

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	3
INTRODUCTION	5
Chapitre I	
CINEMATIQUE DU POINT MATERIEL	9
I-DEFINITIONS FONDAMENTALES	9
I.1- Notion de temps	9
I.2- Repérage des positions	11
I.3- Trajectoire	12
II- VECTEUR VITESSE	15
II.1- Vitesse algébrique	15
II.2- Vecteur vitesse	16
II.3- Expressions analytiques du vecteur vitesse	18
a- Expression analytique en coordonnées cartésiennes	18
b- Expression analytique en coordonnées cylindriques	19
c- Expression analytique en coordonnées sphériques	21
III- VECTEUR ACCELERATION	22
III.1- Définition	23
III.2- Hadographe	23
III.3- Conséquence : position du vecteur accélération par rapport à la trajectoire	24
III.4- Expressions analytiques du vecteur accélération	26
a- Expression analytique en coordonnées cartésiennes	26
b- Expression analytique en coordonnées cylindriques	27
c- Expression analytique en coordonnées sphériques	28

III.5- Expression du vecteur accélération à l'aide de l'abscisse curviligne : accélérations tangentielle et normale	30
a- Cas d'une trajectoire plane	30
b- Expression du vecteur accélération à partir de l'hodographe	33
c- Recherche du rayon de courbure	35
III.6- Mouvement à accélération centrale	37
a- Définition	37
b- Propriétés	38
c- Les formules de Binet	42
d- Exercices	43
IV- ETUDE DE QUELQUES MOUVEMENTS PARTICULIERS	53
IV.1- Généralités	53
IV.2- Mouvement rectiligne	55
IV.3- Mouvement circulaire	56
a- Définition	56
b- Vecteurs vitesse et accélération	56
c- Mouvement circulaire uniforme	58
d- Mouvement circulaire uniformément varié	59
e- Relation entre le vecteur vitesse angulaire et la vitesse linéaire	61
IV.4- Mouvement hélicoïdal	63
a- Définition	63
b- Vecteur vitesse	64
c- Vecteur accélération	66
d- Mouvement hélicoïdal uniforme	68

Chapitre II	
COMPOSITION DES MOUVEMENTS	69
INTRODUCTION	69
I- MOUVEMENT RELATIF, MOUVEMENT ABSOLU ET MOUVEMENT D'ENTRAÎNEMENT	70
I-1 Mouvement absolu	70
I-2 Mouvement relatif	70
I-3 Notion de point coïncidant : mouvement d'entraînement	71
II- TRANSFORMATION DU VECTEUR VITESSE	72
II-1 Loi de composition des vitesses	73
II-2 Application : vitesse relative d'un mobile par rapport à un autre	74
III- TRANSFORMATION DU VECTEUR ACCELERATION	76
III-1 Accélération absolue	76
III-2 Accélération relative	77
III-3 Accélération d'entraînement	77
III-4 Loi de composition des accélérations	78
IV- CHAMPS DE VITESSE ET D'ACCELERATION D'ENTRAÎNEMENT	78
IV-1 Champ de vitesses d'entraînement	78
IV-2 Champ d'accélérations d'entraînement	80
IV-3 Accélération de Coriolis	81
V- CHAMPS PARTICULIERS DE VITESSE ET D'ACCELERATIONS D'ENTRAÎNEMENT	81
V-1 Mouvement d'entraînement de translation	81
a - Définition	81
b- Mouvement d'entraînement de translation quelconque	83
c- Mouvement d'entraînement de translation rectiligne uniforme	84
d- Exemple	85
V-2 Mouvement d'entraînement de rotation	87

V-3 Composition des vitesses angulaires	94
V-4 Exercices	97
VI- CINEMATIQUE DU SOLIDE*	101
VI-1 Définition d'un solide indéformable	101
VI-2 Repère lié au solide	102
VI-3 Champ des vitesses d'un solide en mouvement	102
VI-4 Étude de quelques cas particuliers de mouvements de solides	104
a- Mouvement de translation d'un solide	104
b- Mouvement de rotation d'un solide	106
VI-5 Étude Cinématique de contact entre solides	107
Chapitre III	
DYNAMIQUE DU POINT MATÉRIEL	113
INTRODUCTION	113
I- LES LOIS DE NEWTON	113
I-1 Première loi de Newton	114
I-2 Deuxième loi de Newton	115
I-2-1 Notion de masse	115
I-2-2 Quantité de mouvement	116
I-2-3 Deuxième loi de Newton	117
I-2-4 Impulsion	118
I-2-5 Principe fondamental de la dynamique dans un référentiel non galiléen	118
I-3 Troisième loi de Newton	121
I-3-1 Énoncé	121
I-3-2 Conservation de la quantité de mouvement	122
I-3-3 Exemples	123
II- ÉTUDE DES FORCES	125
II-1 Notion de force	125
II-2 Les interactions fondamentales	126

