



UNIVERSITÉ M'HAMED BOUGARA - BOUMERDÈS

Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Département : Automatisation et Electrification des Procédés Industriels

Laboratoire d'Automatique Appliquée

## THESE DE DOCTORAT

Présentée par

**HAFIFA AHMED**

En vue de l'obtention du diplôme de Docteur en Génie électrique

**Option** : Automatique Appliquée et Traitement du Signal

THEME

**Diagnostic et Surveillance des Processus Industriels Complexes par FDI Floue**

**(Fuzzy Fault Detection and Isolation)**

**- Application à un Système de Compression -**

### Composition du Jury

Mimoun ZELMAT	Professeur	Université de Boumerdès.	Président
Ferhat LAAOUAD	Professeur	Université de Boumerdès.	Rapporteur
Belkacem OULD-BOUMMAMA	Professeur	Université des Sciences et Technologies de Lille, France.	Examineur
Djamel BOUKHETALA	Professeur	Ecole Nationale Polytechnique, Alger.	Examineur
Azzedine CHIHEB	M.C (A)	Université Badji Mokhtar de Annaba.	Examineur

## ملخص

إن استعمال التقنيات الآلية في الأنظمة الصناعية خلال السنوات الأخيرة زاد من تعقيد هذه الأنظمة ، لأن هذه الأخيرة تعتمد في مبدأ عملها على تقنيات تحكم جد معقدة ، وعلى وسائل قياس وإنتاج جد حساسة ، مما يجعلها عرضة للأخطاء الإستعمالية.

لهذه الأسباب يجب تزويد هذه الأنظمة الصناعية بأجهزة مراقبة، ووسائل تشخيص قادرة على توفير المعلومات عن الحالة التشغيلية لهذه الأنظمة ، وذلك بتوفير مؤشرات الإنذار المبكرة عن أي خلل في الاستعمال .

في هذا المجال يسجل عملنا العلمي الذي نعرضه خلال رسالة الدكتوراه هذه استعمال المنطق الغامض ، الذي يمكننا توظيفه في إيجاد تمثيل لفظي لتصميم نظام مراقبة ، وتشخيص خاص بنظام صناعي محل الدراسة ، والذي يتمثل في نظام ضغط الغازات المستعملة في ميدان نقل المحروقات، لإبراز جدوى هذا الطرح نستعرض تطبيقا قمنا بإنجازه والمتعلق بتصميم نظام مراقبة وتشخيص خاص بنظام ضغط الغازات ، مما يؤدي إلى رفع الإنتاج في هذا الميدان واستدراك نقائص المراقبة التقليدية للأنظمة الصناعية .

## Abstract

During the last decade, significant change of direction in the development of automation theory and its application has attracted great attention from the academic and industrial communities. The concept of "Intelligent systems" has been suggested as an alternative approach to conventional. The objective is to introduce new mechanisms permitting a more flexible automation system, but especially more robust one, able to deal with model uncertainties and parameter variations. In this work, we examine and illustrate the use of fuzzy logic in diagnosis for fault detection and isolation in compression system.

Model-based fault detection and isolation (FDI) is an approach with increasing attention in the academic and industrial fields. In FDI, the discrepancies between system outputs and model outputs are called residuals, and are used to detect and isolate faults. This thesis proposes a model-based architecture for fault detection and isolation based on fuzzy methods. Fuzzy methods are used to derive residuals models for the process running in normal operation and for each fault. When a fault occurs, fault detection is performed using the residuals. Then, the faulty fuzzy models are used to isolate a fault. The FDI architecture proposed in this work uses a fuzzy decision making approach to isolate faults, which is based on the analysis of the residuals. Fuzzy decision factors are derived to isolate faults.

This thesis describes a general architecture for diagnosis, fault detection and isolation of a compression system. The compressions systems are crucial part of most chemical and petrochemical plants. It's a system being very complex by its physical structure as well as its behavior (surge problem). The validity of the proposed methodology is illustrated by the application of this approach to the compression system of SC3/ SONATRACH of DJELFA has shown its ability to detect and isolate the incipient faults.

