

# Table des matières

<b>Chapitre 1 - Les trois lois de Newton.....</b>	<b>1</b>
<b>I. Les <i>Principia</i> de Newton .....</b>	<b>1</b>
<b>II. La première loi : inertie et mouvement rectiligne uniforme.....</b>	<b>2</b>
II.1. Inertie, mouvement naturel d'un corps .....	2
II.2. Force, action exercée sur un corps .....	3
II.3. Référentiels inertiels .....	3
II.4. Invariance .....	5
<b>III. La deuxième loi : force, quantité de mouvement, masse et accélération.....</b>	<b>6</b>
III.1. Action à distance .....	7
III.2. Masse inerte et masse grave .....	8
III.3. Détails pratiques d'utilisation.....	9
<b>IV. La troisième loi : action et réaction.....</b>	<b>10</b>
<b>V. Résoudre un problème de mécanique : soyons méthodiques ! .....</b>	<b>10</b>
<b>VI. Une feuille de route pour cet ouvrage.....</b>	<b>14</b>
<b>Première partie.....</b>	<b>15</b>
<b>Chapitre 2 - Cinématique du point matériel.....</b>	<b>17</b>
<b>I. Donnons-nous le cap ! .....</b>	<b>17</b>
<b>II. Système de coordonnées cartésiennes .....</b>	<b>19</b>
II.1. La théorie.....	19
II.2. La pratique : mouvement uniformément accéléré .....	23
<b>III. Système de coordonnées polaires .....</b>	<b>24</b>
III.1. La théorie.....	24
III.2. La pratique : les mouvements circulaires .....	28

<b>IV. Système de coordonnées cylindriques .....</b>	<b>32</b>
IV.1. La théorie .....	32
IV.2. La pratique : mouvement circulaire quelconque en coordonnées cylindriques .....	33
<b>V. Système de coordonnées sphériques .....</b>	<b>35</b>
V.1. La théorie .....	35
V.2. La pratique : loxodromie et orthodromie en coordonnées sphériques .....	39
V.3. Mouvement circulaire en coordonnées sphériques .....	45
<b>VI. Conclusion.....</b>	<b>46</b>
<b>Chapitre 3 - Le référentiel de Frénet .....</b>	<b>47</b>
<b>I. Donnons-nous le cap ! .....</b>	<b>47</b>
<b>II. Abscisse curviligne sur une courbe.....</b>	<b>47</b>
II.1. La théorie.....	47
II.2. La pratique.....	49
<b>III. Référentiel de Frénet dans le plan.....</b>	<b>54</b>
III.1. Référentiel de Frénet en coordonnées cartésiennes .....	55
III.2. Référentiel de Frénet en coordonnées polaires.....	58
<b>IV. Finalement, c'est quoi toutes ces histoires de rayon de courbure algébrique ? .....</b>	<b>64</b>
<b>V. Conclusion (provisoire) .....</b>	<b>67</b>
<b>VI. Annexe 1 - Produit scalaire, produit vectoriel, produit mixte.....</b>	<b>67</b>
VI.1. Produit scalaire.....	67
VI.2. Produit vectoriel.....	68
VI.3. Produit mixte .....	69
<b>Chapitre 4 - Repères non galiléens .....</b>	<b>71</b>
<b>I. Repères galiléens et non galiléens.....</b>	<b>71</b>
<b>II. Vitesse et accélération dans un repère non galiléen .....</b>	<b>73</b>
II.1. Repère fixe et repère mobile.....	73
II.2. Expression des dérivées temporelles des vecteurs de base « mobiles ».....	75
II.3. Expression de la dérivée temporelle d'un vecteur quelconque dans $(\mathcal{R})$ et $(\mathcal{R}')$ .....	78

II.4. Vitesse et accélération d'un point mobile dans $(\mathcal{R})$ et $(\mathcal{R}')$ .....	79
II.5. La deuxième loi de Newton dans $(\mathcal{R})$ et dans $(\mathcal{R}')$ .....	82
<b>III. Résumons-nous.....</b>	<b>83</b>
<b>IV. Quelques exemples d'utilisation des référentiels non galiléens ...</b>	<b>85</b>
IV.1. Repère en rotation uniforme .....	85
IV.2. Repère en rotation non uniforme .....	96
IV.3. Repère en mouvement de translation rectiligne non uniforme .....	97
<b>V. Conclusion.....</b>	<b>99</b>