II-2-1 L'interaction forte	126
II-2-2 L'interaction faible	127
II-2-3 L'interaction électromagnétique	127
II-2-4 L'interaction gravitationnelle	128
II-3 Les forces à distance	129
II-4 Les forces de contact	134
II-4-1 Frottement de glissement	134
II-4-1-1 Force de frottement statique	135
II-4-1-2 Force de frottement dynamique	140
II-4-2 Force de frottement dans les fluides : frottement visqueux	141
II-4-3 Exemple	141
III-MOMENT CINETIQUE D'UNE PARTICULE	144
III-1 Définition	144
III- 2 Théorème du moment cinétique	146
III-2-1 Cas d'un point fixe d'un référentiel galiléen	146
III-2-2 Cas d'un point fixe d'un référentiel non galiléen	147
III-3 Conservation du moment cinétique	149
III-4 Mouvement à force centrale	150
III-4-1 Définition	150
III-4-2 Propriétés	150
III-4-3 Application : Diffusion d'une particule par une force centrale répulsive $\vec{F} = \frac{k\vec{r}}{r^3}$	152
Chapitre IV	
DYNAMIQUE DU POINT MATERIEL : APPLICATIONS	157
I- EQUATIONS DIFFERENTIELLES DU MOUVEMENT	157
I-1- Cas d'un référentiel galiléen	157
I-1-1- En coordonnées cartésiennes	157

I-1-2- En coordonnées cylindriques	159
I-2- Cas d'un référentiel non galiléen	160
I-2-1- Cas où le mouvement d'entraînement est une translation	161
I-2-2- Cas où le mouvement d'entraînement est une rotation	161
I-3- Mouvement d'une particule liée à une courbe ou à une surface	163
I-3-1- Propriétés de la force de réaction	163
I-3-2- Equations du mouvement d'une particule liée à une courbe ou à une surface	166
II- APPLICATIONS - CAS D'UN REFERENTIEL GALILEEN	167
II-1- Mouvement d'un projectile dans le vide	167
II-2- Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique et dans un champ magnétique indépendants du temps	170
II-2-1- Particule chargée dans un champ électrique	171
II-2-2- Particule chargée dans un champ magnétique	177
II-3- Mouvement d'un pendule simple	186
II-4- Mouvement d'une particule dans un champ de force en $\frac{1}{r^2}$	189
III- APPLICATIONS : CAS D'UN REFERENTIEL NON GALILEEN	193
III-1- Exemple d'utilisation des forces d'inertie dans un référentiel en mouvement de translation par rapport à un référentiel galiléen	193
III-1-1- Accéléromètre linéaire	193
III-1-2- Accéléromètre angulaire	195
III-2- Exemples d'utilisation des forces d'inertie : cas d'un référentiel relatif en mouvement de rotation uniforme	197

III-2-1- Chute libre analysée relativement à un référentiel tournant	197
III-2-2- Mouvement d'un point matériel guidé sur une droite mobile	199
III-2-3- Equilibre relatif sur un plateau tournant	201
IV- PLAN DE PHASE ET PORTRAIT DE PHASE	203
IV-1- Plan de phase dans le cas d'un problème à une dimension	203
IV-2- Propriétés du plan de phase	204
IV-3- Exemples	206
Chapitre V	
CHAMPS NEWTONIENS : GRAVITATION	209
I- LA LOI DE LA GRAVITATION ET LES CHAMPS NEWTONIENS.	210
I-1- La loi de gravitation.	210
I-2- Champs newtoniens.	212
II- CHAMP ET POTENTIEL GRAVITATIONNELS.	213
II-1- Champ et potentiel d'une masse ponctuelle.	213
II-2- Champ et potentiel d'un système de particules.	215
II-3- Lignes de champs et surfaces équipotentiels.	220
II-3-1- Lignes de champs.	220
II-3-2- Surfaces équipotentiels.	221
III- FLUX DU CHAMP GRAVITATIONNEL : THEOREME DE GAUSS.	223
IV- POTENTIEL CREE A GRANDE DISTANCE PAR UNE DISTRIBUTION DE MASSES PONCTUELLES.*	225
IV-1- Développement multipolaire.	225
IV-2- Cas où la distribution présente une symétrie de révolution.	228
IV-3- Variation du champ de gravitation due aux autres astres à la surface de la terre.	229
V- LES LOIS DE KEPLER.	233

