



## THESE

En vue de l'obtention du grade de  
**DOCTEUR EN SCIENCES ET TECHNIQUES**

Unité de Formation et de Recherche  
**Signaux, Systèmes et Composants**

Spécialité  
**Automatique et Informatique**

Par  
**El Houssine El Mazoudi**

# **Modélisation, Algorithmes de Commande et Capteurs Logiciels des Systèmes Dynamiques : Application en Gestion de Stock Halieutique**

soutenue publiquement le 19 Avril 2008, devant le jury d'examen composé de :

<b>Pr. M. Zouak</b>	<b>Doyen de la Faculté Des Sciences et Techniques, Fès</b>	<b>Président</b>
<b>Pr. N. Elalami</b>	<b>Professeur à L'Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, Rabat</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>Pr. M. Kabbaj</b>	<b>Professeur à La Faculté Des Sciences Dhar El Mhraz, Fès</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>Pr. D. Chenouni</b>	<b>Professeur à La Faculté Des Sciences Dhar El Mhraz, Fès</b>	<b>Examineur</b>
<b>Pr. F. Errahimi</b>	<b>Professeur à La Faculté Des Sciences et Techniques, Fès</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>Pr. A. Hmamed</b>	<b>Professeur à La Faculté Des Sciences Dhar El Mhraz, Fès</b>	<b>Examineur</b>
<b>Pr. M. Mrabti</b>	<b>Professeur à La Faculté Des Sciences Dhar El Mhraz, Fès</b>	<b>Directeur de thèse</b>

**ANNEE UNIVERSITAIRE 2007 - 2008**



# Résumé

Au cours des dernières décennies, une part importante des activités de recherche en automatique s'est focalisée sur le problème de la gestion des ressources renouvelables, notamment la gestion de la pêche. Ce domaine a été plus concerné par la théorie du contrôle, puisqu'il mettait en cause d'assurer un développement durable de la ressource.

Cette thèse est basée sur deux axes fondamentaux en théorie du contrôle proche l'un de l'autre mais traités séparément. Le premier problème abordé concerne l'étude de la stabilité et de la stabilisation d'un modèle de population de poissons. Le second traite une méthode de construction d'observateurs d'états pour ce bio système. Nous avons proposé des méthodes innovantes permettant, grâce à l'approche de Lyapunov en théorie de stabilité et celle de Gauthier Bornard en théorie des observateurs, de s'affranchir d'une bonne part des difficultés rencontrées lors de la commande des systèmes de population halieutique en vue d'une bonne gestion de la ressource. Notre méthodologie a permis de soulever quelques questions sur la gestion du stock halieutique, pour assurer un développement durable de la ressource, notamment la stabilisation de la population et l'estimation de la biomasse via la connaissance des captures et l'effort de pêche qui leur correspondent. Les résultats obtenus sont validés par des applications à différentes pêcheries. Ces méthodes permettent de généraliser les résultats existants dans la littérature. Cependant, les résultats obtenus ne sont pas directement applicables, mais constituent une plate forme pour l'élaboration d'une politique de gestion de stock.

**Mots-Clés :** Systèmes Halieutiques, Modèles Structurés, Relation Stock-Recrutement, Gestion de Stock Halieutique, Stabilité et Stabilisation, Feedback d'Etat, Feedback de Sortie, Capteurs Logiciels (Observateurs).

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté Des Sciences et Techniques, Fès  
Unité de Formation et de Recherche : Signaux, Systèmes et Composants



