

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**UNIVERSITE DE BATNA**

Faculté des Sciences de l'Ingénieur  
**Département d'Electrotechnique**

**THESE DE**  
**DOCTORAT D'ETAT ES SCIENCES**  
**EN GENIE ELECTRIQUE**

Option : Automatique

**Par M<sup>me</sup> Fatiha ZIDANI**

(Ingénieur et Magister en Electrotechnique, Ch. de Cours à l'Univ. Batna)

Thème :

**CONTRIBUTION AU CONTROLE ET AU DIAGNOSTIC DE LA  
MACHINE ASYNCHRONE PAR LA LOGIQUE FLOUE**

Jury de Soutenance :

<b>K. BENMAHAMED,</b>	Professeur à l'Univ. de Sétif,	<b>Président</b>
<b>R. ABDESSAMED,</b>	Maître de Conf. à l'Univ. de Batna,	<b>Rapporteur</b>
<b>M.-S. NAIT-SAID,</b>	Maître de Conf. à l'Univ. de Batna,	<b>Rapporteur</b>
<b>M.-S. BOUCHERIT,</b>	Maître de Conf. à l'ENP d'Alger,	<b>Examineur</b>
<b>F. BOUDJEMAA,</b>	Professeur à l'ENP d'Alger,	<b>Examineur</b>
<b>M.-L. BENDAAS,</b>	Maître de Conf. à l'Univ. de Batna,	<b>Examineur</b>

---

# RESUME ET MOTS CLE

**Résumé :** En général la synthèse d'une loi de commande d'une machine électrique est correctement réalisée à partir de son modèle de connaissance. Cependant, son comportement dynamique est plus au moins dégradé par les incertitudes de modélisation et par les perturbations paramétriques et non paramétriques. La robustesse d'une commande d'un système peut être définie comme sa propriété à conserver son comportement dynamique et statique en présence des erreurs de modélisation et de perturbations internes et/ou externes. De nos jours, la commande vectorielle est un algorithme de commande très utilisé pour le contrôle de la machine asynchrone, mais elle demeure très sensible aux variations paramétriques. De ce fait le recours à des techniques avancées basées sur des algorithmes d'adaptation ou de réajustement en temps réel des paramètres de la machine, dépendant fortement de la température, de la saturation etc., devient une nécessité. Cela étant dans l'œuvre de préserver à cette commande son caractère linéaire avec ses hautes performances. La première partie de ce travail est réservée à l'apport de la logique floue pour l'amélioration des performances de la commande vectorielle d'une machine asynchrone. Le recours à la logique floue, nous a permis d'apporter notamment une solution intéressante au problème de sensibilité du flux dans la commande vectorielle qui se trouve très affectée par les variations paramétriques, et particulièrement la constante de temps rotorique. Pour le modèle saturé de la machine une approche est proposée pour l'évaluation de l'inductance de magnétisation. Une solution basée sur la logique floue pour le réajustement paramétrique dans le contrôle vectoriel de la machine saturée a donné des résultats intéressants dans la mesure où l'on obtient un rejet total des perturbations. Dans un souci de minimisation des pertes lors du fonctionnement de la machine asynchrone à fortes charges ou en fonctionnement à fréquences faibles, une autre contribution a été apportée dans ce travail par la proposition de deux types de régulateurs flous optimaux permettant l'amélioration des performances énergétiques et par conséquent l'amélioration du rendement de la machine. Dans le volet diagnostic, nous avons abordé le problème de la machine asynchrone présentant des défauts, une approche floue basée sur des mesures expérimentales est présentée pour détecter les anomalies qui peuvent affecter le fonctionnement de la machine. La dernière partie du travail est dédiée à la commande sans capteur mécanique de la machine asynchrone. Utilisant la théorie des modes de glissements pour la commande de la machine asynchrone, un estimateur flou est conçu pour l'estimation de la vitesse réelle. Dans ce cas, la logique floue a permis d'avoir un autre moyen de conception simple d'une commande sans capteur mécanique, ce qui pourrait être une alternative intéressante et prometteuse pour le problème de détection des défauts dans la machine asynchrone.

**Mots clé :** Machine asynchrone, commande vectorielle, logique floue, robustesse, performances énergétiques, détection de défauts, commande sans capteur mécanique (*sensorless*).

# TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS.....	I
RESUME ET MOTS CLE (EN LANGUE ARABE).....	III
RESUME ET MOTS CLE.....	V
.....	VII
NOTATION ET SYMBOLES.....	IX
SOMMAIRE.....	XV
FIGURES ET TABLEAUX.....	
INTRODUCTION GENERALE.....	1

<b>Chapitre I :</b> .....	<b>11</b>
---------------------------	-----------

## COMMANDE VECTORIELLE DE LA MACHINE ASYNCHRONE : ETUDE ET SIMULATION

<b>I.1. Introduction</b> .....	<b>12</b>
<b>I.2. Modèle électrique de la machine asynchrone</b> .....	<b>13</b>
I.2.1. Hypothèses Simplificatrices.....	13
I.2.2 Transformation de Park.....	13
I.2.3. Représentation d'état.....	17
I.2.4. Commande <i>MLI (PWM)</i> .....	19
<b>I.3. Commande de la machine asynchrone par orientation du flux rotorique</b> .....	<b>19</b>
I.3.1. Détermination des paramètres du régulateur <i>PI</i> .....	22
I.3.2. Effet des incertitudes paramétriques sur la <i>CV-OFR</i> .....	24
I.3.3. Effet d'introduction du convertisseur dans la <i>CV-OFR</i> .....	28
A. <i>Compensation avec les courants mesurées</i> .....	28
B. <i>Compensation avec les courants de consigne</i> .....	29
C. <i>Compensation avec les courants estimés à partir de la sortie des correcteurs</i> .....	30
D. <i>simulation numérique des trois méthodes</i> .....	30
<b>I.4. Conclusion</b> .....	<b>32</b>
<b>I.5. Références bibliographiques</b> .....	<b>32</b>

<b>Chapitre II :</b> .....	<b>36</b>
----------------------------	-----------

## LOGIQUE FLOUE : APPLICATION D'UN CONTROLEUR FLOU DANS UNE *CV-OFR* POUR MACHINE ASYNCHRONE

<b>II.1. Introduction</b> .....	<b>37</b>
<b>II. 2. Ensembles flous et fonctions d'appartenance</b> .....	<b>38</b>
II.2.1. Ensembles flous.....	38
A. <i>Définition</i> .....	38
B. <i>Caractéristiques d'un ensemble flou</i> .....	39
II.2.2. Variable linguistique et fonction d'appartenance.....	39
II.2.3. Opérations sur les ensembles flous.....	40
A. <i>Egalité</i> .....	40
B. <i>Inclusion</i> .....	41
C. <i>Intersection, Réunion et Complément</i> .....	41
II.2.4. Relations flous.....	41
II.2.5. Implications flous.....	43
A. <i>Modus ponens généralisé</i> .....	44

B. Contexte numérique.....	45
C. Agrégation des résultats des règles.....	45
<b>II. 3. Caractéristiques de la commande par logique floue.....</b>	<b>46</b>
II.3.1. Configuration générale d'un contrôleur flou.....	46
A. Module de Fuzzification.....	46
B. Base de connaissance.....	47
C. Moteur d'inférence.....	48
D. Module de défuzzification.....	49
II.3.2. Régulateur par logique floue dans la <i>CV-OFR</i> .....	50
A. Régulateur de vitesse à logique floue.....	50
B. Résultats de simulation.....	53
<b>II. 4. Conclusion.....</b>	<b>57</b>
<b>II. 5. Références bibliographiques.....</b>	<b>57</b>

**Chapitre III : ..... 60**

**CONTROLE FLOU-ROBUSTE DE LA MACHINE  
ASYNCHRONE SATUREE**

<b>III.1. Introduction.....</b>	<b>61</b>
<b>III.2. Estimation du courant magnétisation dans la <i>CV-OFR</i>.....</b>	<b>62</b>
<b>III.3. Influence de la variation de la constante du temps rotorique sur les.....</b>	<b>64</b>
III.3.1. Algorithme d'adaptation de la constante de temps rotorique dans la <i>CV-OFR</i> ...	68
A. Conception du bloc <i>ELF</i> .....	69
B. Extraction de la table de règles.....	69
III.3.2. Performances de la <i>CV-OFR</i> .....	71
A. Performances de la <i>CV-OFR</i> sans <i>ELF-T<sub>r</sub></i> .....	71
B. Performances de la <i>CV-OFR</i> avec <i>ELF- T<sub>r</sub></i> .....	73
<b>III.4. Algorithme d'adaptation de la résistance rotorique dans la <i>CV-OFR</i>.....</b>	<b>73</b>
III.4.1. Conception de l'estimateur à base de la logique floue.....	75
III.4.2. Résultats de simulation.....	77
<b>III.5. Stratégie de contrôle pour la machine asynchrone saturée.....</b>	<b>79</b>
III.5.1. Conception du bloc à logique floue ( <i>BLF</i> ).....	80
III.5.1. Résultats et discussion.....	82
III.5.2. Prise en Compte de la Saturation dans la <i>CV-OFR</i> .....	87
A. Influence de la saturation sur la stratégie de contrôle.....	87
B. Evaluation off-line de l'inductance de magnétisation.....	89
C. Evaluation on-line de l'inductance de magnétisation.....	91
D. Résultats et discussion.....	93
<b>III.6. Conclusion.....</b>	<b>93</b>
<b>III.7. Références bibliographiques.....</b>	<b>96</b>

