

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Remerciements</b>	<b>iii</b>
<b>Avant-Propos</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Cinématique</b>	<b>1</b>
1.1 Position et trajectoire du mobile . . . . .	1
1.1.1 Repère . . . . .	1
1.1.2 Le temps . . . . .	3
1.1.3 Référentiel . . . . .	4
1.1.4 Enregistrement d'une trajectoire . . . . .	4
1.2 Comment le mobile parcourt la trajectoire . . . . .	5
1.2.1 La vitesse . . . . .	5
1.2.2 Utilité de la vitesse . . . . .	9
1.2.3 L'accélération . . . . .	10
1.3 Représentations du mouvement . . . . .	13
1.3.1 Représentation temporelle . . . . .	13
1.3.2 Espace des phases . . . . .	15
1.4 Composition des mouvements . . . . .	16
1.4.1 Référentiels en translation . . . . .	17
1.4.2 Exemple de composition de mouvement : la cycloïde	18
1.5 Base polaire . . . . .	20
1.6 Compléments sur les trajectoires . . . . .	23
1.6.1 Rayon de courbure et centre de courbure d'une trajectoire . . . . .	23
1.6.2 Exemple : la cardioïde . . . . .	25

1.7	Compléments sur la composition des mouvements . . . . .	26
1.7.1	Vecteur vitesse angulaire . . . . .	26
1.7.2	Référentiel en rotation . . . . .	28
1.7.3	Cas général . . . . .	30
1.8	Exercices . . . . .	31
1.9	Réponses aux exercices . . . . .	34
<b>2</b>	<b>Forces et lois de Newton</b>	<b>39</b>
2.1	La vision aristotélicienne du mouvement . . . . .	39
2.2	Quelles sont les causes du mouvement ? . . . . .	41
2.3	Première loi de Newton : principe d'inertie . . . . .	43
2.3.1	Énoncé . . . . .	43
2.3.2	Référentiels galiléens ou inertiels . . . . .	44
2.4	Deuxième loi de Newton : principe fondamental de la dynamique . . . . .	45
2.4.1	Énoncé . . . . .	45
2.4.2	Interactions fondamentales . . . . .	46
2.5	Troisième loi : principe des actions réciproques . . . . .	48
2.6	Quelques exemples de forces . . . . .	49
2.6.1	Forces à distance . . . . .	49
2.6.2	Forces de contact . . . . .	51
2.7	Construction de Hooke-Newton . . . . .	55
2.8	Invariance galiléenne . . . . .	60
2.9	Les référentiels non inertiels en translation . . . . .	61
2.9.1	Expression de la force d'inertie . . . . .	62
2.9.2	Cas particulier d'un référentiel en chute libre . . . . .	64
2.10	Les référentiels non inertiels en rotation . . . . .	65
2.10.1	Une intuition de forces peu familières . . . . .	65
2.10.2	Expressions formelles des forces d'inertie . . . . .	67
2.10.3	Exemple . . . . .	68
2.11	Complément : effets de la rotation terrestre . . . . .	69
2.11.1	Champ de pesanteur terrestre . . . . .	69
2.11.2	Force de Coriolis : déviation vers l'est . . . . .	71
2.11.3	Pendule de Foucault . . . . .	73
2.12	Exercices . . . . .	76
2.13	Réponses aux exercices . . . . .	82

<b>3</b>	<b>Énergie mécanique</b>	<b>89</b>
3.1	Introduction . . . . .	89
3.2	Énergie . . . . .	91
3.3	Le travail . . . . .	91
3.4	L'énergie mécanique . . . . .	96
3.4.1	L'énergie cinétique . . . . .	96
3.4.2	L'énergie potentielle . . . . .	97
3.4.3	Énergie mécanique et forces conservatives . . . . .	98
3.4.4	Forces non conservatives . . . . .	100
3.4.5	Transformations de l'énergie mécanique . . . . .	100
3.4.6	La puissance . . . . .	102
3.5	Diagramme d'énergie . . . . .	102
3.5.1	Nature du mouvement . . . . .	103
3.5.2	Positions d'équilibre . . . . .	104
3.6	Compléments : référentiels non inertiels . . . . .	106
3.6.1	Théorème de l'énergie cinétique . . . . .	106
3.6.2	Énergie mécanique . . . . .	108
3.6.3	Diagramme d'énergie . . . . .	110
3.7	Exercices . . . . .	113
3.8	Réponses aux exercices . . . . .	117
<b>4</b>	<b>Oscillateur mécanique</b>	<b>121</b>
4.1	Introduction . . . . .	121
4.2	Oscillateur libre harmonique . . . . .	122
4.2.1	Équation harmonique . . . . .	123
4.2.2	Amplitude et phase . . . . .	124
4.2.3	Énergie de l'oscillateur harmonique . . . . .	125
4.2.4	Représentation dans l'espace des phases . . . . .	125
4.2.5	Oscillations harmoniques électriques . . . . .	126
4.3	Oscillateur libre non linéaire . . . . .	127
4.4	Oscillateur amorti . . . . .	129
4.4.1	Approche qualitative . . . . .	129
4.4.2	Oscillateur harmonique amorti . . . . .	131
4.5	Oscillateur forcé . . . . .	135
4.5.1	Approche qualitative : forçage impulsionnel . . . . .	136
4.5.2	Forçage sinusoïdal . . . . .	141
4.6	Exercices . . . . .	148
4.7	Réponses aux exercices . . . . .	155

