

Sommaire

CHAPITRE I : CINÉMATIQUE DU POINT

1.	Vecteurs et systèmes de coordonnées.....	2
1.1	Le calcul vectoriel.....	2
1.2	Les systèmes de coordonnées.....	4
1.2.1	Les coordonnées cartésiennes.....	4
1.2.2	Les coordonnées polaires et cylindriques.....	4
1.2.3	Les coordonnées sphériques.....	5
1.3	Les expressions d'un déplacement élémentaire d'un point.....	6
2.	Position, vitesse et accélération d'un point dans un référentiel.....	7
2.1	Espace et temps.....	7
2.2	La vitesse d'un point.....	10
2.3	L'accélération d'un point.....	11
2.4	Le vecteur rotation.....	14
2.4.1	Le mouvement circulaire.....	14
2.4.2	Précession d'un vecteur autour d'un axe.....	15
3.	Changement de référentiel et composition des mouvements.....	15
3.1	Changement de référentiel et dérivation temporelle d'un vecteur.....	16
3.1.1	Mouvement d'un référentiel par rapport à un autre.....	16
3.1.2	Dérivation temporelle d'un vecteur.....	17
3.2	Composition des vitesses angulaires.....	18
3.3	Composition des vitesses.....	19
3.4	Composition des accélérations.....	20
3.5	Le calcul des termes d'entraînement.....	21
3.6	À propos du vocabulaire traditionnellement utilisé.....	22

CHAPITRE II : LES PRINCIPES DE LA DYNAMIQUE DU POINT

1.	Définition des grandeurs cinétiques.....	30
1.1	La masse.....	30
1.2	La quantité de mouvement et le moment cinétique.....	31
2.	Les principes fondamentaux de la dynamique du point.....	32
2.1	Le principe d'inertie (1 ^{ère} loi de Newton).....	32
2.2	Le principe fondamental de la dynamique (2 ^e loi de Newton).....	34
2.2.1	Énoncé.....	34
2.2.2	Le principe fondamental et l'inertie.....	36

2.2.3	<i>La conservation de la quantité de mouvement</i>	36
2.2.4	<i>Le principe de relativité</i>	37
2.3	Le principe des actions réciproques (3^e loi de Newton)	38
2.4	Le théorème du moment cinétique	39
2.4.1	<i>Énoncé</i>	39
2.4.2	<i>Les forces centrales et la loi des aires</i>	41
3.	Expressions des forces usuelles	42
3.1	Les interactions fondamentales	43
3.1.1	<i>L'interaction électromagnétique</i>	43
3.1.2	<i>L'interaction gravitationnelle</i>	45
3.1.3	<i>Cas particulier des distributions de masse ou de charge à symétrie sphérique</i>	46
3.1.4	<i>Comparaison des interactions électromagnétique et gravitationnelle</i>	46
3.2	Les forces de frottement	49
3.2.1	<i>Le frottement solide</i>	49
3.2.2	<i>Le frottement fluide</i>	51
3.3	Les forces de tension	52
3.3.1	<i>Le fil inextensible souple</i>	52
3.3.2	<i>Le ressort</i>	54
4.	Comment résoudre un problème de mécanique du point ?	55
CHAPITRE III : L'ÉNERGIE EN MÉCANIQUE DU POINT		
1.	Le théorème de l'énergie cinétique	68
1.1	<i>Puissance d'une force</i>	68
1.2	<i>Travail d'une force</i>	69
1.3	<i>Le théorème de l'énergie cinétique</i>	70
2.	Énergie potentielle et force conservative	71
2.1	<i>Définitions</i>	71
2.2	<i>Relation entre force et énergie potentielle associée</i>	72
2.2.1	<i>Le gradient</i>	72
2.2.2	<i>Relation entre force et énergie potentielle</i>	73
2.3	<i>Une interprétation de l'énergie potentielle</i>	74
2.4	<i>Exemple de forces non conservatives : les forces de frottement</i>	75
3.	L'énergie mécanique	76
3.1	<i>Le théorème de l'énergie mécanique</i>	76
3.2	<i>Avantage et inconvénient des raisonnements énergétiques</i>	77
4.	Équilibre et stabilité	78
4.1	<i>En raisonnant avec les forces</i>	78
4.2	<i>En raisonnant avec l'énergie potentielle</i>	78
5.	Étude énergétique d'un oscillateur	80
5.1	<i>Recherche des positions d'équilibre stable et instable</i>	80
5.2	<i>Prévisions qualitatives de l'évolution</i>	83
CHAPITRE IV : LES OSCILLATEURS		
1.	L'oscillateur harmonique	94
1.1	<i>Petites oscillations au voisinage d'une position d'équilibre stable</i>	94
1.1.1	<i>Approche générale de l'oscillateur harmonique</i>	94
1.1.2	<i>Exemples</i>	95
1.2	<i>Caractéristiques générales de l'oscillateur harmonique</i>	97
1.2.1	<i>Isochronisme des oscillations</i>	97