**Chapitre IV : ..... 101**

**CONTROLEURS FLOUS OPTIMAUX DESTINES A  
L'OPTIMISATION DU RENDEMENT DE LA MAS**

<b>IV.1. Introduction.....</b>	<b>102</b>
<b>IV.2. Contrôleur flou optimal dans la commande scalaire de la <i>MAS</i>.....</b>	<b>103</b>
IV.2.1. Contrôle scalaire du moteur asynchrone.....	103
IV.2.2. Caractéristique $V/f$ .....	104
IV.2.3. Eléments du contrôleur flou <i>FVB</i> .....	106

IV.2.4. Résultats de simulation.....	109
<b>IV.3. Contrôleur flou optimal dans la CV-OFR.....</b>	<b>110</b>
IV.3.1. Stratégie de contrôle.....	110
IV.3.2. Principe d'optimisation.....	112
IV.3.3. Eléments du contrôleur flou optimal (FEOC).....	113
IV.3.4. résultats et discussion.....	115
<b>IV.4. Conclusion.....</b>	<b>117</b>
<b>IV.5. Références bibliographiques.....</b>	<b>118</b>
<b>Chapitre V : .....</b>	<b>121</b>

**APPROCHE FLOUE POUR LE DIAGNOSTIC DE DEFAUTS  
DANS LA MAS**

<b>V.1. Introduction.....</b>	<b>122</b>
<b>V.2. Description et problématique des défauts dans la MAS.....</b>	<b>123</b>
V.2.1. Données disponibles.....	123
V.2.2. analyse des données expérimentales.....	124
<b>V.3. Structure du détecteur de défaut à logique floue.....</b>	<b>127</b>
V.3.1. Analyse des données expérimentales.....	127
V.3.2. Conception du détecteur de défaut à logique floue – <i>DDL</i> F.....	128
<i>A. Variables entrées/sortie</i> .....	128
<i>B. Inférences</i> .....	130
<b>V.4. Analyse des résultats.....</b>	<b>131</b>
V.4.1. Analyse des données.....	131
V.4.2. Performances de l'approche floue proposée.....	131
<b>V.5. Conclusion.....</b>	<b>136</b>
<b>V. 6. Références bibliographiques.....</b>	<b>137</b>
<b>Chapitre VI : .....</b>	<b>140</b>

**COMMANDE SANS CAPTEUR MECANIQUE**

<b>VI.1. Introduction.....</b>	<b>141</b>
<b>VI.2. Commande à structure variables par mode glissant sans capteur mécanique</b>	<b>142</b>
VI.2.1. Théorie du mode de glissement.....	142
VI.2.2. Commande à structure variable par mode glissant d'une MAS.....	144
<i>A. Choix des surfaces de glissement</i> .....	145
<i>B. Calcul des lois de commande</i> .....	146
<b>VI.3. Estimation de la vitesse par la logique floue.....</b>	<b>148</b>
VI.3.1. Estimateur flou de la pulsation de glissement ( <i>EF-<math>\omega_r</math></i> ).....	148
VI.3.2. Estimateur flou de la vitesse rotorique ( <i>EF-<math>\omega</math></i> ).....	151
<b>VI. 4. Résultats de simulation.....</b>	<b>152</b>
VI.4.1. Résultats de simulation –sans estimateur de la vitesse rotorique.....	152
VI.4.2. Résultats de simulation – avec estimateur de la vitesse rotorique.....	156
<b>VI. 5. Conclusion.....</b>	<b>157</b>
<b>VI. 6. Références bibliographiques.....</b>	<b>157</b>
<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>160</b>
<b>ANNEXE.....</b>	<b>164</b>