

SCIENCES SUP

*Cours et exercices corrigés*

**Master • Écoles d'ingénieurs**

# **AUTOMATIQUE**

**Du cahier des charges  
à la réalisation de systèmes**



***René Husson, Claude Iung,  
Jean-François Aubry, Jamal Daafouz  
Didier Wolf***

**DUNOD**

# Table des matières

PRÉFACE par Pierre Malléus v

## PREMIÈRE PARTIE

### LES MODÈLES (STRUCTURE ET ANALYSE)

#### CHAPITRE 1 • INTRODUCTION 3

1.1 La notion de modèle 4

1.2 Les systèmes dynamiques 6

#### CHAPITRE 2 • LES MODÈLES D'ÉTAT 12

2.1 Introduction 12

2.2 Les modèles LTI 13

Exercices 27

#### CHAPITRE 3 • LES FONCTIONS DE TRANSFERT 30

3.1 Introduction 30

3.2 Opérateur de transfert 30

3.3 Propriétés 37

3.4 Passage transfert-état 38

3.5 Associations de transferts 45

Exercices 50

#### CHAPITRE 4 • SYSTÈMES NON LINÉAIRES 53

4.1 Modèles et phénomènes non linéaires 53

4.2 Stabilité d'un état d'équilibre 60

4.3 Linéarisation 62

4.4 Méthode de Lyapunov 74

4.5 Commandabilité des systèmes non linéaires 84

4.6 Conclusion 88

Exercices 88

<b>CHAPITRE 5 • MODÈLES SIMPLIFIÉS</b>	90
5.1 Introduction	90
5.2 Réalisations équilibrées	90
5.3 Perturbations singulières : théorie générale	100
5.4 Perturbations singulières : le cas LTI	106
5.5 Conclusion	113
<b>CHAPITRE 6 • SUITES ET PROCESSUS ALÉATOIRES</b>	114
6.1 Introduction	114
6.2 Variables aléatoires	115
6.3 Suites de variables aléatoires et processus stochastiques	124
6.4 Représentation spectrale et filtrage des processus aléatoires	132
6.5 Modèles de processus aléatoires	139
Exercices	146
<b>CHAPITRE 7 • MODÈLES DES SYSTÈMES À ÉVÉNEMENTS DISCRETS</b>	149
7.1 Introduction	149
7.2 Le séquençement des événements	151
7.3 Prise en compte du temps	191
7.4 Complexité et structuration	205
<b>CHAPITRE 8 • MODÉLISATIONS À BASE DE COMPOSANTS</b>	207
8.1 Introduction	207
8.2 Introduction au paradigme objet	208
8.3 Modélisation de la structure statique d'un système avec UML	214
8.4 Théories des analogies en ingénierie des systèmes	216
8.5 Schéma-bloc	222
8.6 Graphes de liaison énergétique	225
8.7 Méta-modélisation objet des systèmes dynamiques	229
8.8 Langage Modelica	236
Exercices	241
<b>DEUXIÈME PARTIE</b>	
<b>COMMANDE DES SYSTÈMES</b>	
<b>CHAPITRE 9 • COMMANDE DES SYSTÈMES LINÉAIRES</b>	247
9.1 Introduction	247
9.2 La commande optimale des systèmes dynamiques	250
9.3 La commande prédictive	261

9.4	La commande par retour d'état	268
9.5	Les problèmes de régulation	275
9.6	Synthèse d'une régulation	297
	Exercices	306
<b>CHAPITRE 10 • COMMANDE DES SYSTÈMES NON LINÉAIRES</b>		309
10.1	Introduction	309
10.2	Quelques problèmes de commande non linéaire	309
10.3	Utilisation d'outils développés pour les systèmes linéaires	311
10.4	Quelques méthodes de commande non linéaire	318
10.5	Conclusion	329
	Exercices	329
<b>CHAPITRE 11 • MÉTHODES D'OPTIMISATION</b>		330
11.1	Introduction	330
11.2	Optimisation non contrainte	331
11.3	Optimisation contrainte	344
<b>TROISIÈME PARTIE</b>		
<b>MISE EN ŒUVRE DE L'AUTOMATISATION</b>		
<b>CHAPITRE 12 • TRAITEMENT DU SIGNAL</b>		367
12.1	Introduction et sommaire	367
12.2	Généralité sur les signaux	368
12.3	Traitements élémentaires sur les signaux	373
12.4	Transformée de Fourier	379
12.5	La Transformée en $z$	389
12.6	Transmittance en $z$ d'un traitement numérique	398
12.7	Le filtrage des signaux	403
12.8	Synthèse des filtres numériques	421
	Exercices	433
<b>CHAPITRE 13 • INSTRUMENTATION</b>		435
13.1	Introduction	435
13.2	Les capteurs	436
13.3	Caractéristiques métrologiques de la chaîne	453
13.4	Le traitement de la mesure analogique	456
13.5	L'acquisition de données	474

<b>CHAPITRE 14 • LA VISION ARTIFICIELLE</b>	486
14.1 Introduction	486
14.2 Acquisition des images	487
14.3 Traitement des images	515
14.4 Conclusion	537
<b>CHAPITRE 15 • LES ACTIONNEURS ET LES TRANSMETTEURS DE MOUVEMENT</b>	538
15.1 Introduction	538
15.2 Les actionneurs électriques	539
15.3 Les actionneurs hydrauliques	559
15.4 Les transmetteurs de mouvements sans glissement	566
<b>QUATRIÈME PARTIE</b>	
<b>SURVEILLANCE, SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT ET MAINTENANCE</b>	
<b>CHAPITRE 16 • SURVEILLANCE ET DIAGNOSTIC</b>	577
16.1 Introduction générale	577
16.2 Validation de données	579
16.3 Diagnostic à base d'observateurs	600
16.4 Analyse en composantes principales et diagnostic	617
Exercices	628
<b>CHAPITRE 17 • SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT</b>	629
17.1 Concepts et définitions	629
17.2 Composantes de la sûreté de fonctionnement d'une entité	633
17.3 Les temps caractéristiques pour la S.D.F.	636
17.4 Mesures de la fiabilité d'une entité	636
17.5 Mesures de la maintenabilité d'une entité	639
17.6 Fiabilité d'un système	641
17.7 Disponibilité des systèmes réparables représentation d'état	651
17.8 Autres modèles et outils de la SdF	670
17.9 Logiciels et ateliers logiciels dédiés aux études de SdF	672
Exercices	673
<b>CHAPITRE 18 • MAINTENANCE</b>	675
18.1 Introduction	675
18.2 Les définitions, les normes	676
18.3 Outils méthodologiques	684

<b>CHAPITRE 19 • BOÎTE À OUTILS</b>	712
19.1 Quelques rappels d'algèbre linéaire	712
19.2 Calcul opérationnel	713
19.3 Composantes principales	713
19.4 Bref rappel sur les normes et les valeurs singulières	714
19.5 Brève présentation du filtre de Kalman	716
19.6 Dérivée et Crochets de Lie	718
19.7 Matrices de passage d'un espace colorimétrique à l'autre	719
19.8 Estimateur des moindres carrés	720
19.9 Opérations de dérivation matricielle	721
19.10 Applications du chapitre « Diagnostic »	723
19.11 Rappels d'algèbre de Boole	728
19.12 Rappels sur la théorie des graphes	733
<b>SOLUTION DES EXERCICES</b>	747
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	769
<b>INDEX</b>	783