VI- PRINCIPE D'EQUIVALENCE.*	234
VII- APPLICATION A LA DYNAMIQUE TERRESTRE : CARACTERE NON GALILEEN DU REFERENTIEL TERRESTRE.	236
VII-1- Effet de la force d'inertie d'entraînement.	237
VII-2- Effet de la force d'inertie de Coriolis : déviation vers l'Est lors de la chute libre des corps.	243
VII-3- Pendule de Foucault.	248
VIII- EXEMPLES D'APPLICATION.	252
Chapitre VI	
TRAVAIL-ENERGIE- CONSERVATION DE L'ENERGIE D'UN POINT MATERIEL	257
INTRODUCTION	257
I- TRAVAIL	258
I-1 Travail élémentaire.	258
I-2 Puissance	259
I-3 Travail le long d'une trajectoire.	260
I-4 Unités de travail et de puissance.	261
I-5 Exemples.	262
II- ENERGIE CINETIQUE : THEOREME DE L'ENERGIE CINETIQUE.	268
II- 1 Définition.	268
II-2 Théorème de l'énergie cinétique.	268
II-3 Applications.	270
III- FORCES CONSERVATIVES - ENERGIE POTENTIELLE.	278
III-1 Forces conservatrices.	278
III-1-1 Définition.	278
III-1-2 Exemples.	279
III-2 Energie potentielle.	280
III-2-1 Définition.	280

III-2-2 Relation entre force conservatrice et énergie potentielle	281
III-2-3 Interprétation physique de l'énergie potentielle	282
III-2-4 Exemples	284
IV- ENERGIE MECANIQUE OU TOTALE	288
IV-1 Energie totale d'un point matériel - Conservation de l'énergie totale	288
IV-2 Cas d'un point matériel soumis à des forces ne dérivant pas d'une énergie potentielle.	290
IV-3 Applications.	293
V- STATIQUE DU POINT MATERIEL.	299
V-1 Conditions d'équilibre	299
V-1-1 Définition.	299
V-1-2 Conditions nécessaires et suffisantes	299
V-2 Position d'équilibre d'un point matériel en mouvement de long de sa trajectoire	300
V-3 Stabilité d'une position d'équilibre.	302
V-4 Exemple.	305
V-5 Mouvements possibles autour d'une position d'équilibre	309
VI- DISCUSSION DES COURBES D'ENERGIE POTENTIELLE	312
VI-1 Problèmes rectilignes ou à une dimension.	312
VI-2 Cas d'une force centrale	314
Chapitre VII	
L'OSCILLATEUR HARMONIQUE	317
INTRODUCTION	317
I- DEFINITION ET EXEMPLES	318
I-1- Définition	318
I-2- Exemples	318
I-2-1- Pendule élastique	318
I-2-2- Pendule simple	320

I-2-3- Petites oscillations au voisinage d'une position d'équilibre stable	322
I-2-4- Oscillateur électrique libre sans amortissement : analogie électromécanique	323
I-3- Description du mouvement : aspect énergétique.	324
I-4- Portrait de phase de l'oscillateur harmonique libre	326
II OSCILLATEUR AMORTI NON ENTRETENU	327
II-1- Oscillateur amorti par frottement visqueux	328
II-1-1- Définition	328
II-1-2- Nature du mouvement	329
II-1-3- Perte d'énergie d'un oscillateur faiblement amorti	338
II-2- Analogie électrique : décharge d'un condensateur à travers une self et une résistance.	339
II-3- Portrait de phase de l'oscillateur harmonique faiblement amorti.	342
II-4- Oscillations avec frottement de glissement (frottement solide).	343
II-5- Portrait de phase.	347
III- OSCILLATEUR HARMONIQUE FORCE	350
III-1- Oscillations amorties et entretenues sinusoïdalement	350
III-2- Oscillations très faiblement amorties et entretenues sinusoïdalement	353
III-3- Etude de l'amplitude : résonance d'amplitude	355
III-4- Retard de phase de l'élongation par rapport à l'excitation	357
III-5- Acuité de la résonance d'amplitude : bande passante	358
III-6- Etude de la vitesse. Résonance de vitesse	359
III-7 - Impédance mécanique	361

III-8- Analogie électromécanique	363
III-9- Bilan énergétique en régime forcé	364
III-10- Portrait de phase	366
IV- APPLICATION	367
Chapitre VIII	
DYNAMIQUE D'UN SYSTEME DE POINTS MATERIELS	387
INTRODUCTION	387
I - MOUVEMENT DU CENTRE DE MASSE D'UN SYSTEME DE POINTS MATERIELS	387
I-1 Centre de masse d'un système de points matériels	387
I-1 - 1 Définition	387
I-1 - 2 Exemples	389
I-1 - 3 Unicité du centre de masse	390
I-2 Théorème du centre de masse	392
I-2- 1 Quantité de mouvement d'un système matériel	392
I-2- 2 Théorème de la quantité de mouvement ou relation fondamentale de la dynamique	393
I-2-3 Conservation de la quantité de mouvement d'un système	395
I-2- 4 Référentiel barycentrique ou de centre de masse	396
II- MOMENT CINETIQUE D'UN SYSTEME DE POINTS MATERIELS	397
II- 1 - Définition	397
II- 2 - Moment cinétique propre ou intrinsèque	398
II- 3 - Premier théorème de König	399
II- 4 - Théorème du moment cinétique	400
II-4-1 - Cas d'un point fixe d'un référentiel galiléen	400

