriel	82
2.2.2	Projection d'un vecteur sur axe	84
2.2.3	Mouvement rectiligne	84
2.3	La balistique	85
2.4	Balistique avec résistance de l'air	89
2.5	L'oscillateur harmonique	92
2.5.1	Modélisation de la force d'un ressort	94
2.5.2	L'équation différentielle comme recette de calcul	95
2.5.3	Solution analytique	97
2.5.4	Oscillateur harmonique amorti	98
2.6	Mouvement circulaire et mouvement harmonique	100
2.7	Vitesse et accélération en coordonnées généralisées	101
2.8	Vecteur de vitesse angulaire	102
2.9	Pendule mathématique plan	105
2.9.1	Une méthode d'intégration souvent utilisée	106
2.10	Le phénomène de résonance	109
2.11	Aspects énergétiques de l'oscillateur harmonique	114
2.12	Analyse de collisions	116
2.12.1	Collision élastique	116
2.12.2	Collisions inélastiques	118
2.13	Loi de la gravitation de Newton	119
2.14	Charges dans un champ magnétique, frottement sur plan incliné	122

2.14.1	Charge ponctuelle dans un champ magnétique .	122
2.14.2	Expériences avec frottements sec	125
2.15	Exemples de référentiels accélérés	126
2.16	Mouvements à la surface de la Terre	132
2.16.1	Perturbation du mouvement vertical	132
2.16.2	Perturbation du mouvement horizontal	134
2.16.3	Pendule de Foucault	135
2.17	Application des principes de conservation	138
2.17.1	Conservation de la quantité de mouvement	138
2.17.2	Poussée d'une fusée	139
2.17.3	Conservation du moment cinétique	140
2.18	Mouvements particuliers des solides	142
2.19	Point de référence du moment cinétique	145
2.20	Calculs de moments d'inertie	150
2.21	Discussion qualitative des effets gyroscopiques	156
2.22	Relativité restreinte : simultanéité	163
2.23	Dilatation du temps, contraction des longueurs	166
2.23.1	Application des transformations de Lorentz	169
2.24	Le photon	171
CHAPITRE 3 Mise en contexte historique et technique		177
3.1	L'explication scientifique	177
3.2	Epistémologie et efficacité pédagogique	179
3.3	Le temps et l'espace depuis Newton	181
3.4	Sur la trace des anciens	182
3.5	La tradition des démonstrations d'auditoire	185
3.6	Mise en question de la loi de la gravitation	186
3.7	Naissance de la mécanique du solide	188
3.8	Le concept de masse	191
3.9	Révolution conceptuelle : le chaos	193
3.9.1	Evolution d'une population animale	193
3.9.2	L'émergence du chaos	195
3.9.3	Illustrations expérimentales	197
3.10	Quand les équations du mouvement se compliquent : la corde vibrante	200
3.11	Technique : l'énergie cinétique de rotation	201
3.12	Les lois de Kepler	203
3.13	La notion de champ en physique : gravitation	205
3.14	Cyclotrons et science du frottement	210
3.14.1	Les premiers accélérateurs de particules	210
3.14.2	Science du frottement	211
3.15	La découverte de la structure de l'atome	212
3.16	Angles d'Euler	213
3.17	Technique : les systèmes ouverts	216
3.18	Statique : systèmes linéiques	217
3.19	Statique : treillis et poutres	220

3.19.1	Treillis.....	220
3.19.2	Poutres.....	223
3.20	Symétrie d'un solide et de son tenseur d'inertie.....	226
3.21	Autre tenseur : le tenseur des contraintes.....	231
3.22	Révolution conceptuelle : la relativité.....	234
3.22.1	Conflit entre électromagnétisme et mécanique..	234
3.22.2	Vitesse de la lumière.....	237
3.23	Cinématique relativiste : vérification expérimentale....	238
3.23.1	Effet Doppler.....	238
3.23.2	L'effet Mössbauer.....	239
3.24	Dynamique relativiste : vérification expérimentale.....	241
3.24.1	Energie cinétique.....	241
3.24.2	Masse d'un système.....	242
CHAPITRE 4	Le formalisme de Lagrange	249
4.1	Introduction historique.....	249
4.2	La méthode de Lagrange.....	251
4.2.1	Principe de d'Alembert.....	251
4.2.2	Equations de Lagrange.....	253
4.3	Principes d'applications des équations de Lagrange....	257
4.3.1	Exemples pour des forces conservatives.....	257
4.3.2	Grandeurs conservées.....	265
4.3.3	Autres forces généralisées.....	268
4.3.4	Application aux circuits électriques et aux systèmes électromécaniques.....	274
4.4	Introduction aux principes variationnels.....	276
4.4.1	Brachistochrone.....	276
4.4.2	Principe de Hamilton.....	279
CHAPITRE 5	Problèmes résolus	281
5.1	Rotations.....	282
5.2	Point matériel.....	285
5.3	Energie.....	296
5.4	Collisions.....	304
5.5	Discussions qualitatives.....	310
5.6	Lagrange.....	320
5.7	Solide indéformable.....	329
5.8	Relativité.....	353
CHAPITRE 6	Exercices	361
6.1	Points matériels.....	361
6.2	Solide indéformable.....	383
6.3	Méthode de Lagrange.....	404
6.4	Relativité.....	410
Bibliographie		415
Index		421