



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 20 août 1955 -SKIKDA  
Faculté de Technologie  
Département de Pétrochimie



# Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

## Master

Filière : Industrie pétrochimique.

Spécialité : Automatisation en industrie pétrochimique

**Thème:**

**Application de la commande adaptative de type  
MRAC**

**Réalisé par:**

- LAOUFI Maroua
- LADAYCIA Massiva Farrah

**Encadré par:**

Dr.Kamel MENIGHED

**Soutenu le 12/07/2023 devant le jury :**

- **Encadrant** : Dr.Kamel MENIGHED
- **President** : Pr. CHETTAH Chouaib
- **Examinatrice** : Pr. HARZALLAH Ghania

**Année Universitaire 2022/2023**

# Dédicace

“

*À nos chers parents, frères et sœurs, grands-parents, oncles et tantes maternels, ainsi qu'à nos amis fidèles. Nous vous dédions ce mémoire avec une profonde gratitude pour votre amour, votre soutien et votre inspiration tout au long de notre parcours académique. Sans vous, cette réussite n'aurait pas été possible. Vous avez été notre source de motivation et de fierté, et nous vous en serons éternellement reconnaissantes. ,*

*À tous ceux qui me sont chers, à vous tous*

*Merci.*

”

# Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience nécessaires à mener ce travail à son terme.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de notre thèse. En particulier, nous remercions l'ingénieur en chef instrumentation SH-DP **M.BAHAZ Said** pour son soutien technique, son expertise et sa disponibilité tout au long de ce projet, l'encadrant de thèse docteur **M.MENIGHED Kamel** pour ses conseils scientifiques, ses orientations méthodologiques et sa confiance en nos capacités.

Nous tenons à remercier également l'ingénieur d'état en informatique **M.METALLAOUI Nassim** pour son aide précieuse dans le développement des outils informatiques nécessaires à l'analyse des données.

Nous tenons aussi à adresser nos plus sincères remerciements à l'ingénieur d'état en pétrochimie **Mme.OULD KADA Radjaa Rekia** pour sa collaboration fructueuse, ses remarques pertinentes et son amitié. Je leur exprime ma reconnaissance et mon respect pour leur professionnalisme et leur générosité.

# Résumé

Notre mémoire de fin d'étude présente une étude approfondie sur l'optimisation de la régulation d'un four de régénération dans l'unité de déshydratation de ZCINA en utilisant la commande adaptative à modèle de référence (MRAC), car Les régulateurs traditionnels tels que P, PI et PID montrent leurs limites lorsque les paramètres du système varient dans une large plage, d'où l'émergence de nouvelles approches de commande grâce aux avancées des calculateurs numériques.

Les outils de simulation Centum VP et Matlab sont utilisés pour identifier le modèle mathématique de la boucle de régulation et implémenter la commande adaptative basée sur la règle de MIT. L'étude met en évidence le rôle crucial de l'unité de déshydratation et de la section de régénération du four dans le processus global.

Les résultats de la simulation montrent que la commande adaptative MRAC offre une amélioration significative de la régulation de la température et de la pression du four, tout en assurant stabilité et robustesse.

---

**Mots clés :** Commande adaptative, commande avancée, régulateurs, four de régénération, commande classique.

---

# Abstract

Our thesis presents an in-depth study on the optimization of the regulation of a regeneration furnace in the ZCINA dehydration unit using the model reference adaptive control (MRAC) approach. Traditional controllers such as P, PI, and PID show limitations when the system parameters vary widely, leading to the emergence of new control approaches aided by advancements in digital computing.

Centum VP and Matlab simulation tools are utilized to identify the mathematical model of the regulation loop and implement the MRAC based on the MIT rule. The study highlights the crucial role of the dehydration unit and the furnace's regeneration section in the overall process.

Simulation results demonstrate that the MRAC provides significant improvements in temperature and pressure regulation of the furnace while ensuring stability and robustness.

---

**Keywords** : Adaptive control, MRAC approach, regeneration furnace, advanced controllers

---

## ملخص

تتطرق رسالتنا الى دراسة معمقة حول تحسين التحكم في فرن إعادة التجديد الصناعي في وحدة التجفيف في ZCINA باستخدام السيطرة المتكيفة بنموذج الإشارة المرجعية. نتائج المحاكاة توضح أن السيطرة المتكيفة باستخدام نموذج مرجعي تقدم تحسينات كبيرة في تنظيم درجة الحرارة والضغط في الفرن الصناعي، مما يعزز الاستقرار والكفاءة. يتم استخدام أدوات المحاكاة VP Centum و Matlab لتحليل وتصميم هذه السيطرة المتكيفة، وتطبيقها على نموذج الفرن الرياضياتي. تبرز الدراسة أهمية وحدة التجفيف وقسم إعادة التجديد في تحقيق الأداء المثلى للنظام..

---

### كلمات مفتاحية :

النموذج المرجع- التحكم التكنيفي- فرن اعادة التجديد الصناعي

---

# Table des matières

<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Des généralités sur la commande adaptative à modèle de référence</b>	<b>3</b>
1.1 Introduction	4
1.2 Les techniques de commande (régulation)	4
1.2.1 Les régulateurs classiques	5
1.2.2 Les régulateurs avancés	5
1.3 La commande non adaptative (les régulateurs classiques)	5
1.3.1 Historique	5
1.4 La commande adaptative	6
1.4.1 Historique	6
1.4.2 Définition	6
1.4.2.1 Une boucle de contre-réaction conventionnelle	7
1.4.2.2 Une boucle d'adaptation des paramètres du régulateur	7
1.4.3 Principe général	7
1.4.4 les tâches typiques de la commande adaptative	8
1.5 Commande conventionnelle à contre-réaction et la commande adaptative (similarités et différences)	9
1.6 Classification des approches de la commande adaptative	9
1.6.1 Commande adaptative directe	10
1.6.2 Commande adaptative indirecte	10
1.7 Types de Commande adaptative	11
1.7.1 Commande adaptative à Modèle De Référence (MRAC)	11
1.7.1.1 Méthodes de synthèse	13
1.7.1.2 Synthèse de MRAC par l'approche de gradient (MIT)	13
1.7.1.3 Synthèse de MRAC par l'approche de la théorie de la stabilité de Lyapunov	14
1.7.2 Commande adaptative à Gain Programmé	15
1.7.3 Commande Auto-Ajustable (STR)	15
1.8 Conclusion	16

<b>2</b>	<b>Présentation de GPL ZCINA : unité de déshydratation et four de régénération</b>	<b>17</b>
2.1	Introduction	18
2.2	Présentation du champ de Hassi Messaoud	18
2.3	Description de l'unité GPL/ LDHP ZCINA	19
2.4	Description générale de l'usine GPL ZCINA – cahiers des charges	19
2.4.1	Vue générale de GPL ZCINA	19
2.4.1.1	But de l'usine GPL ZCINA	19
2.4.1.2	Présentation de l'usine GPL ZCINA	20
2.4.1.3	Schéma bloc de l'usine GPL ZCINA	21
2.4.1.4	Description du process	21
2.4.2	les unités de l'usine GPL ZCINA	22
2.4.2.1	Des unités procédé	22
2.4.2.2	Des unités utilités	22
2.5	Unité 24 : système de déshydratation du gaz de charge	23
2.5.1	Description du fonctionnement de l'unité de déshydratation	23
2.6	Section de régénération	24
2.6.1	les étapes de la phase de régénération d'un sécheur	25
2.6.1.1	chauffe	25
2.6.1.2	refroidissement	25
2.6.1.3	repos	25
2.6.1.4	Spécifications des équipements de régénération de gaz	26
2.7	Four de gaz de régénération	27
2.7.1	Description générale du four	27
2.7.2	Contrôle des brûleurs et contrôle de la température de sortie du four (24-TIC-0X609) de gaz de régénération G1X-UF-24-01	29
2.8	Conclusion	30
<b>3</b>	<b>Présentation du DCS CENTUM VP</b>	<b>31</b>
3.1	Introduction	32
3.2	Historique	32
3.3	Structure générale d'un DCS	33
3.4	Principe de contrôle du DCS ZCINA	34
3.5	Système CENTUM VP	35
3.6	Architecture du CENTUM VP	36
3.6.1	Station d'ingénierie et de travail	36
3.6.2	Interface Homme/Machine HMI ou HIS	36
3.6.3	Station de contrôle FCS (Field Control Station)	36
3.6.3.1	Unité de contrôle FCU	38

3.6.3.2	RIO bus	38
3.6.3.3	Nœud d'entrées/sorties	38
3.6.4	Réseau du système de contrôle V-net	39
3.6.5	Réseau Ethernet	39
3.7	Implémentation des Algorithmes	40
3.7.1	Lancement du CENTUM VP	40
3.7.2	Création d'un nouveau projet	40
3.7.3	Création d'une FCS	41
3.7.4	Création d'une HIS	42
3.7.5	Changement du type et enregistrement d'un projet	43
3.7.6	Création des entrées sorties de la FCS	43
3.7.7	Création des blocs de fonction	44
3.7.7.1	Bloc de séquence – ST016	45
3.7.7.2	Bloc de régulation et de contrôle (PID)	46
3.7.7.3	Bloc calculateur (Calcu)	46
3.7.7.4	Bloc DLAY	47
3.7.8	Création d'un graphique	48
3.7.9	Lancement de la fonction de test	49
3.7.10	La face-avant d'instruments	50
3.7.11	Les différents types d'alarmes	51
3.8	Conclusion	52
<b>4</b>	<b>Etude de la boucle et identification du procédé</b>	<b>53</b>
4.1	Introduction	54
4.2	Généralités sur la régulation	54
4.2.1	Définition	54
4.2.2	Principe de fonctionnement de la régulation	55
4.3	La régulation cascade	55
4.3.1	Rôle de la régulation cascade	55
4.3.2	Présentation de la boucle choisie	56
4.4	Implémentation et simulation par YOKOGAWA CENTUM VP	57
4.4.1	Création et programmation de la boucle de régulation	58
4.4.1.1	Bloc PID	58
4.4.1.2	Bloc DLAY	59
4.4.1.3	Bloc calculateur	61
4.4.2	Simulation graphique	63
4.4.2.1	Création du synoptique graphique	63
4.4.2.2	Création de la fenêtre trend	64
4.4.3	Détermination des paramètres et identification du système étudiée	64

4.4.3.1	Détermination des paramètres PIC (la boucle interne)	64
4.4.3.2	Identification de la boucle interne	66
4.4.3.3	Détermination des paramètres TIC (la boucle ex- terne)	68
4.4.3.4	Identification de la boucle externe	69
4.4.4	Cahier des charges	71
4.4.5	Choix du mode de régulation	72
4.5	Conclusion	73
<b>5</b>	<b>Simulation avec MATLAB et interprétation des résultats</b>	<b>74</b>
5.1	Introduction	75
5.2	Enoncé de notre problématique	75
5.3	modèle mathématique du process et l'environnement de travail	76
5.3.1	Environnement logiciel	76
5.3.2	Système de controle en cascade du Four	76
5.4	Simulation et interprétation des résultats	77
5.4.1	Simulation de la boucle conventionnelle classique	77
5.4.2	Application de la commande adaptative directe avec MRAC sur le modèle étudié	78
5.4.2.1	Etapas de simulation	78
5.4.2.2	Interprétation des résultats	84
5.5	Conclusion	85
	<b>Conclusion générale &amp; Perspectives</b>	<b>86</b>

# Table des figures

1.1 Schéma fonctionnel d'un processus réglé. . . . .	4
1.2 Système de commande adaptative. . . . .	7
1.3 Principe des systèmes de commande adaptative. . . . .	8
1.4 La commande adaptative directe. . . . .	10
1.5 Structure de la commande adaptative indirecte. . . . .	11
1.6 Schéma-bloc d'un Système Adaptatif à Modèle de Référence (SAMR). . . . .	12
1.7 les approches de la commande adaptative MRAC. . . . .	12
1.8 Commande adaptative à gain programmé. . . . .	15
1.9 Commande Auto-Ajustable (STR). . . . .	16
2.1 Carte géographique du champ de HMD. . . . .	18
2.2 Schéma de process simplifié-unité GPL ZCINA HMD-. . . . .	20
2.3 schéma de fonctionnement général de l'usine GPL ZCINA. . . . .	21
2.4 L'unité de Déshydratation . . . . .	24
2.5 Profil de température du gaz en phase de régénération . . . . .	26
2.6 La vue écorcher du four. . . . .	29
2.7 Un brûleur . . . . .	30
3.1 Architecture du CENTUM VP. . . . .	36
3.2 Armoire FCS. . . . .	37
3.3 Architecture d'une FCS. . . . .	37
3.4 Le contrôleur. . . . .	38
3.5 Lancement du CENTUM VP. . . . .	40
3.6 Création d'un nouveau projet. . . . .	41
3.7 Boîte de dialogue pour créer une nouvelle FCS. . . . .	42
3.8 Boîte de dialogue pour créer une nouvelle HIS. . . . .	42
3.9 Boîte de dialogue de l'utilitaire pour changer les attributs des projets. . . . .	43
3.10 Création d'un nouveau module d'entrée/sortie. . . . .	43
3.11 Création d'une carte d'entrée/sortie. . . . .	44
3.12 Insertion des blocs de fonction. . . . .	45
3.13 Fenêtre d'édition d'une table de séquence ST016. . . . .	45
3.14 Le bloc PID. . . . .	46

3.15 Adressage d'une entrée/sortie.	46
3.16 Le bloc Calcul.	47
3.17 Fenêtre de programmation du bloc « Calcul ».	47
3.18 Bloc DLAY.	48
3.19 Le drawing de régulation.	48
3.20 Bibliothèque du graphique builder.	49
3.21 Propriété d'un objet.	49
3.22 Bandeau d'exploitation.	50
3.23 Face-avant d'instrument.	50
3.24 Changement d'un paramètre.	51
3.25 Changement de mode.	51
4.1 Schéma fonctionnel d'une boucle de régulation.	54
4.2 Principe de fonctionnement d'une boucle de régulation.	55
4.3 Schéma explicatif de la boucle étudiée.	56
4.4 Un schéma simplifié de la boucle de régulation du four.	57
4.5 Bloc fonctionnel 24PIC04069-Régulateur de pression de fuel gaz-	59
4.6 Bloc fonctionnel 24TIC04069 Régulateur de température de four de	
gaz de régénération.	59
4.7 Schéma bloc de la boucle de régulation de pression de gaz 24PIC04069.	60
4.8 Bloc DLAYT	60
4.9 Bloc DLAYP	61
4.10 Le drawing de la boucle de régulation.	61
4.11 L'algorithme de bloc CAL1.	62
4.12 L'algorithme de bloc CAL2.	62
4.13 La fenêtre graphique	63
4.14 La vue synoptique du four de régénération	64
4.15 Variation de l'ouverture de la vanne.	65
4.16 Réponse indicielle de la boucle ouverte « interne »	66
4.17 Méthode d'identification de 1er ordre.	66
4.18 la réponse indicielle de la boucle interne.	67
4.19 Le mode du régulateur TIC.	68
4.20 Réponse indicielle de la boucle ouverte « externe ».	69
4.21 Réponse d'un système sans dépassement.	69
4.22 la réponse indicielle de la boucle externe.	71
4.23 Choix du type de régulation.	72
5.1 Schéma explicatif de la boucle en cascade étudiée.	76
5.2 Schéma bloc de la boucle cascade (température-pression).	77
5.3 la réponse indicielle de la boucle de régulation classique.	78

5.4 Réponse indicielle du modèle de référence.	79
5.5 Réponse du modèle de référence où l'entrée est un signal carré.	80
5.6 Réponse du modèle de référence où l'entrée est un signal sinusoidal.	80
5.7 Schéma de la commande adaptative directe implémenté sous Matlab.	83
5.8 Résultats de l'application de la commande adaptative MRAC sur le système.	84

# Liste des tableaux

2.1	cycle de d'adsorption et régénération . . . . .	21
2.2	Spécifications de l'équipement G1X-UF-24-01 . . . . .	22
2.3	Spécifications de l'équipement G1X-GC-24-01 . . . . .	22
2.4	Spécifications de l'équipement G1X-VD-23-02 . . . . .	22
4.1	Les détails des blocs PID utilisés. . . . .	42
4.2	Coefficients de la méthode de Strejc. . . . .	47
4.3	Les méthodes de calcul des paramètres des régulateurs. . . . .	49
5.1	Les performances de la boucle de régulation classique. . . . .	54
5.2	Les performances de la boucle de régulation classique. . . . .	58

# Liste des sigles et acronymes

<b>MRAC</b>	<i>Commande adaptative avec modèle de référence.</i>
<b>PID</b>	<i>Proportionnelle-intégrale-dérivée</i>
<b>SAMR</b>	<i>Système adaptatif à modèle de référence.</i>
<b>ZCINA</b>	<i>Nouvelle zone centre industriel Naili Abdelhalim</i>
<b>GPL</b>	<i>Gaz pétrole liquifié</i>
<b>LDHP</b>	<i>Ligne directe haute pression</i>
<b>CINA</b>	<i>Centre industriel Naili Abdelhalim</i>
<b>CIS</b>	<i>centre industriel saharien</i>
<b>HMD</b>	<i>Hassi messaoud</i>
<b>CMS</b>	<i>Content management system ou un système de gestion de contenu</i>
<b>CP</b>	<i>Control processor</i>
<b>CPU</b>	<i>Central Processing Unit</i>
<b>DCS</b>	<i>Distributed Control system ou système d'aquisition des données.</i>
<b>EWS</b>	<i>Engineering work station.</i>
<b>FCS</b>	<i>Field control station</i>
<b>FCU</b>	<i>Field control unit</i>
<b>HIS</b>	<i>Human interface machine</i>
<b>TCP</b>	<i>Transmission Control Protocol</i>
<b>RIO</b>	<i>Remote input output</i>

# Introduction générale

La régulation est devenue indispensable dans les unités industrielles, notamment au sein du complexe GPL ZCINA situé à Hassi Messaoud. Ce complexe fait face à des procédés modernes caractérisés par des débits élevés, des vitesses fluides importantes et des paramètres spécifiés avec une tolérance très faible. Les paramètres à réguler sont multiples, tels que la température, le débit, le niveau, etc. Traditionnellement, les régulateurs les plus utilisés sont le P, le PI et le PID, ce dernier étant privilégié pour sa simplicité et son efficacité. [1] Cependant, lorsque les paramètres du système à réguler varient dans une large plage, les méthodes classiques de l'automatique montrent leurs limites en termes de stabilisation et de performances. Grâce aux avancées des calculateurs numériques, de nouvelles approches de commande ont émergé, parmi lesquelles figurent la commande adaptative et la commande prédictive. Ces approches offrent la possibilité d'obtenir des performances satisfaisantes malgré la présence d'incertitudes. [2]

Dans le cadre de notre étude, nous avons travaillé sur l'optimisation de la régulation d'un four de régénération dans l'unité de déshydratation de ZCINA. Pour ce faire, nous avons utilisé les outils de simulation Centum VP afin d'identifier la boucle en cascade existante. Par la suite, nous avons appliqué la commande adaptative MRAC (approche directe) basée sur la règle de MIT en utilisant Matlab. Grâce à cette approche, nous avons pu analyser et évaluer les performances de la commande adaptative sur le four de régénération, en visant une amélioration significative de la régulation de la température et de la pression.

L'organisation de ce mémoire est structurée comme suit :

1. Dans ce premier chapitre, nous fournirons une vue d'ensemble des concepts fondamentaux de la commande adaptative à modèle de référence. Nous expliquerons ses approches, ses méthodes de thèse et ses principes de fonctionnement. Cette compréhension approfondie jettera les bases nécessaires pour la suite de notre étude.
2. Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation de l'unité GPL ZCINA, en expliquant le fonctionnement de l'unité de déshydratation, en soulignant son

---

rôle crucial dans le processus global. Nous examinerons également la section de régénération du four, en analysant les mécanismes de régénération. Cette analyse approfondie nous permettra d'orienter notre recherche pour améliorer cette partie essentielle du processus de déshydratation.

3. Dans ce chapitre, nous allons explorer le système de contrôle distribué (DCS) CENTUM VP utilisé dans l'unité GPL ZCINA. En plus de discuter de son architecture et de sa structure, nous mettrons l'accent sur l'implémentation des algorithmes spécifiques sur la plateforme CENTUM VP. Nous fournirons une description détaillée des fonctionnalités et des capacités de ce système de contrôle avancé.
4. Le quatrième chapitre sera consacré à une étude approfondie de la boucle de régulation du four de l'unité GPL ZCINA. Nous procéderons à l'identification précise du procédé et à l'analyse des caractéristiques spécifiques de la boucle.
5. Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de la simulation MATLAB de la boucle de régulation du four de régénération. Nous avons implémenté une commande adaptative basée sur la règle de MIT, qui utilise un modèle de référence pour ajuster les paramètres du régulateur. Nous avons comparé les performances de cette commande avec celles d'une commande classique, en utilisant des variations des paramètres du procédé.

En conclusion, nous récapitulerons les principaux résultats et conclusions de notre étude. Nous mettrons en évidence les perspectives et les recommandations pour des améliorations futures dans la régulation du four de régénération au sein de l'unité GPL ZCINA. L'objectif final est d'optimiser les performances de la régulation tout en garantissant une stabilité et une efficacité accrues du processus.

# Chapitre 1

## Des généralités sur la commande adaptative à modèle de référence

## 1.1 Introduction

La commande adaptative a connu un essor considérable des dernières années en raison de son importance dans la résolution des problèmes de contrôle de systèmes dynamiques complexes et incertains.

Parmi les différentes approches de commande adaptative, la commande adaptative modèle de référence (MRAC) a émergé comme une méthode prometteuse, offrant des performances élevées et une robustesse face aux variations imprévisibles des systèmes.

Ce chapitre constitue une introduction à la commande adaptative MRAC et a pour objectif de fournir une base solide pour la compréhension et l'application de cette technique de contrôle avancée. Nous aborderons également les principales stratégies de conception utilisées dans la mise en œuvre de la commande adaptative MRAC, notamment les lois d'ajustement des paramètres.

## 1.2 Les techniques de commande (régulation)

On appelle régulateur ou (contrôleur) la partie d'un système de commande comparant le signal de mesure  $y(t)$  avec le signal de consigne  $r(t)$  afin de générer un signal de commande  $u(t)$ . [3]

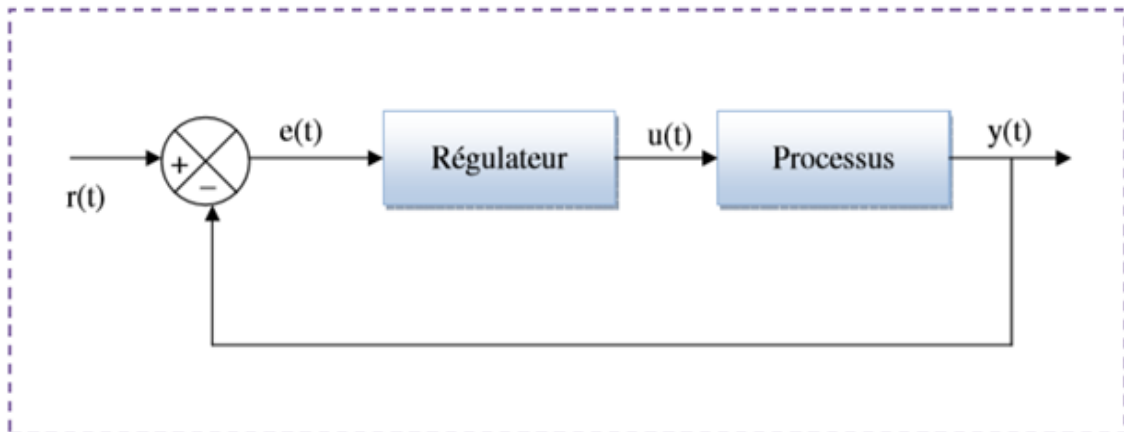


FIGURE 1.1 – Schéma fonctionnel d'un processus réglé.