# Table des matières

<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>12</b>
.1 Introduction . . . . .	12
.1.1 Importance des ressources halieutiques . . . . .	12
.1.2 Problématique . . . . .	13
.1.2.1 Tendances globales de l'exploitation (pêcheries et gestions)	13
.1.2.2 La pêche au Maroc : Ordre de grandeur et problématique	13
.1.2.3 Problème de modélisation en halieutique . . . . .	16
.1.3 Place de l'automatique dans les systèmes halieutiques . . . . .	17
.1.4 Approche adoptée . . . . .	18
.1.5 Plan de la thèse . . . . .	18
<b>I OUTILS DE CONTROLE FONDAMENTAUX</b>	<b>20</b>
I.1 Introduction . . . . .	20
I.2 Notion de stabilité . . . . .	21
I.2.1 Stabilité à la Lyapunov . . . . .	24
I.2.2 Méthodes de construction des fonctions de Lyapunov . . . . .	27
I.2.2.1 L'énergie comme fonction de Lyapunov . . . . .	28
I.2.2.2 Méthode du gradient variable . . . . .	33
I.2.2.3 Méthode de Krasovski . . . . .	35
I.2.3 Stabilité asymptotique globale. . . . .	37
I.2.4 Principe d'invariance de Lasalle . . . . .	39
I.2.4.1 Ensemble invariant M . . . . .	40
I.2.5 Stabilité des systèmes linéaires . . . . .	42
I.2.6 Stabilité locale et linéarisation . . . . .	43



I.3	Commandabilité et synthèse de lois de commandes . . . . .	45
I.3.1	Notion de commande . . . . .	45
I.3.2	Commandabilité . . . . .	46
I.3.3	Critère de Kalman . . . . .	46
I.3.4	Commandabilité des systèmes non linéaires . . . . .	48
I.3.4.1	Commandabilité au premier ordre . . . . .	49
I.3.4.2	Commandabilité locale et crochets de Lie . . . . .	49
I.3.5	Synthèse de lois de commande . . . . .	52
I.3.5.1	Stabilisation des systèmes linéaires . . . . .	52
I.3.5.2	Commande Linéaire Quadratique . . . . .	53
I.3.5.3	Stabilisation par backstepping . . . . .	54
I.4	Observateurs d'état des systèmes non linéaires . . . . .	56
I.4.1	Notions d'observabilité des systèmes dynamiques . . . . .	56
I.4.1.1	Observabilité des systèmes linéaires . . . . .	56
I.4.1.2	Observabilité locale des systèmes non linéaires . . . . .	58
I.4.1.3	Observabilité des systèmes non linéaires . . . . .	59
I.4.2	Principe d'un observateur . . . . .	60
I.4.3	Les différents types d'observateurs : état de l'art . . . . .	61
I.4.4	Observateurs à grand gain . . . . .	62
I.4.4.1	Approche de Thau et ses généralisations . . . . .	62
I.4.4.2	Observateurs grand gain pour les systèmes affine en la commande . . . . .	65
I.4.4.3	Changement de variable . . . . .	66
I.4.4.4	Observateur à gain fixe . . . . .	67
I.4.4.5	Observateur à gain variable . . . . .	67
I.5	Conclusion . . . . .	70
<b>II</b>	<b>ANALYSE ET MODELISATION DES SYSTEMES HALIEUTIQUES</b>	<b>71</b>
II.1	Introduction . . . . .	71
II.2	Aspect biologique des poissons . . . . .	72
II.2.1	Juveniles et larves . . . . .	72
II.2.2	Les poissons adultes, fécondité, croissance et mortalité . . . . .	73

