

Table des matières

Préface	1
Philippe KECKHUT	
Introduction	3
Chapitre 1. L'ère spatiale NewSpace	9
1.1. L'ère du spatial et ses évolutions	10
1.1.1. Les premiers satellites artificiels	10
1.1.2. La planète Terre et son environnement proche ou lointain	13
1.1.3. L'exploration de l'Univers proche et lointain	13
1.1.4. Les activités du domaine du spatial	15
1.2. Le NewSpace au XXI ^e siècle	16
1.2.1. Les axes de développement de l'ère NewSpace	19
1.2.2. Les axes de développement en recherche	20
1.3. Le système spatial	22
1.3.1. La notion de système	23
1.3.2. Conception d'un système spatial	25
1.3.3. Les deux grands secteurs d'un système spatial	25
1.4. Mise en œuvre d'un projet spatial	26
1.4.1. Le projet spatial initial et les méthodes de gestion	26
1.4.2. Les questions clés depuis l'idée à la réalisation	28
1.4.3. Le milieu académique et industriel	29
1.4.3.1. L'état de l'art académique	29
1.4.3.2. L'état de l'art industriel	29
1.4.4. Les questions et étapes une fois le projet défini	29

1.5. Constitution d'un véhicule spatial	34
1.5.1. Sous-systèmes d'un véhicule spatial	34
1.5.2. Exemple de charge utile dans le domaine de l'optique	35
1.6. Le concept de jumeau numérique d'un véhicule spatial	39
1.7. Conclusion	42
1.8. Annexe	43
1.8.1. Développement des satellites dans le monde	43
1.8.2. Théorie électromagnétique	46
1.8.3. Interaction lumière-matière	53
Chapitre 2. Paramètres orbitaux d'un CubeSat	61
2.1. Les coniques pour décrire l'orbite d'un satellite	62
2.1.1. Les coniques	62
2.1.2. Observations, analyses et lois de la physique	63
2.1.3. De Goseck, de Babylone à la Grèce antique d'Aristote	64
2.1.4. L'approche héliocentrique de Copernic et les lois de Kepler	65
2.1.5. Le référentiel galiléen et le principe de relativité de Galilée	66
2.1.6. La loi d'attraction universelle de Newton	69
2.1.7. La mécanique analytique de Lagrange et de Hamilton	71
2.1.8. Les principes de relativité et d'équivalence	75
2.2. Choix des paramètres orbitaux	80
2.2.1. Paramètres képlériens de l'orbite d'un satellite autour de la Terre	80
2.2.2. Les différents types d'orbites	83
2.2.3. Paramètres de l'orbite, angle bêta et durée de l'éclipse d'une orbite	85
2.3. Conclusion	88
2.4. Annexe	89
2.4.1. Les systèmes de coordonnées et la mécanique du point	89
2.4.2. La mécanique du point	97
2.4.3. Le tenseur métrique en relativité générale	99
Chapitre 3. Lanceurs spatiaux de satellites CubeSats	105
3.1. Système de propulsion d'un lanceur et sites de lancement	105
3.2. Sélection de lanceurs et mise en orbite d'un satellite	107
3.3. Paramètres importants dans la sélection de lanceurs	114
3.4. Mise et maintien à poste d'un satellite	118
3.4.1. Trajectoire du CubeSat	126

3.5. Conclusion	128
3.6. Annexe	128
3.6.1. La mécanique d'un corps solide	128
3.6.2. Angles d'Euler et matrice de rotation	131
3.6.3. Quaternions	134
3.6.3.1. Opérations sur les quaternions	135
3.6.4. Les points de Lagrange.	137
3.6.5. Calcul des points de Lagrange L1 et L2 du système Soleil-Terre.	139
3.6.6. Centre d'inertie pour un système à deux corps.	143
3.6.7. Les groupes SU(2) et SO(3).	146
3.6.7.1. Représentations de SU(2) et de SO(3)	147
Chapitre 4. Concevoir un CubeSat	149
4.1. Système d'ingénierie des CubeSats, microsats, nanosats, picosats	149
4.1.1. Approche et ingénierie des systèmes	149
4.1.2. Paramètres clés de conception d'un satellite	151
4.1.3. Exigences et contraintes dans la conception d'un CubeSat	153
4.2. Structure d'un CubeSat	153
4.3. Mise en œuvre de la mission d'un CubeSat	161
4.4. Communications et liaisons avec le sol	161
4.5. Architecture d'un CubeSat.	167
4.5.1. Architecture mécanique d'un CubeSat	169
4.5.2. Matériaux de l'architecture mécanique	172
4.5.3. L'environnement de l'architecture mécanique	175
4.5.4. Dimensionnement de l'architecture mécanique	177
4.6. Conclusion	184
4.7. Annexe	184
4.7.1. Propriétés élastiques et thermiques d'un système physique	184
4.7.2. Méthode des éléments finis (<i>Finite Element Method</i>).	189
4.7.2.1. Résolution d'une équation différentielle dans un espace à une dimension	192
4.7.2.2. Formulation variationnelle	192
4.7.2.3. Discrétisation de la forme faible	193
4.7.2.4. Choix d'une base.	194
4.7.2.5. Forme matricielle du problème.	194
4.7.3. Analyse modale des composantes d'une structure.	197
4.7.3.1. Mise en équation du problème vibratoire.	198
4.7.3.2. Formulation variationnelle	199
4.7.3.3. Approximation par éléments finis	199
4.7.3.4. Domaine fréquentiel	201

4.7.3.5. Analyse modale (calcul des fréquences propres)	201
4.7.3.6. Calcul de la fonction de réponse en fréquence.	201
4.7.4. Phases de fabrication d'UVSQ-SAT.	201
Conclusion.	205
Bibliographie	209
Index	225