

Préface		iii
1 Mécanismes		1
1.1 Modélisation cinématique		1
1.1.1 Problématique		1
1.1.2 Modèle cinématique		1
1.2 Liaisons normalisées		2
1.2.1 Paramétrage des liaisons		2
1.2.2 Tableau des liaisons		2
1.3 Chaînes de solides		3
1.3.1 Structure des mécanismes - graphe de structure		3
1.3.2 Analyses géométrique et cinématique des mécanismes		4
1.3.3 Liaisons cinématiquement équivalentes		5
1.4 Représentation schématique des mécanismes		8
1.4.1 Schéma cinématique		8
1.4.2 Schéma cinématique minimal		9
1.4.3 Schéma technologique		9
1.5 Mobilité et hyperstatisme		9
1.5.1 Définitions		9
1.5.2 Mobilité - Hyperstaticité		10
1.5.3 Exemple guide - Vanne robinet		13
1.5.4 Relations entre mobilité et hyperstatisme		21
1.5.5 Isostaticité		22
1.6 Exercices		23
1.6.1 Corrigés		31

2 Cinétique	39
2.1 Masse et inertie	39
2.1.1 Notions d'inertie	39
2.1.2 Masse	40
2.1.3 Centre d'inertie	40
2.2 Moments d'inertie	43
2.2.1 Moment d'inertie par rapport à un point	43
2.2.2 Moment d'inertie par rapport à une droite	44
2.2.3 Rayon de giration	44
2.2.4 Moments d'inertie dans un repère cartésien	44
2.2.5 Relations entre les moments d'inertie	45
2.2.6 Théorème de Huygens	46
2.2.7 Produits d'inertie	48
2.3 Opérateur d'inertie	48
2.3.1 Opérateur d'inertie en un point	48
2.3.2 Propriétés et directions principales de la matrice d'inertie	53
2.4 Exercices	58
2.4.1 Corrigés	61
2.5 Torseur cinétique	66
2.5.1 Définition	66
2.5.2 Cas du solide indéformable	67
2.6 Torseur dynamique	68
2.6.1 Définition	68
2.6.2 Changement de point de réduction	69
2.6.3 Relation entre la résultante cinétique et la résultante dynamique	69
2.6.4 Relation entre le moment cinétique et le moment dynamique	69
2.6.5 Cas du solide indéformable	70
2.7 Énergie cinétique	71
2.7.1 Définition	71
2.7.2 Cas du solide indéformable	71
2.8 Caractéristiques cinétiques d'un ensemble de solide	73
2.8.1 Torseur cinétique d'un ensemble de solides	74
2.8.2 Torseur dynamique d'un ensemble de solides	74
2.8.3 Énergie cinétique d'un ensemble de solides	74
2.9 Exercices	75
2.9.1 Corrigés	79
3 Dynamique du solide	83
3.1 Principe Fondamental de la Dynamique	83
3.1.1 Énoncé	83
3.1.2 Caractère Galiléen des repères	84
3.2 Théorèmes généraux	85

3.2.1	Théorème de la résultante dynamique	85
3.2.2	Théorème des quantités de mouvement	85
3.2.3	Théorème du moment dynamique	85
3.2.4	Théorème du moment cinétique	85
3.3	Utilisation du P.F.D.	86
3.4	P.F.D dans un repère non galiléen	87
3.4.1	Composition des accélérations	87
3.4.2	Composition du torseur dynamique	88
3.4.3	Principe fondamental dans un repère non galiléen	89
3.5	Application – Équilibrage d'un solide	90
3.5.1	Problème général de l'équilibrage	90
3.5.2	Équilibrage	94
3.5.3	Équilibrage à 2 masses	94
3.6	Exercices	98
3.6.1	Corrigés	106
4	Puissance et énergie	117
4.1	Puissance des efforts extérieurs	117
4.2	Cas du solide indéformable	118
4.2.1	Énoncé	118
4.2.2	Démonstration	118
4.3	Puissance des efforts intérieurs	120
4.3.1	Puissance des efforts de liaison	120
4.3.2	Liaison énergétiquement parfaite	121
4.3.3	Contact ponctuel réel	121
4.3.4	Liaisons normalisées réelles	125
4.4	Travail et énergie	126
4.4.1	Travail	126
4.4.2	Énergie potentielle	126
4.5	Théorème de l'énergie cinétique	127
4.5.1	Énoncé	127
4.5.2	Démonstration dans le cas d'un seul solide	127
4.5.3	Démonstration dans le cas de deux solides	129
4.5.4	Généralisation à n solides	130
4.5.5	Utilisation	130
4.5.6	Intégrale première de l'énergie cinétique	130
4.6	Exercices	131
4.6.1	Corrigés	136