# TABLE DES MATIÈRES

---

<b>Introduction générale</b> .....	03
<b>CHAPITRE I</b>	
<b>Introduction au diagnostic</b> .....	07
I.1 Introduction.....	08
I.1.1 Définition et terminologie.....	08
I.2 Critères de performance d'un système de diagnostic.....	10
I.3 Redondance et définition des systèmes de surveillance.....	14
I.3.1 Redondance d'informations.....	14
I.3.2 Redondance physique.....	14
I.3.3 Redondance analytique.....	14
I.3.4 Principe d'un système de surveillance.....	16
I.3.4.1 La surveillance.....	16
I.3.4.2 La supervision .....	17
I.3.4.3 Place de la détection.....	17
I.4 Diagnostic à base de modèle.....	20
I.4.1 Méthodes de génération de résidus.....	22
I.4.2 Approche par espace de parité.....	23
I.4.3 Approche par estimation de paramètres.....	26
I.4.4 Estimation d'état.....	29
I.5 La détection.....	33
I.6 La localisation.....	34
I.7 Logique flou et diagnostic.....	37
I.7.1 Modèles flous pour la génération de résidus.....	37
I.7.2 Détection floue des résidus.....	39
I.7.3 Localisation floue.....	41
I.8 Conclusion .....	43

**CHAPITRE II****Détection et localisation des défauts à base de la logique Floue (FDI Floue)**

<b>(Fuzzy Fault Detection and Isolation)</b> .....	44
II.1 Introduction.....	45
II.2 L'Approche FDI.....	45
II.2.1 Définitions.....	46
II.2.2 Principe.....	47
II.3 Limites de la méthode.....	49
II.3.1 Prise en compte de perturbations.....	52
II.3.2 Insuffisance d'informations.....	53
II.3.2.1 Connaissances d'informations sur le système.....	55
II.3.2.2 Informations sur les résidus .....	55
II.3.3 Autres sources d'erreur.....	57
II.4 Méthode FDI floue .....	58
II.4.1 Systèmes experts flous .....	58
II.4.2 Définition des ensembles flous.....	60
II.4.3 Coefficient de détectabilité.....	62
II.4.4 Matrice de détectabilité.....	63
II.4.5 Fuzzification des résidus.....	64
II.5 Relation symptômes – défauts.....	66
II.5.1 Indicateur flou de défauts.....	67
II.5.2 Extension au cas flou.....	68
II.6 Comparaison avec des opérateurs connus.....	73
II.6.1 Comparaison avec la distance de Hamming relative.....	73
II.6.2 Comparaison avec une fonction de similarité.....	77
II.7 Identification de la grandeur des défauts.....	78
II.7.1 Fuzzification des résidus.....	79
II.7.2 Amplitudes des défauts.....	80
II.8 Décision.....	82
II.9 Conclusion.....	83

**CHAPITRE III**

<b>Système de Compression et Diagnostic.....</b>	<b>84</b>
III.1 Introduction .....	85
III.2 Système de compression.....	85
III.2.1 Domaine d'utilisation .....	86
III.3 Modèle mathématique de système de compression .....	87
III.4 Le modèle dynamique du système de compression.....	89
III.5 Performances d'un compresseur centrifuge.....	90
III.5.1 Phénomènes instationnaires et stabilité aérodynamique.....	91
III.5.2 Le phénomène de pompage.....	93
III.5.2. 1 Pompage classique.....	94
III.5.2. 2 Pompage profond.....	95
III.5.2. 3 Pompage modifié.....	96
III.5.2. 4 Ligne du pompage.....	96
III.5.2. 5 Origine du pompage.....	98
III.6 Diagnostic du système de compression.....	102
III.6.1 Génération de résidus.....	103
III.7 Conclusion.....	109

**CHAPITRE IV**

<b>Résultats d'Application.....</b>	<b>110</b>
IV.1 Introduction .....	111
IV.2 Surveillance à base de modèles du système de compression .....	111
IV.3 Application de la méthode FDI floue au système de compression SC3 (Station de compression de gaz SC3 / SONATRACH DJELFA).....	113
IV.3.1 Résidus et variables .....	118
IV.3.2 Matrice d'incidence et de détectabilité.....	119
IV.4 Résultats.....	121
IV.5 Conclusion.....	131
<b>Conclusion générale et perspectives.....</b>	<b>132</b>
Annexes.....	135
Bibliographie.....	149