

# THESE

présentée par

**Mohamed TADJINE**

Ingénieur de l'Ecole Polytechnique d'Alger (Algérie)

pour obtenir le titre de **DOCTEUR**

de l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

*(arrêté ministériel du 30 Mars 1992)*

Spécialité : Automatique et Productique.

---

---

## Commande LQG/LTR et Identification Robuste : Formulation avec l'Opérateur Delta

---

---

Date de soutenance : 22 septembre 1994

Composition du Jury :

Prof. Claude FOULARD	Président
Prof. José RAGOT	Rapporteurs
Prof. Mohamed DAROUACH	
Prof. Patrick BOUCHER	Examineurs
Cr. Mohammed M'SAAD	
Dr. Luc DUGARD	

Thèse préparée au sein du Laboratoire d'Automatique  
de Grenoble

## Résumé

Le travail présenté dans cette thèse est principalement consacré à la reformulation de la commande LQG/LTR et de l'identification robuste avec l'opérateur delta. Ce dernier est particulièrement motivé par l'unification de la théorie de la commande et par des considérations de robustesse numérique lorsque la période d'échantillonnage est suffisamment petite. On distingue trois parties : Dans la première partie, une synthèse sur le développement du concept LTR est présentée à partir d'une lecture critique de la littérature disponible. Une classe de compensateurs LTR est alors proposée ; elle est motivée par des considérations de réduction de l'erreur de recouvrement. La deuxième partie est dédiée à la quantification des erreurs de modélisation en utilisant la transformée de Fourier discrète. On détermine d'abord une borne du type circulaire sur l'erreur de modélisation, puis on montre comment transformer cette borne circulaire en une borne ellipsoïdale. Enfin, on caractérise l'ensemble des modèles paramétriques qui représentent le comportement d'entrée-sortie du procédé. La troisième partie concerne l'interaction entre l'identification et la commande en vue d'améliorer les performances du système de commande. Plus précisément, on propose un filtre d'entrée-sortie qui permet d'orienter l'identification en boucle fermée vers l'objectif de performance désiré. Ce filtre est implanté en utilisant une procédure d'affinement itératif. Une validation expérimentale du système de commande résultant a été faite sur un système de transmission élastique. Les avantages ainsi que les limitations des schémas d'affinement itératif sont soulignés.

**Mots-Clefs :** Opérateur delta, Commande LQG avec recouvrement du transfert de boucle, Identification Robuste, Identification de modèles de commande, Interaction entre l'identification et la commande.

# Table des Matières

<b>INTRODUCTION</b>	<b>12</b>
<b>1 NOTIONS PRELIMINAIRES</b>	<b>16</b>
1.1 Représentation unifiée des systèmes . . . . .	16
1.1.1 Définition de l'opérateur delta . . . . .	16
1.1.2 Relations entre les modèles d'état . . . . .	17
1.1.3 Formulation unifiée . . . . .	18
1.2 Rappels sur l'identification . . . . .	19
1.3 Analyse des performances et robustesse des systèmes de commande	22
1.3.1 Stabilité et performances nominales . . . . .	23
1.3.2 Stabilité robuste . . . . .	26
1.3.3 Le compromis performances nominales / stabilité robuste .	32
1.3.4 Le problème de performance robuste . . . . .	37
1.4 Conclusion . . . . .	39
<b>2 COMMANDE LQG/LTR</b>	<b>40</b>
2.1 Introduction . . . . .	40
2.2 Position du problème . . . . .	42
2.2.1 Commande LQG . . . . .	43
2.2.2 Robustesse de la commande LQ et du FK . . . . .	45
2.2.3 Le problème LTR . . . . .	48
2.3 Commande LQG/LTR . . . . .	49
2.3.1 LTR exacte . . . . .	49
2.3.2 LTR asymptotique . . . . .	51
2.3.3 Interprétation géométrique de la LTR . . . . .	56
2.3.4 Interprétation $H_2$ de la commande LQG/LTR . . . . .	58
2.4 Une nouvelle classe de compensateurs LTR . . . . .	61

2.5	Influence des zéros instables et/ou du retard uniforme . . . . .	66
2.6	Conclusion . . . . .	72
<b>3</b>	<b>IDENTIFICATION POUR LA COMMANDE ROBUSTE</b>	<b>73</b>
3.1	Introduction . . . . .	73
3.2	Quantification des erreurs de modélisation . . . . .	74
3.2.1	Formulation du problème . . . . .	75
3.2.2	Borne discrète d'incertitude . . . . .	76
3.2.3	Borne continue d'incertitude . . . . .	80
3.2.4	Autres formes de la borne d'erreur . . . . .	81
3.3	Identification de modèles de commande . . . . .	83
3.3.1	Interaction entre l'identification et la commande . . . . .	84
3.3.2	Minimisation du critère de robustesse en performance . . .	87
3.4	Algorithmes d'affinement itératif . . . . .	89
3.4.1	Algorithme de Schrama . . . . .	89
3.4.2	Algorithme de Zang . . . . .	90
3.4.3	Limitations des algorithmes d'affinement itératif . . . . .	92
3.5	Conclusion . . . . .	93
<b>4</b>	<b>APPLICATIONS</b>	<b>94</b>
4.1	Dispositif expérimental . . . . .	94
4.2	Application de la méthode LQG/LTR . . . . .	96
4.2.1	Résultats et commentaires . . . . .	97
4.3	Application des algorithmes d'affinement itératif . . . . .	101
4.3.1	Résultats . . . . .	101
4.3.2	Affinement itératif des pondérations fréquentielles . . . . .	112
4.4	Conclusion . . . . .	119
	<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>120</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>122</b>
<b>5</b>	<b>Annexe A</b>	<b>131</b>
<b>6</b>	<b>Annexe B</b>	<b>174</b>
<b>7</b>	<b>Annexe C</b>	<b>189</b>