

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
Thérèse ENCRENAZ et James LEQUEUX	
<b>Chapitre 1. Satellites et anneaux des planètes géantes</b> . . . . .	3
Athéna COUSTENIS, Marcello FULCHIGNONI et Françoise ROQUES	
1.1. Introduction . . . . .	3
1.2. Les satellites de Jupiter . . . . .	7
1.2.1. Les satellites galiléens . . . . .	7
1.2.2. Les satellites joviens mineurs . . . . .	18
1.3. Les satellites de Saturne . . . . .	19
1.3.1. Titan . . . . .	21
1.3.2. Encelade . . . . .	32
1.3.3. Les autres satellites glacés . . . . .	35
1.3.4. Les enjeux des missions futures dans le système de Saturne et Dragonfly . . . . .	41
1.4. Les satellites d'Uranus et de Neptune . . . . .	42
1.4.1. Les satellites d'Uranus . . . . .	42
1.4.2. Les satellites de Neptune . . . . .	44
1.4.3. L'exploration future des systèmes des planètes géantes glacées . . . . .	45
1.5. Les anneaux . . . . .	45
1.5.1. Les forces de marée et la limite de Roche . . . . .	48
1.5.2. L'aplatissement et la dispersion des anneaux . . . . .	49
1.5.3. Les anneaux de Jupiter . . . . .	49
1.5.4. Les anneaux de Saturne . . . . .	50
1.5.5. Les anneaux d'Uranus . . . . .	53
1.5.6. Les anneaux de Neptune . . . . .	53
1.5.7. Les anneaux des petits corps . . . . .	55
1.5.8. La dynamique des anneaux . . . . .	57

1.5.9. L'origine des anneaux . . . . .	61
1.5.10. Un exo-anneau . . . . .	62
1.6. Bibliographie . . . . .	63

## **Chapitre 2. Comètes, astéroïdes et planètes naines . . . . . 67**

Jacques CROVISIER et Marcello FULCHIGNONI

2.1. Les comètes . . . . .	67
2.1.1. Définition et nomenclature . . . . .	68
2.1.2. Les orbites et familles de comètes . . . . .	73
2.1.3. La magnitude des comètes . . . . .	76
2.1.4. L'exploration spatiale des comètes . . . . .	78
2.1.5. Le noyau . . . . .	83
2.1.6. L'atmosphère . . . . .	86
2.1.7. Les poussières et la queue . . . . .	104
2.1.8. La diversité chimique des comètes : une relation avec leur origine ? . . . . .	110
2.1.9. L'interaction des comètes avec le vent solaire . . . . .	111
2.2. Les astéroïdes « historiques » . . . . .	113
2.2.1. Les astéroïdes de la ceinture principale . . . . .	115
2.2.2. Les astéroïdes qui croisent l'orbite des planètes telluriques . . . . .	118
2.2.3. Les astéroïdes troyens . . . . .	120
2.2.4. Les propriétés des astéroïdes . . . . .	121
2.3. Les « nouveaux » astéroïdes . . . . .	130
2.3.1. Les Centaures . . . . .	131
2.3.2. Les objets transneptuniens . . . . .	133
2.3.3. Les objets interstellaires . . . . .	137
2.3.4. L'origine et l'évolution des astéroïdes . . . . .	138
2.4. Les planètes naines . . . . .	140
2.4.1. Cérés . . . . .	142
2.4.2. Pluton et ses satellites . . . . .	145
2.4.3. Éris, Haumea et Makemake . . . . .	150
2.5. Bibliographie . . . . .	153

## **Chapitre 3. Météorites et cosmochimie . . . . . 159**

Brigitte ZANDA

3.1. Des pierres tombées du ciel . . . . .	159
3.2. Origine des météorites . . . . .	164
3.3. La différenciation planétaire et les groupes de météorites . . . . .	167
3.4. Les chondrites et l'origine du Système solaire . . . . .	171
3.4.1. La composition chimique des chondrites . . . . .	171

3.4.2. La minéralogie des chondrites . . . . .	175
3.4.3. Les spécificités isotopiques des roches globales. . . . .	182
3.5. Les météorites différenciées . . . . .	186
3.5.1. Des fragments de l'astéroïde Vesta . . . . .	186
3.5.2. Les météorites de fer . . . . .	189
3.5.3. Les pallasites. . . . .	192
3.5.4. Des fragments de la planète Mars . . . . .	193
3.6. Des témoins de la formation et l'évolution du Système solaire . . . . .	197
3.7. Bibliographie. . . . .	199