## **Deuxième partie ..... 101**

### **Chapitre 5 - Forces de contact ..... 103**

<b>I. Introduction.....</b>	<b>103</b>
<b>II. Force de réaction normale du support.....</b>	<b>103</b>
II.1. La théorie.....	103
II.2. La pratique.....	106
<b>III. Force de frottement sec .....</b>	<b>115</b>
III.1. La théorie.....	115
III.2. La pratique.....	117
<b>IV. Poussée d'Archimède .....</b>	<b>120</b>
IV.1. La théorie .....	120
IV.2. La pratique .....	121
<b>V. Force de frottement fluide .....</b>	<b>121</b>
V.1. La théorie .....	121
V.2. Zoom sur la résolution d'équations différentielles d'ordre 1 à coefficients constants .....	123
V.3. La pratique .....	126
<b>VI. Poulies et tension d'un fil .....</b>	<b>130</b>
VI.1. La théorie .....	130
VI.2. La pratique .....	131
<b>VII. Conclusion.....</b>	<b>135</b>
<b>VIII. Annexe – La fonction tangente hyperbolique .....</b>	<b>135</b>

## Chapitre 6 - L'énergie dans tous ses états ..... 137

<b>I. Introduction.....</b>	<b>137</b>
<b>II. Deux points mathématiques .....</b>	<b>138</b>
II.1. Gradient.....	138
II.2. Intégrales curvilignes .....	139
<b>III. Travail d'une force .....</b>	<b>141</b>
III.1. La théorie.....	141
III.2. La pratique.....	142
<b>IV. Energie cinétique .....</b>	<b>142</b>
IV.1. La théorie .....	142
IV.2. La pratique .....	144
<b>V. Force conservative, énergie potentielle, énergie mécanique.....</b>	<b>145</b>
V.1. La théorie .....	145
V.2. La pratique .....	147
<b>VI. Force dissipative .....</b>	<b>151</b>
VI.1. La théorie .....	151
VI.2. La pratique .....	151
<b>VII. Conclusion.....</b>	<b>153</b>

## Chapitre 7 - L'oscillateur harmonique ..... 155

<b>I. Introduction.....</b>	<b>155</b>
<b>II. Les mathématiques de l'oscillateur harmonique.....</b>	<b>156</b>
II.1. L'équation différentielle typique de l'oscillateur harmonique.....	156
II.2. Résolution de l'équation homogène .....	156
II.3. Résolution de l'équation avec second membre .....	159
<b>III. L'oscillateur libre .....</b>	<b>162</b>
III.1. Masse suspendue à l'extrémité d'un ressort .....	162
III.2. Le pendule simple.....	163
III.3. Considérations énergétiques .....	164
III.4. Modes propres d'oscillation.....	165
III.5. La pratique.....	166
<b>IV. L'oscillateur amorti .....</b>	<b>172</b>

<b>V. L'oscillateur forcé .....</b>	<b>175</b>
V.1. Qu'est-ce qu'un oscillateur forcé ? .....	175
V.2. L'oscillateur amorti forcé .....	175
V.3. L'oscillateur forcé non amorti .....	181
V.4. La pratique .....	182
<b>VI. Conclusion.....</b>	<b>184</b>

