

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

UNIVERSITÉ DE BOUMERDÈS



FACULTÉ DES HYDROCARBURES ET DE LA CHIMIE



Département : Automatisation des Procédés Industriels et Électrification

Laboratoire : Automatique Appliquée

## Mémoire de Magister

Spécialité : Génie électrique. Option : *Automatisation des procédés industriels et traitement du signal.*

Présenté par :

**Ahmed HAFAIFA**

Thème :

---

### Modélisation et Commande d'un Système de Compression par logique floue. (Application au Phénomène de Pompage)

---

Soutenu publiquement le : 29 / 06 / 2004

Devant le jury composé de :

Mr. Madjid BERKOUK	M.C	ENP - Elharrach	Président
Mr. Ferhat LAAOUAD	M.C	Université de Boumerdes	Rapporteur
Mr. Mohammed TADJINE	M.C	ENP - Elharrach	Examineur
Mr. Ammar BENMOUNAH	M.C	Université de Boumerdes	Examineur
Mr. Abdelmadjid KHELASSI	C.C	Université de Boumerdes	Examineur

**Boumerdès : 2004**

<b>Introduction générale</b> .....	01
------------------------------------	----

## **Chapitre I Description du système de compression et modélisation de la dynamique du compresseur à quatre étages**

I.1	Introduction .....	05
I.2	Spécificités des compresseurs centrifuges.....	05
I.2.1	Domaine d'utilisation .....	05
I.3	Présentation du compresseur TM .....	06
I.4	Modèle.....	08
I.4.1	Equilibre de masse dans la capacité.....	10
I.4.2	Calcul de la pression .....	10
I.4.3	Transfert d'énergie .....	11
I.4.4	Couple du compresseur .....	12
I.4.5	Impulseur .....	12
I.5	Pertes .....	13
I.6	Le modèle dynamique .....	17
I.7	Calcul du modèle .....	19
I.7.3	Conclusion.....	20
I.8	Phénomène de pompage et système actuels de commande anti - pompage du système de compression .....	20
I.8.1	Dangers et remèdes .....	22
I.8.2	Système actuels de commande Anti-Pompage du système de compression .....	23
I.9	Conclusion .....	29

## **Chapitre II Méthodologie de la logique floue et stratégie de son application à la modélisation du système de compression**

II.1	Introduction .....	31
II.2	Formalismes qualitatifs .....	31
II.2.1	La théorie des ensembles flous .....	31
II.2.2	Différence entre ensemble flou et ensemble booléen .....	31
II.2.3	Variables linguistiques .....	32
II.3	Caractéristiques d'un ensemble flou .....	33
II.3.1	Partition floue .....	34
II.4	Opérations sur les ensembles flous .....	34
II.4.1	Intersection et union .....	35
II.4.2	Le principe d'extension .....	36
II.5	Relation floues .....	36
II.5.1	Produit cartésien .....	36
II.6	Acquisition de la connaissance et écriture de la base de règle .....	36
II.6.1	Propriétés de la base des règles .....	38
II.6.2	Continuité .....	38
II.6.3	Consistance .....	39
II.6.4	Complétude .....	39
II.7	Modèle flou de type Takagi-Sugeno-Kang .....	40
II.7.1	Stratégie de l'application de la logique floue à la modélisation du système de compression .....	41
II.8	Conclusion .....	52

## Chapitre III Systèmes de commande flous à base de connaissances et analyse de la robustesse des contrôleurs flous

III.1	Introduction .....	54
III.2	Les différentes étapes de la commande floue .....	54
III.1.1	Mis en forme des entrées .....	56
III.1.2	Fuzzification .....	56
III.1.3	Traitement des prémisses composées .....	57
III.1.4	Inférence floue .....	58
III.1.5	Agrégation des règles .....	58
III.1.6	Défuzzification .....	59
III.1.7	Dénormalisation .....	60
III.3	Stabilité et robustesse d'un contrôleur flou .....	61
III.3.1	Réglage .....	61
III.3.2	Stabilité .....	62
III.3.3	Robustesse .....	62
III.4	Structure générale du régulateur flou .....	62
III.4.1	L'interface de fuzzification .....	63
III.4.2	La base de connaissances .....	64
III.4.3	Le moteur d'inférence .....	67
III.5	Réglage des paramètres du régulateur .....	67
III.5.1	Régulateurs flous avec différents ensembles .....	67
III.5.1.1	Régulateur flou à trois ensembles (FLC3) .....	67
III.5.1.2	Régulateur flou à cinq ensembles (FLC5) .....	68
III.5.1.3	Régulateur flou à sept ensembles (FLC7) .....	69
III.6	Simulation .....	71
III.7	Conclusion .....	81

