

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**  
DER de Génie Electrique & Informatique

**Thèse**

**Présentée par:**

**Salim LABIOD**

**Ingénieur d'Etat en Automatique de l'ENP**

**Pour obtenir le titre de**

**MAGISTER EN AUTOMATIQUE**

**Sujet**

**Commande Adaptative par les Systèmes Flous;  
application aux robots manipulateurs**

Soutenue publiquement le *17/05/98* devant le jury composé de:

F. Boudjema	Maître de Conférences, ENP	Président
M. S. Boucherit	Maître de Conférences, ENP	Rapporteur
H. Chekireb	Chargé de Cours, ENP	Rapporteur
D. Boukhetala	Chargé de Cours, ENP	Examineur
R. Iloul	Chargé de Cours, ENP	Examineur
M. Tadjine	Docteur, ENP	Examineur

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**  
DER de Génie Electrique & Informatique

Thèse

Présentée par:

**Salim LABIOD**

Ingénieur d'Etat en Automatique de l'ENP

Pour obtenir le titre de

**MAGISTER EN AUTOMATIQUE**

Sujet

**Commande Adaptative par les Systèmes Flous;  
application aux robots manipulateurs**

Soutenue publiquement le *17/05/98* devant le jury composé de:

F. Boudjema	Maitre de Conférences, ENP	Président
M. S. Boucherit	Maitre de Conférences, ENP	Rapporteur
H. Chekireb	Chargé de Cours, ENP	Rapporteur
D. Boukhetala	Chargé de Cours, ENP	Examineur
R. Houi	Chargé de Cours, ENP	Examineur
M. Tadjine	Docteur, ENP	Examineur

# AVANT PROPOS

*Les travaux présentés dans cette thèse ont été effectués au sein du Laboratoire de Commande des Processus (LCP) de la Direction d'Enseignement et de la Recherche en Génie Electrique & Informatique de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (ENP) sous la direction conjointe de Monsieur **M. S. BOUCHERIT**, Maître de Conférences à l'ENP, et Monsieur **H. CHEKIREB**, Chargé de Cours à l'ENP, qu'ils trouvent ici l'expression de toute ma gratitude pour les conseils avisés et l'encouragement constant qu'ils n'ont cessé de me prodiguer tout au long de cette étude.*

*Mes remerciements les plus sincères sont adressés à Monsieur **F. BOUDJEMA**, Maître de Conférences à l'ENP, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant la présidence du jury de cette thèse.*

*J'exprime mes vifs remerciements à Monsieur **D. BOUKHETALA**, Chargé de Cours à l'ENP, d'avoir accepté de faire partie de ce jury. Qu'il trouve ici ma respectueuse gratitude.*

*Que Monsieur **R. ILOUL**, Chargé de Cours à l'ENP, trouve ici ma respectueuse gratitude pour avoir bien voulu examiner ce travail en acceptant de siéger dans ce jury.*

*Je remercie également Monsieur **M. TADJINE**, Docteur à l'ENP, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail en me faisant l'honneur de participer à ce jury. Qu'il trouve ici ma profonde gratitude.*

*Que mes amis **O. BOUHALLI**, **S. BOUMAZA**, **A. DJAHBAR**, **Z. TIDJANI**, **C. BOUBAKIR**, **E. BOUHASSOUN**, **K LAIDI**, **M. YEDDOU** trouvent ici toute m'a gratitude pour leur compréhension, leur aide, leur ambiance bien sympathique et leur soutien moral et matériel qui n'ont cessé de m'apporter tout au long de l'élaboration de ce travail.*

*Je ne peut citer tout le monde, mais tous ceux qui m'ont aidé d'une façon ou d'une autre soient assurés de ma reconnaissance. Je les remercie tous, particulièrement ma famille, mes amis et le personnel de la Bibliothèque de l'ENP.*

*Enfin, je ne pourrais terminer ces remerciements sans une pensée à l'ensemble de mes enseignants, qui sont à l'origine de tout mon savoir.*