On peut classer les régulateurs selon deux grandes familles :

### 1.2.1 Les régulateurs classiques

Les régulateurs classiques, tels que les régulateurs proportionnels-intégraux-dérivés (PID) ou les régulateurs à retard de phase, sont largement utilisés dans les systèmes de contrôle. Ils offrent une mise en œuvre simple et sont bien adaptés aux systèmes linéaires et peu complexes. Les régulateurs classiques sont généralement basés sur des modèles mathématiques simplifiés du système à contrôler. Ils sont conçus pour atteindre un équilibre stable entre la précision de suivi de référence, la réjection des perturbations et la stabilité du système.

### 1.2.2 Les régulateurs avancés

Les régulateurs de type avancé sont des régulateurs qui vont au-delà des approches classiques pour offrir des fonctionnalités supplémentaires, une plus grande précision, une meilleure robustesse et une meilleure adaptation aux variations du système. Ces régulateurs utilisent des techniques plus avancées et sophistiquées, souvent basées sur des modèles internes du système, pour générer les signaux de commande. Ils peuvent prendre en compte des caractéristiques non linéaires, des incertitudes, des retards, des contraintes et d'autres facteurs spécifiques du système à contrôler.

Les régulateurs avancés se distinguent également par leur capacité à optimiser des critères de performances spécifiques, tels que la réduction du temps de réponse, l'amélioration de la précision, la minimisation de l'effort de contrôle ou la gestion des contraintes du système. Ils peuvent utiliser des algorithmes de contrôle plus sophistiqués, tels que la commande prédictive, la commande adaptative, la commande floue, la commande optimale, la commande par mode glissant.

## 1.3 La commande non adaptative (les régulateurs classiques)

### 1.3.1 Historique

L'histoire des régulateurs est déjà longue il est peut-être intéressant de rappeler quelques étapes importantes de développement. Les premiers régulateurs de type centrifuge apparaissent vers 1750 pour régler la vitesse de moulins à vent, suivi en 1788 du fameux contrôleur de vitesse de machine à vapeur de James Watt [4] ont proposé deux démarches permettant de trouver facilement les paramètres optimaux pour une installation donnée. En quelques années, les propositions de Ziegler et Nichols [5] ont été adaptées ou modifiées selon les besoins.

Au début des années 1990 et dans le but de fournir des règles d'ajustement simples mais plus performantes que celles de Ziegler et Nichols, Astrom et ces collaborateurs ont analysé le comportement dynamique d'un grand nombre de processus. Cette analyse a conduit à l'établissement de tableaux servant aux calculs P.I.D à partir de mesures simples. Ainsi diverses méthodes de calcul des paramètres des régulateurs PID et une méthode d'auto ajustable sont proposées par Astrom et Hagglund. [6]

Les variations paramétriques d'un processus réel dans le temps suivant les changements de l'environnement sont influées par la régulation du système bouclé avec des contrôleurs à paramètres fixe. Dans ces conditions, il faut trouver un régulateur qu'il est le pouvoir de l'adaptation devant ces variations, L'adaptation d'un système à son environnement réside dans la possibilité de réagir face aux variations que peut subir cet environnement. Alors pour obtenir des meilleurs résultats, une méthode a été lancée et développée en utilisant les régulateurs avec des paramètres variantes. Cette technique est dite la commande adaptative.

## 1.4 La commande adaptative

### 1.4.1 Historique

La commande adaptative a débuté principalement dans les années 50, comme solution pour contrôler les processus fonctionnant sous des conditions et environnements variables dans le temps. Dans les années 60, plusieurs contributions de la théorie de commande ont été introduites dans le développement de la commande adaptative, comme par exemple l'analyse dans l'espace d'état, théorie de stabilité, théorie de la commande stochastique et programmation dynamique. Au début des années 70, les différentes méthodes d'estimation ont été introduites dans la commande adaptative. La théorie de stabilité de la commande adaptative a commencé au début des années 80, en parallèle avec l'évolution rapide en microélectronique qui a permis d'implémenter des régulateurs adaptatifs sur des systèmes à microprocesseurs. [7]

### 1.4.2 Définition

La commande adaptative est un ensemble de techniques destinées à ajuster automatiquement les paramètres du correcteur des systèmes de commande lorsque les caractéristiques du processus et les perturbations sont inconnues ou varient dans le temps. Son utilisation requiert la mesure d'un certain indice de performance qui

est comparé à l'indice désiré. Suivant l'écart obtenu, le mécanisme d'adaptation (algorithme d'adaptation) modifie les paramètres du correcteur ajustable afin de maintenir l'indice de performance à la valeur désirée.

En effet un système de commande adaptative est composé de deux boucles :

#### 1.4.2.1 Une boucle de contre-réaction conventionnelle

Cette boucle permet de réduire l'effet des perturbations agissant sur les variables à réguler mais ses performances dynamiques vont varier sous l'effet des perturbations paramétriques. [8]

#### 1.4.2.2 Une boucle d'adaptation des paramètres du régulateur

Cette boucle permet de de maintenir les performances du système en présence des variations des paramètres du procédé. Cette boucle constituée d'un algorithme d'adaptation paramétrique et une méthode de la synthèse dans le cas d'une commande adaptative indirecte. [9,10]

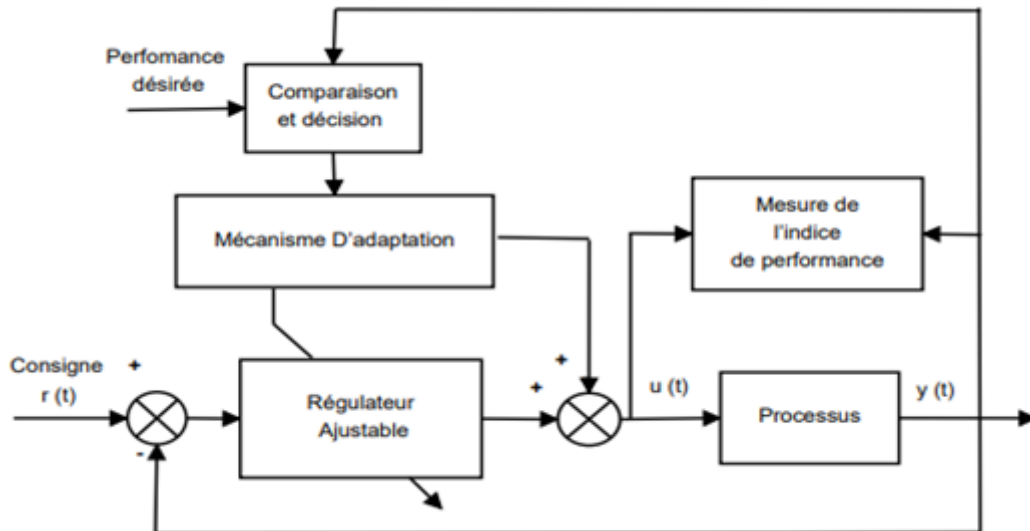


FIGURE 1.2 – Système de commande adaptative.

### 1.4.3 Principe général

L'idée de base de la commande adaptative est de trouver un moyen pour faire ajuster les paramètres du contrôleur lorsque le système à commander subit des changements (autrement dit, le contrôleur doit s'adapter aux variations du système), il consiste également à calculer la commande en fonction des mesures et des erreurs de contrôle. Cela permet d'obtenir des performances optimales et une adaptation continue aux variations du système. [11]

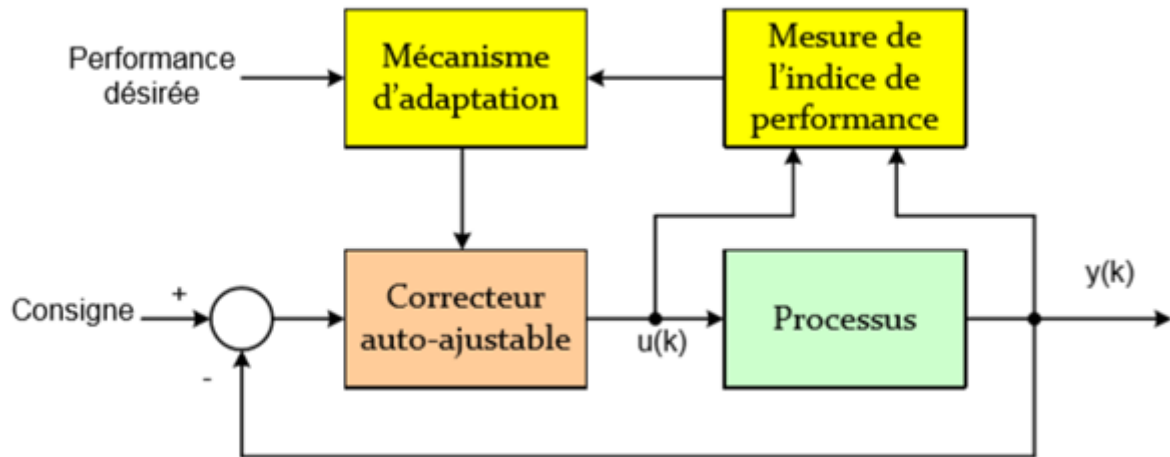


FIGURE 1.3 – Principe des systèmes de commande adaptative.

#### 1.4.4 les tâches typiques de la commande adaptative

les systèmes de commande adaptative (CA) peuvent réaliser quelques tâches typiques à savoir :

- Ajustement automatique des régulateurs à la mise en œuvre.
- Détermination automatique des paramètres optimaux des régulateurs dans les différents points de fonctionnement du procédé,
- maintien des performances du système de CA quand les caractéristiques du procédé changent,
- détection des variations anormales des caractéristiques des procédés (ces variations se reflètent dans les valeurs des paramètres fournis par l'algorithme d'adaptation paramétrique),
- possibilité de mise en œuvre des régulateurs plus complexes et plus performants que le P.I.D (ceci comme conséquence de l'ajustement automatique des paramètres du régulateur),
- conception de nouveaux procédés technologiques utilisant des systèmes de CA qui assure le bon fonctionnement du procédé. [9, 10]

## 1.5 Commande conventionnelle à contre-réaction et la commande adaptative (similarités et différences)

La commande conventionnelle et la commande adaptative sont deux approches utilisées dans le domaine de l'automatisation et du contrôle des systèmes. [12]

La commande conventionnelle repose sur une connaissance précise du modèle mathématique du système à contrôler. Cette approche exige une compréhension complète des équations dynamiques et des paramètres du système. En utilisant ces informations, des algorithmes de commande préétablis sont développés pour générer les signaux de commande appropriés. la commande conventionnelle est souvent efficace lorsque le modèle est bien connu et que les conditions de fonctionnement sont stables. Elle peut offrir une performance rapide et réactive, mais elle est également limitée par sa dépendance à la précision du modèle. Toute variation ou incertitude dans le modèle peut entraîner des performances suboptimales.

La commande adaptative se distingue par sa capacité à s'ajuster aux variations et aux incertitudes du système. Contrairement à la commande conventionnelle, elle peut fonctionner avec une connaissance limitée ou même sans modèle préalable. la commande adaptative est conçue pour identifier et ajuster les paramètres de commande en temps réel, en utilisant les mesures des capteurs pour estimer les caractéristiques du système. Cette approche permet d'obtenir une performance optimale malgré les variations du système, assurant ainsi une stabilité et une robustesse améliorée. Toutefois, la commande adaptative peut-être plus lente que la commande conventionnelle en raison de la nécessité d'effectuer des ajustements en temps réel.

## 1.6 Classification des approches de la commande adaptative

La théorie de la commande adaptative compte actuellement un grand nombre d'approches et de méthodes, et plusieurs applications industrielles ont été mis en œuvre.

Les algorithmes de la commande adaptative peuvent être classés en deux classes :

### 1.6.1 Commande adaptative directe

L'idée consiste à calculer les paramètres du régulateur, mais sans identifier explicitement les paramètres du système, donc en une seule étape, justifiant ainsi la thermologie de commande directe. Cette technique induit souvent des algorithmes plus rapides et favorise une application en temps réel. [12]

Parmi ces commandes, on trouve le MRAC proposé par Whitaker en 1958 et sa première application remonte au début des années 70. La figure (4) illustre ce type de commande (présente un schéma descriptif du MRAC), pour laquelle les performances de la boucle fermée sont spécifiées par l'intermédiaire d'un modèle de référence choisie par l'utilisateur de façon cohérente avec les possibilités intrinsèques du système. [12]

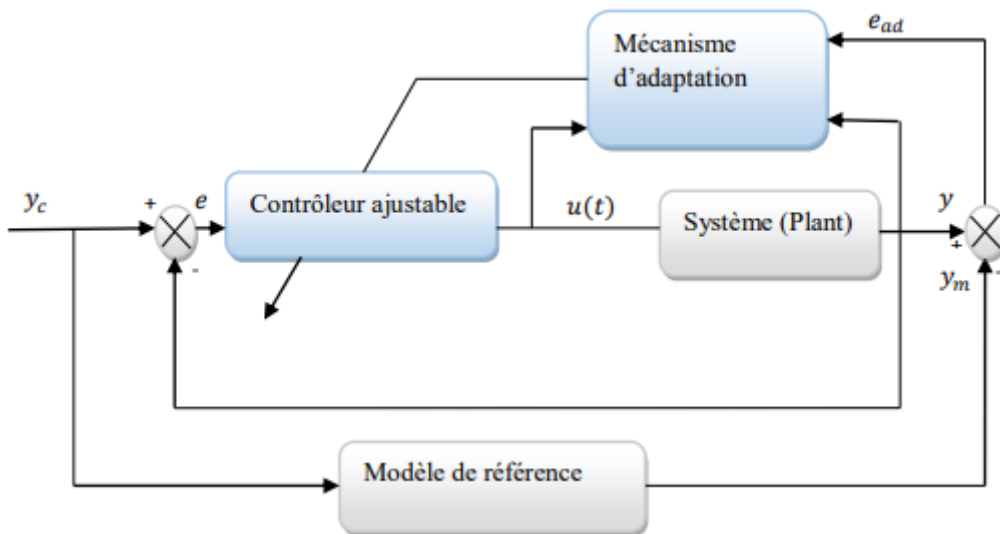


FIGURE 1.4 – La commande adaptative directe.

Avec

- $y_c$  : Représente la référence.
- $y_m$  : Sortie du modèle de référence (désirée).
- $e$  : Erreur entre sortie du système et celle désirée.

### 1.6.2 Commande adaptative indirecte

Une commande adaptative est dite indirecte si les paramètres du contrôleur sont adaptés en deux étapes :

Etape 1 : Estimation des paramètres du modèle du procédé.

Etape 2 : Calcul des paramètres du contrôleur à partir des paramètres estimés.

[13, 14]

La technique élaborant un régulateur auto-ajustable (Self Tuning Regulator STR) est une commande adaptative indirecte. Elle est initialement proposée par Kalman en 1958 et la première application industrielle est concrétisée au début des années 70, le principe cette technique peut être schématisé par :

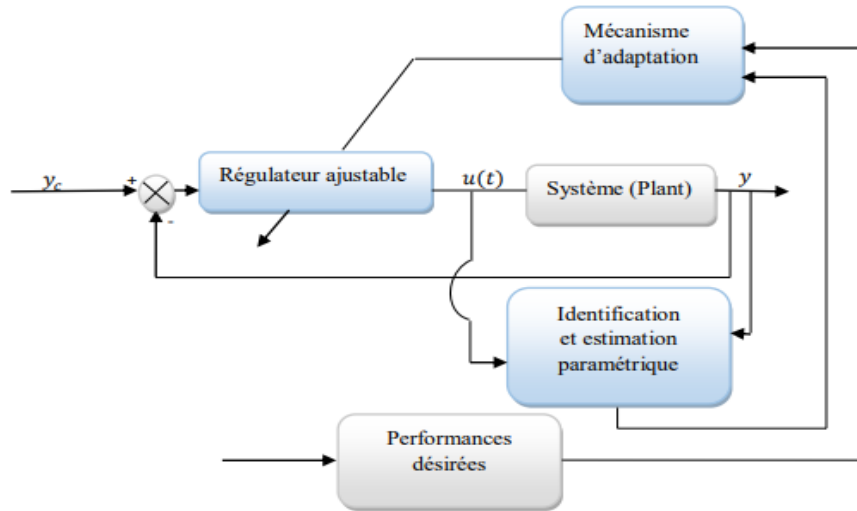


FIGURE 1.5 – Structure de la commande adaptative indirecte.

## 1.7 Types de Commande adaptative

Il existe principalement trois types d'approches de commande adaptatives :

### 1.7.1 Commande adaptative à Modèle De Référence (MRAC)

La commande adaptative directe à modèle de référence est l'une des approches de commande adaptative les plus utilisées dont laquelle les performances désirées sont spécifiées dans un modèle qui peut être imposé en boucle fermée en utilisant un correcteur. Dans ce cas, on parle d'un modèle de référence. Ce modèle donne une indication sur comment la sortie du système doit idéalement répondre à un signal de commande.

Cette technique consiste à estimer et ajuster directement les paramètres du régulateur en fonction de l'erreur entre le procédé et le modèle de référence. Ses principes de base sont les suivants :

- 1 La sortie du système doit suivre la trajectoire de référence.
- 2 L'erreur de poursuite  $e(t) = y(t) - y_m(t)$  représente une déviation de la sortie du système par rapport à la sortie du modèle de référence.

- 3 Le système en boucle fermée est basé sur une loi de commande par feedback.
- 4 La commande comporte un contrôleur et un mécanisme d'ajustement.
- 5 Le mécanisme d'ajustement génère des estimés des paramètres du contrôleur.
- 6 La synthèse du contrôleur comporte la conception de la loi de commande et le mécanisme d'adaptation. [8]

La structure d'un système d'une commande adaptative directe à modèle de référence est donnée par la figure (6) :

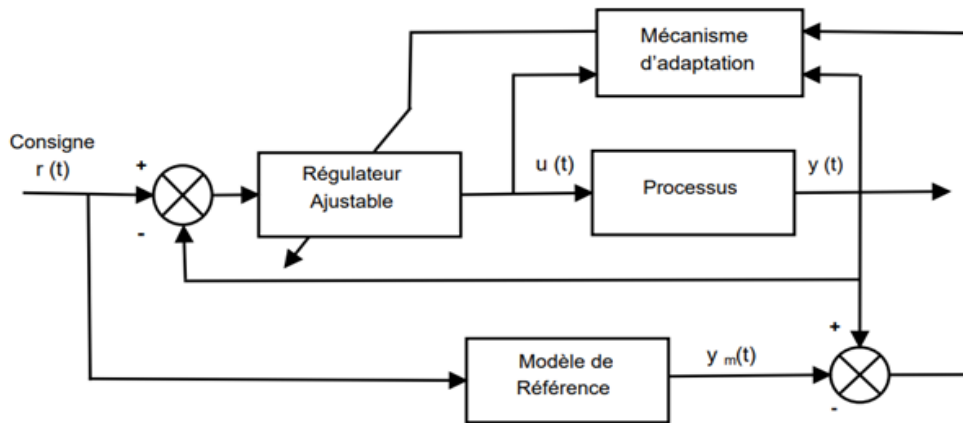


FIGURE 1.6 – Schéma-bloc d'un Système Adaptatif à Modèle de Référence (SAMR).

Deux approches différentes sont appliquées dans la commande adaptative directe à modèle de référence : la commande adaptative MRAC indirecte et la commande adaptative MRAC directe. Dans ces deux formulations de MRAC, l'approche indirecte a besoin d'un modèle d'identification ainsi que d'un modèle de référence, alors que le modèle direct n'utilise que le modèle de référence. [15]

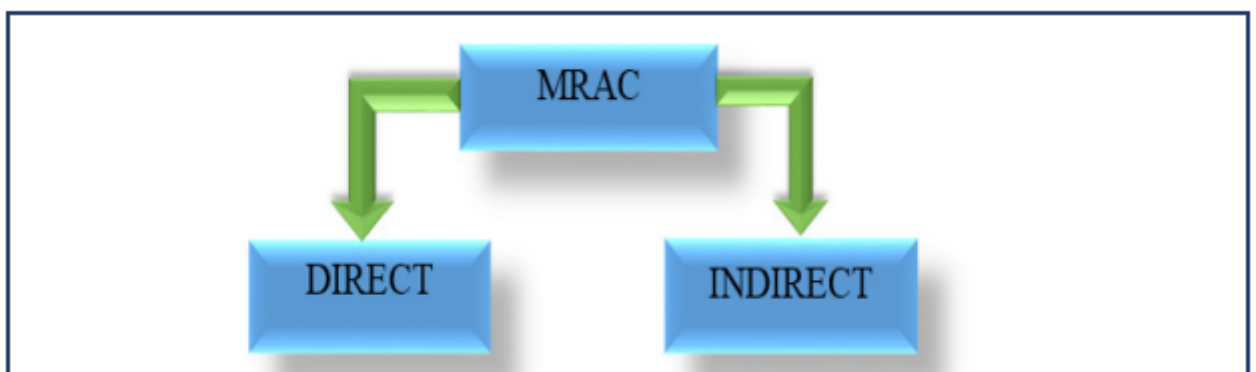


FIGURE 1.7 – les approches de la commande adaptative MRAC.

La commande adaptative à référence de modèle directe se compose des éléments suivants : modèle de référence, de la plante, du contrôleur et du mécanisme de d'ajustement. La différence entre la sortie du procédé et la sortie du modèle de référence

est une mesure de la différence entre la performance réelle et la performance désirée. Cette information est utilisée par le mécanisme d'adaptation qui reçoit aussi d'autres informations (entrée de commande et la sortie du procédé) pour ajuster automatiquement les paramètres du régulateur. [9]

### 1.7.1.1 Méthodes de synthèse

Pour concevoir un mécanisme d'ajustement qui nous aide à calculer les paramètres de contrôle appropriés, on utilise deux méthodes :

- Méthode basée sur la fonction du Lyapunov.
- Méthode basée sur l'algorithme du gradient (ou règle MIT). [8]

### 1.7.1.2 Synthèse de MRAC par l'approche de gradient (MIT)

La loi de MIT est l'approche originale pour la commande adaptative directe à modèle de référence. Pour appliquer la loi MIT, on considère un système en boucle fermée dans lequel le régulateur possède un vecteur des paramètres  $K$ , et la réponse désirée en boucle fermée est spécifiée par la sortie de modèle de référence  $y_m$ . [8]

Généralement pour appliquer la méthode du gradient (règle MIT), il faut le mettre sous forme d'un problème d'optimisation où les variables de décision sont les paramètres du régulateur. L'ajustement des paramètres du régulateur se fait d'une manière à minimiser une fonction de coût quadratique définie par :

$$J(K) = \frac{1}{2}e^{2t} \quad (1.1)$$

Avec :  $e(t) = y(t) - y_m(t)$  est l'erreur de poursuite (l'écart entre la sortie du procédé et la sortie du modèle de référence).

La résolution de ce problème se fait par l'utilisation de l'algorithme de gradient :

$$\dot{K}(t) = -\lambda \frac{dJ(K)}{dK} \quad (1.2)$$

Où  $\lambda$  est un paramètre petit.

On a :

$$\begin{aligned} \frac{dJ(K)}{dK} &= \frac{d}{dK} \left( \frac{1}{2}e^{2t} \right) \\ \frac{dJ(K)}{dK} &= e(t) \frac{de(t)}{dK} \end{aligned} \quad (1.3)$$

Comme c'est juste la sortie du système qui dépend des paramètres du régulateur  $K$  alors :

$$\frac{de(t)}{dK} = \frac{d}{dK}(y(t) - y_m(t)) \quad (1.4)$$

$$\frac{de(t)}{dK} = \frac{dy(t)}{dK} \quad (1.5)$$

Ce qui implique

$$\dot{K}(t) = \lambda e(t) \frac{de(t)}{dK} \quad (1.6)$$

où  $K = [K_1, K_2, \dots, K_n]^T$  est le vecteur des paramètres du régulateur.

$$\frac{dy(t)}{dK} = \left[ \frac{dy(t)}{dK_1}, \frac{dy(t)}{dK_2}, \dots, \frac{dy(t)}{dK_n} \right]^T$$

où  $\frac{dy(t)}{dK_i}$ , pour  $i = 1, 2, \dots, n$ , représente la fonction de sensibilité.