<b>5</b>	<b>Quantité de mouvement et centre de masse</b>	<b>163</b>
5.1	Introduction . . . . .	163
5.2	Quantité de mouvement . . . . .	164
5.2.1	Quantité de mouvement d'une masse ponctuelle . . .	164
5.2.2	Collision et transfert de quantité de mouvement . . .	164
5.2.3	Choc mou . . . . .	166
5.2.4	Collisions élastiques . . . . .	166
5.3	Force moyenne subie lors d'un choc . . . . .	168
5.3.1	Traumatologie . . . . .	168
5.3.2	Pression d'un gaz parfait . . . . .	169
5.4	Système de masses ponctuelles . . . . .	170
5.4.1	Évolution de la quantité de mouvement d'un système	170
5.4.2	Phénomènes de recul . . . . .	172
5.4.3	Propulsion par réaction . . . . .	174
5.5	Centre de masse d'un système . . . . .	175
5.5.1	Définition du centre de masse . . . . .	175
5.5.2	Mouvement du centre de masse . . . . .	177
5.6	Référentiel du centre de masse . . . . .	179
5.6.1	Propriétés du référentiel du centre de masse . . . . .	180
5.6.2	Problème à deux corps . . . . .	182
5.6.3	Expression de l'énergie en fonction de la masse réduite	185
5.7	Exercices . . . . .	186
5.8	Réponses aux exercices . . . . .	191
<b>6</b>	<b>Une brève histoire de la mécanique céleste</b>	<b>199</b>
6.1	Le modèle géocentrique . . . . .	199
6.2	L'alternative copernicienne . . . . .	200
6.3	Tycho-Brahé et Kepler . . . . .	201
6.4	Galilée . . . . .	203
6.5	Newton . . . . .	204
<b>7</b>	<b>Gravitation</b>	<b>209</b>
7.1	Définition de la force gravitationnelle . . . . .	209
7.2	Propriétés de la force gravitationnelle . . . . .	211
7.2.1	La force gravitationnelle est conservative . . . . .	211
7.2.2	La force gravitationnelle conserve le moment angulaire	212
7.3	Mouvement sous l'action de la force gravitationnelle . . . . .	215
7.3.1	Utilité des lois de conservation . . . . .	216
7.3.2	Nature de la trajectoire en fonction de l'énergie $E$ . .	217
7.3.3	Influence de la valeur du moment angulaire . . . . .	218

