

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

UNIVERSITE CONSTANTINE 3



**FACULTE DE GENIE DES PROCEDES
DEPARTEMENT DE GENIE CHIMIQUE**

N d'ordre :

Série:

Mémoire de Master

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie chimique

**CONCEPTION ET REALISATION D'UN SYSTEME DE
REGULATION AUTOMATIQUE DE LA TEMPERATURE
DANS UN REACTEUR THERMIQUE.**

Dirigé par :

**BAHITA Mohamed
MCA**

Présenté par :

**BENTEBBAL Imene
BENHABILES Nassim
BENTOUNSI Abderraouf**

**Année Universitaire 2024/2025
Session : Juin**

TABLE DES MATIÈRES

Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : FONDEMENTS THEORIQUES DE LA REGULATION AUTOMATIQUE ET DE LA LOGIQUE FLOUE ET DESCRIPTION DU CSTR	2
I.1 Régulation Automatique	4
I.1.1 Introduction A La Régulation Automatique.....	4
I.1.2 Objectif Et Principe De La Régulation Automatique.....	4
I.1.3 Configuration D'un Système Asservi	4
I.1.4 Boucles De Régulation.....	6
I.1.5 Régulateur PID	6
I.2 Logique Floue	9
I.2.1 Introduction A La Logique Floue.....	9
I.2.2 Principe De Fonctionnement De La Logique Floue.....	9
I.2.3 FLC (Fuzzy Logic Controller)	11
I.2.4 Modèle De Raisonnement Approximatif	13
I.3 Le Réacteur Continu à Cuve Agitée (CSTR)	14
I.3.1 Introduction Au CSTR	14
I.3.2 Principe De Fonctionnement D'un CSTR Avec Jacket	14
I.3.3 Modélisation Mathématique.....	15
CHAPITRE II : DESCRIPTION DU MATERIEL UTILISE ET CONCEPTION DU SYSTEME THERMO-FRIGORIFIQUE DU REACTEUR.....	16
II.1 Arduino Uno	17
II.1.1 Présentation Générale D'Arduino.....	17
II.1.2 Logiciel Arduino (IDE)	17
II.1.3 Interface d'Arduino IDE	18
II.1.4 Exemple D'un Programme Arduino	18
II.1.5 Procédure de téléversement du programme	19
II.1.6 Différents Types De Cartes Arduino.....	20
II.1.7 Carte Arduino Uno	20
II.1.8 Utilité D'arduino Uno Dans Les Systèmes De Contrôle.....	21
II.1.9 Fonctionnement De La Carte Arduino Uno	21
II.1.10 Langage de programmation et environnement de développement.....	22
II.1.11 Avantages de l'utilisation d'Arduino Uno	22
II.2 Relais 5V.....	22
II.2.1 Description du relais 5V	22
II.2.2 Brochage du module relais 5V	23
II.2.3 Fonctionnement du relais 5V avec un Arduino	24

II.3	Système Thermo-Frigorifique du Réacteur.....	24
II.3.1	Introduction : Description et Fonctionnement du Système de Réacteur	24
II.3.2	Composition du Système.....	25
II.3.3	Fonctionnement Global	30
II.3.4	Particularités du Système	32
	Chapitre III Application et Réalisation... ..	33
III.1	Simulation Et Régulation D'un CSTR	34
III.2	Résultats Expérimentaux de la Régulation Thermique dans un Prototype de CSTR 43	
III.2.1	Analyse de la Régulation de la Température dans un Prototype de CSTR (Supervision Simple Marche/Arrêt).....	43
III.2.2	Analyse de la Régulation de Température avec Contrôleur PID-PWM dans un Prototype de CSTR	45
III.2.3	Analyse de la Régulation de Température avec Contrôleur Hybride PID-PWM + Logique Floue dans un Prototype de CSTR	49
III.2.4	Analyse de la Régulation de Température avec Contrôleur PID-PWM Anti- Windup dans un Prototype de CSTR	53
III.2.5	Analyse de la Régulation de Température avec Contrôleur Hybride PID-Floue Anti-Windup dans un Prototype de CSTR.....	59
III.3	Utilisation de LabVIEW comme interface de supervision pour un système de régulation de température	64
III.3.1	Notions fondamentales sur LabVIEW	64
III.3.2	Implémentation de l'Interface LabVIEW pour la Régulation de Température..	68
III.3.3	Conclusion.....	71
III.4	Régulation HVAC dans la salle de production d'insuline – Stage chez SAIDAL	72
III.4.1	Introduction	72
III.4.2	Présentation du système HVAC	72
III.4.3	Régulation de température dans les CTA.....	72
III.4.4	Conclusion.....	74
	Conclusion générale	76