### 1.7.1.3 Synthèse de MRAC par l'approche de la théorie de la stabilité de Lyapunov

Dans le cas de la commande adaptative avec modèle de référence, l'objectif est de garantir que l'expression de l'erreur de poursuite  $e(t)$  converge vers zéro lorsque  $t \rightarrow \infty$ , c'est-à-dire  $\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0$ . Ce qui implique que la sortie du système en boucle fermée converge vers la sortie du modèle de référence, c'est-à-dire  $\lim_{t \rightarrow \infty} (y(t) - y_m(t)) = 0$ . L'analyse de la convergence se fait par l'utilisation de la fonction de Lyapunov et le lemme de Barbalat. 16

L'idée principale de l'utilisation de la fonction de Lyapunov dans la commande adaptative, consiste à calculer une loi de commande et une loi de mise à jour des paramètres, afin de garantir que la dérivée d'une certaine fonction, définie positive et bien choisie, est non positive.

L'approche consiste donc à trouver un triplé (fonction de Lyapunov, loi de commande, loi d'adaptation) qui répond aux spécifications. Les tâches s'effectuent simultanément, et la dynamique de l'estimation est prise en compte et/ou maîtrisée, afin d'éviter tout effet destructeur.

C'est grâce à cette propriété que ce type de méthodes présentes un intérêt pour la commande des systèmes non linéaires. 16

Ainsi, pour concevoir un correcteur adaptatif direct en utilisant la fonction de Lyapunov, les étapes suivantes sont suivies :

- 1 Exprimer le modèle en fonction des paramètres du correcteur  $K$ .
- 2 En supposant que les paramètres du système sont constants, déduire l'estimation de  $\theta$ , c'est-à-dire  $\hat{\theta}$ , en fonction de  $K$  et des paramètres du modèle de référence.
- 3 Déterminer l'équation de l'erreur de poursuite  $e(t) = y(t) - y_m(t)$ .

- 4 Choisissez une fonction de Lyapunov dépendant de l'erreur de poursuite  $e(t)$  et des erreurs d'estimation paramétrique  $\tilde{K}$ .
- 5 Imposer la condition de stabilité. [8]

### 1.7.2 Commande adaptative à Gain Programmé

Cette méthode suppose que les non-linéarités sont connues, car il n'existe pas de correction pour compenser une programmation incorrecte (fonctionnement en boucle ouverte). Elle a cependant l'avantage d'ajuster rapidement les paramètres du correcteur lors de changements rapides de la dynamique du processus. [17]

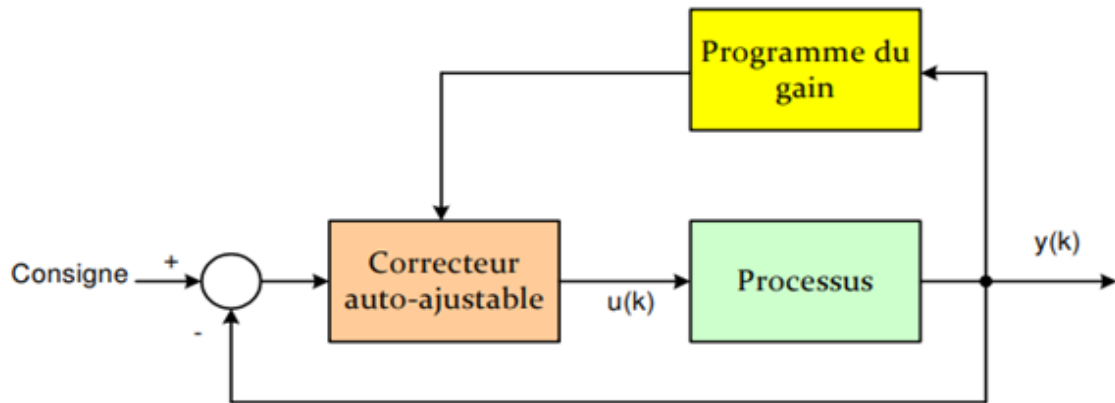


FIGURE 1.8 – Commande adaptative à gain programmé.

### 1.7.3 Commande Auto-Ajustable (STR)

Cette commande comporte une boucle interne, la boucle classique processus-correcteur, et une boucle externe comprenant un estimateur (identification des paramètres du processus) et un mécanisme d'adaptation qui minimise l'erreur entre la sortie du processus et son estimation comme le montre la figure (9). [17]

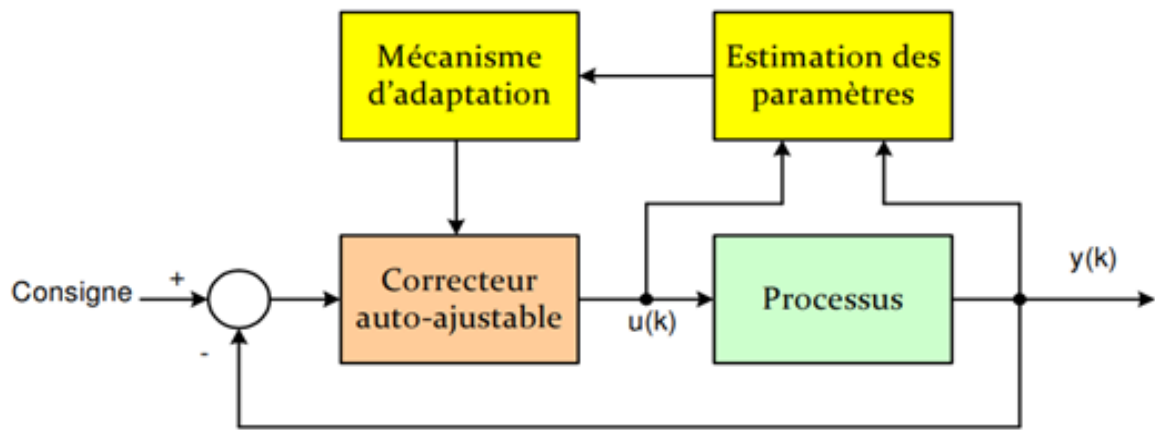


FIGURE 1.9 – Commande Auto-Ajustable (STR).

## 1.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le principe de la commande adaptative à modèle de référence et les différentes approches utilisées pour la synthèse de cette stratégie de commande.

Nous avons axé l'exposé sur l'approche de la règle de MIT qui permet de garantir la convergence de l'erreur de poursuite en boucle fermée. Cette technique sera appliquée, dans ce mémoire, sur le modèle du four derégénération. Ce dernier sera décrit et en détail dans le prochain chapitre.

## Chapitre 2

Présentation de GPL ZCINA : unité  
de déshydratation et four de  
régénération

## 2.1 Introduction

Dans ce chapitre, une présentation du champ de Hassi Messaoud sera présentée, nous illustrons par la suite une description approfondie du procédé de traitement de gaz de l'unité ZCINA (nouvelle Zone Centre Industriel Naili Abdelhalim), Nous nous concentrons particulièrement sur l'unité de déshydratation, en décrivant en détail la section de régénération ainsi que le fonctionnement du four de régénération.

## 2.2 Présentation du champ de Hassi Messaoud

Hassi Messaoud, port du désert se situe à 850 km au Sud- Est d'Alger. Le champ de Hassi Messaoud s'étend sur près de 2200 Km<sup>2</sup>, il est le plus grand gisement de pétrole en Algérie et l'un des champs les plus complexes du monde. Il est caractérisé par sa légèreté de l'huile, la variation de la pression de gisement entre 120 et 400 kg/cm<sup>2</sup>, et une température de l'ordre de 118 °C.

Le gisement pétrolier de Hassi-Messaoud est subdivisé géographiquement en deux zones : nord et sud. Cette répartition remontant à 1956 lors de la découverte et l'exploitation du champ par les deux compagnies françaises CFPA au nord et la SNREPAL au sud, a engendré la création de deux centres de production. Au départ ces centres regroupaient uniquement des installations de séparation, de traitement, de stockage et expédition du pétrole brut, par la suite, d'autres unités de traitement de gaz et de réinjection sont venues s'y greffer pour étendre d'avantage les centres de production. [18]

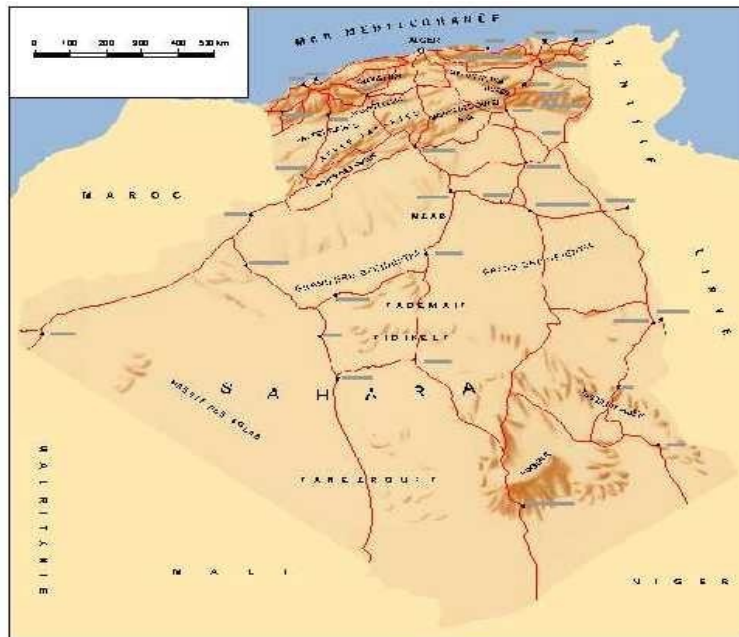


FIGURE 2.1 – Carte géographique du champ de HMD.

## 2.3 Description de l'unité GPL/ LDHP ZCINA

ZCINA (nouvelle Zone Centre Industriel Naili Abdelhalim) est une nouvelle unité d'extraction des liquides du gaz associés et séparation d'huiles sur le champ de Hassi Messaoud nord. Cette nouvelle zone est située à environ 5 km au nord de CINA contenant deux unités : unité de GPL et unité de séparation LDHP. [19]

## 2.4 Description générale de l'usine GPL ZCINA – cahiers des charges

### 2.4.1 Vue générale de GPL ZCINA

#### 2.4.1.1 But de l'usine GPL ZCINA

Sonatrach a décidé de réaliser une nouvelle unité d'extraction des liquides de gaz associés sur le champ de Hassi Messaoud nord, dénommé GPL ZCINA (nouvelle Zone Centre Industriel Naili Abdelhalim). [19]

GPL ZCINA est une unité d'extraction des liquides de gaz associés destinée à recevoir des gaz associés valorisables provenant de l'unité de traitement de brut CINA sur le champ de Hassi Messaoud nord, et à réexpédier en retour à CINA un gaz appauvri et à expédier le GPL extrait du gaz de charge vers une nouvelle station de pompage situé à 17 km (station hors fourniture). Cette nouvelle unité sera située à environ 5 km au nord de CINA.

Une partie du gaz de charge de l'usine GPL peut aussi provenir de l'unité de séparation d'huile LDHP également située à ZCINA. [19]

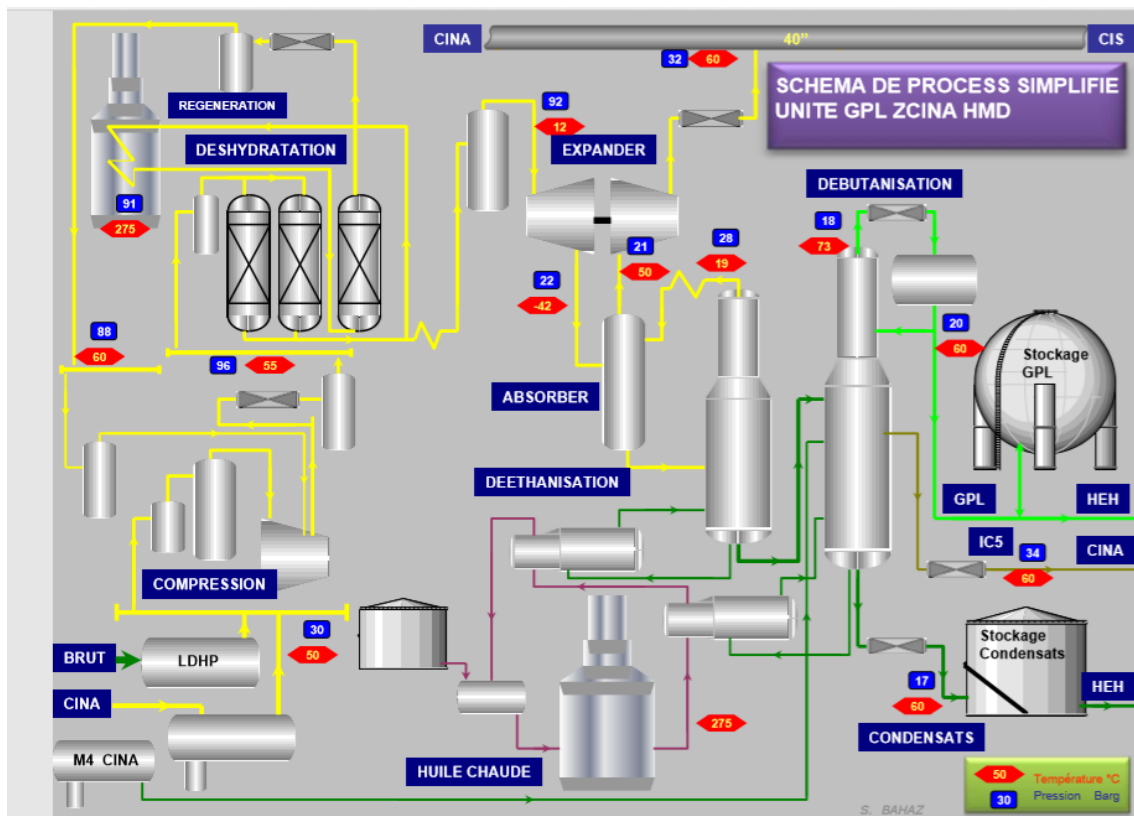


FIGURE 2.2 – Schéma de process simplifié-unité GPL ZCINA HMD-.

[19]

#### 2.4.1.2 Présentation de l'usine GPL ZCINA

Cette usine comprend notamment :

- Des connexions à la ligne existante de 40" de gaz associés de CINA, pour amener le gaz de charge et exporter le gaz résiduel
- Une section de réception du gaz de charge
- Une unité de compression du gaz de charge
- Trois trains de traitement de gaz incluant une section de déshydratation du gaz, une section de récupération des liquides, une section de séparation des GPL et des condensats et un système d'huile chaude.
- Des stockages et une pomperie d'expédition des GPL.
- Des stockages et une pomperie d'expédition des condensats.
- Des systèmes d'utilités.
- Des systèmes de torche.
- Des lignes d'expédition des produits (GPL, condensats).
- Des infrastructures et des bâtiments. [19]

### 2.4.1.3 Schéma bloc de l'usine GPL ZCINA

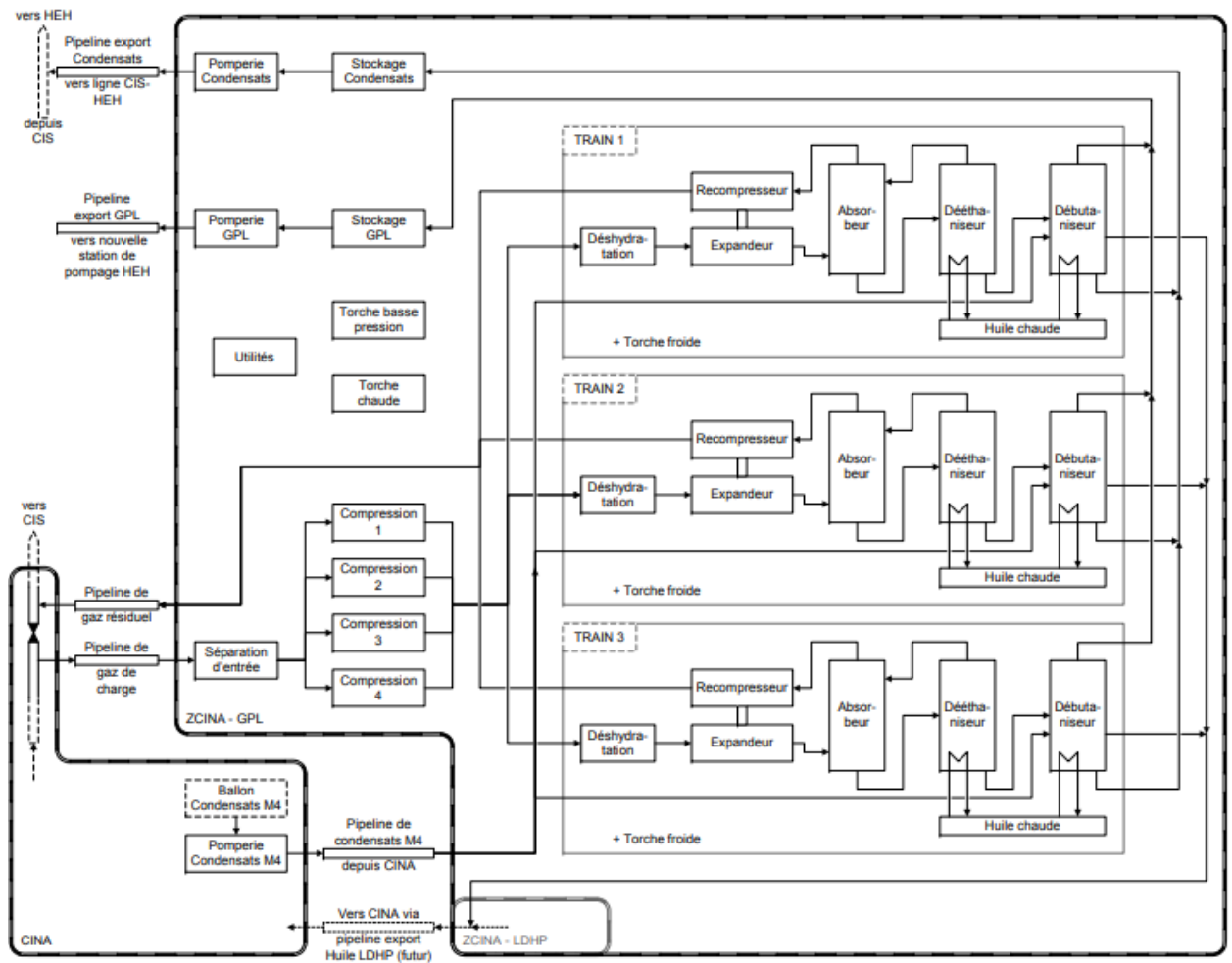


FIGURE 2.3 – schéma de fonctionnement général de l'usine GPL ZCINA.

19

### 2.4.1.4 Description du process

Les installations sont conçues pour récupérer les liquides des gaz associés provenant de l'usine de traitement de brut de CINA et de l'unité de séparation d'huile LDHP. 19

Le traitement du gaz consiste, après réception du gaz depuis la ligne existante allant aux sections de ré-injections de gaz situées au CIS, à comprimer le gaz à haute pression, puis à le déshydrater, pour ensuite le détendre dans un turbo-expandeur. Le gaz obtenu est rectifié dans un absorbeur et le liquide obtenu est strippé dans un dééthániseur pour extraire les liquides contenus dans le gaz de charge. Un train d'échange thermique permet d'intégrer l'ensemble de ces opérations.

Le complément de chaleur nécessaire est fourni par un système d'huile chaude. Le gaz résiduel appauvri est re-comprimé dans la ligne existante de gaz allant aux sections

de réinjections de gaz situées au CIS, via le compresseur à couplage direct avec le turbo-expandeur. Les liquides extraits sont finalement séparés dans un débutaniseur pour obtenir les GPL et condensats aux spécifications voulues. [19]

## 2.4.2 les unités de l'usine GPL ZCINA

l'usine GPL ZCINA comporte deux types des unités :

### 2.4.2.1 Des unités procédé

- Systèmes d'alimentation en gaz :
  - Canalisation de gaz de charge depuis CINA (Unité 27).
  - Séparation d'entrée (Unité 20).
- Compression du gaz de charge (Unité 23).
- Déshydratation du gaz de charge (Unité 24).
- Systèmes d'alimentation en liquides :
  - Import et distribution de condensats M4 de CINA (Unité 37).
- Trains de traitement des liquides (Unité 32) :
  - Section de refroidissement et Section de dééthanisation.
  - Section de débutanisation.
- Stockage et expédition des produits liquides :
  - Stockage, export et recyclage de GPL (Unité 33).
  - Canalisation d'export de GPL (Unité 36).
  - Stockage, export et recyclage des condensats (Unité 35).
  - Canalisation d'export des condensats (Unité 37).
- Système d'expédition des produits gazeux :
  - Canalisation d'export de gaz résiduel (Unité 34).

### 2.4.2.2 Des unités utilités

- Système gaz combustible (Unité 45).
- Système d'huile chaude (Unité 41).
- Systèmes de torche (Unité 43).
- Système d'injection de produits chimiques (Unité 42).
- Air instrument / Air service (Unité 63).
- Azote (Unité 64).

- Drains fermés (Unité 57).
- Drains ouverts (Unité 56).
- Traitement des eaux huileuses (Unité 44).
- Diesel (Unité 62).
- Eau brute et eau potable (Unités 50 et 53). [19]

Dans notre étude, nous avons choisi de nous focaliser sur l'unité de déshydratation dans la zone ZCINA, en accordant une attention particulière à sa section de régénération.

## 2.5 Unité 24 : système de déshydratation du gaz de charge

### 2.5.1 Description du fonctionnement de l'unité de déshydratation

Le gaz de charge comprimé, en provenance des compresseurs de gaz de charge, est transféré vers le collecteur de distribution de gaz de charge qui alimente les trois trains de traitement. [19]

La pression au niveau du collecteur de refoulement des compresseurs de gaz de charge (c'est-à-dire à l'entrée de l'unité de déshydratation de chaque train de traitement) est contrôlée par le système de répartition de charge des expandeurs via le débit "aspiré" par chaque expandeur. C'est l'expandeur qui régit le débit de gaz entrant dans chaque train de traitement. Le système de répartition de charge de l'expandeur permet de contrôler la pression tout en répartissant vers les trains de traitement à disposition le gaz délivré par les unités de compression de gaz de charge. [19]

L'unité de déshydratation de chaque train a pour fonction de diminuer la quantité d'eau dans le gaz d'alimentation (saturé en eau) pour atteindre la valeur spécifiée de 1 ppm vol. en sortie d'unité. L'eau est ôtée du gaz humide pour éviter la formation d'hydrates dans la section froide de l'installation.