7.4	Paramètres de la trajectoire . . . . .	220
7.4.1	Équation de la trajectoire en coordonnées polaires . . . . .	220
7.4.2	Trajectoires elliptiques : $e < 1$ . . . . .	221
7.4.3	Trajectoires hyperboliques : $e > 1$ . . . . .	222
7.5	Exemples d'applications . . . . .	224
7.5.1	Mise en orbite des satellites . . . . .	224
7.5.2	Étoile binaire . . . . .	225
7.5.3	Le système Terre-Lune . . . . .	229
7.5.4	Complément : effet de marée . . . . .	231
7.6	Invariant de Runge-Lenz . . . . .	235
7.7	Principales données du système solaire . . . . .	237
7.8	Exercices . . . . .	237
7.9	Réponses aux exercices . . . . .	242
<b>8</b>	<b>Éléments de mécanique du solide</b> . . . . .	<b>249</b>
8.1	Solide en rotation autour de son axe de symétrie fixe . . . . .	250
8.1.1	Énergie cinétique de rotation . . . . .	250
8.1.2	Moment angulaire du solide . . . . .	251
8.1.3	Évolution temporelle du vecteur $\vec{J}$ . . . . .	252
8.1.4	Exemples d'applications . . . . .	252
8.2	Calcul d'un moment d'inertie . . . . .	255
8.2.1	Propriétés du moment d'inertie . . . . .	255
8.2.2	Moments d'inertie d'un cerceau . . . . .	257
8.2.3	Moments d'inertie d'un disque mince . . . . .	257
8.2.4	Moments d'inertie d'une sphère . . . . .	258
8.3	Expression générale du moment angulaire . . . . .	259
8.4	Évolution temporelle du moment angulaire . . . . .	261
8.4.1	Relation fondamentale . . . . .	261
8.4.2	Précession d'une toupie symétrique . . . . .	261
8.4.3	Vitesse angulaire de précession . . . . .	262
8.5	Expression de l'énergie cinétique de rotation . . . . .	264
8.6	Mouvement général d'un solide dans l'espace . . . . .	265
8.6.1	Vitesse angulaire de rotation d'un solide . . . . .	265
8.6.2	Axe de rotation instantanée . . . . .	266
8.6.3	Moment angulaire par rapport au centre de masse . . . . .	267
8.6.4	Décomposition de l'énergie cinétique . . . . .	269
8.7	Exemples d'applications . . . . .	270
8.7.1	Cône roulant sans glisser sur un plan . . . . .	270
8.7.2	Stabilité de la rotation libre autour du centre de masse . . . . .	271

8.8	Exercices . . . . .	273
8.9	Réponses aux exercices . . . . .	279
<b>9</b>	<b>Ondes mécaniques</b>	<b>287</b>
9.1	Perturbation d'un milieu matériel . . . . .	288
9.1.1	Mécanisme de propagation d'une perturbation . . . . .	288
9.1.2	Description de la propagation . . . . .	289
9.2	Onde sinusoïdale . . . . .	291
9.2.1	Périodicité spatiale et temporelle . . . . .	291
9.2.2	Fronts d'onde . . . . .	292
9.2.3	Équation de propagation . . . . .	293
9.3	Superposition de deux ondes . . . . .	294
9.3.1	Principe de superposition . . . . .	294
9.3.2	Interférences . . . . .	295
9.3.3	Ondes stationnaires . . . . .	296
9.4	Onde transversale progressive dans une corde . . . . .	298
9.4.1	Vitesse de propagation de l'onde transversale . . . . .	298
9.4.2	Énergie mécanique associée à l'onde transversale . . . . .	299
9.4.3	Puissance fournie par la source. . . . .	301
9.4.4	Réflexion et transmission de l'onde à l'interface entre deux milieux . . . . .	301
9.4.5	Expressions des amplitudes réfléchi et transmise . . . . .	302
9.4.6	Onde progressive amortie . . . . .	305
9.4.7	Effet de la rigidité de la corde . . . . .	306
9.5	Amplitudes des harmoniques d'une corde . . . . .	307
9.5.1	Amplitudes des modes propres . . . . .	307
9.5.2	Énergie mécanique associée à un mode propre . . . . .	308
9.5.3	Exemple de corde pincée : la harpe . . . . .	309
9.5.4	Exemple de corde frappée : le piano . . . . .	310
9.6	Exercices . . . . .	310
9.7	Réponses aux exercices . . . . .	314
<b>10</b>	<b>Outils mathématiques</b>	<b>319</b>
10.1	Dérivée . . . . .	319
10.1.1	Fonction d'une seule variable . . . . .	319
10.1.2	Dérivée d'une fonction de fonction . . . . .	319
10.1.3	Dérivées partielles . . . . .	320
10.1.4	Gradient . . . . .	320

10.2	Développement de Taylor . . . . .	321
10.2.1	Fonctions usuelles . . . . .	321
10.2.2	Vecteurs . . . . .	323
10.3	Éléments de calcul vectoriel . . . . .	323
10.3.1	Définition d'un vecteur . . . . .	323
10.3.2	Somme de deux vecteurs . . . . .	323
10.3.3	Produit scalaire de deux vecteurs . . . . .	324
10.3.4	Produit vectoriel de deux vecteurs . . . . .	324
10.3.5	Barycentre . . . . .	326
10.3.6	Coniques . . . . .	327