## **Chapitre 4. Formation et histoire dynamique du Système solaire . . . . . 207**

Françoise ROQUES

4.1. Introduction. . . . .	207
4.2. Lois du mouvement des planètes et des satellites . . . . .	209
4.2.1. Les lois de Kepler. . . . .	209
4.2.2. La gravitation . . . . .	210
4.2.3. Les lois fondamentales de la dynamique de Newton . . . . .	211
4.2.4. Les éléments orbitaux . . . . .	213
4.3. Le problème des deux corps . . . . .	214
4.4. Le problème des trois corps . . . . .	215
4.4.1. Constante de Jacobi et points de Lagrange . . . . .	216
4.4.2. Orbites en têtard et en fer à cheval . . . . .	217
4.4.3. Sphère de Hill . . . . .	218
4.5. Perturbations et résonances . . . . .	219
4.6. Stabilité et chaos dans le Système solaire . . . . .	220
4.7. Orbites par rapport à un corps aplati . . . . .	222
4.8. Effet de marée . . . . .	224
4.8.1. Déformation de marée . . . . .	225
4.8.2. Couple de marées . . . . .	227
4.8.3. Limite de Roche. . . . .	228
4.9. Forces non gravitationnelles et orbites des petits corps . . . . .	229
4.9.1. Pression de radiation (grains micrométriques) . . . . .	229
4.9.2. Effet Poynting-Robertson (petites particules macroscopiques) . . . . .	230
4.9.3. Effet Yarkovsky (particules métriques à kilométriques) . . . . .	231
4.9.4. Couple de Yorp (corps asymétriques) . . . . .	231
4.9.5. Frottement par des particules solaires (poussières submicrométriques) . . . . .	232
4.9.6. Frottement dans du gaz. . . . .	232
4.10. Formation des systèmes planétaires. . . . .	233
4.10.1. Un disque de planétoïdes. . . . .	234
4.10.2. Formation des planètes terrestres . . . . .	235

4.10.3. Formation de Jupiter . . . . .	237
4.10.4. Formation des planètes géantes par accrétion du noyau. . . . .	238
4.10.5. Formation par instabilité du disque. . . . .	240
4.10.6. Disparition du gaz. . . . .	242
4.10.7. Collisions catastrophiques . . . . .	244
4.10.8. Petits corps . . . . .	246
4.10.9. Migration des planètes . . . . .	247
4.10.10. Sort des petits corps . . . . .	250
4.10.11. Formation des exoplanètes . . . . .	253
4.11. Bibliographie . . . . .	256

## **Chapitre 5. Origine de la vie et vie extraterrestre . . . . . 259**

James LEQUEUX

5.1. Définition de la vie . . . . .	259
5.2. L'apparition de la vie sur la Terre. . . . .	260
5.2.1. Les conditions physico-chimiques . . . . .	260
5.2.2. Les premières formes de vie. . . . .	262
5.2.3. La formation des cellules vivantes . . . . .	267
5.3. La vie ailleurs dans le Système solaire. . . . .	270
5.3.1. Mars. . . . .	271
5.3.2. Vénus . . . . .	272
5.3.3. Satellites des planètes géantes . . . . .	273
5.4. Comment détecter la vie sur les exoplanètes ? . . . . .	276
5.5. Communiquer avec d'autres civilisations ? . . . . .	277
5.6. Bibliographie. . . . .	277

## **Chapitre 6. Méthodes d'étude du Système solaire . . . . . 279**

Thérèse ENCRENAZ, Marcello FULCHIGNONI, Laurent LAMY,

Françoise ROQUES et James LEQUEUX

6.1. Historique. . . . .	279
6.2. Techniques observationnelles . . . . .	282
6.2.1. Sondage à distance . . . . .	282
6.2.2. Méthodes de l'exploration spatiale. . . . .	293
6.2.3. Observatoire virtuel et bases de données . . . . .	305
6.2.4. Perspectives d'observations au sol et dans l'espace. . . . .	308
6.3. Simulations numériques . . . . .	315
6.3.1. Dynamique. . . . .	315
6.3.2. Les modèles climatiques globaux . . . . .	320
6.4. Bibliographie. . . . .	325

---

<b>Annexe. Liens internet</b> . . . . .	329
<b>Glossaire</b> . . . . .	331
<b>Liste des auteurs</b> . . . . .	345
<b>Index</b> . . . . .	347
<b>Sommaire de <i>Le Système solaire 1</i></b> . . . . .	353