**Remarque :** Les trois trains de traitement sont identiques. La description de fonctionnement qui suit s'applique à n'importe lequel des trains de traitement. La valeur de X dans la numérotation des équipements correspond au numéro du train de traitement concerné (X=1 pour le train 1, X=2 pour le train 2 et X=3 pour le train 3). [19]

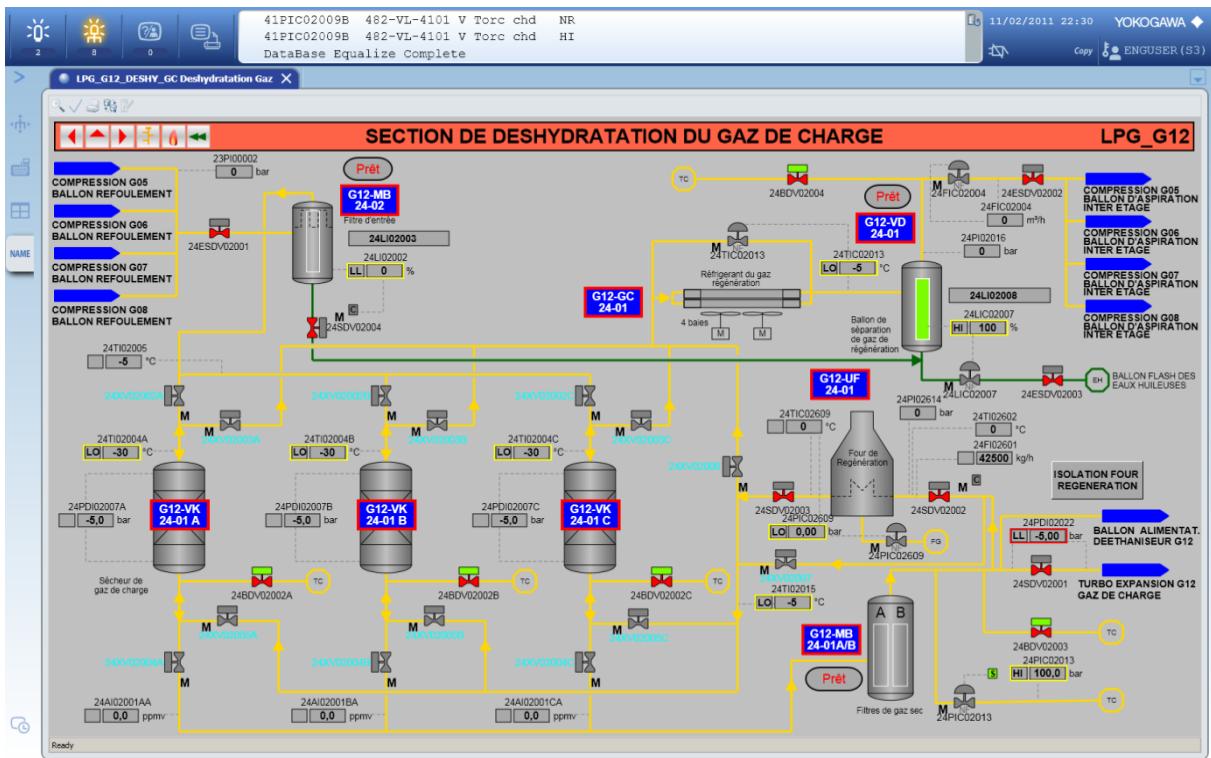


FIGURE 2.4 – L'unité de Déshydratation

19

L'unité de déshydratation contient 2 sections :

1. Sécheur de gaz : adsorption
2. four de gaz de régénération : régénération

## 2.6 Section de régénération

Une partie du gaz sec est utilisée en tant que gaz de régénération. Ce débit constant, correspondant environ à 17 % du débit nominal de gaz déshydraté, est collecté à la sortie des filtres de gaz sec G1X-MB-24-01 A/B. Généralement le cycle de régénération est lent peut prendre plusieurs heures, la régénération vas prendre environs 08 heures pour chaque sécheur. 19

La phase de régénération d'un sécheur est divisée en trois étapes : la chauffe (pendant environ 5 heures), le refroidissement (pendant environ 2 heures) et le repos (pendant environ 40 min). Le passage d'une étape à l'autre nécessite l'ouverture et la fermeture de plusieurs vannes (environ 20 minutes au total).

## 2.6.1 les étapes de la phase de régénération d'un sécheur

### 2.6.1.1 chauffe

Pendant l'étape de chauffe, le gaz sec de régénération est chauffé dans le four G1X-UF-24-01 puis traverse le sécheur en régénération dans le sens ascendant. Une première rampe de montée en température (15 minutes) permet de réchauffer progressivement le tamis moléculaire de la température opératoire du gaz (36 °C en hiver, 56 °C en été) jusqu'à 120 °C, température à laquelle est observé un palier pour assurer une chauffe homogène dans le sécheur pendant 30 minutes. Une seconde rampe de montée en température de 30 minutes est alors réalisée pour porter le gaz à 290 °C. Une étape finale de chauffe à 275 °C minimum (température du tamis) est alors observée pendant 4 heures pour permettre une régénération complète du tamis moléculaire. L'effluent gazeux humide et chaud récupéré en sortie des sécheurs est refroidi à 60 °C par l'aéro-réfrigérant de gaz de régénération G1X-GC-24-01. L'eau condensée est ensuite récupérée dans le séparateur de gaz de régénération G1X-VD-24-01, puis envoyée vers l'unité de traitement des eaux huileuses (sous contrôle de niveau dans le séparateur). Le gaz de régénération est envoyé sur le collecteur commun de gaz de régénération qui alimente l'inter-étage des compresseurs de gaz de charge G05/G06/G07/G08-KA-23-01 (via les ballons d'aspiration inter-étage G05/G06/G07/G8-VD-23-03). [19] Le contrôle de la phase de chauffe est entièrement géré par le système de contrôle de la séquence d'adsorption/régénération des sécheurs.

### 2.6.1.2 refroidissement

Lors de l'étape de refroidissement, le gaz de régénération bypassse le système de chauffe (le four est arrêté) et le gaz froid et sec est envoyé à travers le sécheur en régénération pendant 2 heures afin de ramener la température du tamis moléculaire à sa valeur opératoire en phase d'adsorption. A la sortie du sécheur, le gaz de régénération suit le même traitement de refroidissement à 60 °C et séparation que précédemment. [19]

### 2.6.1.3 repos

Pendant l'étape de repos et de permutation des sécheurs, le système de chauffe et les sécheurs sont bypassés et le gaz de régénération est envoyé à l'entrée de l'aéro-réfrigérant G1X-GC-24-01 pour être recyclé vers l'inter-étage des compresseurs de gaz de charge. Il y a ainsi un débit permanent et constant qui retourne à l'inter-étage des compresseurs pour éviter les perturbations. [19]

TABLE 2.1 – cycle de d’adsorption et régénération

Heure	0 à 8	8 à 16	16 à 24
1 <sup>ère</sup> sécheur A	Service	Service	Régénération
2 <sup>ème</sup> sécheur B	Régénération	Service	Service
3 <sup>ème</sup> sécheur C	Service	Régénération	Service

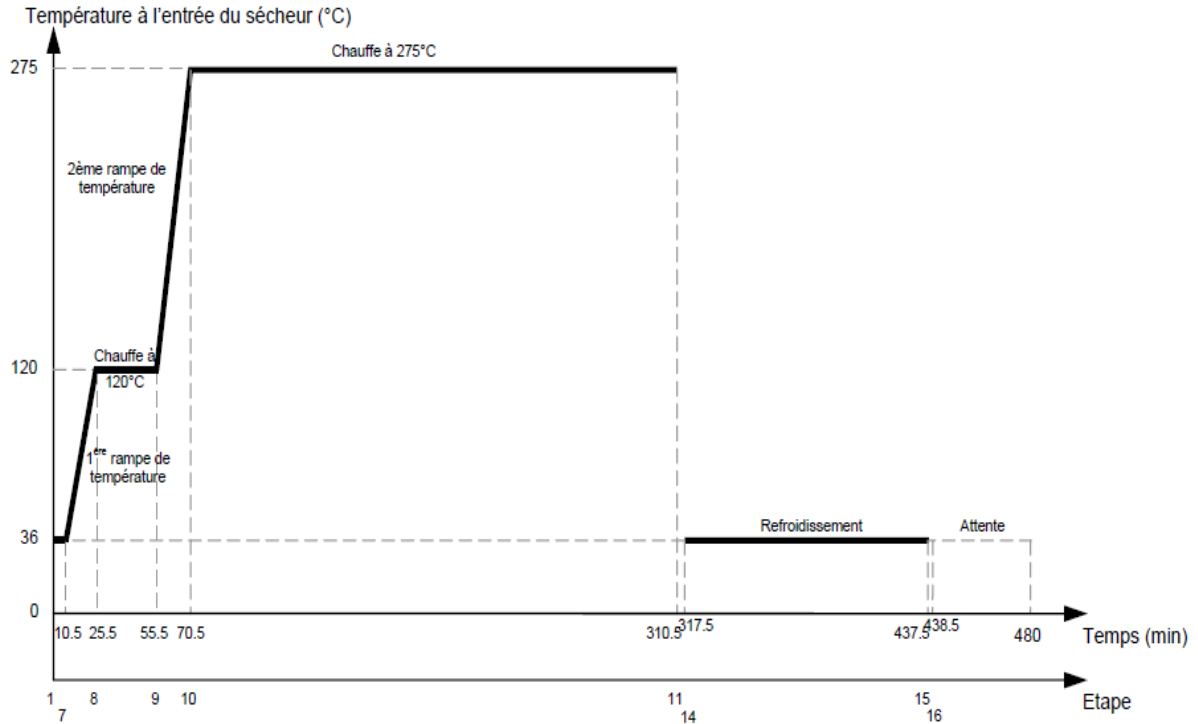


FIGURE 2.5 – Profil de température du gaz en phase de régénération

#### 2.6.1.4 Spécifications des équipements de régénération de gaz

Nous présentons ci-dessous les spécifications de trois équipements de régénération de gaz différents : le four de gaz de régénération, l’aéro-réfrigérant du gaz de régénération et le ballon de séparation du gaz de régénération. [19]

Chaque équipement a des spécifications uniques, telles que la pression et la température de fonctionnement, la chaleur échangée et les dimensions physiques, qui fournissent une vue d’ensemble claire et concise des caractéristiques techniques de chaque équipement :

TABLE 2.2 – Spécifications de l'équipement G1X-UF-24-01

Service	Four de gaz de régénération
Pression opératoire (Bar)	92.4
Température opératoire – Entrée (°C)	56
Température opératoire – Sortie (°C)	275
Pression de calcul(Bar)	106
Température de calcul (min / max)( °C)	-5 / 290
Chaleur échangée (kW)	12 220

TABLE 2.3 – Spécifications de l'équipement G1X-GC-24-01

Service	Aéro-réfrigérant du gaz de régénération
Pression opératoire (Bar)	90.2
Température opératoire – Entrée (°C)	275
Température opératoire – Sortie (°C)	60
Pression de calcul(Bar)	106
Température de calcul (min / max)( °C)	-46 / 290
Chaleur échangée (kW)	10 910

TABLE 2.4 – Spécifications de l'équipement G1X-VD-23-02

Service	Ballon de séparation du gaz de régénération
Pression opératoire (bar)	90.1
Température opératoire (°C)	60
Pression de calcul (bar)	106
Température de calcul (min / max) (°C)	-5 / 290
Dimension (D/L) (mm)	1 100 / 2 300

## 2.7 Four de gaz de régénération

### 2.7.1 Description générale du four

Le four de gaz de régénération joue un rôle très important dans le site ZCINA, de telle sorte que toute la chaîne de production repose sur le bon fonctionnement de celui-ci. 19

Le four est composé de six pilotes, six brûleurs et une purge pour faire purger le gaz restant dans le four de l'opération avant. Les brûleurs sont situés sur la sole du

four réalisent le mélange air-combustible et la combustion.

Les flammes se développent dans la zone de radiation dans laquelle les tubes sont chauffés par rayonnement. au sommet de la zone de radiation, la température des gaz de combustion est de l'ordre de 700 à 800°C et de ce fait le rayonnement est plus faible. [19]

Avant le démarrage de four il faut d'abord purger le gaz qui reste dans le four, et cette opération se fait par démarrage de ventilateur de purge, afin de libérer un volume correspond à 5 fois le volume de la chambre de combustion. En cas d'absence de flux bas bas (LL point de consigne =14.000Kg /h) l'alarme de purge avec débit ininterrompu suffisant sera activée. [19]

Au cours de la séquence de purge est effectué l'essai de l'étanchéité (pour vérifier la pression dans les vannes de combustible) de la vanne du gaz combustible, des vannes d'arrêt du brûleur principal et des pilotes principaux. Purge et l'essai étanchéité complète permet le démarrage des pilotes.

Après 5 min au maximum de la fin de la purge, trois pilotes non adjacents doivent être allumés dans 5 min ; sinon la procédure de démarrage s'arrête et il sera nécessaire de recommencer depuis le début, l'opérateur peut allumer chaque pilote individuel. [19]

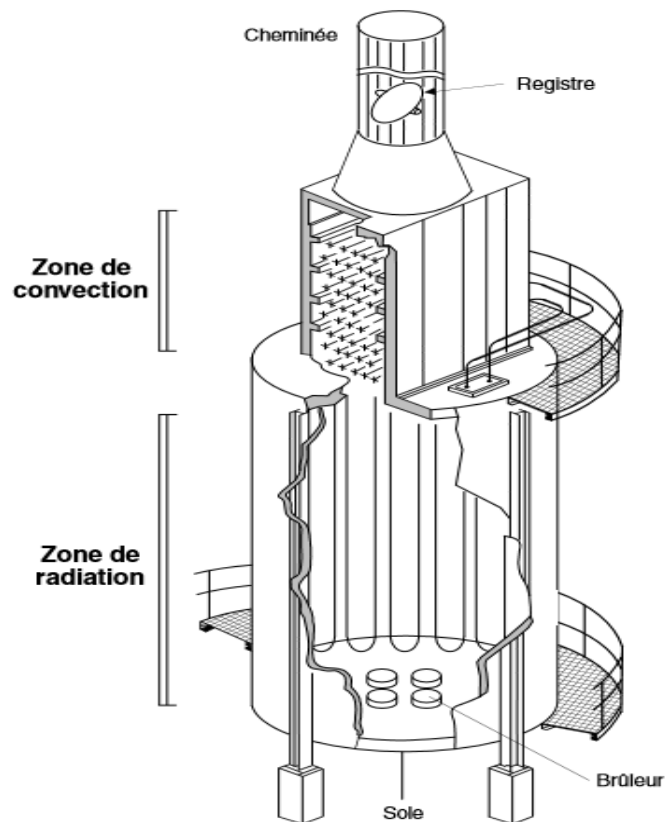


FIGURE 2.6 – La vue écorcher du four.

### 2.7.2 Contrôle des brûleurs et contrôle de la température de sortie du four (24-TIC-0X609) de gaz de régénération G1X-UF-24-01

La gestion du fonctionnement des brûleurs pilotes, des brûleurs principaux, de l'alimentation en gaz combustible et en air comburant, etc., est contrôlée par le Burner Management System (BMS), système de contrôle dédié au four de gaz de régénération G1X-UF-24-01, et situé dans un panneau de contrôle local (UCP) fourni par le Vendeur du four. [19]

En phase d'attente de la séquence de régénération, uniquement les flammes pilotes du four de gaz de régénération (G1X-UF-24-01) sont allumées. Après qu'un sécheur ai été disposé pour régénération, le système de contrôle du four (BMS) reçoit un signal (24-XS-0X667 : « Démarrage automatique des brûleurs ») provenant de la séquence de contrôle des sécheurs de gaz pour donner l'ordre de démarrage des brûleurs principaux. A partir du moment où 3 brûleurs non adjacents sont allumés, la régulation de température est activée (passage en mode auto du 24-TIC-0X609 et en mode cascade du 24-PIC-0X609) : la température en sortie du four pendant

l'étape de chauffage de la phase de régénération est contrôlée par le CMS. [19]

La température en sortie du four de gaz de régénération est mesurée par le transmetteur de température 24-TT-0X609, et régulée par le contrôleur 24-TIC-0X609 qui agit en cascade sur le contrôleur de pression 24-PIC-0X609 permettant de modifier la position de la vanne 24-PV-0X609, et ainsi d'adapter la pression du gaz combustible alimentant les brûleurs du four. Lorsque la température est inférieure au point de consigne, le contrôleur tend à ouvrir la vanne 24-PV-0X609 et lorsque la température est supérieure au point de consigne il tend à fermer cette vanne. [19]

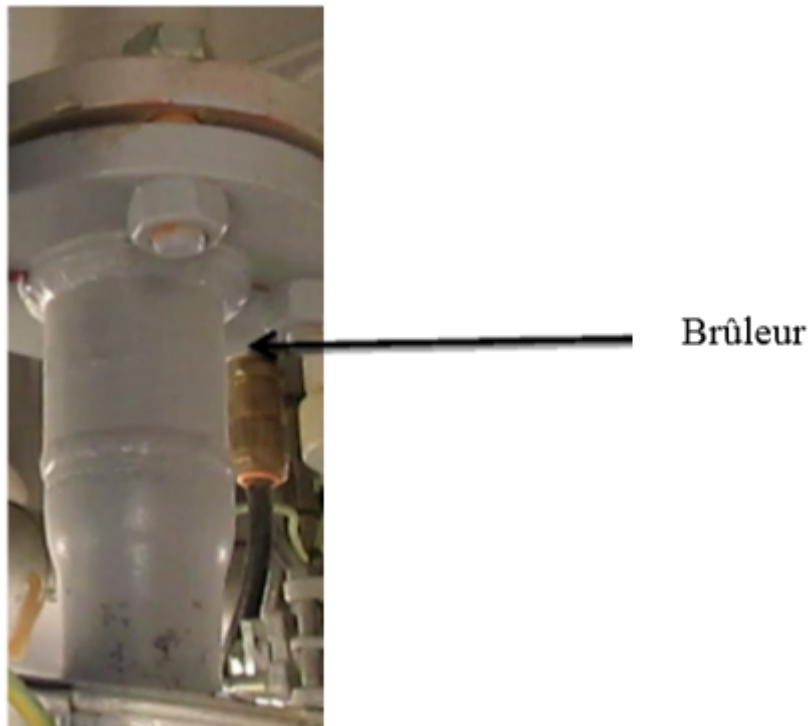


FIGURE 2.7 – Un brûleur

## 2.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit le champ de ZCINA et expliqué aussi le procédé du traitement de gaz, ensuite on a décrit le fonctionnement de four de gaz de régénération, son architecteur et ses caractéristiques principales des équipements. Cette étude nous aidera pour élaborer la configuration matérielle pour la simulation.

# Chapitre 3

## Présentation du DCS CENTUM VP

## 3.1 Introduction

La plupart des procédés industriels requièrent le contrôle de plusieurs paramètres tels que la température, la pression,...etc. Ces paramètres font partie de la boucle de régulation visant à maintenir les niveaux prédéterminés nécessaires au bon fonctionnement du processus. La supervision et la surveillance automatique d'un système industriel consiste essentiellement à recueillir des données en temps réel, pour ensuite en déduire l'évolution du système et de détecter d'éventuels défauts. Il est crucial de présenter de manière adéquate les informations relatives au procédé à l'opérateur. C'est pourquoi la supervision repose sur un modèle préétabli du système, facilitant ainsi la prise de décision éventuelle.

Dans ce chapitre, nous allons décrire le système de contrôle distribué (DCS YOKOGAWA de ZCINA), son architecture générale ainsi que les différents sous systèmes qui y sont associés, et son principe de contrôle. Nous effectuerons une étude détaillée sur les outils de la programmation et la création d'interface de contrôle sous DCS CENTUM VP.

## 3.2 Historique

Le CENTUM, un système de contrôle distribué (DCS), a été introduit sur le marché en 1975 en tant que premier DCS au monde. Au fil des années, plusieurs modifications de modèle ont été apportées. Le premier CENTUM utilisait des microprocesseurs intégrés et permettait le contrôle et la surveillance des processus via des écrans et des claviers. Les modèles ultérieurs, tels que le CENTUM V et le CENTUM-XL, ont été lancés à mesure que les microprocesseurs évoluaient vers une conception 32 bits. En 1993, le CENTUM CS a utilisé le système d'exploitation UNIX pour les stations d'interface humaine, permettant l'échange de données avec des systèmes externes via un réseau local et Ethernet. [20]

Cependant, au fil des années, Microsoft Windows a dépassé UNIX dans le domaine informatique, offrant une architecture plus ouverte. Le CENTUM CS 3000 a été développé pour s'adapter à ces changements. La version la plus récente du système, le CENTUM VP, est la sixième depuis sa création. Plus de 10 000 systèmes CENTUM ont été installés dans le monde depuis 1975, faisant du CENTUM un leader mondial incontesté sur le marché des systèmes de contrôle.

### 3.3 Structure générale d'un DCS

Un système de contrôle distribué (DCS) « Distributed-Control-System », aussi connu sous le nom SNCC « Système Numérique de Control Commande » est une plate-forme pour le contrôle; la gestion et l'automatisation des opérations d'une usine ou d'un processus industriel, réparties, utilisé pour le contrôle des procédés industriels tels que : le Pétrole et gaz, le traitement des eaux, ... en fonction des tâches qui lui ont été confiées. [21]

Le système DCS permet un contrôle et une surveillance modernes en temps réel, des installations existantes, ainsi que des ajouts futurs. Ce système en temps réel nécessite la communication efficace qui permet la transmission des données entre les différents composants du DCS. Les contrôleurs distribués sont connectés à des appareils de terrain et à des PC via des réseaux de communication rapides.

Les appareils de terrain, tels que les capteurs et les actionneurs, sont directement connectés aux modules de contrôle via un bus de communication. Ces modules peuvent communiquer avec des automates programmables ou d'autres contrôleurs tout en interagissant avec des paramètres réels tels que la température et la pression. Chaque module de contrôle contient un microprocesseur pour exécuter les fonctions de contrôle nécessaires, avec des cartes d'entrée/sortie pour la conversion des signaux entre le format analogique des instruments de terrain et le format numérique. [21]

Les contrôleurs sont distribués et connectés aux stations d'exploitation et d'ingénierie, qui sont utilisées pour surveiller, enregistrer, alerter et contrôler les données via un autre bus de communication rapide, tel que le bus de terrain (HART, Profibus, Modbus, etc.).

L'architecture du DCS comprend plusieurs composants, tels que :

- **Poste de maintenance instrumentation PRM :**

Ce poste est équipé d'un logiciel standard Yokogawa qui permet de gérer et d'assurer « en ligne » la maintenance de l'instrumentation équipé du protocole HART ou Foundation Fieldbus.

- **Station d'ingénierie et de travail.**

- **Station d'Information et de Contrôle.**

- **Station de contrôle FCS (Field Control Station).**

- **Stations SCS (Safety Control Stations) :**

Ce sont des stations comme les FCS avec les mêmes composants mais les SCS programmés pour assurer la sécurité de l'usine en gérant les signaux de processus et en envoyant des signaux de sortie aux actionneurs de manière sécurisée.

### 3.4 Principe de contrôle du DCS ZCINA

La conduite d'un procédé s'effectue par l'acquisition des mesures sur le site et la transmission de ces mesures jusqu'à la salle de contrôle où elles seront visualisées par l'opérateur et traitées par le système de contrôle commande qui agit sur le procédé à travers les organes de commande (vanne de régulation). [22]

Les systèmes DCS de ZCINA se composent de :

- **CMS- Système de Contrôle de l'unité (Control and Monitoring System) :**

La gestion du contrôle de la surveillance de l'ensemble des équipements de la production et des utilités est assurée par le CMS. Le CMS est capable de sauvegarder les données lors d'une perte d'alimentation ou lors du débrogage de la carte CPU.

- **SGS- système de sécurité de l'unité :**

Le système de sécurité assure de manière fiable et automatique l'arrêt d'urgence total ou partiel de l'usine, des unités de procédés et des utilités conformément à la philosophie de déclenchement. Il positionne les installations dans un état sain pour préserver la sécurité humaine et matérielle.

Tout redémarrage ne peut être en aucun cas automatique et doit nécessiter une action opérateur pour réarmer les sécurités et repositionner les organes de sécurité (comme par exemple ouverture des SDV, et ESDV et fermeture des BDV).

Il gère toutes les fonctions de sécurité, les fonctions d'ESD et de PSD.

Toutes les informations traitées par le SGS doivent être disponibles à l'opérateur sur le HMI via des vues dédiées à la sécurité.

- **FG – système de détection et protection feu et gaz :**

Le système FG assure la surveillance automatique de fuite de gaz et de présence de feu dans toute l'usine de ZCINA afin d'avertir au plus vite le personnel. Il est en charge d'éventuelles actions correctives automatiques telles que l'isolation électrique ou l'arrêt de l'HVAC.

Toutes les informations traitées par le système FG sont disponible à l'opérateur sur le HMI via des vues dédiées au feu et gaz.

- **AMS- Système de maintenance de l'instrumentation :**

Le système de surveillance/configuration des instruments et organes de contrôle et de sécurité (SDV, ESDV. . .) à l'aide du protocole HART. La connexion peut se faire via des cartes exploitant le Hart ou via des multiplexeurs permettant d'extraire le signal Hart. L'AMS doit également contrôler les tests de course

partielle des vannes de sécurité (type SDV et ESDV).

