

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

---

UNIVERSITE CONSTANTINE 3



FACULTE DE GENIE DES PROCÉDES PHARMACEUTIQUES

DEPARTEMENT DE GENIE CHIMIQUE

N° d'ordre :... ..

Série :... ..

Mémoire Présenté pour l'Obtention du Diplôme de Master en Génie Chimique

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Chimique

---

---

THEME

*Commande par Logique Floue de l'Oxygène Dissous  
dans un Procédé d'Épuration des Eaux Usées*

---

---

Dirigé par :

**Dr. BAHITA Mohamed**

**Grade : M.C.B**

Présenté par :

**BOUHANI Oum Kalthoum**

**MERIAH Fatima**

**MENNAA Ouafa**

Année Universitaire 2014/2015.

Session : Juin

# Table des matières

---

Liste des figures.....	i
Liste des tableaux.....	iii
Nomenclature utilisée.....	iv
Introduction générale.....	9

## Chapitre 1

<b>Généralité sur la commande automatique des procédés.....</b>	<b>12</b>
1.1 Introduction.....	13
1.2 Systèmes dynamiques.....	13
1.3 Commande des procédés industriels.....	14
1.3.1 L'objectif principal de la commande.....	15
1.3.2 L'objectif d'un système de commande.....	15
1.4 Régulation et asservissement.....	16
1.5 Représentation de la structure de régulation d'un procédé.....	16
1.5.1 Régulation en boucle fermée.....	17
1.6 Qualités d'une bonne régulation.....	18
1.7 Conclusion.....	19

## Chapitre 2

<b>Les régulateurs classiques <i>PID</i>.....</b>	<b>20</b>
2.1 Introduction.....	21
2.2 Principe des régulateurs.....	22
2.3 Description des régulateurs <i>PID</i> .....	22
2.3.1 Action proportionnelle <i>P</i> .....	23
2.3.2 Action intégrale <i>I</i> .....	23
2.3.3 Action dérivée <i>D</i> .....	24
2.4 Ajustement des paramètres d'un régulateur <i>PID</i> .....	25
2.5 Conclusion.....	26

**Chapitre 3**

<b>Notions fondamentales de la théorie de la logique floue.....</b>	<b>27</b>
3.1 Introduction.....	28
3.2 Principes et définitions.....	29
3.2.1 Univers de discours.....	29
3.2.2 Sous ensemble flou.....	29
3.2.2.1 Formes d'un sous ensemble flou.....	31
3.2.2.2 Propriétés d'un sous ensemble flou.....	31
3.2.3 Variable linguistique.....	33
3.3 Exemple récapitulatif.....	34
3.4 Conclusion.....	35

**Chapitre 4**

<b>Contrôleur à logique floue (<i>Fuzzy Logic Controller : FLC</i>).....</b>	<b>36</b>
4.1 Introduction.....	37
4.2 Modèle de raisonnement approximatif.....	38
4.2.1 Modèle de <i>Mamdani</i> .....	38
4.2.2 Modèle de <i>Takagi-Sugeno</i> .....	39
4.3 Structure générale d'un <i>FLC</i> .....	39
4.3.1 Fuzzyfication.....	40
4.3.2 Inférence floue ( <i>Min/Max, Produit/Max</i> ).....	40
4.3.3 Défuzzyfication.....	42
4.4 Exemple d'application de la logique de décision ( <i>Produit/Max</i> ).....	43
4.5 Conclusion.....	47

**Chapitre 5**

<b>Application d'une commande floue pour le contrôle de l'oxygène dissous (<i>Dissolved Oxygen : DO</i>) dans un procédé d'épuration des eaux usées.....</b>	<b>48</b>
5.1 Introduction.....	49
5.2 Dynamique du <i>DO</i> dans le procédé à boues activées.....	50
5.3 Modèle mathématique de la dynamique du <i>DO</i> .....	51
5.4 Commande du <i>DO</i> dans le procédé.....	54
5.4.1 Commande par régulateur classique <i>PI</i> .....	55
5.4.2 Commande par logique floue.....	55
5.4.3 Résultats de simulation.....	58
5.5 Conclusion.....	62