*S. Labiod*

# TABLE DES MATIERES

	<i>Page</i>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	1
<b>CHAPITRE I</b>	
<b><u>SYSTEMES FLOUS</u></b>	
1.1 INTRODUCTION .....	4
1.2 ENSEMBLES FLOUS ET LOGIQUE FLOUE.....	5
1.2.1 Ensemble net.....	5
1.2.2 Ensemble flou .....	5
1.3 LES OPERATEURS EN LOGIQUE FLOUE .....	6
1.4 VARIABLES LINGUISTIQUES .....	7
1.5 FONCTION D'APPARTENANCE.....	8
1.6 IMPLICATION FLOUE.....	9
1.7 RAISONNEMENT FLOU .....	9
1.8 STRUCTURE D'UN SYSTEME FLOU.....	10
1.8.1 Base des règles floues .....	11
1.8.2 Moteur d'inférence floue.....	11
1.8.3 Fuzzification .....	12
1.8.4 Défuzzification.....	13
1.9 ANALYSE ET DESCRIPTION DU SYSTEME FLOU DE SUGENO.....	15
1.9.1 Architecture du système flou de Sugeno.....	16
1.10 ADAPTATION DES SYSTEMES FLOUS.....	17
1.11 INITIALISATION DES PARAMETRES DES SYSTEMES FLOUS .....	20
1.12 LA LOGIQUE FLOUE POUR LA COMMANDE DES SYSTEMES.....	21
1.13 CONCLUSION.....	22

---

CHAPITRE 2

**COMMANDE FLOUE ADAPTATIVE PAR INVERSION ITERATIVE**

2.1 INTRODUCTION .....	23
2.2 APPRENTISSAGE ET INVERSION DES SYSTEMES FLOUS .....	24
2.3 COMMANDE PAR INVERSION ITERATIVE .....	24
2.4 COMMANDE PAR INVERSION ITERATIVE DES ROBOTS MANIPULATEURS .....	26
2.4.1 Modélisation du robot .....	26
2.4.2 Calcul de la commande .....	27
2.4.3 Résultats de simulation .....	29
2.5 CONCLUSION .....	35

CHAPITRE 3

**COMMANDE FLOUE ADAPTATIVE INDIRECTE**

3.1 INTRODUCTION .....	36
3.2 COMMANDE FLOUE ADAPTATIVE BASEE SUR L'IDENTIFICATION INVERSE .....	37
3.2.1 Modélisation du robot .....	37
3.2.2 Calcul de la commande .....	38
3.2.3 Résultats de simulation .....	39
3.3 COMMANDE FLOUE ADAPTATIVE BASEE SUR L'IDENTIFICATION DIRECTE .....	42
3.3.1 Modélisation du robot .....	42
3.3.2 Calcul de la commande .....	43
3.3.3 Résultats de simulation .....	44
3.4 COMMANDE FLOUE ADAPTATIVE INDIRECTE BASEE SUR LA MINIMISATION DE L'ERREUR EN VITESSE .....	47
3.4.1 Modélisation du robot .....	47
3.4.2 Calcul de la commande .....	50
3.4.3 Résultats de simulation .....	50
3.5 COMMANDE FLOUE ADAPTATIVE INDIRECTE BASEE SUR LA MINIMISATION DE L'ERREUR FILTEREE .....	53
3.5.1 Modélisation du robot .....	53
3.5.2 Calcul de la commande .....	56
3.5.3 Résultats de simulation .....	56

3.6 CONCLUSION ..... 59

CHAPITRE 4

**COMMANDE FLOUE ADAPTATIVE DIRECTE**

4.1 INTRODUCTION ..... 60

4.2 COMMANDE FLOUE ADAPTATIVE LINEARISANTE ..... 61

    4.2.1 Formulation du problème ..... 61

    4.2.2 Approximation par les systèmes flous ..... 62

    4.2.3 Synthèse de la commande ..... 63

    4.2.4 Analyse de la stabilité ..... 64

    4.2.5 Résultats de simulation ..... 66

4.3 COMMANDE FLOUE ADAPTATIVE DIRECTE STABLE ..... 69

    4.3.1 Formulation du problème ..... 69

    4.3.2 Approximation par les systèmes flous ..... 70

    4.3.3 Synthèse de la commande ..... 70

    4.3.4 Analyse de la stabilité ..... 71

    4.3.5 Résultats de simulation ..... 73

4.4 COMMANDE FLOUE ADAPTATIVE DIRECTE STABLE ETENDUE ..... 76

    4.4.1 Formulation du problème ..... 76

    4.4.2 Approximation par les systèmes flous ..... 77

    4.4.3 Synthèse de la commande ..... 77

    4.4.4 Analyse de la stabilité ..... 79

    4.4.5 Résultats de simulation ..... 80

4.5 COMMANDE FLOUE ADAPTATIVE DIRECTE STABLE GENERALISEE ..... 83

    4.5.1 Structure de la commande ..... 83

    4.5.2 Analyse de la stabilité ..... 84

    4.5.3 Résultats de simulation ..... 86

4.6 CONCLUSION ..... 89

**CONCLUSION GENERALE** ..... 90

**ANNEXE** ..... 93

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES** ..... 94