- **SOE -Système d'enregistrement des événements de sécurité :**

Celui-ci est lié au SGS et permet d'avoir un horodatage précis des événements (pré-alarmes, alarmes, état des organes de sécurité (vanne ouverte, moteur à l'arrêt. . .) afin d'aider au diagnostic à la suite d'un arrêt par sécurité.

Tous les alarmes et événements sont stockés pendant au moins 30 jours et accessibles/ transportables sur des fichiers exploitables par des systèmes d'édition externes. [22]

### 3.5 Système CENTUM VP

Le système numérique de contrôle-commande conçu par YOKOGAWA ouvre une ère nouvelle dans l'implantation des systèmes DCS. Il intègre les dernières technologies sur une architecture ouverte et modulaire tout en garantissant une comptabilité ascendante totale avec les générations précédentes, et une fiabilité légendaire incontestée. Il assure une fiabilité et une adaptabilité grâce à :

- L'association de la souplesse et la fiabilité de ses prédécesseurs de la famille CENTUM à la convivialité d'un PC.
- L'utilisation facile, disposant de fonctions de contrôle supérieures et d'un excellent rapport coût/performance, le système s'intégrera rapidement dans un environnement industriel exigeant. [22]

Le système de contrôle CENTUM VP concrétise le concept de " Solutions Intégrées ", offrant à l'utilisateur une intégration totale du contrôle de procédé et de la gestion de production.

Les fonctions de contrôle de base du CENTUM VP sont une combinaison des modules appelés "blocs fonctionnels" qui constituent les blocs de construction de contrôle minimum, tels qu'un bloc de contrôle PID et un sélecteur. . .etc. Les fonctions de contrôle incluent la fonction de supervision de l'unité en intégrant ces blocs dans un package approprié pour l'unité de contrôle donnée. Ils incluent également la fonction de gestion des processus pour traiter les processus par lots. [22]

## 3.6 Architecture du CENTUM VP

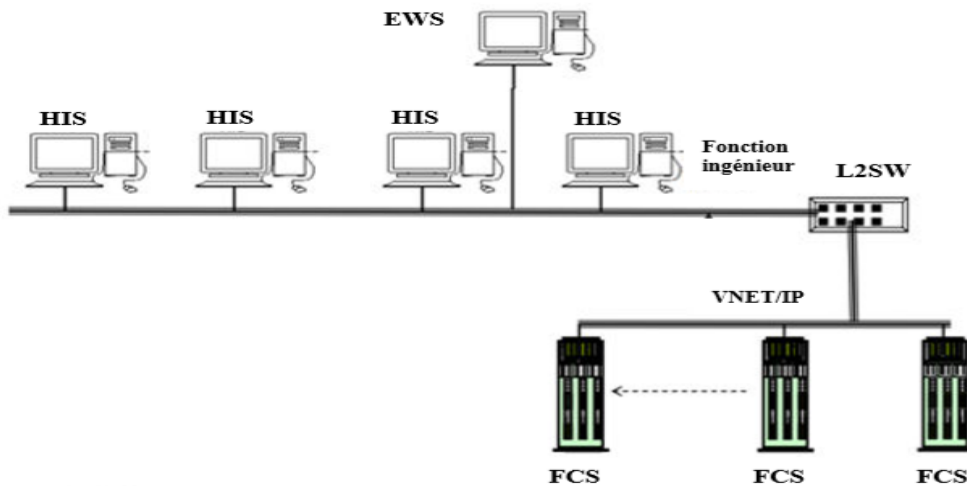


FIGURE 3.1 – Architecture du CENTUM VP.

Les principaux composants de CENTUM VP sont :

### 3.6.1 Station d'ingénierie et de travail

La station d'ingénierie est une console particulière « Ingénierie » dédiée à la maintenance et la programmation du système CMS et HMI tels qu'elle est équipée de tous les éléments hardware et software nécessaire et suffisants pour leurs assurances.

[22]

### 3.6.2 Interface Homme/Machine HMI ou HIS

Il permet d'opérer et d'assurer la maintenance, Interface toute l'usine de ZCINA depuis les stations opérateurs à l'aide de synoptiques. Les stations sont installées en salle de contrôle, au bâtiment de sécurité et au poste pompier. Le système HMI est relié aux systèmes CMS, SGS et FG via un réseau redondant à tolérance de panne (Nommé « Réseau de supervision »), Il n'y a pas d'interface câblé liée au HMI. [22]

La perte de communication avec les systèmes CMS, SGS, FG doit être notifié sur les synoptiques. Toute valeur ou signal non rafraichi doit être indiqué différemment des autres.

### 3.6.3 Station de contrôle FCS (Field Control Station)

Les stations de contrôle FCS sont le cœur du CENTUM VP et de ses fonctions avancées, fiables et performantes, elles intègrent la technologie éprouvée "pair and

spare ” depuis l’unité centrale de la station FCS jusqu’au bus de communication et au module d’entrées/sorties. Cela donne un système extrêmement fiable et très ouvert. Elle offre une disponibilité maximale grâce à une redondance totalement intégrée des unités centrales ainsi que pour les bus de liaison et les cartes d’entrées/sorties. [22]

Les fonctions de la FCS sont : Réaliser les fonctions de contrôle (régulation ou séquentiel), traiter les algorithmes de contrôle, traiter les programmes utilisateur, communiquer avec les modules d’E/Communiquer avec les autres stations du système et les sous-systèmes. [22]

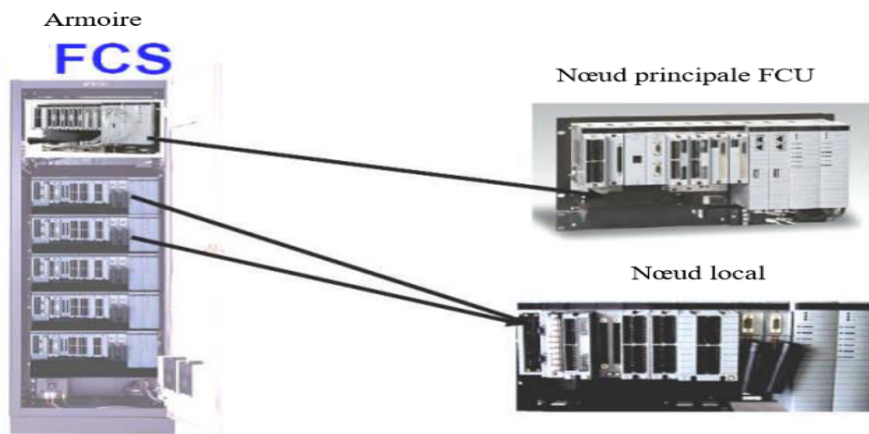


FIGURE 3.2 – Armoire FCS.

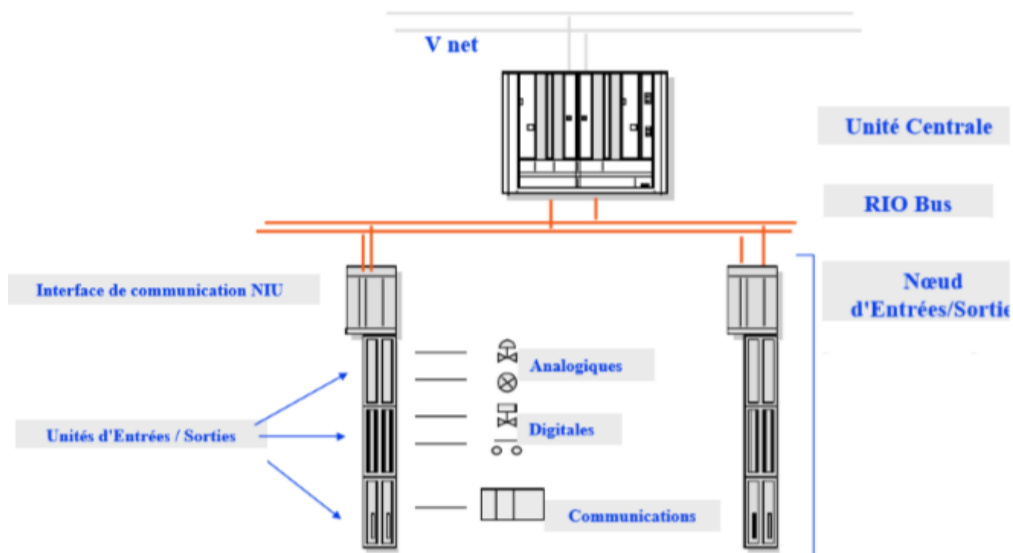


FIGURE 3.3 – Architecture d’une FCS.

### 3.6.3.1 Unité de contrôle FCU

C'est l'unité de contrôle qui effectue les fonctions de contrôle, elle est construite autour d'un processeur RISC hautement performant. [22]

La FCU est constituée d'une :

1 **Carte alimentation**

2 **Carte CPU (Central processing unit) :**

C'est le cerveau de FCU qui fait toutes les fonctions logiques et le traitement numérique (Transfert, comptage, temporisation...) à partir d'un programme contenu dans sa mémoire. Les CPU sont basées sur des processeurs multi boucles. Elles sont redondantes. Toute défaillance d'une carte CPU est alarmée et visualisée sur les stations opérateurs. Il est possible de débrancher une CPU redondante sans perturber le système ou causer d'arrêt.

3 **Carte d'entrées/sorties.**

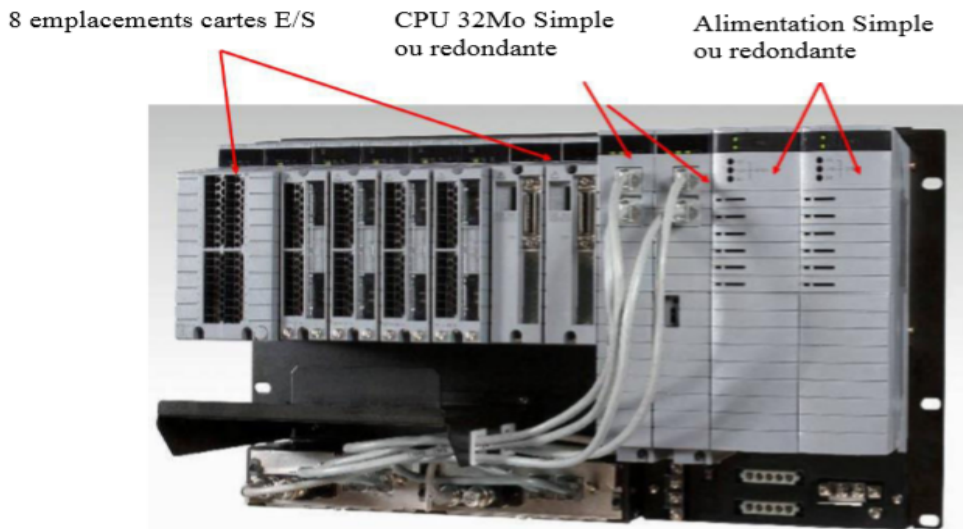


FIGURE 3.4 – Le contrôleur.

### 3.6.3.2 RIO bus

Le bus d'E/S déporté RIO relie l'unité FCU aux nœuds. Il peut être redondant et sa longueur maximale peut être étendue à l'aide de répéteurs de liaisons par fibre optique.

### 3.6.3.3 Nœud d'entrées/sorties

Le nœud d'entrées/sorties se compose de :

**1. Unité d'interface des nœuds NIU (Node Interface Unit) :**

Deux cartes d'alimentation redondantes, deux cartes de communication RIO BUS qui assurent la communication avec l'FCU, et dispositif de traitement du signal.

**2. Unités d'entrées/sorties :**

Elles se composent de modules d'entrées/sorties enfichés dans les boîtiers réalisant les fonctions suivantes :

- Interface entre les signaux industriels du procédé et la station de contrôle FCS.
- Conversion des signaux industriels en signaux numériques acquisition et inversement (Commande).

Les modules d'entrées : convertissent les signaux procédés en données numériques avant leur traitement par la station FCS. [22]

Les modules de sorties : convertissent les données numériques de la station FCS en signaux analogiques ou logiques et émettent les signaux de sorties.

### 3.6.4 Réseau du système de contrôle V-net

Le réseau V-Net de contrôle et de sécurité est utilisé pour transférer la configuration et les données de l'application de sécurité. C'est un réseau temps réel reliant les HIS, les FCS via des switches. En local, et pour des liaisons de longueur maximale 100 m, des câbles, pour les liaisons distantes ou nécessitant un isolement, des fibres optiques doivent être retenues. [22] La fonction de ce réseau doit assurer trois systèmes de communications :

- Communication lecture/écriture ;
- Communication message ;
- Transmission de liaison (sur une période de 100 ms à 2 s).

### 3.6.5 Réseau Ethernet

C'est le réseau LAN utilisé pour la connexion des HIS et l'EWS, ce qui permet :

- Le transfert des fichiers de configuration.
- Le transfert de données
- L'acquisition des données du procédé, les messages et les données historiques.

## 3.7 Implémentation des Algorithmes

Pour implémenter les algorithmes et les solutions proposées, on lance le simulateur et on fait appel au « System View ». Cette application développée par YOKOGAWA constitue le logiciel qui gère le système DCS en termes de : Création de projets, Configuration du matériel (FCS, HIS...), Programmation et compilation (Control Drawing Builder, Graphic Builder, etc.), Supervision et monitoring (interface homme-machine). [22]

Les données du procédé sont gérées par des logiciels spéciaux appelés configureurs (builders) et sont sauvegardées dans des fichiers, l'ensemble des fichiers constitue un projet. Un projet est une unité qui gère la base de données de la FCS et de la HIS créées par le configureur du système. [22]

### 3.7.1 Lancement du CENTUM VP

Afin de pouvoir exécuter CENTUM VP, on doit :

- Cliquez sur le bouton démarrer de Windows XP, puis tous les programmes.
- Cliquez sur le nom du programme YOKOGAWA CENTUM.
- Cliquez sur le nom du programme SYSTEME VIEW.

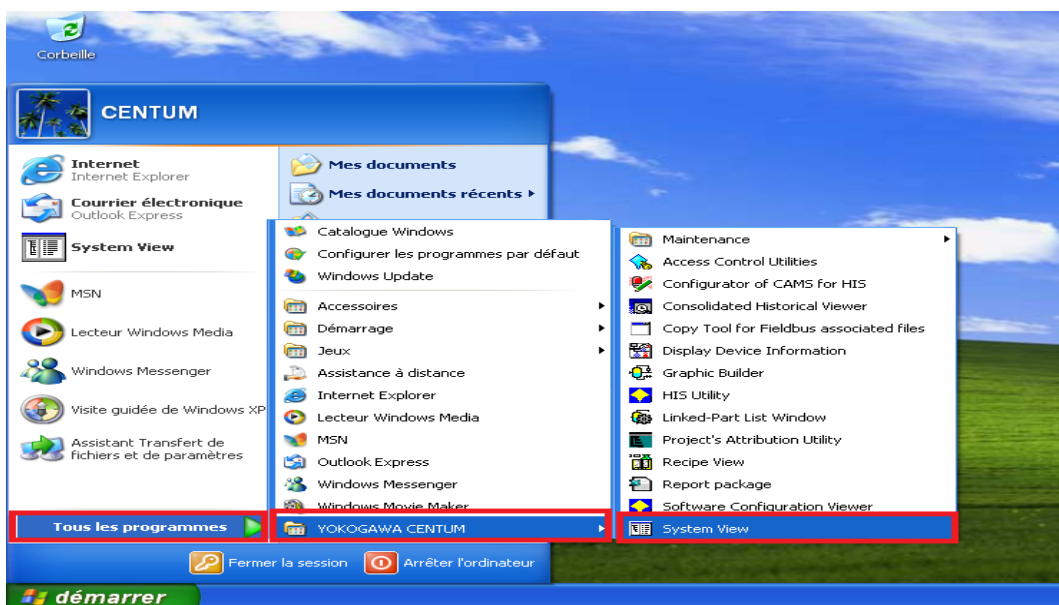


FIGURE 3.5 – Lancement du CENTUM VP.

### 3.7.2 Création d'un nouveau projet

Une fois le programme « système view » est lancé, à partir du menu file, on appuis sur le bouton « create a new Project » et une fenêtre apparaîtra nous demandant :

de donner les informations relatives au projet (Par exemple : user, organisation, Project Information). [22]

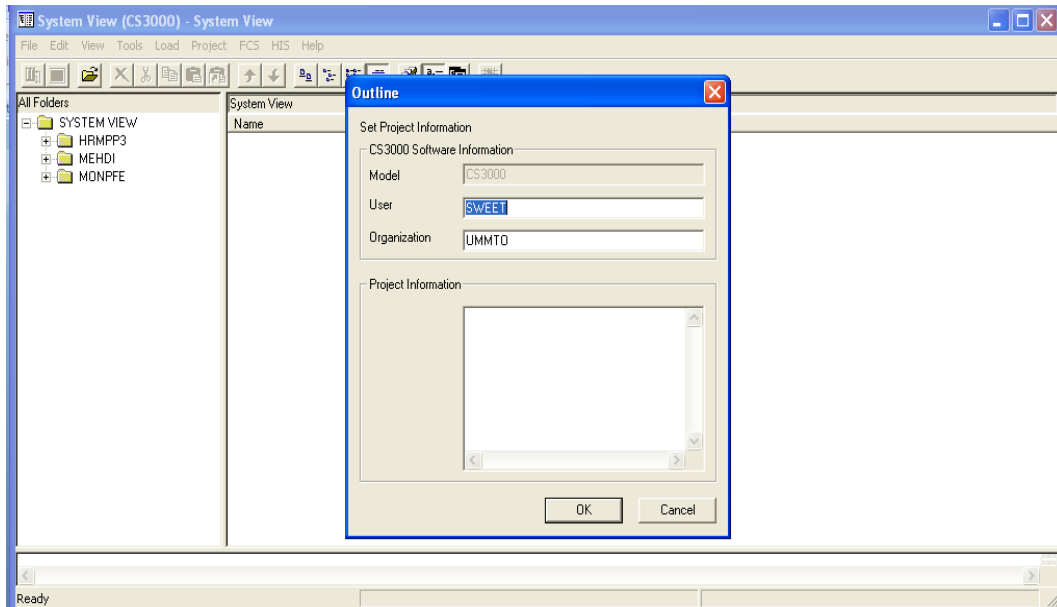


FIGURE 3.6 – Création d'un nouveau projet.

### 3.7.3 Création d'une FCS

La fenêtre de création d'une station de contrôle apparaîtra automatiquement dès que le nouveau projet se crée. Sinon, on fait de la même façon que la création du projet (sélectionner à partir du menu file ou par le bouton droite de la souris : create new « FCS »), dans laquelle on disposera nos éléments de programmation, puis on :

- Choisit le type de la station de contrôle selon la liste prédéfinie, (Exemple : dans notre projet c'est l'AFS20D « Duplexed Field Control Unit »).
- Définit le type de la FCS, la base de données et l'adresse de la station. (Exemple : Le code 101 : le 1er '1' fait allusion au domaine et le 2nd '1' donne le numéro de la Station).
- Vérifie les caractéristiques dans les autres onglets (elles sont prises par défaut).
- Enfin cliquez sur le bouton OK pour exécuter. [22]

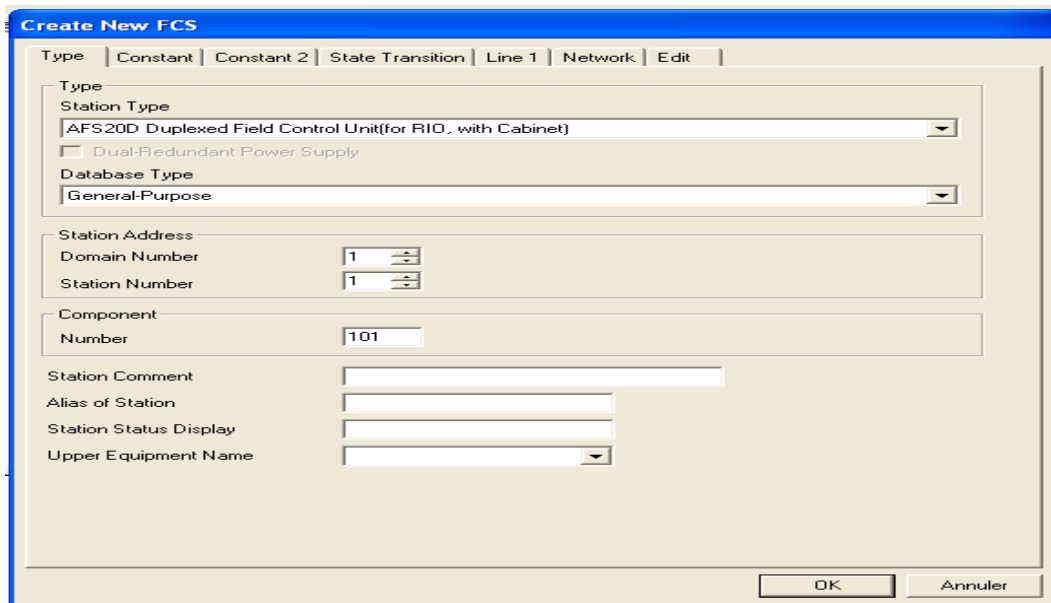


FIGURE 3.7 – Boite de dialogue pour créer une nouvelle FCS.

### 3.7.4 Création d'une HIS

La fenêtre de création d'une station opérateur apparaîtra automatiquement après l'apparition de celle de la FCS pendant la création d'un nouveau projet. Sinon, on peut la sélectionner à partir du menu file ou par le bouton droit de la souris : create new puis HIS. Puis :

- Définir le type du PC et l'adresse de la station.
- On donnera un numéro de domaine (par défaut le 1)
- Un numéro de station (par défaut 64)
- Vérifier les caractéristiques du réseau dans l'onglet « Network »
- Vérifier les caractéristiques dans les autres onglets. [22]

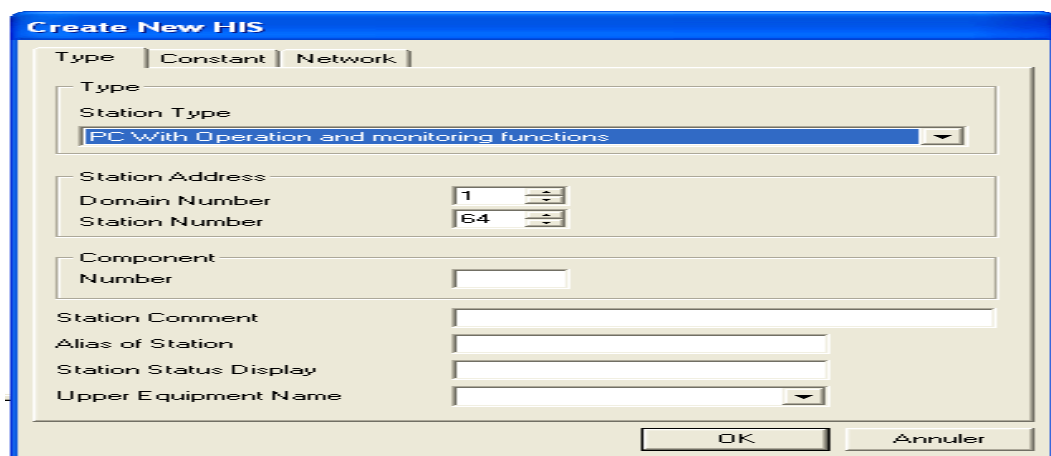


FIGURE 3.8 – Boite de dialogue pour créer une nouvelle HIS.

