

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	11
<b>Chapitre 1. Modèles et systèmes dynamiques</b> . . . . .	13
1.1. Généralités . . . . .	13
1.2. Modélisation des processus industriels . . . . .	15
1.3. Classes de modèles . . . . .	17
1.3.1. Modèles d'état (ME) . . . . .	17
1.3.2. Modèles entrée-sortie (ME/S) . . . . .	25
1.3.2.1. Modèle de connaissance . . . . .	25
1.3.2.2. Modèle de comportement . . . . .	26
1.3.2.3. Modèle de commande . . . . .	28
1.3.2.4. Modèle de conduite . . . . .	31
<b>Chapitre 2. Identification linéaire des systèmes en boucle fermée</b> . . . . .	35
2.1. Aperçu d'ensemble sur l'identification des systèmes . . . . .	35
2.2. Contexte de travail . . . . .	36
2.3. Identification préliminaire d'un processus bouclé . . . . .	41
2.3.1. Modèles d'identification linéaires multi-variables . . . . .	42
2.3.2. Estimation des modèles linéaires de type MIMO par la MMC . . . . .	45
2.3.3. Identifier les processus bouclés à l'aide de la MMC-MV . . . . .	49
2.3.3.1. Données E/S mesurées directement sur le processus . . . . .	50
2.3.3.2. Données E/S mesurées sur le système en BF (sans accès à la commande du processus) . . . . .	52

2.4. Méthodes d'identification de la classe CLOE . . . . .	54
2.4.1. Principe des méthodes CLOE . . . . .	54
2.4.2. Méthode CLOE de base . . . . .	55
2.4.3. Méthode CLOE pondérée (W-CLOE) . . . . .	60
2.4.4. Méthodes CLOE avec filtrage (F-CLOE) ou filtrage adaptatif (AF-CLOE) . . . . .	71
2.4.5. Méthode CLOE étendue (X-CLOE) . . . . .	73
2.4.6. Méthode CLOE généralisée (G-CLOE) . . . . .	80
2.4.7. Méthode CLOE pour des systèmes avec intégrateur (I-CLOE) . . . . .	89
2.4.8. Sur la validation des modèles identifiés par les méthodes CLOE . . . . .	94
2.5. Application : identification d'une suspension active . . . . .	95

**Chapitre 3. Conception de la commande numérique par placement de pôles . . . . . 109**

3.1. Commande PID numérique . . . . .	109
3.2. Commande polynomiale RST numérique . . . . .	111
3.3. Commande RST par placement de pôles . . . . .	114
3.3.1. Calcul de la commande pour la dynamique en régulation . . . . .	114
3.3.2. Calcul de la commande pour la dynamique en poursuite . . . . .	115
3.3.3. Commande RST à objectifs en régulation et poursuite . . . . .	116
3.3.3.1. Performances en régulation . . . . .	117
3.3.3.2. Performances en poursuite . . . . .	118
3.4. Commande prédictive . . . . .	119
3.4.1. Commande prédictive à horizon fini . . . . .	120
3.4.2. Commande prédictive à horizon unitaire . . . . .	122

**Chapitre 4. Commande adaptative et commande robuste . . . . . 129**

4.1. Systèmes adaptatifs à commande polynomiale . . . . .	129
4.1.1. Estimation des paramètres pour les systèmes en boucle fermée . . . . .	130
4.1.2. Conception de la commande adaptative . . . . .	131
4.2. Systèmes robustes à commande polynomiale . . . . .	133
4.2.1. Robustesse des systèmes en boucle fermée . . . . .	133
4.2.2. Etude de la connexion stabilité-robustesse . . . . .	136
4.2.3. Etude de la connexion non-linéarité-robustesse . . . . .	138
4.2.4. Etude de la connexion performance-robustesse . . . . .	139