1.2.2	Aspect énergétique	97
1.2.3	Portrait de phase	98
1.3	L'oscillateur spatial isotrope	99
2.	L'oscillateur harmonique amorti en régime libre	101
2.1	Modélisation du phénomène, équation canonique	101
2.2	Résolution mathématique de l'équation différentielle	102
2.3	Discussion physique du comportement de l'oscillateur amorti	104
2.3.1	$Q \gg 1$, évolution pseudopériodique, amortissement faible	106
2.3.2	$Q \ll 1$, évolution apériodique, amortissement important	107
2.3.3	$Q \approx 1$, évolution critique	108
2.4	Portrait de phase	109
3.	Réponse d'un oscillateur harmonique amorti à une excitation	110
3.1	Résolution de l'équation différentielle, régimes transitoire et forcé	110
3.2	Cas d'une force constante	111
3.3	Cas d'une force sinusoïdale	111
3.3.1	Détermination exacte de $x(t)$	111
3.3.2	Allure de l'évolution temporelle	113
3.3.3	Allure du portrait de phase	114
4.	Le régime sinusoïdal forcé et le phénomène de résonance	115
4.1	Comportement de l'élongation en fonction de la pulsation	115
4.2	Comportement de la vitesse en fonction de la pulsation	118
4.3	Aspect énergétique	121
4.4	Intérêt du cas sinusoïdal	123
5.	Oscillations non linéaires	124
5.1	Exemple d'oscillateur anharmonique : le pendule	124
5.1.1	Les conséquences d'une force de rappel non linéaire	124
5.1.2	Le portrait de phase du pendule	127
5.2	Les oscillateurs auto-entretenus	128
CHAPITRE V : LES RÉFÉRENTIELS NON GALILÉENS		
1.	Les lois de la dynamique en référentiel non galiléen	140
1.1	Le principe fondamental et les forces d'inertie	140
1.2	Interprétation des forces d'inertie	141
1.2.1	Le pendule accéléré	141
1.2.2	Anneau enfilé sur une tige en rotation	142
1.3	Les théorèmes énergétiques en référentiel non galiléen	144
2.	Les sismographes	146
2.1	Principe de fonctionnement et position du problème	146
2.2	La suspension La Coste	147
2.3	Réponse du sismographe aux mouvements du sol	149
CHAPITRE VI : LES RÉFÉRENTIELS GÉOCENTRIQUE ET TERRESTRE		
1.	Le problème de la recherche d'un référentiel galiléen	156
1.1	Description générale du mouvement de la Terre autour du Soleil	156
1.2	Les différents référentiels envisageables	158
1.3	L'expérience de pensée d'Einstein	159
1.4	Le référentiel de Copernic $\mathcal{R}_C$	161