RESUME

Ce mémoire porte sur la régulation thermique d'un réacteur chimique continu (CSTR) à l'aide de techniques classiques et avancées. L'objectif est de maintenir la température à une valeur de consigne précise malgré les perturbations, en comparant différentes méthodes de commande telles que le régulateur tout-ou-rien, le régulateur PID, le régulateur PID avec anti-windup et le régulateur PID combiné à la logique floue.

La partie théorique présente les bases de la régulation automatique, les limites des contrôleurs à gain fixe et l'intérêt de la logique floue dans les systèmes non linéaires. Sur le plan pratique, un prototype a été réalisé à l'aide d'une carte Arduino Uno, d'un système de chauffage/refroidissement, de capteurs de température, et d'une interface de supervision sous LabVIEW. Des simulations ont été menées pour tester la performance des différentes stratégies de régulation.

Les résultats ont montré que le contrôleur hybride PID + logique floue améliore la stabilité, réduit le dépassement, et permet un meilleur suivi de la consigne. Ce travail met en évidence l'efficacité des approches de régulation automatique avancée dans les procédés thermosensibles.

Mots-clés : régulation thermique, CSTR, PID, logique floue, Arduino, , LabVIEW.

ABSTRACT

This thesis focuses on thermal regulation in a Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) using both classical and advanced automatic control methods. The aim is to maintain a precise setpoint temperature despite disturbances by applying various control strategies including ON/OFF controller, PID controller, anti-windup PID controller, and PID combined with fuzzy logic controller.

The theoretical part introduces the fundamentals of automatic control, the limitations of fixed-gain controllers, and the advantages of fuzzy logic in nonlinear systems. Practically, a prototype was built using an Arduino Uno board, a heating/cooling system, temperature sensors, and a LabVIEW-based supervision interface. A simulation program was used to simulate and evaluate the performance of each control approach.

The results showed that the hybrid PID + fuzzy logic controller improves system stability, reduces overshoot, and ensures better setpoint tracking. This study highlights the usefulness of advanced automatic regulation methods in thermal process applications.

Keywords: thermal regulation, CSTR, PID, fuzzy logic, Arduino, , LabVIEW.

ملخص

تتناول هذه الأطروحة تنظيم الحرارة في مفاعل مستمر (CSTR) باستخدام كل من طرق التحكم الآلي التقليدية والمتقدمة. الهدف هو الحفاظ على درجة حرارة مرجعية دقيقة بالرغم من الاضطرابات، من خلال تطبيق استراتيجيات تحكم مختلفة تشمل التحكم تشغيل/إيقاف (ON/OFF)، ومنظم PID، و PID مع ميزة الحماية من التشبع (anti-windup PID)، و PID مدمج مع المنطق الضبابي.

يعرض الجزء النظري أساسيات التحكم الآلي، وحدود المنظمات ذات المكاسب الثابتة، ومزايا المنطق الضبابي في الأنظمة غير الخطية. عملياً، تم بناء نموذج أولي باستخدام لوحة Arduino Uno، ونظام تسخين/تبريد، ومستشعرات حرارة، وواجهة إشراف مبنية على برنامج LabVIEW وتم استخدام برنامج محاكاة لمحاكاة وتقييم أداء كل استراتيجية تحكم.

أظهرت النتائج أن منظم PID + المنطق الضبابي الهجين يحسن من استقرار النظام، ويقلل من التجاوز، ويضمن تتبعاً أفضل لنقطة الضبط. تسلط هذه الدراسة الضوء على فائدة أساليب التحكم الآلي المتقدمة في تطبيقات المعالجة الحرارية.

الكلمات المفتاحية: التنظيم الحراري، CSTR، PID، المنطق الضبابي، Arduino، LabVIEW.