### 3.7.5 Changement du type et enregistrement d'un projet

Le changement du type d'un projet s'effectue par l'utilitaire : « Project's Attribute Utility ». Pour enregistrer un projet, il suffit de cliquer sur « registration » dans la boîte de dialogue du « Project's Attribute Utility ». [22]

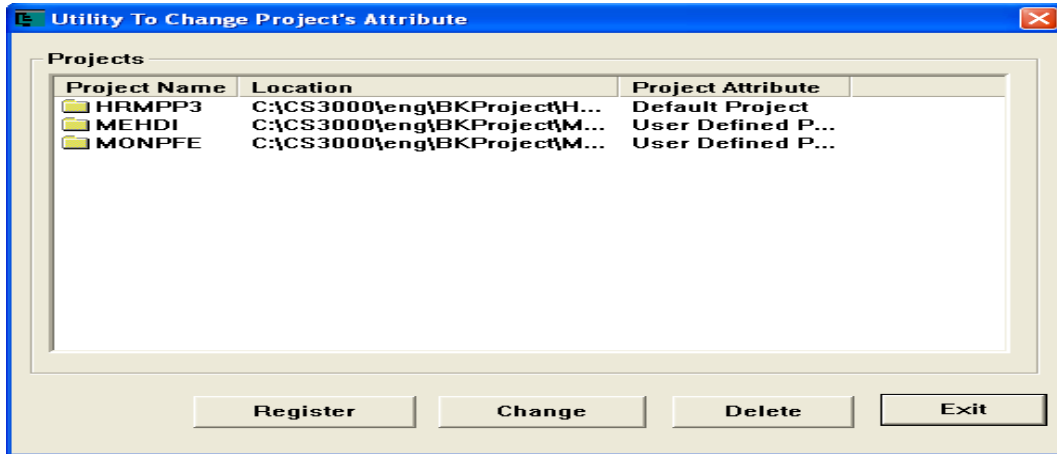


FIGURE 3.9 – Boîte de dialogue de l'utilitaire pour changer les attributs des projets.

### 3.7.6 Création des entrées sorties de la FCS

Pour un cas réel (conception pour une mise en place sur site), les entrées/sorties sont physiques (signaux analogiques ou logiques). Dans ce cas, il faut créer les entrées/sorties de la FCS comme suit :

- **Création d'un IOM (input output module)** : sélectionner le répertoire IOM dans la FCS puis le nœud. Dérouler le menu par le bouton droit de la souris puis choisir l'option 'create new IOM', puis choisir le type de boîtier et le type de carte (analogique ou logique).

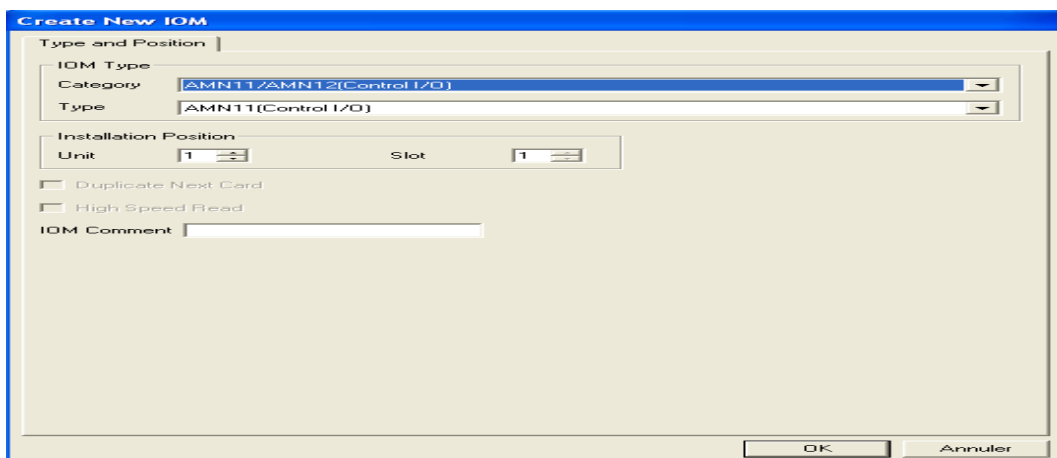


FIGURE 3.10 – Création d'un nouveau module d'entrée/sortie.

- **Création d'une carte d'entrée/sortie** : selon le boîtier (IOM) sélectionné, dans notre cas on a fait le choix de l'AMN11 qui est un boîtier pouvant recevoir des cartes analogiques, on sélectionne le type de carte et son adresse sur la liste qu'on voit à gauche.

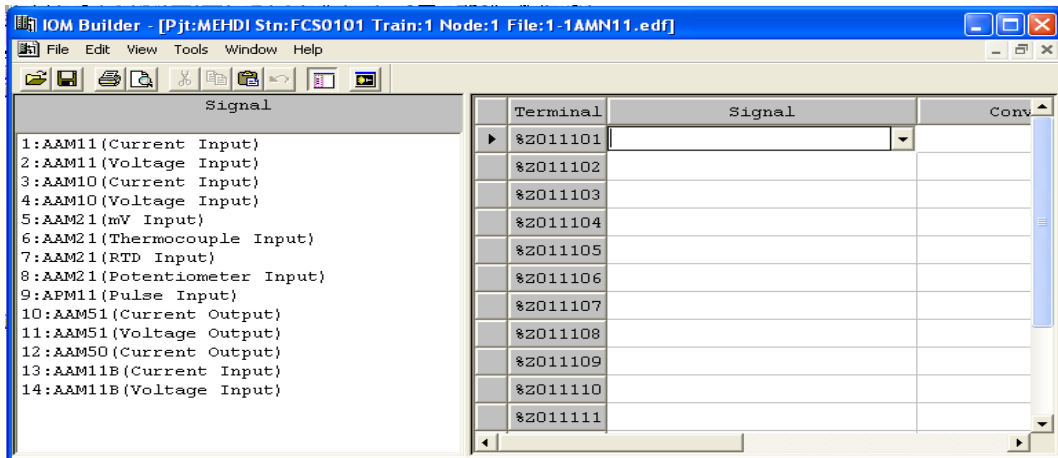


FIGURE 3.11 – Création d'une carte d'entrée/sortie.

### 3.7.7 Création des blocs de fonction

Pour créer des blocs de fonction, à partir de la FCS, on sélectionne le programme Function Block et on choisit un drawing (DR0001 par exemple, Un drawing est une fenêtre dans laquelle, on va créer des blocs pouvant être : PID, PVI, MLD, CALCU, etc...) Pour cela on opérera comme suit :

- Dans l'arborescence cliques sur le fichier « FUNCTION BLOCK ».
- Aller dans le drawing par exemple : DR0001, DR0002... [22]

En réalité la création d'une séquence en instrumentation nécessite l'utilisation : 1d'entrées/ sorties 2- de blocs d'acquisitions 3- des tables de séquences 4- Etc. [22] Pour y accéder à 2,3 ... il suffit d'utiliser l'icône permettant d'avoir le dictionnaire des composants. [22]

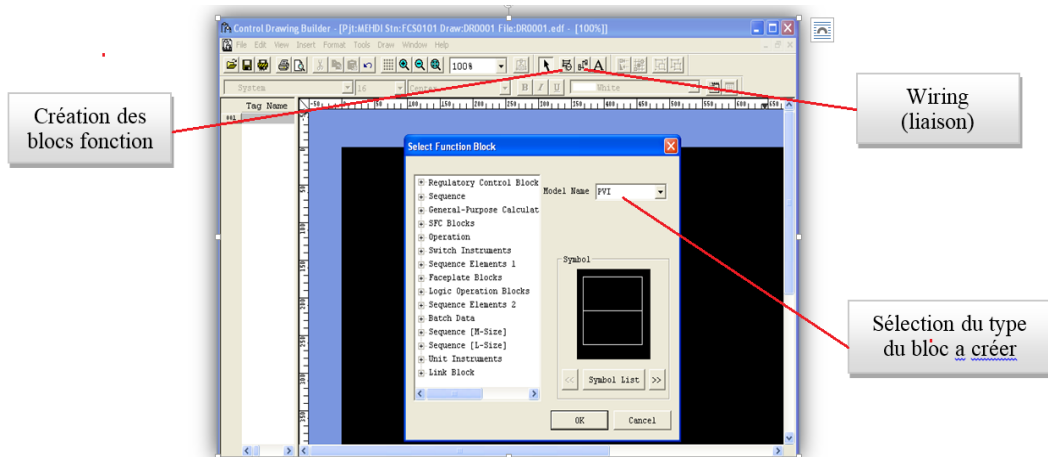


FIGURE 3.12 – Insertion des blocs de fonction.

Il existe plusieurs types de blocs de fonction, on va présenter ici les blocs les plus importants qu'on a utilisés :

### 3.7.7.1 Bloc de séquence – ST016

Les blocs « table de séquence » sont utilisés pour la description des séquences dynamiques. En phase de travail le conditionnement des actions est fait par le biais de conditions. Ces relations entre les signaux de conditions et les signaux d'actions sont décrites avec des oui ou non (Y/N) sur une table quadrillée sous forme de matrice. [22]

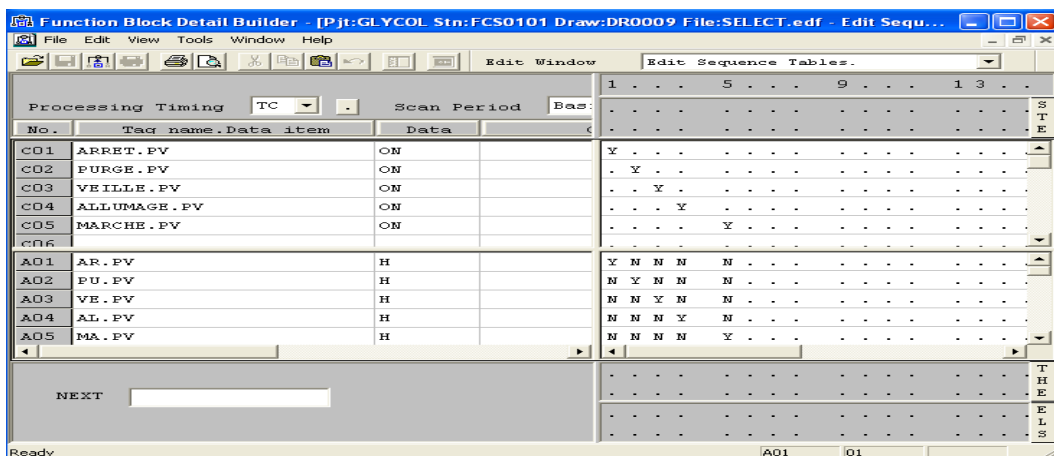


FIGURE 3.13 – Fenêtre d'édition d'une table de séquence ST016.

Il existe deux types de table de séquence :

- **Combinatoire** : évaluation des conditions pour toutes les règles et exécution des actions associées aux règles vérifiées.
- **Séquentiel** :évaluation des conditions pour les règles appartenant au pas courant, exécution des actions de ce pas et passage au pas suivant.

### 3.7.7.2 Bloc de régulation et de contrôle (PID)

C'est un bloc régulateur qui assure le réglage en fonction de la variable du process PV (Process Value) et de la consigne SV (set value).

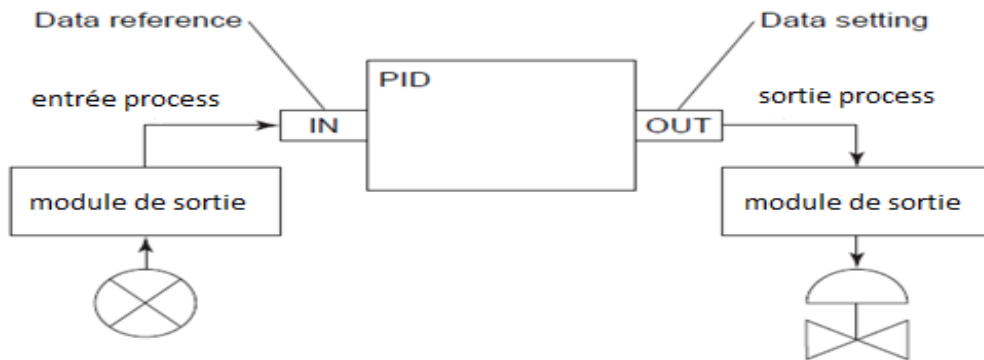


FIGURE 3.14 – Le bloc PID.

Le bloc PID est représenté dans le contrôle drawing comme le montre la figure **Remarque** : Dans le cas réel le PID reçoit la valeur PV (Process Value) à partir de la carte d'entrée. Après traitement, la MV (Manipulated Value) est transmise à l'instrument (au site) à travers une carte de sortie. Pour chaque carte d'entrée/sortie, on affecte une adresse physique réelle, qui est représenté comme suit :

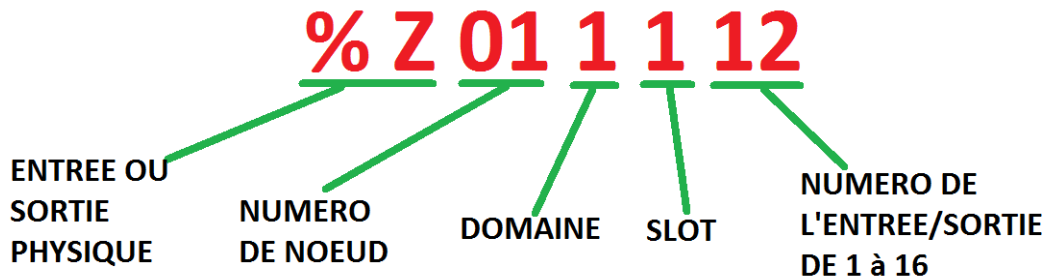


FIGURE 3.15 – Adressage d'une entrée/sortie.

### 3.7.7.3 Bloc calculateur (Calcu)

Le bloc « Calcu » nous permet de programmer avec le langage SEBOL, qui utilise des instructions similaires à celles du langage C. [22]



FIGURE 3.16 – Le bloc Calcul.

Ce bloc est utilisé lors de la définition arbitraire des algorithmes des calculs. [22]

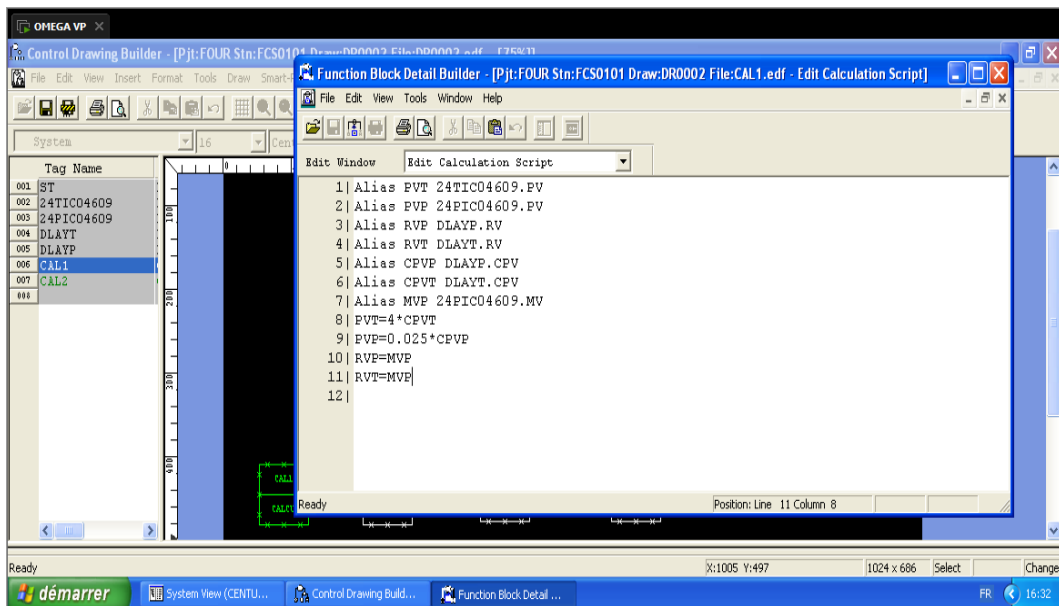


FIGURE 3.17 – Fenêtre de programmation du bloc « Calcul ».

#### 3.7.7.4 Bloc DLAY

Il est utilisé pour simuler les caractéristiques dynamiques du process en utilisant le temps mort et le retard du premier ordre.

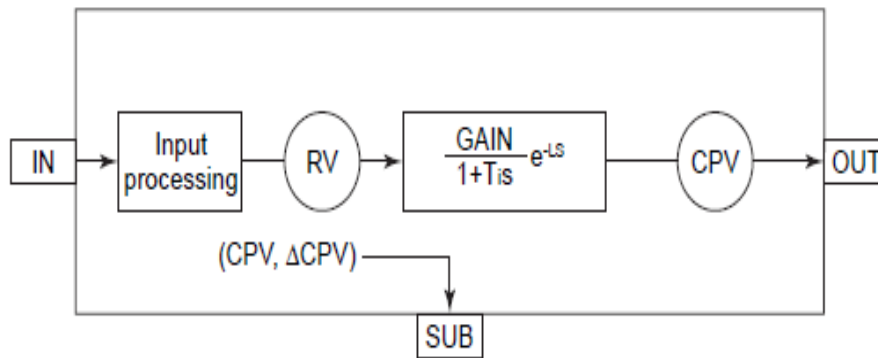


FIGURE 3.18 – Bloc DLAY.

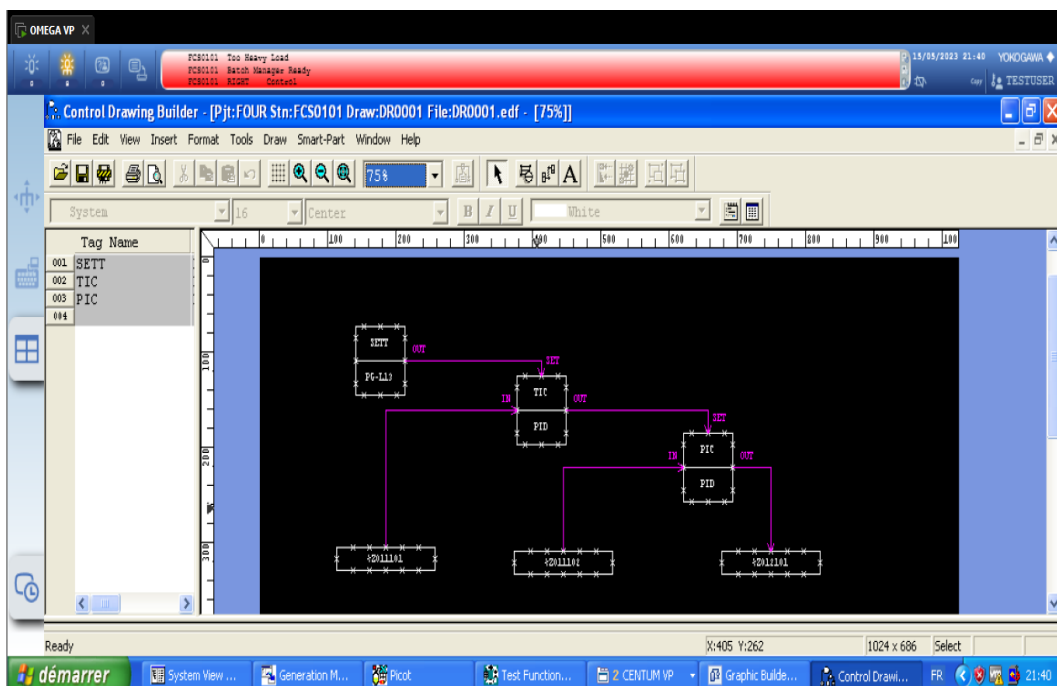


FIGURE 3.19 – Le drawing de régulation.

### 3.7.8 Création d'un graphique

A partir de la HIS, en choisissant les graphiques existants dans la bibliothèque standard du « graphic Builder » nous permet de réaliser les différentes vues du process. (Voir figure 24). Généralement, sous DCS, les graphiques sont animés (changement de couleur, clignotement...), et pour cela il suffit d'aller dans « property » puis « graphic modify » pour l'affectation des variables pour chaque objet comme le montre la figure 22. 22

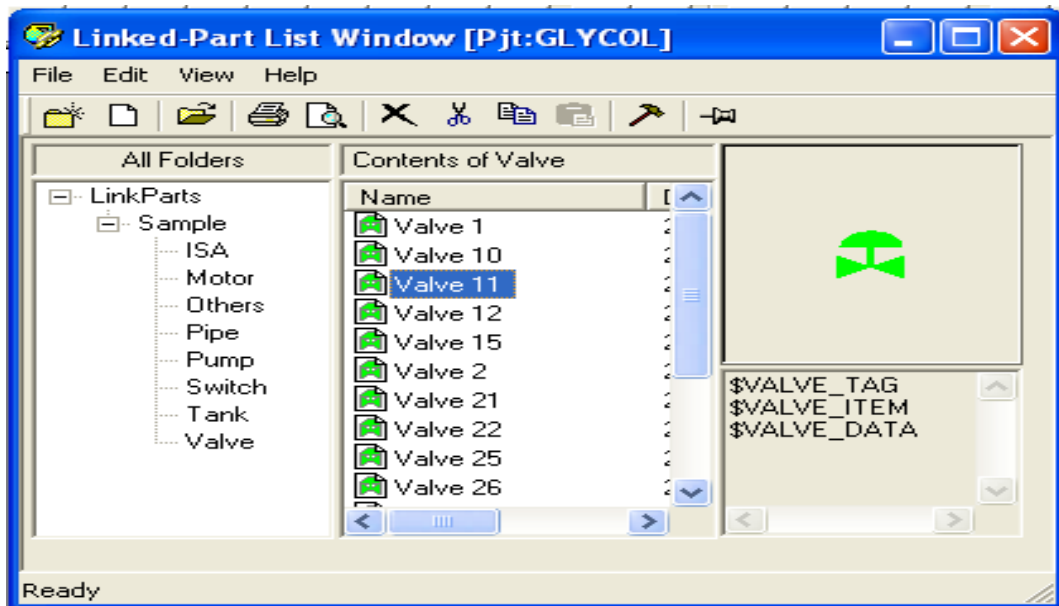


FIGURE 3.20 – Bibliothèque du graphique builder.

Pour configurer une action graphique, par exemple changement de couleur d'une vanne par rapport à son état sur site. Un clic droit sur l'objet, puis propriété, on choisit « Grafic modify », et on configure la variable du process. [22] (Voir figure 22)

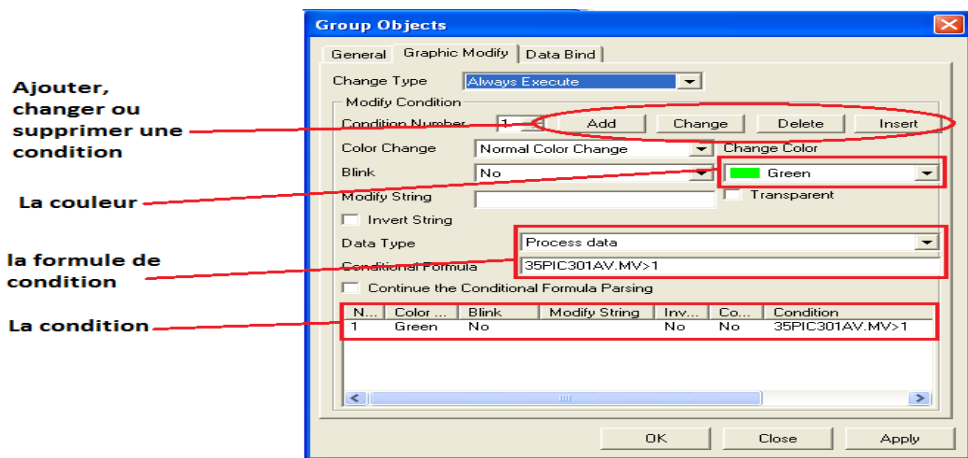


FIGURE 3.21 – Propriété d'un objet.