2.	Le référentiel géocentrique $\mathcal{R}_G$	162
2.1	Le mouvement du centre de la Terre dans le référentiel de Copernic	162
2.2	Le principe fondamental appliqué dans le référentiel géocentrique	163
2.3	Le phénomène des marées	165
2.3.1	<i>La théorie statique qualitative des marées océaniques</i>	<i>165</i>
2.3.2	<i>Quelques idées à propos d'une théorie dynamique</i>	<i>163</i>
2.3.3	<i>Les marées planétaires et la limite de Roche</i>	<i>171</i>
3.	Le référentiel terrestre $\mathcal{R}_T$	175
3.1	Le mouvement propre de la Terre dans $\mathcal{R}_G$	175
3.2	Le principe fondamental appliqué dans le référentiel terrestre	176
3.3	Définition du poids d'un corps et du champ de pesanteur terrestre	176
3.4	La force de Coriolis	178
3.4.1	<i>Les effets de cette force en dynamique terrestre</i>	<i>178</i>
3.4.1.1	<i>Ordre de grandeur</i>	<i>178</i>
3.4.1.2	<i>Expression des composantes de la force de Coriolis</i>	<i>179</i>
3.4.2	<i>Exemples de phénomènes dans lesquels intervient la force de Coriolis</i>	<i>181</i>
3.4.2.1	<i>La déviation vers l'est</i>	<i>181</i>
3.4.2.2	<i>Le pendule de Foucault</i>	<i>181</i>
3.4.2.3	<i>Anticyclones et dépressions</i>	<i>182</i>
3.4.2.4	<i>Les alizés</i>	<i>183</i>
3.4.2.5	<i>L'évacuation de l'eau d'un lavabo</i>	<i>184</i>

CHAPITRE VII : LES SYSTÈMES DE POINTS MATÉRIELS

1.	Les grandeurs cinétiques d'un système de points matériels	188
1.1	Centre d'inertie et référentiel barycentrique	188
1.2	Quantité de mouvement d'un système de points ou résultante cinétique	189
1.3	Moment cinétique d'un système de points	189
1.3.1	<i>Définition</i>	<i>189</i>
1.3.2	<i>Théorème de Kœnig pour le moment cinétique</i>	<i>190</i>
2.	Les lois de la dynamique pour un système de points matériels	191
2.1	Les actions intérieures et extérieures	191
2.1.1	<i>Les forces</i>	<i>191</i>
2.1.2	<i>Les moments des forces</i>	<i>192</i>
2.2	Le cas particulier des couples	192
2.3	Théorème de la résultante cinétique ou de la quantité de mouvement	194
2.3.1	<i>En référentiel galiléen</i>	<i>194</i>
2.3.2	<i>En référentiel non galiléen</i>	<i>195</i>
2.4	Théorème du moment cinétique	195
2.4.1	<i>En référentiel galiléen</i>	<i>195</i>
2.4.2	<i>En référentiel non galiléen</i>	<i>196</i>
2.4.3	<i>Dans le référentiel barycentrique</i>	<i>196</i>
2.4.4	<i>Discussion qualitative sur la conservation du moment cinétique</i>	<i>197</i>
2.4.5	<i>Évaluation de la période de précession des équinoxes</i>	<i>198</i>
2.5	Point d'application du poids en champ de pesanteur homogène	201
2.6	Principes ou théorèmes ?	202
3.	L'énergie dans un système de points matériels	203
3.1	Les travaux des forces	203
3.1.1	<i>Expressions générales</i>	<i>203</i>
3.1.2	<i>Le travail des forces intérieures</i>	<i>204</i>
3.2	L'énergie cinétique d'un système de points	205
3.2.1	<i>Définition</i>	<i>205</i>
3.2.2	<i>Théorème de Kœnig pour l'énergie cinétique</i>	<i>205</i>

3.3	Le théorème de l'énergie cinétique.....	206
3.4	À propos du travail des forces intérieures	207
3.5	Énergie potentielle et théorème de l'énergie mécanique	210
3.5.1	Relations générales.....	210
3.5.2	L'énergie potentielle de pesanteur.....	211
3.5.3	Les énergies potentielles d'interaction usuelles	211