## **Chapitre 8 - La gravité selon Newton..... 185**

<b>I. Introduction.....</b>	<b>185</b>
<b>II. Trois notions de base.....</b>	<b>186</b>
II.1. Force centrale.....	187
II.2. Moment cinétique .....	187
II.3. Moment d'une force, théorème du moment cinétique.....	190
<b>III. La naissance de la gravitation universelle.....</b>	<b>192</b>
III.1. Zoom sur les ellipses .....	192
III.2. Héliocentrisme et géocentrisme, révolution copernicienne.....	196
III.3. Les lois de Kepler et la gravitation universelle.....	197
<b>IV. La gravitation universelle selon Newton .....</b>	<b>205</b>
IV.1. La force de gravitation universelle, sur la Terre comme au ciel.....	205
IV.2. Le principe d'équivalence faible.....	206
IV.3. La loi du mouvement .....	207
IV.4. Energies cinétique et potentielle .....	210
IV.5. Energie totale et trajectoires possibles .....	211
IV.6. Les lois de Kepler démontrées .....	212
IV.7. Que se passe-t-il si la condition $m \ll M$ n'est pas satisfaite ? .....	213
IV.8. Hyperboles et paraboles.....	215
<b>V. Applications de la gravitation newtonienne dans le système solaire.....</b>	<b>217</b>
V.1. Période keplerienne et vitesse orbitale .....	217
V.2. Astrodynamique et transfert de Hohmann .....	217
V.3. Vitesse orbitale, vitesse de libération.....	226
<b>VI. Conclusion provisoire.....</b>	<b>228</b>

## **Chapitre 9 - Dynamique terrestre ..... 231**

### **I. Introduction..... 231**

### **II. Formule fondamentale de la dynamique terrestre..... 231**

II.1. Repère géocentrique et repère terrestre local ..... 231

II.2. Formule fondamentale de la dynamique terrestre ..... 234

### **III. Champ de gravité apparent..... 236**

### **IV. Balistique locale dans le champ de gravité terrestre..... 237**

IV.1. Equations balistiques dans le repère terrestre local..... 238

IV.2. Chute libre..... 239

### **V. Pendule de Foucault ..... 241**

### **VI. Conclusion..... 243**

## **Troisième partie ..... 245**

## **Chapitre 10 - Dynamique du solide (I)..... 247**

### **I. Donnons-nous le cap ! ..... 247**

### **II. Intégrales simples et multiples..... 248**

II.1. Intégrales simples ..... 248

II.2. Intégrales doubles ..... 255

II.3. Intégrales triples ..... 259

### **III. Le solide indéformable ..... 262**

III.1. Qu'est-ce qu'un solide indéformable ? ..... 262

III.2. Le mouvement d'un solide indéformable..... 263

### **IV. Le centre de masse ..... 264**

IV.1. Le centre de masse, pour un système de points matériels ..... 264

IV.2. Le centre de masse pour un fil rigide..... 265

IV.3. Le centre de masse pour un milieu continu plan bidimensionnel .... 267

IV.4. Le centre de masse, pour un milieu continu à trois dimensions ..... 273

IV.5. Résumons-nous ..... 278

IV.6. Remarques et astuces finales ..... 280

<b>V. Pourquoi tant d'efforts ?</b> .....	<b>281</b>
V.1. Quantité de mouvement .....	282
V.2. Energie cinétique.....	282
V.3. Moment cinétique .....	283
<b>VI. Conclusion (provisoire)</b> .....	<b>284</b>
<b>Chapitre 11 - Dynamique du solide (II)</b> .....	<b>285</b>
<b>I. Donnons-nous le cap !</b> .....	<b>285</b>
<b>II. Moment cinétique et matrice d'inertie</b> .....	<b>285</b>
II.1. Matrice d'inertie d'un solide indéformable .....	285
II.2. Energie cinétique d'un solide en rotation.....	290
II.3. Formules de Huygens.....	292
II.4. Moments d'inertie pour des solides usuels.....	294
II.5. Moment d'inertie composé .....	297
<b>III. Moment d'une force, théorème du moment cinétique</b> .....	<b>300</b>
III.1. La théorie.....	300
III.2. La pratique.....	304
<b>IV. Conclusion</b> .....	<b>311</b>
<b>Post-scriptum</b> .....	<b>313</b>
<b>Post-scriptum – Mécanique analytique</b> .....	<b>315</b>
<b>I. La théorie</b> .....	<b>315</b>
I.1. Approche lagrangienne .....	315
I.2. Approche hamiltonienne .....	318
<b>II. La pratique</b> .....	<b>319</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>321</b>
<b>Index</b> .....	<b>323</b>