### 3.7.9 Lancement de la fonction de test

C'est un groupe d'outils pour une vérification efficace de la partie logicielle de la FCS ainsi du graphique créé par l'utilisateur. Après le lancement de la fonction du test en cliquant sur « test fonction », [22] le bandeau d'exploitation suivant apparaît :

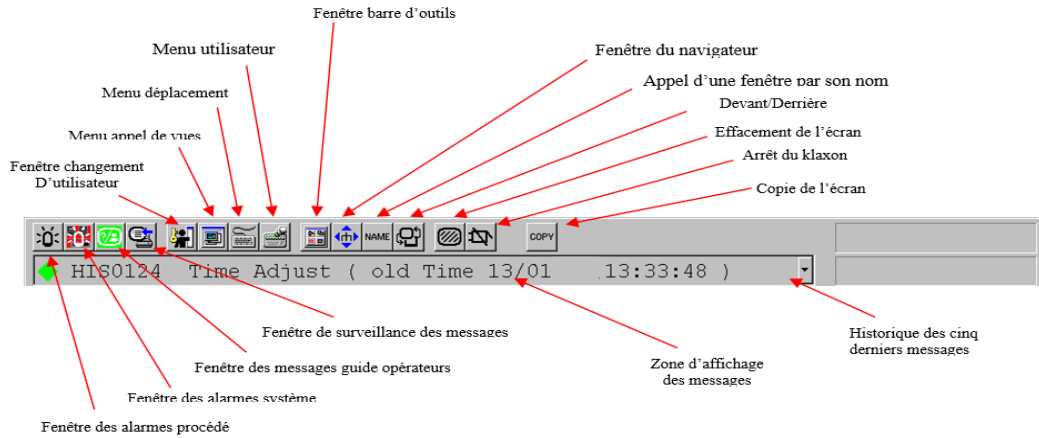


FIGURE 3.22 – Bandeau d'exploitation.

### 3.7.10 La face-avant d'instruments

Sous le CENTUM VP, Il existe deux types de face-avant d'instrument logiques et analogiques représentées ci-dessous :

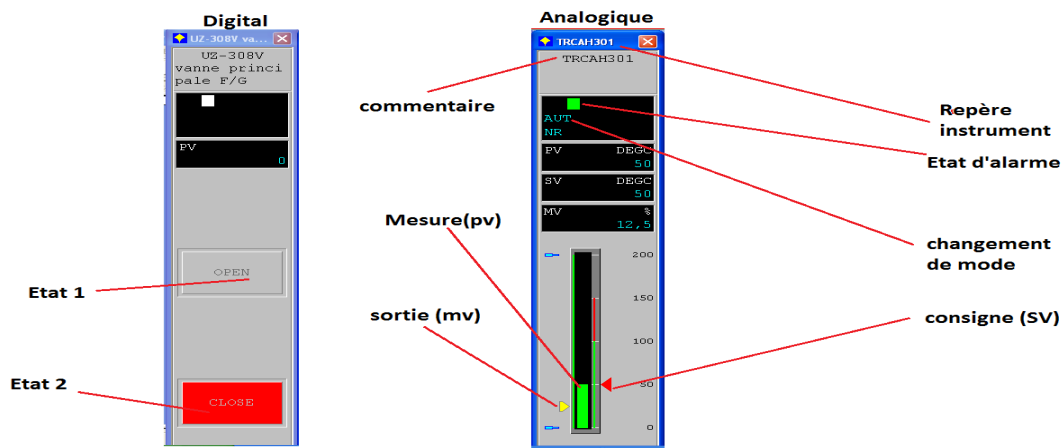


FIGURE 3.23 – Face-avant d'instrument.

Pour pouvoir faire rentrer ou changer une valeur d'entrée d'un instrument (point de consigne d'un PID par exemple), il suffit de cliquer sur la case du paramètre voulu ou bien sur le barreau de mesure qui se trouve en bas de la face-avant. [22] (Voir figure 28)

La boite de dialogue suivante apparaît :

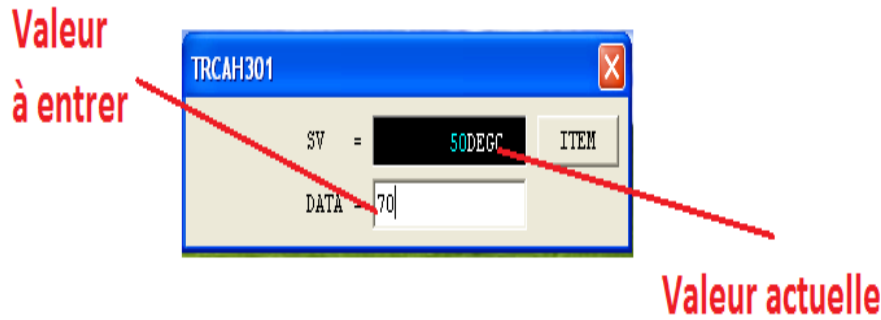


FIGURE 3.24 – Changement d’un paramètre.

Pour modifier un mode à partir de la boîte de dialogue, on clique sur la zone d’affichage du mode.

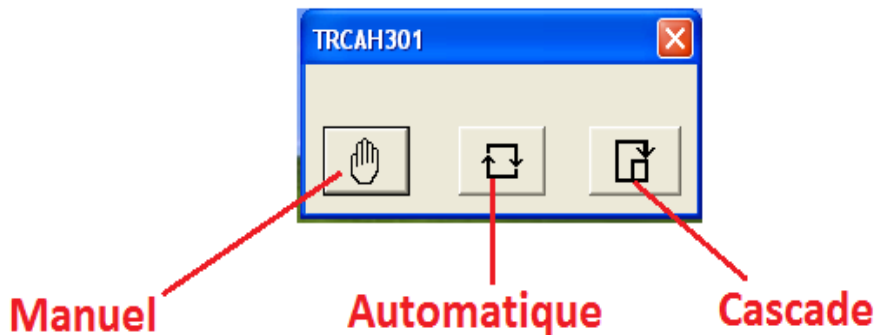


FIGURE 3.25 – Changement de mode.

### 3.7.11 Les différents types d’alarmes

Le CENTUM VP dispose, en permanence, d’une fenêtre de messages d’alarmes qui ne peut pas être recouverte par d’autres informations. Cette fenêtre est librement configurable. Les icônes, codées par couleur représentant l’état des alarmes, apparaissent dans la fenêtre navigateur. 22

Il existe 2 types d’alarmes :

- Les alarmes associées aux blocs de fonction standards dont le traitement est intégré dans le bloc.
- Les annonceurs associés aux tables de séquence, dont le déclenchement programmé dans la table de séquence peut être la combinaison de l’état de plusieurs variables du procédé (un annonceur est un message configurable de 24 caractères).

## 3.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait une étude approfondie et détaillée sur les systèmes de control distribué (DCS), l'étude de ces différents composants tel que les stations, les réseaux et l'architecture générale du système, ce qui nous a permis d'acquérir des connaissances sur l'exploitation DCS pour le contrôle et la supervision du procès. Et nous avons fait une étude approfondie sur les outils de la programmation et la création d'interface de contrôle sous DCS CENTUM VP.

# Chapitre 4

## Etude de la boucle et identification du procédé

## 4.1 Introduction

L'automaticien a besoin d'un modèle qui représente le comportement de son système pour concevoir un régulateur à mettre en œuvre afin d'atteindre les objectifs décrits dans un cahier des charges, pour élaborer ce modèle, l'utilisation des méthodes d'identification est requise. La conception d'un régulateur prend une importance grandissante dans le contexte industriel. Lors de déroulement des processus de fabrication, elle veille à ce que des grandeurs déterminées prennent une certaine valeur constante prédéfinie (consigne), déclarée souhaitable, ou bien soient assujetties à d'autres grandeurs, malgré toutes les actions perturbatrices qui peuvent survenir.

Dans ce chapitre nous allons faire une étude sur la boucle de régulation du four et ses contraintes, nous aborderons par la suite les étapes de configuration du régulateur PID en utilisant le simulateur DCS YOKOGAWA CENTUM VP, nous procéderons également à une identification de ses paramètres en vue d'obtenir sa fonction de transfert, Enfin, nous allons interprétés les résultats graphiques de la simulation obtenus.

## 4.2 Généralités sur la régulation

### 4.2.1 Définition

La régulation est la technique utilisée pour contrôler une ou plusieurs grandeurs physiques d'un système telles que la température, la pression, le niveau, le débit, ...etc., en vue d'en imposer le comportement et de maintenir ces grandeurs à des niveaux prédéfinies. La régulation est l'action de régler automatiquement une grandeur de telle sorte que celle-ci garde constamment sa valeur ou reste proche de la valeur désirée, quelles que soient les perturbations qui peuvent subvenir. [23]

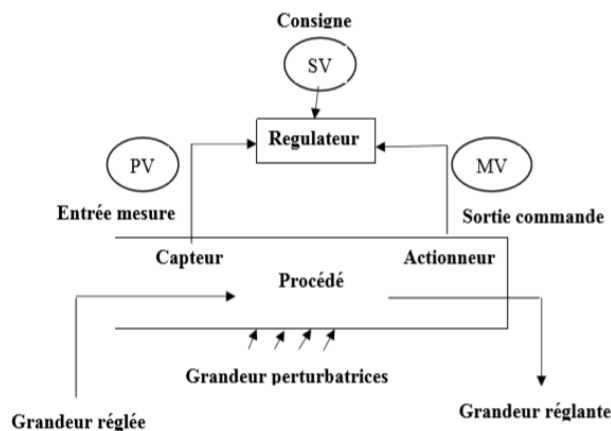


FIGURE 4.1 – Schéma fonctionnel d'une boucle de régulation.

## 4.2.2 Principe de fonctionnement de la régulation

Pour réguler un système physique, il faut mesurer la grandeur réglée avec un capteur, réfléchir sur l'attitude à suivre : c'est la fonction du régulateur. Le régulateur compare la grandeur réglée avec la consigne et élabore le signal de commande, et agit sur la grandeur réglante par l'intermédiaire d'un organe de réglage. On peut représenter une régulation de la manière suivante : [24]

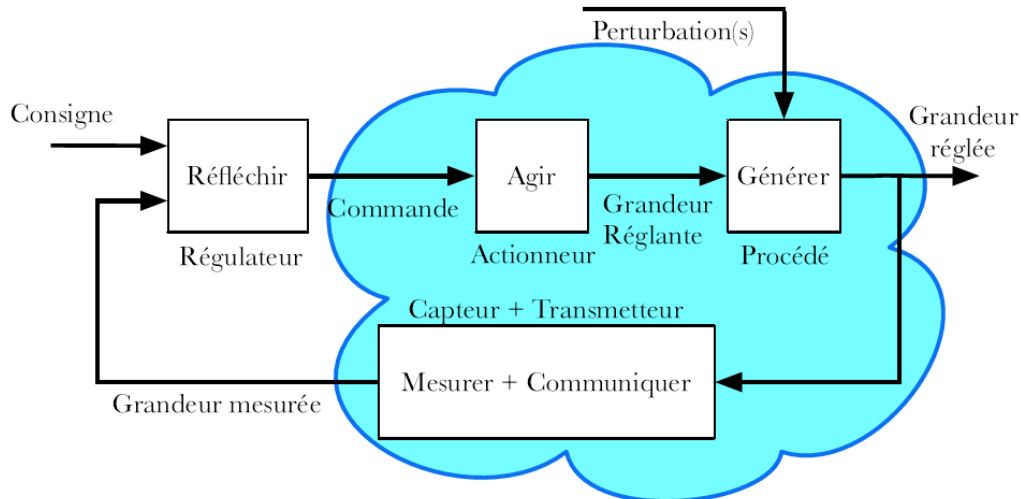


FIGURE 4.2 – Principe de fonctionnement d'une boucle de régulation.

## 4.3 La régulation cascade

Lorsqu'on a une zone où la dynamique du procédé est très lente, La boucle fermée seule, n'arrivera pas à obtenir une régulation performante, dans ce cas on dit qu'elle a atteint sa limite. Pour cela on utilise des boucles multiples ; parmi lesquelles on accorde souvent au procédé une régulation en cascade. [25]

La régulation cascade est une technique utilisée pour permettre aux procédés qui ont une dynamique lente d'avoir une réponse rapide face aux perturbations extérieures ainsi qu'aux changements de consigne. Ceci est réalisé en régulant une boucle secondaire plus rapide qui va influencer la boucle principale. Le procédé principal est contrôlé par une boucle PID maître, dont la sortie est considérée comme une consigne pour le procédé secondaire, régulé par une seconde boucle PID. Cette seconde boucle est appelée la boucle "esclave". [25]

### 4.3.1 Rôle de la régulation cascade

L'objectif d'une régulation en cascade est de minimiser les effets d'une ou de plusieurs grandeurs perturbatrices qui agissent soit sur la variable à régler, soit sur

une grandeur intermédiaire se trouvant en amont cette dernière. [25]

Ce type de régulation est intéressant lorsque l'on a affaire à des procédés à grande constante de temps. En effet, quand une perturbation se manifeste, il est nécessaire d'attendre que son influence se ressente au niveau de l'organe de mesure placé en sortie de chaîne de la régulation. Si le temps de réponse est long, la correction n'intervient donc très tardivement, par rapport à la cause qui l'a produite ce retard d'action entraîne un déphasage entre la grandeur réglée et la grandeur réglante, comme s'il s'agit de l'inversion de sens d'action de la régulation. Ce qui conduira à des oscillations entretenues et donc une instabilité de procédé. [25]

Bien évidemment, comme inconvénients, la régulation en cascade n'apporte aucune amélioration si la grandeur perturbatrice se produit en aval de la mesure intermédiaire. Pour que la cascade soit justifiée, il faut que la boucle interne soit beaucoup plus rapide que la boucle externe. [25]

### 4.3.2 Présentation de la boucle choisie

On prend la boucle cascade (température-pression) étudiée (24-TIC-04609/24-PIC-04609) dans notre projet, représenter comme suit :

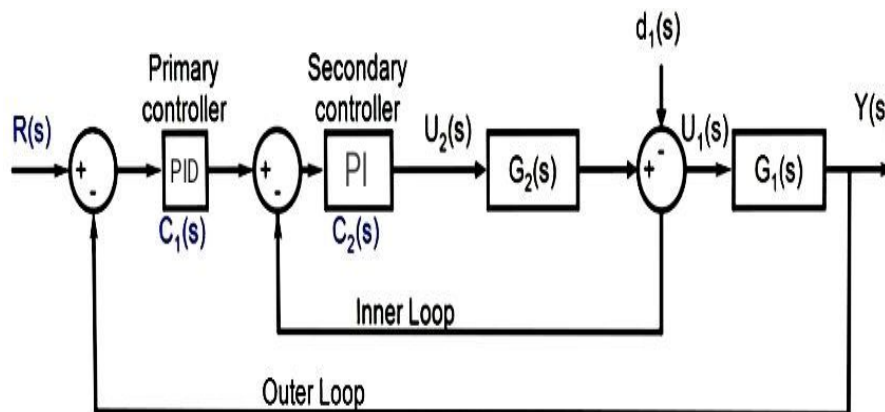


FIGURE 4.3 – Schéma explicatif de la boucle étudiée.

Cette boucle de régulation en cascade comporte deux boucles :

- Auxiliaire (secondaire) de stabilisation.
- Une boucle principale de correction.

La boucle auxiliaire est destinée pour stabiliser la grandeur secondaire (la pression). Par contre la boucle principale est chargée de corriger la grandeur à régler principale (la température) à la sortie du système.

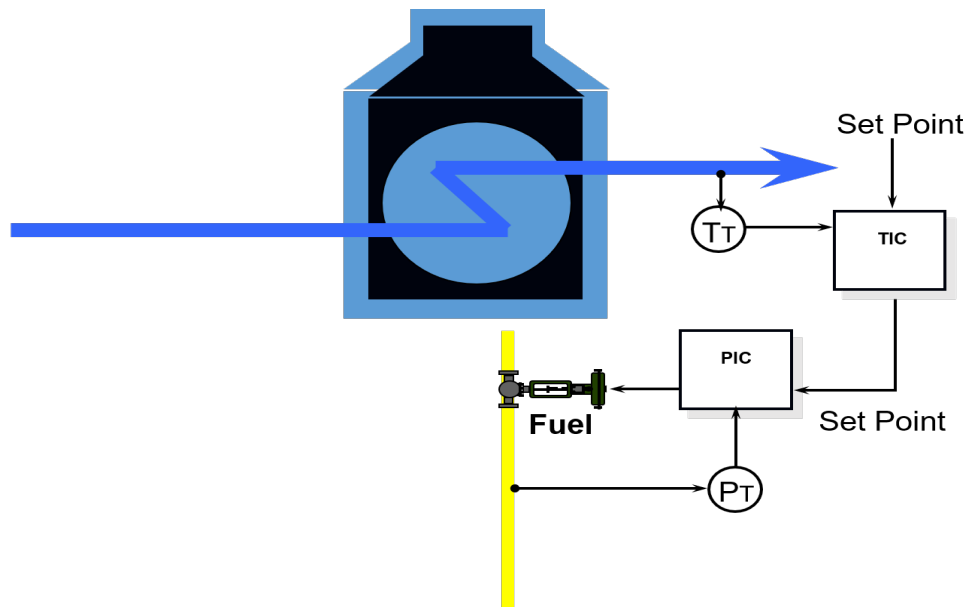


FIGURE 4.4 – Un schéma simplifié de la boucle de régulation du four.

La température en sortie du four de gaz de régénération est mesurée par le transmetteur de température 24-TT-40609 et, régulée par le biais du contrôleur 24-TIC-04609, qui agit en cascade sur le contrôleur 24-PIC-04609 permettant de modifier la position de la vanne 24-PV-04609, et ainsi d'adapter la pression du gaz combustible alimentant les brûleurs du four. Lorsque la température est inférieure au point de consigne, le contrôleur tend à ouvrir la vanne 24-PV-01609 et lorsque la température est supérieure au point de consigne il tend à fermer cette vanne. La grandeur qui est fixée par le cahier des charges du procédé est la grandeur réglée maître. La boucle de régulation en cascade sont employées fréquemment pour le réglage de la température dans les systèmes thermiques ayant un grand retard de transmission de signal de commande (comme le four dans notre cas), et car l'emploi d'une seule boucle de régulation conduit à un temps de réponse très lent.

## 4.4 Implémentation et simulation par YOKOGAWA CENTUM VP

Afin d'identifier les paramètres de notre processus et sa fonction de transfert globale, on a besoin de faire une implémentation et une simulation par le DCS CENTUM VP. Pour commencer, on a fait appel au « System View ». [22]

La FCS qui gère le système de régénération est la FCS0101. Pour faire les simulations on a utilisé la fonction « test function » disponible dans le menu du « System View », qui consiste à simuler le fonctionnement des contrôleurs hors ligne avant de

les implémenter on line avec le process. [22]

#### 4.4.1 Création et programmation de la boucle de régulation

On va ouvrir la fenêtre FCS0101, ensuite on va cliquer sur l'instruction Fonction Block, puis cliquer sur le Drawing « DR0001 », une fenêtre avec fond noir et une barre d'outils s'affichent, dans laquelle on va élaborer notre programme en utilisant des blocs fonctionnels pour représenter les différents régulateurs de la boucle en cascade. [22]

Les blocs de contrôle sont des blocs fonctionnels qui permettent d'effectuer le traitement de calcul et de commande suivant : traitement d'entrée, traitement de commande et traitement de sortie. Les résultats de calculs sont utilisés pour le contrôle de processus. Chaque bloc de fonction doit avoir un nom d'étiquette et être déclaré sur un dessin de contrôle. [22]

Dans notre programmation sous logiciel DCS CENTUM CENTUM VP de YOKOGAWA nous avons utilisé les blocs PID, DLAY, et le bloc CALCU.

##### 4.4.1.1 Bloc PID

On a utilisé deux blocs PID pour le contrôle (Proportionnel Intégrale et Dérivée). L'édition des détails d'un bloc est une fonction importante car cela permet de définir, les paramètres de fonctionnalité de ce dernier, tel que :

TABLE 4.1 – Les détails des blocs PID utilisés.

PID	Tag name	Unité de mesure	Etendue de mesure
Pression	24-PIC-04609	Bar	0.0 – 2.5 bar
Température	24-TIC-04609	C°	30 – 275 C°

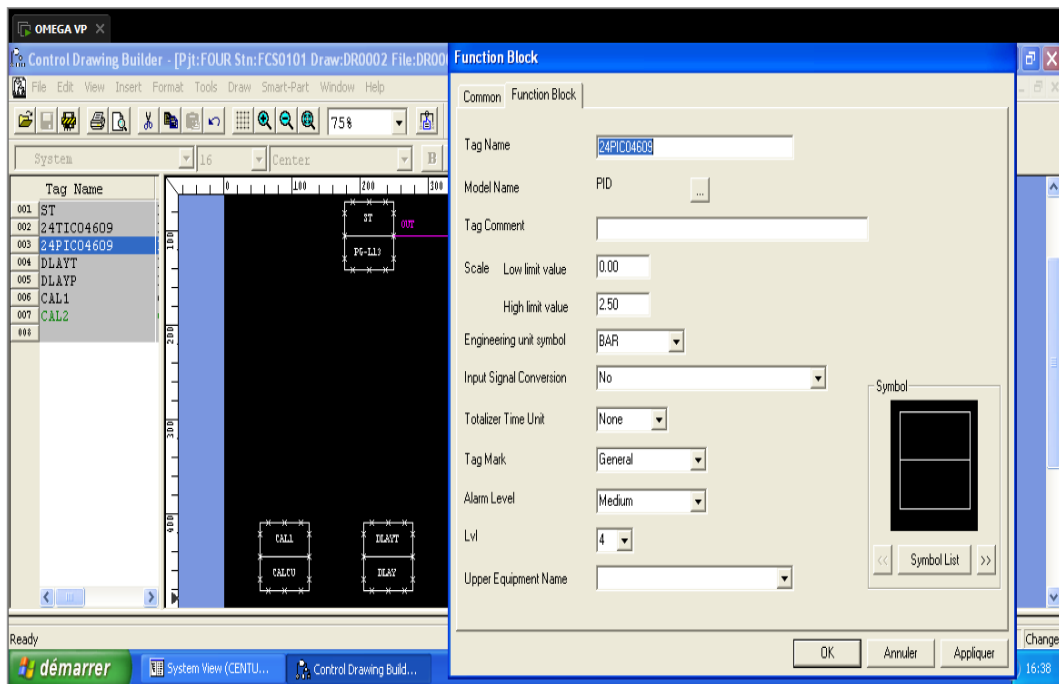


FIGURE 4.5 – Bloc fonctionnel 24PIC04609-Régulateur de pression de fuel gaz-

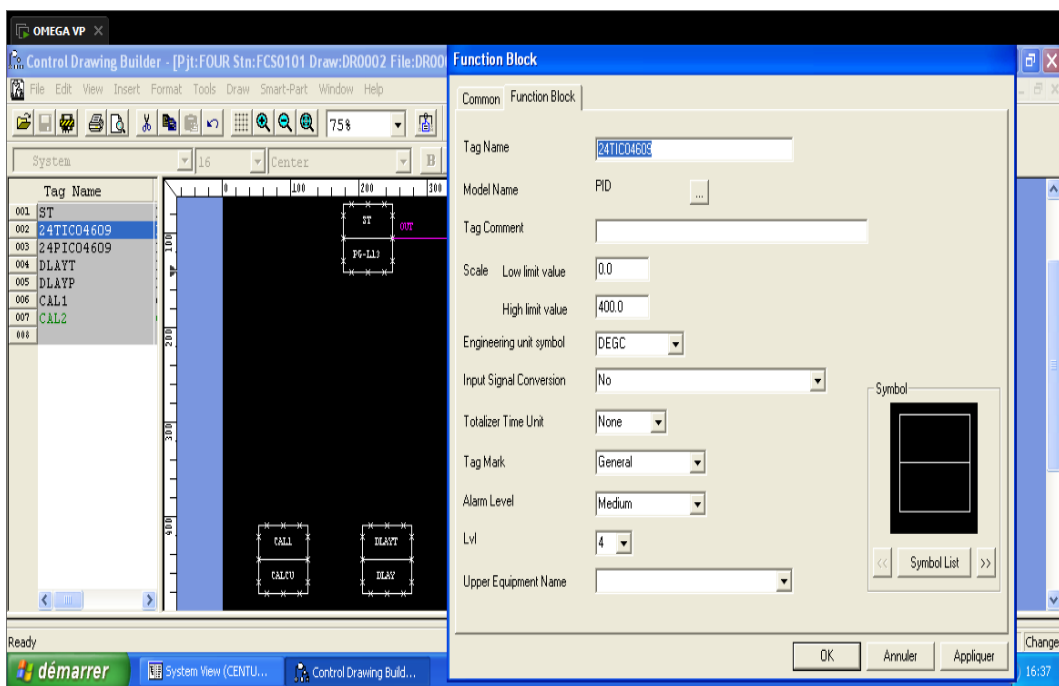


FIGURE 4.6 – Bloc fonctionnel 24TIC04069 Régulateur de température de four de gaz de régénération.