CHAPITRE VIII : LE PROBLÈME À DEUX CORPS. APPLICATION AUX INTERACTIONS NEWTONIENNES

1.	Le problème à deux corps.....	222
1.1	Position du problème et décomposition du mouvement.....	222
1.2	Le mobile fictif	223
1.3	Cas particuliers	225
1.3.1	Si le système est isolé.....	225
1.3.2	Si l'une des deux masses est très supérieure à l'autre.....	225
1.4	Inertie du mouvement relatif et masse réduite.....	226
2.	Les mouvements à force centrale conservative	226
2.1	Les constantes du mouvement.....	227
2.2	Discussion qualitative des trajectoires envisageables	227
2.3	Les trajectoires bornées sont-elles fermées ?	231
3.	Cas particulier des interactions newtoniennes.....	232
3.1	Les différentes trajectoires possibles	232
3.1.1	Équation de la trajectoire en coordonnées polaires.....	232
3.1.2	Nature de la trajectoire en fonction de l'énergie.....	233
3.1.2.1	Cas d'une interaction répulsive : $\epsilon = 1$	233
3.1.2.2	Cas d'une interaction attractive : $\epsilon = -1$	235
3.1.2.3	La relation entre a et l'énergie.....	236
3.2	Trajectoires elliptiques et lois de Kepler (1571-1630).....	237
3.2.1	Les trois lois.....	237
3.2.2	Écarts aux lois de Kepler.....	239
3.3	Trajectoires hyperboliques et angle de diffusion.....	241
3.4	Les trois vitesses cosmiques.....	243
3.5	Quelques notions d'astronautique	245
3.5.1	La relation entre masse et vitesse	245
3.5.2	Mise en orbite d'un satellite autour de la Terre	245
3.5.3	Les voyages interplanétaires à courte distance	248
3.5.4	Les voyages interplanétaires à longue distance et la fronde gravitationnelle	249

CHAPITRE IX : LES CHOCS

1.	Position du problème	260
2.	Lois de conservation dans un référentiel galiléen.....	261
2.1	La conservation de la quantité de mouvement du système	261
2.2	La conservation du moment cinétique du système	262
2.3	La conservation de l'énergie.....	263
3.	Les indéterminations d'un problème de choc.....	265
4.	La conservation de l'énergie dans le référentiel barycentrique	266
5.	Étude de quelques exemples simples	268
5.1	Choc frontal élastique entre deux points matériels	268

1.1	General introduction	447
1.2	General introduction to the theory of statistics	448
1.3	General introduction to the theory of statistics	449
1.4	General introduction to the theory of statistics	450

CHAPTER 2. THE THEORY OF ESTIMATION

2.1	General introduction to the theory of estimation	451
2.2	General introduction to the theory of estimation	452
2.3	General introduction to the theory of estimation	453
2.4	General introduction to the theory of estimation	454
2.5	General introduction to the theory of estimation	455
2.6	General introduction to the theory of estimation	456
2.7	General introduction to the theory of estimation	457
2.8	General introduction to the theory of estimation	458
2.9	General introduction to the theory of estimation	459
2.10	General introduction to the theory of estimation	460
2.11	General introduction to the theory of estimation	461
2.12	General introduction to the theory of estimation	462
2.13	General introduction to the theory of estimation	463
2.14	General introduction to the theory of estimation	464
2.15	General introduction to the theory of estimation	465
2.16	General introduction to the theory of estimation	466
2.17	General introduction to the theory of estimation	467
2.18	General introduction to the theory of estimation	468
2.19	General introduction to the theory of estimation	469
2.20	General introduction to the theory of estimation	470
2.21	General introduction to the theory of estimation	471
2.22	General introduction to the theory of estimation	472
2.23	General introduction to the theory of estimation	473
2.24	General introduction to the theory of estimation	474
2.25	General introduction to the theory of estimation	475
2.26	General introduction to the theory of estimation	476
2.27	General introduction to the theory of estimation	477
2.28	General introduction to the theory of estimation	478
2.29	General introduction to the theory of estimation	479
2.30	General introduction to the theory of estimation	480
2.31	General introduction to the theory of estimation	481
2.32	General introduction to the theory of estimation	482
2.33	General introduction to the theory of estimation	483
2.34	General introduction to the theory of estimation	484
2.35	General introduction to the theory of estimation	485
2.36	General introduction to the theory of estimation	486
2.37	General introduction to the theory of estimation	487
2.38	General introduction to the theory of estimation	488
2.39	General introduction to the theory of estimation	489
2.40	General introduction to the theory of estimation	490
2.41	General introduction to the theory of estimation	491
2.42	General introduction to the theory of estimation	492
2.43	General introduction to the theory of estimation	493
2.44	General introduction to the theory of estimation	494
2.45	General introduction to the theory of estimation	495
2.46	General introduction to the theory of estimation	496
2.47	General introduction to the theory of estimation	497
2.48	General introduction to the theory of estimation	498
2.49	General introduction to the theory of estimation	499
2.50	General introduction to the theory of estimation	500