5	Analyse fréquentielle des systèmes linéaires	147
5.1	Réponse fréquentielle	147
5.1.1	Fonction de transfert complexe	149
5.1.2	Lieux de transfert	149
5.2	Étude des SLCI à partir des diagrammes de Bode	152
5.2.1	Système du premier ordre	152
5.2.2	Système du second ordre	155
5.2.3	Intégrateur	163
5.2.4	Dérivateur	164
5.2.5	Retard pur	165
5.2.6	Généralisation du tracé des diagrammes de Bode	166
5.3	Étude des SLCI à partir du diagramme de Nyquist	168
5.3.1	Système du premier ordre	168
5.3.2	Système du second ordre	169
5.3.3	Intégrateur - Dérivateur	171
5.3.4	Retard pur	172
5.3.5	Généralisation	173
5.3.6	De Bode à Nyquist	174
5.4	Étude des SLCI à partir du diagramme de Black	174
5.4.1	Système du premier ordre	174
5.4.2	Système du second ordre	175
5.4.3	Intégrateur	176
5.4.4	Retard pur	178
5.4.5	Généralisation	178
5.4.6	Abaque de Black - Nichols	178
5.5	Exercices	180
5.5.1	Corrigés	183
6	Analyse des systèmes asservis	191
6.1	Caractérisation des systèmes asservis	191
6.1.1	Structure des systèmes asservis	191
6.1.2	Caractéristiques d'un système asservi	192
6.2	Stabilité	193
6.2.1	Position du problème et définitions	193
6.2.2	Étude de la stabilité	194
6.2.3	Condition de stabilité	198
6.2.4	Position des pôles	198
6.2.5	Critères de stabilité	198
6.2.6	Marges de stabilité	208
6.3	Précision	212
6.3.1	Position du problème	212
6.3.2	Données	213

6.3.3	Erreur en régime permanent - erreur statique	215
6.3.4	Effet d'une perturbation sur la précision	219
6.4	Rapidité	222
6.4.1	Temps de réponse - temps de montée	222
6.4.2	Temps de montée et bande passante	222
6.5	Exercices	224
6.5.1	Corrigés	228
7	Correction des systèmes asservis	237
7.1	Nécessité de la correction	237
7.2	Principaux réseaux correcteurs	238
7.2.1	Correcteur Proportionnel (P)	238
7.2.2	Correcteur - Intégral (I)	239
7.2.3	Correcteur Proportionnel - Intégral (PI)	240
7.2.4	Correcteur Proportionnel Dérivateur - PD	245
7.2.5	Correcteur à avance de phase	247
7.2.6	Correcteur à retard de phase	249
7.2.7	Correcteur à retard-avance de phase	250
7.2.8	Correcteur PID	252
7.2.9	Correction en réaction	259
7.3	Détermination expérimentale des correcteurs	262
7.3.1	Méthode de Ziegler-Nichols	262
7.4	Exercices	265
7.4.1	Corrigés	276
8	Grafcet	291
8.1	Principes généraux	291
8.1.1	Structure du GRAFCET	291
8.1.2	Règles d'évolution	292
8.2	Lecture et interprétation du grafcet	293
8.2.1	Évolution du grafcet	293
8.2.2	Réceptivités associées aux transitions	293
8.2.3	Modes de sorties	294
8.2.4	Évolution fugace	296
8.2.5	Structures de base	297
8.2.6	Formes particulières	300
8.3	Structuration et hiérarchisation	301
8.3.1	Nécessité de la structuration	301
8.3.2	Structuration par synchronisation de grafkets	302
8.3.3	Structuration par macro-étapes	304
8.3.4	Structuration par forçage	305
8.3.5	Structuration par encapsulation	306

8.3.6	Exemple de synthèse	307
8.4	Étude de cas	311
8.4.1	Corrigés	317
A	Annexes	325
A.1	Mécanique	325
A.1.1	Liaisons	325
A.1.2	Matrices d'inertie de quelques solides élémentaires	329
A.2	Automatique	331
A.2.1	Transformées de Laplace	331
A.2.2	Abaque des dépassements d'un second ordre	332
A.2.3	Abaque du temps de réponse d'un second ordre	332
A.2.4	Abaque de Black	333
	Liens	335
	Liste des exercices	337