## Chapitre IV Structure de régulation anti\_pompage à base de deux régulateurs flous

IV.1	Introduction .....	83
IV.2	Régulation anti – pompage à base de deux régulateur flous .....	84
IV.2.1	Méthode proposée par la combinaison .....	86
IV.2.1.1	Description de la méthode .....	86
IV.3	Synthèse du mécanisme flou .....	87
IV.3.1	Développement de la table de décision .....	88
IV.4	Simulation .....	91
IV.5	Conclusion .....	95

<b>Conclusion générale</b> .....	97
----------------------------------	----

### Annexe A Procédé de compression

AA.1	Procédé de compression.....	101
AA.2	Définitions des grandeurs physiques concernant la compression .....	103

### Annexe B Régulateurs flous industriels

A.B.1	Régulateurs flous existant à l'échelle industrielle .....	106
A.B.1.1	Le Fuzzy Control Package du système $\mu$ XL de Yokogawa .....	106
A.B.2	Définition et structure du processeur flou .....	108

Symboles et notations .....	115
-----------------------------	-----

<b>Bibliographie</b> .....	118
----------------------------	-----

## ملخص

إن ظاهرة الضخ هي عبارة عن حالة عدم الاستقرار لعملية ضغط الغازات في ميدان نقل المحروقات. حدوث هذه الظاهرة قد يؤدي إلى ظهور ذبذبات قد تكون خطيرة على الميكانيكي للضاخات ، كما تؤثر على اتجاه الضغط المستقيم، و قد تؤدي إلى حدوث إعطاب في هذا الأخير، كما تؤدي إلى انخفاض نسبة الإنتاجية بسبب الفتح التام لصمامات ظاهرة الضخ مما يؤدي إلى ضياع الغاز . لذلك يجب وضع آلية الضخ خارج مجال حدوث هذه الظاهرة ، قد تحدث هذه الظاهرة في منطقة العمليات المؤدية إلى اسفل بديّة التهوية و يمكن عموما أن تكون، في حالة ماذا وجدة ، في الاتجاه المعاكس لضغط الأولى. من اجل تفادي حدوث هذه ظاهرة في الضاخات يجب تزويد هذه الأخيرة بنظام تحكم في كمية حجم الغاز الداخلة لهذه الآليات .

التقنيات الجديدة في مجال أتمتة الطرائق الصناعية تستطيع في بعض الأحيان أن تتنبأ بحدوث هذه الظاهرة ، لتعطي بدورها بعض الحلول لتجنب هذه الظاهرة .

في هذا المجال يسجل عملنا العلمي لدراسة كيفية اجتناب هذه الظاهرة ، مستعملين في ذلك المنطق الغامض ، لجاد تمثيل لفظي يمكننا استعماله في التحكم لآليات الضخ . بهذا قد نكون حققنا أهدافا علمية من الممكن أن تجد في يوم من الأيام أرضية لتطبيقها و بذلك الرفع من مستوى الإنتاج و الإنتاجية في ميدان نقل المحروقات

## Abstract

*In this work, we treat the problems related to chemical and petrochemical plants of a certain complex process taking the centrifugal compressor as an example, a system being very complex by its physical structure as well as its behaviour surge phenomenon). We propose to study the application possibilities of the recent control approaches to the compressor behaviour, and evaluate their contribution in the practical and theoretical fields consequently. Facing to the studied industrial process complexity, we choose to make recourse fuzzy logic for analysis and treatment of its control problem owing to the fact that these technique constitute the only framework in which the types of imperfect knowledge can jointly be treated (uncertainties, inaccuracies, ... ..) offering suitable tools to characterise them. In the particular case of the centrifugal compressor, these imperfections are interpreted by modelling errors, the neglected dynamics, no modelisable dynamics and the parametric variations.*

*Fuzzy logic intervene efficiently in the compressor modelling. The fuzzy model suggested reproduced well the main characteristics of the complex model characterised by marked non linearity, give place to a more precise and easy to handle representation. It is about a inaccuracies reproducing with a certain degree of satisfaction of the real process without being as much complex.*