<b>Conclusion générale.....</b>	<b>63</b>
---------------------------------	-----------

<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>65</b>
<b>Annexe A :</b>	
Transformée de <i>Laplace</i> et Fonction de Transfert.....	68
<b>Annexe B :</b>	
Méthode de <i>Ziegler</i> et <i>Nichols</i> en boucle fermée.....	72
<b>Annexe C :</b>	
Notions fondamentales sur l'épuration des eaux usées.....	75
<b>Annexe D :</b>	
Calcul de l'intégral suivant la méthode de <i>Runge-Kutta</i> d'ordre 4 ( <i>RK4</i> ).....	79

# Résumé

---

Avec le développement des nouvelles techniques d'intelligence artificielle et d'aides à la décision, la théorie de la logique floue est l'une des diverses solutions utilisées pour jouer un rôle de plus en plus important dans le domaine de la commande des procédés industriels, et en particulier les systèmes complexes et non-linéaires.

Dans ce mémoire, nous avons proposé une étude d'une commande à logique floue, appliquée pour le contrôle de la concentration d'oxygène dissous d'un système non linéaire ou bioréacteur à boues activées, qui est largement utilisé dans le traitement d'épuration des eaux usées. Nous avons comparé les résultats de simulation de la commande à logique floue avec ceux de la commande classique *PID*.

Les résultats sont validés par des simulations sous l'environnement **MATLAB**.

## Mots clés :

---

Commande par logique floue, commande classique *PID*, bioréacteur, boues activées, système non linéaire, oxygène dissous.

---

# *Abstract*

---

With the development of new techniques of artificial intelligence and decision helping, fuzzy logic theory is one of the diverse used solutions making an important role in the domain of the industrial processes control, and in particular for complex and nonlinear systems.

In this work, we have proposed a fuzzy logic control study applied to the dissolved oxygen concentration control of a nonlinear system, which is an activated sludge bioreactor. This process is widely used for wastewater treatment and purification operation. Obtained simulation results of the proposed fuzzy logic control are compared to those of a classical *PID* control method.

The results are validated by simulation in **MATLAB** environment.

## **Keywords :** \_\_\_\_\_

Fuzzy logic control, classical *PID* control, bioreactor, activated sludge, nonlinear system, dissolved oxygen.

---

## ملخص

---

مع تطوّر التقنيات الحديثة للطرق الذكية المصنّعة وأنظمة المساعدة في التقرير، نظريّة المنطق الغامض هي من إحدى مختلف الحلول المستعملة علاوةً من أجل لعب دور جدّ هام في مجال التّحكم في الأنظمة الصناعيّة، وبالخصوص الأنظمة المعقدة اللاخطية.

في هذه المذكرة قمنا باقتراح دراسة تعتمد على التّحكم باستعمال المنطق الغامض، المطبق للسيطرة على تركيز الأوكسجين المنحلّ، وهذا ضمن نظام لاخطي ممثّل بمفاعل حيوي عن طريق الأوحال النّشطة، هذا الأخير مستعمل غالباً وينطاق واسع في معالجة وتصفية مياه الصّرف. كذلك قمنا بمقارنة النتائج المحصّل عليها بطريقة التّحكم باستعمال المنطق الغامض مع تلك المحصّل عليها بطريقة التّحكم التقليديّة ب.إ.د. (PID).

تمّ التحقّق من صحّة النتائج عن طريق المحاكاة في نظام البرمجة مطلاب (MATLAB).

## مصطلحات :

---

التّحكم باستعمال المنطق الغامض، طريقة التّحكم التقليديّة ب.إ.د. (PID)، مفاعل حيوي، الأوحال النّشطة، نظام لاخطي، الأوكسجين المنحلّ.

---