II.2.3	Espèces spécifiques de poissons . . . . .	75
II.2.3.1	Les sardines . . . . .	75
II.2.3.2	Les Harengs . . . . .	76
II.2.3.3	Les Morues . . . . .	76
II.3	Modèles de populations de poissons . . . . .	77
II.3.1	Modèle à structure d'âge . . . . .	81
II.3.1.1	Dynamique d'une cohorte . . . . .	81
II.3.1.2	Modèle basé sur la poursuite d'une cohorte . . . . .	84
II.3.1.3	Calculs des captures . . . . .	84
II.3.2	Modèle discret à structure de stade . . . . .	85
II.3.3	Modèle continu à structure de stade . . . . .	86
II.3.3.1	Systèmes positives . . . . .	88
II.3.3.2	Expression de la capture en modèle continu . . . . .	89
II.3.4	Relation stock recrutement . . . . .	90
II.3.4.1	Stock . . . . .	90
II.3.4.2	Recrutement . . . . .	90
II.3.4.3	Stock-recrutement . . . . .	90
II.3.5	Synthèse bibliographique en contrôle des populations halieutiques . . . . .	94
II.3.6	Vision schématique de la recherche en halieutique . . . . .	96
II.4	Conclusion . . . . .	98
<b>III</b>	<b>STABILITE ET STABILISATION DU MODELE CONTINU</b>	<b>99</b>
III.1	Introduction . . . . .	99
III.2	Présentation du modèle et hypothèses . . . . .	100
III.3	Stabilité . . . . .	101
III.3.1	Points d'équilibres . . . . .	102
III.3.2	Stabilité locale de $X^*$ . . . . .	103
III.3.3	Stabilité locale de 0 . . . . .	107
III.3.4	Stabilité globale de $X^*$ . . . . .	107
III.3.5	Résultats Numériques . . . . .	111
III.4	Stabilisation par retour d'état linéaire . . . . .	112
III.4.1	Changement de variable . . . . .	113

III.4.2	Stabilisation via la fonction de Lyapunov . . . . .	113
III.4.3	Stabilisation via l'équation de Riccati . . . . .	115
III.4.4	Résultats de simulation . . . . .	116
III.4.4.1	Stabilisation via l'approche de Lyapunov . . . . .	116
III.4.4.2	Stabilisation via l'équation de Riccati . . . . .	118
III.5	Condition suffisante pour la stabilisation . . . . .	119
III.5.1	Résultats de simulation pour la condition nécessaire de stabilisation	122
III.5.2	Extension en retour de sortie . . . . .	126
III.6	Commande par intégrateur backstepping . . . . .	127
III.6.1	Résultats de la simulation . . . . .	131
III.7	Conclusion . . . . .	134
 <b>IV COMMANDE PAR RETOUR DE SORTIE DU MODELE CONTINU</b>		<b>136</b>
IV.1	Introduction . . . . .	136
IV.2	Hypothèses et formulation du problème . . . . .	136
IV.3	Stabilisation par retour de sortie . . . . .	138
IV.3.1	Stabilisation par un effort de pêche constant . . . . .	138
IV.3.2	Prolongement en retour de sortie . . . . .	142
IV.4	Résultats de la simulation . . . . .	143
IV.5	conclusion . . . . .	144
 <b>V CAPTEUR LOGICIEL POUR LE SYSTEME HALIEUTIQUE</b>		<b>145</b>
V.1	Introduction . . . . .	145
V.2	Hypothèse et formulation du problème. . . . .	147
V.3	Synthèse d'observateur non linéaire . . . . .	149
V.3.1	Changement de variable . . . . .	151
V.3.2	Observateur pour $n=6$ . . . . .	155
V.4	Résultats et discussions . . . . .	158
V.5	Synthèse d'observateur non linéaire pour un système halieutique incertain	166
V.5.1	Changement de variable . . . . .	168
V.6	Application (Modèle incertain de la sardine) . . . . .	172
V.7	Résultats de la simulation . . . . .	174

V.8 Conclusion . . . . . 184

**CONCLUSION GENERALE** . . . . . **185**

**REFERENCES PERSONNELLES** . . . . . **189**

Liste des tableaux

1.1.1. Evolution de la consommation mondiale de papier . . . . .

1.1.2. Evolution de la consommation mondiale de carton . . . . .

1.1.3. Evolution de la consommation mondiale de produits dérivés du bois . . . . .

1.1.4. Evolution de la consommation mondiale de produits dérivés du bois . . . . .

1.1.5. Evolution de la consommation mondiale de produits dérivés du bois . . . . .

1.1.6. Evolution de la consommation mondiale de produits dérivés du bois . . . . .

1.1.7. Evolution de la consommation mondiale de produits dérivés du bois . . . . .

1.1.8. Evolution de la consommation mondiale de produits dérivés du bois . . . . .