4.2.5. Analyse de la robustesse par l'étude sur la fonction de sensibilité . . . . .	140
4.2.6. Conception de la commande RST robuste . . . . .	143
4.2.7. Calibrage de la fonction de sensibilité . . . . .	144
<b>Chapitre 5. Commande multimodèle . . . . .</b>	<b>147</b>
5.1. Construction de multimodèles . . . . .	148
5.1.1. Logique floue, modèles de Mamdani . . . . .	148
5.1.2. Identification à partir de données entrées-sorties : méthode directe . . . . .	154
5.1.3. Identification à partir de données entrées-sorties : approche neuronale . . . . .	155
5.1.4. Linéarisation autour de divers points de fonctionnement . . . . .	157
5.1.5. Transformation polytopique convexe à partir d'un modèle analytique affine en la commande . . . . .	158
5.1.6. Calcul de la validité des modèles de base . . . . .	159
5.2. Stabilisation et commande des multimodèles . . . . .	160
5.3. Conception de la commande multimodèle : approche floue . . . . .	160
5.4. Suivi de trajectoire . . . . .	161
<b>Chapitre 6. Systèmes mal définis et/ou incertains . . . . .</b>	<b>163</b>
6.1. Etude de la stabilité des systèmes non linéaires à partir des normes vectorielles . . . . .	163
6.1.1. Normes vectorielles . . . . .	163
6.1.2. Systèmes de comparaison, systèmes majorants . . . . .	164
6.1.2.1. Cas continu . . . . .	164
6.1.2.2. Cas discret . . . . .	166
6.1.3. Détermination des attracteurs . . . . .	169
6.1.3.1. Cas continu . . . . .	169
6.1.3.2. Cas discret . . . . .	170
6.1.4. Attracteurs emboîtés . . . . .	171
6.2. Adaptation de la commande . . . . .	172
6.2.1. Minimisation de la taille des attracteurs : approche directe . . . . .	172
6.2.2. Minimisation de la taille des attracteurs par métaheuristique . . . . .	172
6.3. Majoration de l'erreur maximale pour diverses applications . . . . .	173
6.3.1. Commande des systèmes non linéaires par placement de pôles . . . . .	173
6.3.1.1. Cas continu . . . . .	173
6.3.1.2. Cas discret . . . . .	174

6.3.2. Commande par difféomorphisme des processus non linéaires . . . . .	174
6.3.3. Détermination de l'attracteur pour les processus du type Lur'e Postnikov . . . . .	177
6.3.3.1. Description des systèmes étudiés . . . . .	177
6.3.3.2. Cas du système incertain en régime non autonome (et non nul) . . . . .	178
6.3.4. Minimisation de l'attracteur par la recherche tabou . . . . .	180
6.4. Commande à boucle secondaire floue . . . . .	185

**Chapitre 7. Modélisation et contrôle d'un processus industriel  
élémentaire . . . . . 187**

7.1. Modélisation et contrôle des processus de transfert de fluide . . . . .	187
7.1.1. Modélisation des processus d'écoulement de fluide . . . . .	188
7.1.1.1. Modèle dynamique d'un tuyau court . . . . .	188
7.1.1.2. Modèle dynamique d'un tuyau long . . . . .	191
7.1.2. Conception des systèmes de contrôle du débit . . . . .	192
7.2. Modélisation et contrôle des processus d'alimentation-évacuation de liquide . . . . .	194
7.2.1. Evacuation à débit constant . . . . .	195
7.2.2. Evacuation à débit variable . . . . .	197
7.2.3. Conception des systèmes de contrôle du niveau de liquide . . . . .	199
7.3. Modélisation et contrôle des processus d'alimentation-évacuation d'une capacité pneumatique . . . . .	201
7.3.1. Modélisation d'une capacité pneumatique . . . . .	201
7.3.2. Conception des systèmes de contrôle de la capacité pneumatique . . . . .	204
7.4. Modélisation et contrôle des processus de transfert de chaleur . . . . .	205
7.4.1. Modélisation d'un processus de transfert thermique . . . . .	205
7.4.2. Conception des systèmes de contrôle pour la température . . . . .	208
7.5. Modélisation et contrôle des processus de transfert de composants . . . . .	209
7.5.1. Modélisation d'un processus de mélange sans réaction chimique . . . . .	209
7.5.2. Modélisation d'un mélange avec réaction chimique . . . . .	212
7.5.3. Conception des systèmes de contrôle de la concentration des composants chimiques . . . . .	214

---

<b>Chapitre 8. Applications industrielles – Etudes de cas</b> . . . . .	217
8.1. Contrôle numérique pour l’installation de chauffage de l’air dans une aciérie . . . . .	217
8.1.1. Solution d’automatisation et conception de la commande . . . . .	218
8.1.2. Optimisation du processus de combustion . . . . .	221
8.2. Contrôle et optimisation d’une installation d’éthylène . . . . .	224
8.2.1. Solution d’automatisation et conception de la commande . . . . .	225
8.2.1.1. Contrôle de la proportion des débits d’essence et de vapeur . . . . .	226
8.2.1.2. Contrôle des paramètres de la réaction chimique . . . . .	227
8.2.2. Optimisation du processus de pyrolyse . . . . .	232
8.3. Commande numérique d’une installation thermo-énergétique . . . . .	233
8.3.1. Solution d’automatisation d’un point de fonctionnement thermique . . . . .	234
8.3.2. Optimisation du transfert thermique agent-produit . . . . .	239
8.4. Contrôle extrémal d’une installation photovoltaïque . . . . .	240
8.4.1. Contrôle extrémal du panneau photovoltaïque . . . . .	251
<b>Annexe A</b> . . . . .	257
<b>Annexe B</b> . . . . .	261
<b>Annexe C</b> . . . . .	269
<b>Annexe D</b> . . . . .	273
<b>Liste des notations et acronymes</b> . . . . .	281
<b>Bibliographie</b> . . . . .	285
<b>Index</b> . . . . .	293