II-4-2 - Théorème du moment cinétique dans un référentiel non galiléen.	403
II-4-3 - Théorème du moment cinétique dans le référentiel barycentrique.	404
II- 5 - Moment cinétique et équation du mouvement d'un solide indéformable.	406
II-5-1 - Moment cinétique d'un solide	407
II-5-2 - Equation du mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe fixe	409
II-5-3 - Calcul du moment d'inertie	410
III- ENERGIE D'UN SYSTEME DE POINTS MATERIELS	415
III-1- Energie cinétique	415
III-1-1 - Définition	415
III-1-2 - Deuxième théorème de König	416
III-1-3 - Théorème de l'énergie cinétique	419
IV - ENERGIE POTENTIELLE	424
IV- 1 - Energie potentielle interne ou d'interaction	425
IV- 2 - Energie potentielle des forces extérieures ou énergie potentielle externe	430
IV- 3 - Travail des forces extérieures et énergie potentielle externe dans le cas d'un solide	432
V - ENERGIE TOTALE D'UN SYSTEME DE POINTS MATERIELS	434
V-1 - Cas d'un système soumis à des forces extérieures conservatives	434
V-2 - Cas d'un système soumis à des forces extérieures conservatives et à des forces de liaison	435
VI - EXEMPLES D'APPLICATIONS	437
Chapitre IX	
SYSTEME A DEUX CORPS	453
I- MOUVEMENT RELATIF D'UN POINT MATERIEL PAR RAPPORT A L'AUTRE	453
II- REFERENTIEL BARYCENTRIQUE	455

II.1- Quantité de mouvement dans le repère barycentrique	456
II.2- Moment cinétique propre ou intrinsèque	457
II.3- Energie cinétique interne	457
III- ETUDE DU MOUVEMENT RELATIF DANS LE CAS D'UN SYSTEME ISOLE	458
III.1- Caractère galiléen de R_G	458
III.2- Mouvement d'un point relativement à l'autre	459
III.3- Mouvements des points P_1 et P_2 autour du centre de masse G : équation du mouvement	460
III.4- Conservation du moment cinétique: intégrale première du mouvement	463
III.5- Conservation de l'énergie	464
III.6- Méthode générale d'étude du mouvement relatif	465
IV- EXEMPLE DE DEUX CORPS EN INTERACTION NEWTONIENNE	469
IV.1- Nature des trajectoires	470
IV.2- Mouvement elliptique des planètes du soleil	475
IV.2.1- Mouvement du soleil et d'une planète (les lois de Kepler)	475
IV.2.2- Expression de l'énergie d'une trajectoire	478
IV.3- Les satellites de la terre	479
IV.3.1- Le satellite à orbite circulaire	480
IV.3.2- Le satellite géostationnaire	480
IV.3.3- Energie d'un satellite à orbite circulaire	482
V- MOUVEMENT HYPERBOLIQUE REPULSIF	483
VI- CHOC DE DEUX PARTICULES	485
VI.1- Lois de conservation	486
VI.2- Choc élastique de deux particules dans le référentiel du laboratoire	488
VI.2.1- Choc élastique central ou à une dimension	488
VI.2.2- Choc élastique non central	491
VI.3- Choc élastique dans le référentiel du centre de masse	498
VI.3.1- Vitesse des points avant le choc	498

VI.3.2- Le choc dans le référentiel du centre de masse ou barycentrique	499
VI.3.3- Retour au référentiel du laboratoire	501
VI.4- Réflexion d'un point par une paroi plane fixe	504
VI.5- Choc inélastique	506
APPENDICE : Les coniques	511
CHAPITRE X	
SYSTEME A MASSE VARIABLE*	521
INTRODUCTION	521
I- SYSTEME A MASSE VARIABLE : TRAITEMENT EN SYSTEME FERME	523
I-1- Théorème de la quantité de mouvement	523
I-2- Théorème de moment cinétique	531
I-3- Théorème de l'énergie cinétique pour un système à masse variable	537
II-THEOREMES GENERAUX DE LA DYNAMIQUE DES SYSTEMES OUVERTS	538
II-1- Dérivée particulière d'une grandeur extensive : formule de Reynolds	539
II-2- Théorème de la quantité de mouvement	542
II-3- Théorème du moment cinétique	545
II-4- Théorème de l'énergie cinétique pour un système ouvert	548
BIBLIOGRAPHIE	553
SOMMAIRE	555