#### 4.4.1.2 Bloc DLAY

Pour l'insertion du bloc DLAY, nous allons procéder de la même manière vue précédemment dans le bloc PID (on cherche DLAY dans 'model name'). [22]

DLAY est un bloc fonctionnel qui simule les caractéristiques dynamiques du processus. Dans notre projet on l'a utilisé pour introduire les paramètres du processus : (DLAYT pour la température et DLAYP pour La pression) et pour simuler les caractéristiques dynamiques du process en utilisant le temps mort et le retard du premier ordre.

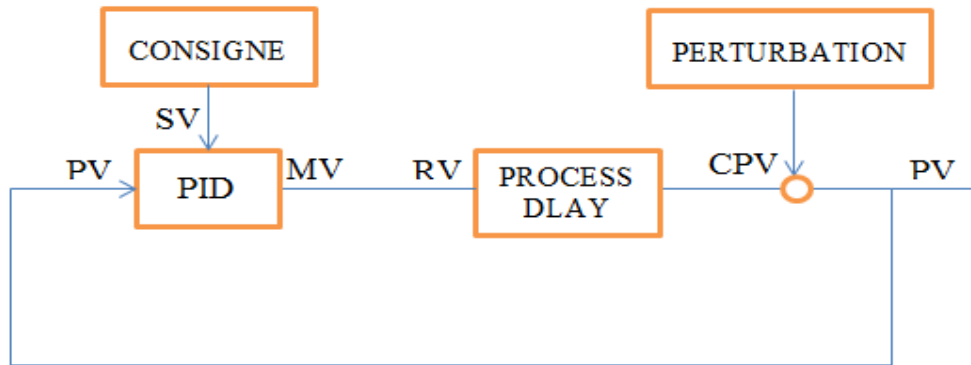


FIGURE 4.7 – Schéma bloc de la boucle de régulation de pression de gaz 24PIC04069.

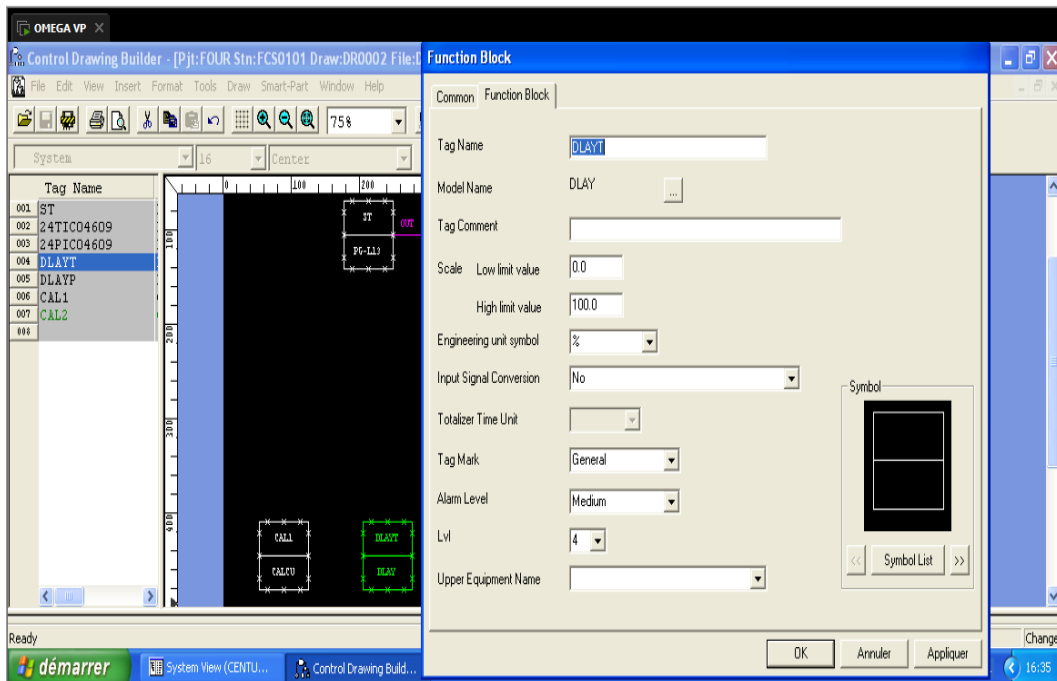


FIGURE 4.8 – Bloc DLAYT

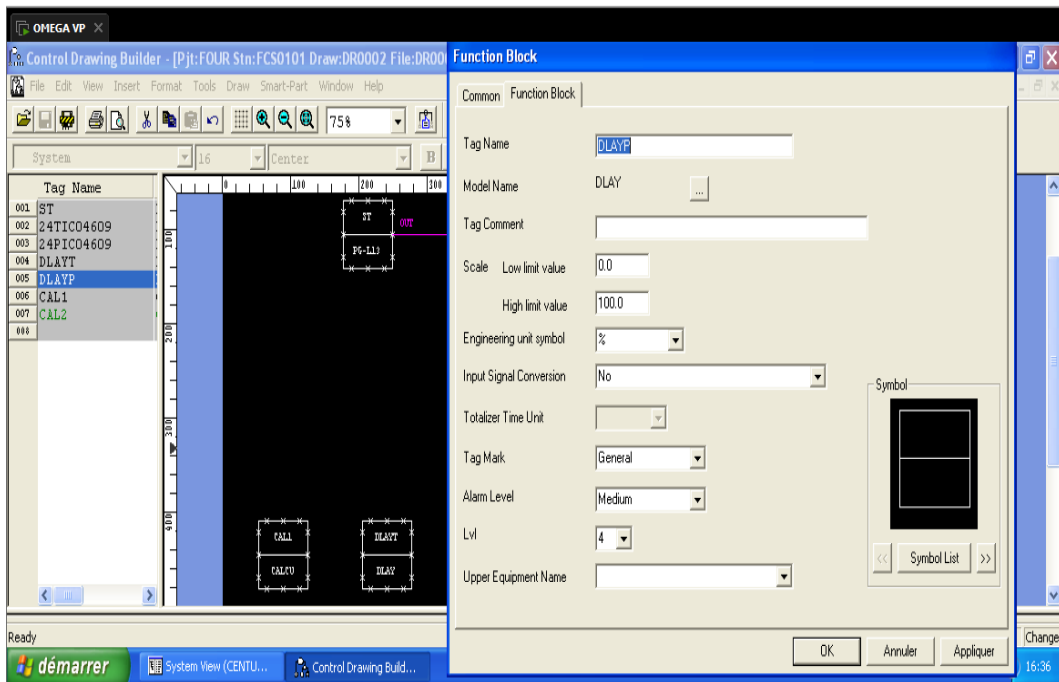


FIGURE 4.9 – Bloc DLAYP

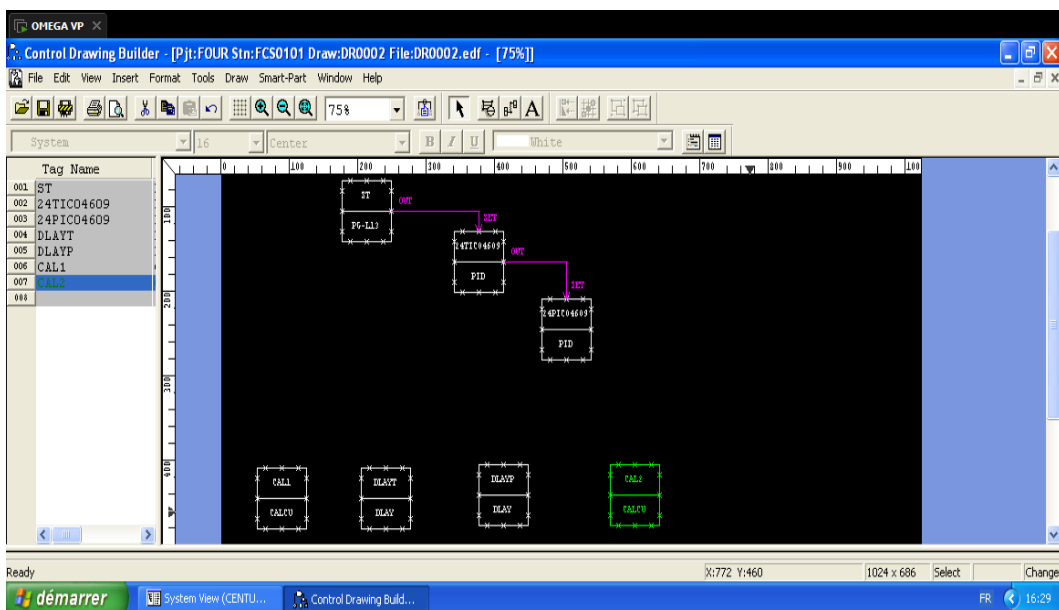


FIGURE 4.10 – Le drawing de la boucle de régulation.

#### 4.4.1.3 Bloc calculateur

Pour l'insertion du bloc CALCU nous allons procéder de la même manière vue précédemment dans le bloc PID (on cherche CALCU dans 'model name'). [22] Le bloc calculateur (CALCU) est un bloc fonctionnel qui exécute des algorithmes de calcul arbitraires prédéfinis. Il est utilisé pour effectuer le programme (voir figure

IV.9). Dans notre projet on a utilisé des fonctions tels que : ALIAS : pour déclarer nos différentes variables (régulateurs, perturbation...).

Des équations pour attribuer à chaque variable une autre variable du process qui lui est associée tout en tenant compte des échelles.

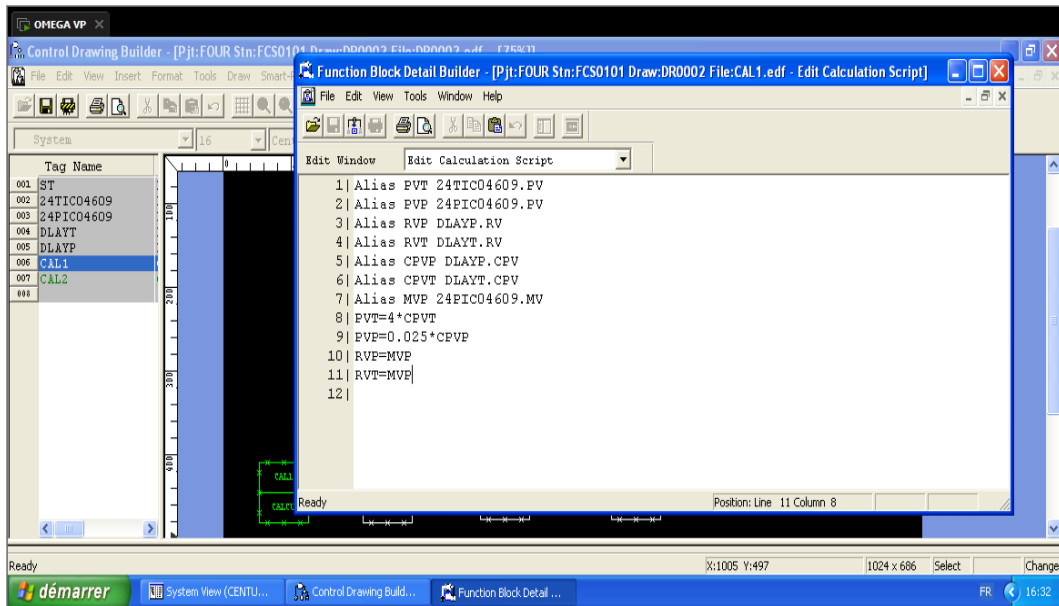


FIGURE 4.11 – L’algorithme de bloc CAL1.

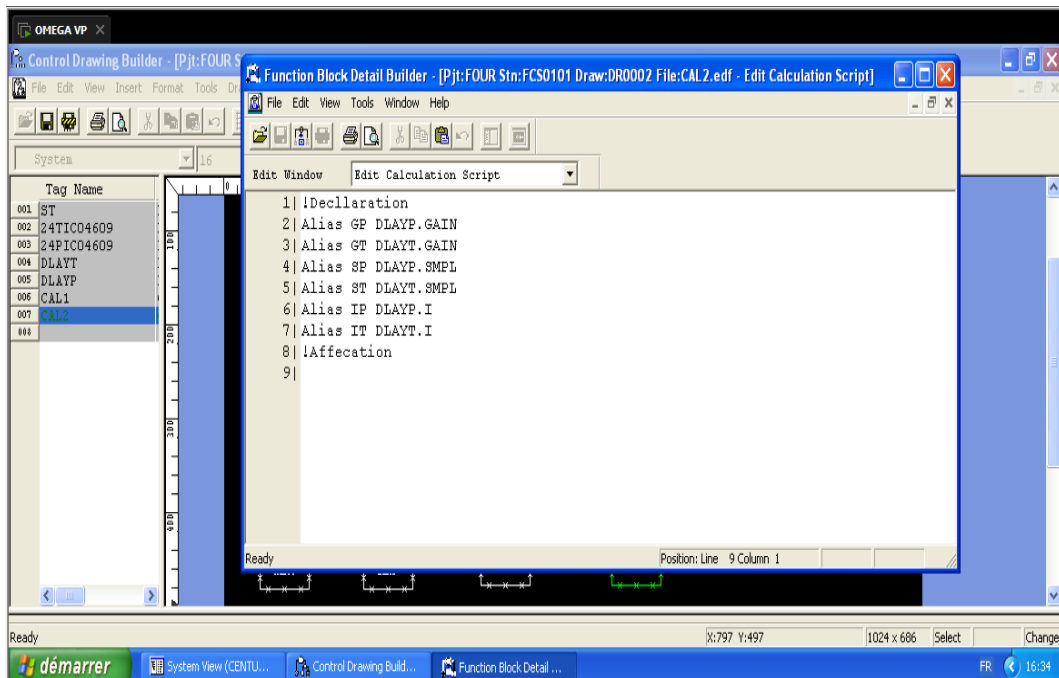


FIGURE 4.12 – L’algorithme de bloc CAL2.

## 4.4.2 Simulation graphique

Elle nous permet de visualiser le process en ayant une interface homme machine tout en affichant les différents résultats obtenues (graphes). Les vues graphiques sont des vues créés par l'utilisateur et sont au nombre de 2500 pour centum vp . Elles peuvent être :

- Synoptique ;
- Vue générale ;
- Vue de groupe (Affichage de 8 faces avant instrument ,jusqu'à 16 en utilisant les réduites)

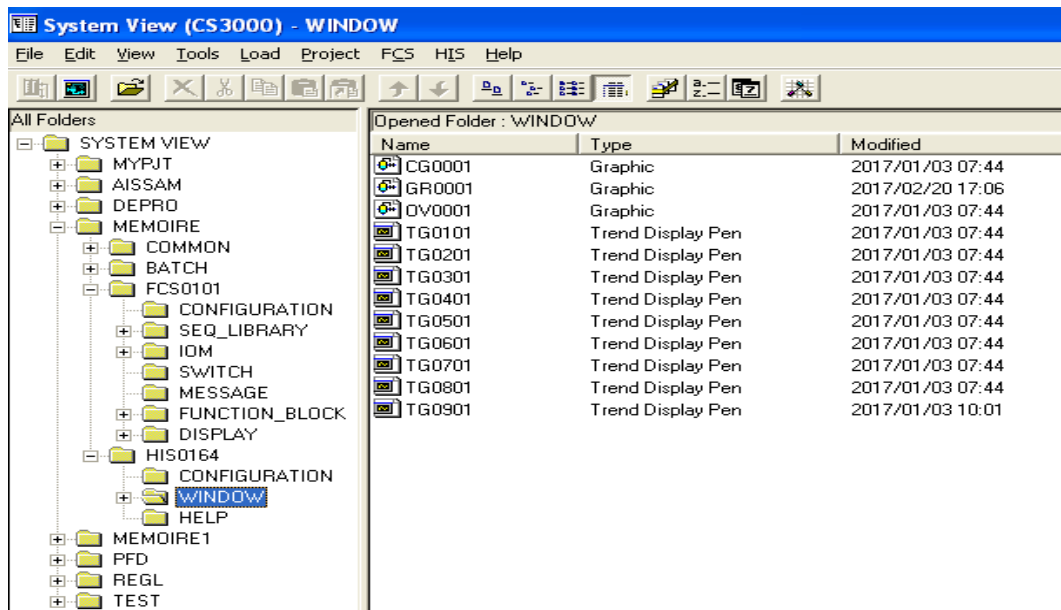


FIGURE 4.13 – La fenêtre graphique

### 4.4.2.1 Création du synoptique graphique

On commence par sélectionner HIS0164 cliquer droit /Open, puis on Sélectionne Window cliquer droit / Create New Window, Nous allons utiliser les barres d'outils pour faire un dessin animé représentatif de la boucle. [22] Maintenant après avoir proposé un schéma de supervision , nous nous intéressons à l'animation des synoptiques :

- La température du four par l'indicateur 24TIC04069 ;
- Pour la boucle de pression de gaz de charge de : On anime la valeur PV ( process value) et la commande sur la vanne MV (pourcentage d'ouverture de la vanne) pour le régulateur 24PIC04069 ;

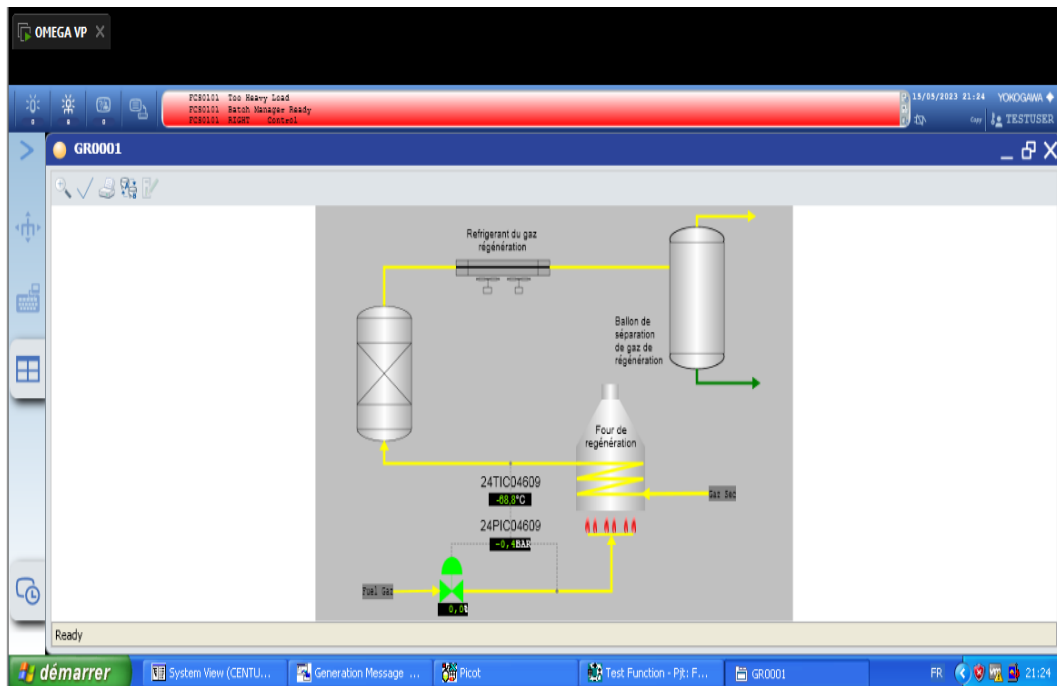


FIGURE 4.14 – La vue synoptique du four de régénération

Maintenant on va charger notre programme run et on va essayer de voir est ce que la configuration fonctionne correctement.

#### 4.4.2.2 Création de la fenêtre trend

Dérouler le menu par le bouton droit de la souris, choisir CONFIGURATION dans HIS0164 → Créer New → trend acquisition pen assignment, ensuite une fenêtre de trend s'affiche (là ou va se dérouler l'affectation de nos variables). [22]

Le Trend Window est une fenêtre qui nous permet de suivre l'évolution des différents types de signale, SV (Set Value) la valeur de consigne, PV (Process Value) la mesure et la MV (Manipulated Value) le signale de commande.

### 4.4.3 Détermination des paramètres et identification du système étudiée

Les paramètres sont déterminés à partir des deux régulateurs de température (TIC) et pression (PIC). Tels qu'on les appelle depuis la fonction NAME qui se trouve dans le bandeau d'exploitation, afin d'identifier notre système.

#### 4.4.3.1 Détermination des paramètres PIC (la boucle interne)

##### Procédure expérimentale :

En pratique, il est très difficile de connaître à l'avance la fonction de transfert d'un

processus car les études théoriques qui préciseraient cette fonction sont complexes. Il sera nécessaire d'avoir recours à la réponse indicielle. Déterminer expérimentalement la fonction de transfert d'un système revient donc à enregistrer sa réponse indicielle.

La procédure d'enregistrement de la réponse indicielle de la boucle interne est comme suite :

1. On met le régulateur 24-PIC-04609 en mode manuel et on utilise la méthode de réglage en boucle ouverte.
2. Vérifions que les plages d'enregistrement sont convenables. En assurant que le système à régler est à l'état stable, c'est-à-dire la grandeur à régler est constante.
3. En effectuant manuellement une variation échelon sur MV "Manipulated Value" l'ouverture de la vanne (24-PV-01609) amplitude de 10% (de 0 bar à 0.25bar).

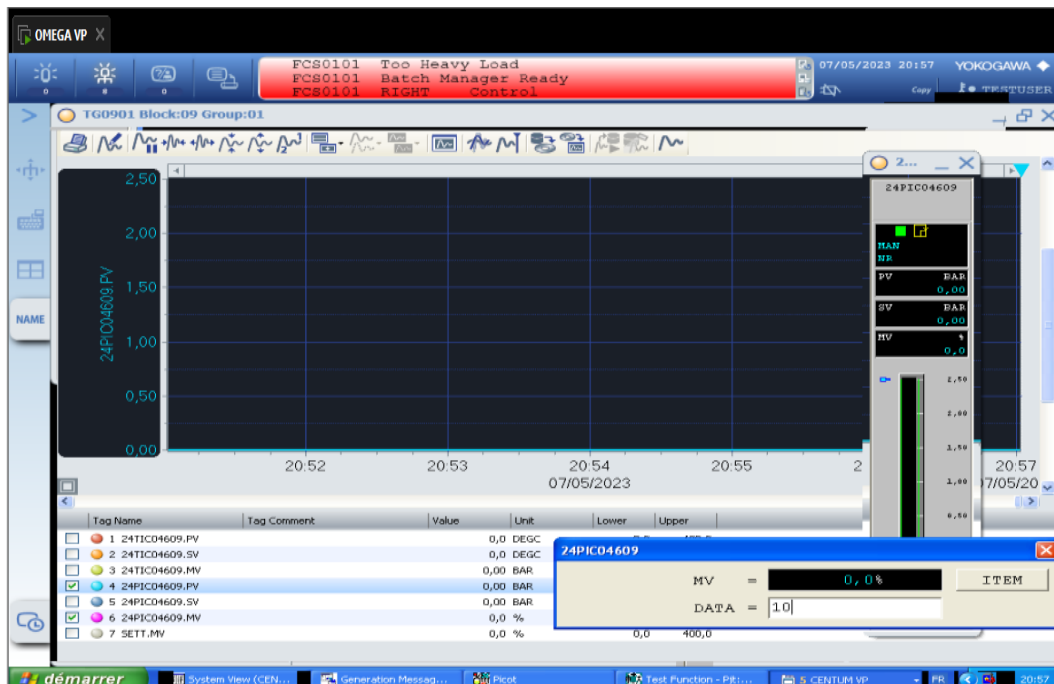


FIGURE 4.15 – Variation de l'ouverture de la vanne.

4. Avant d'arrêter l'enregistrement, nous devons nous assurer que la grandeur à régler effectivement atteint un régime stable.

L'organe d'enregistrement est un micro-ordinateur qui est considéré comme une station pour la supervision ainsi que pour l'application des commandes, car actuellement au niveau de l'usine, le contrôle est effectué par le système DCS.

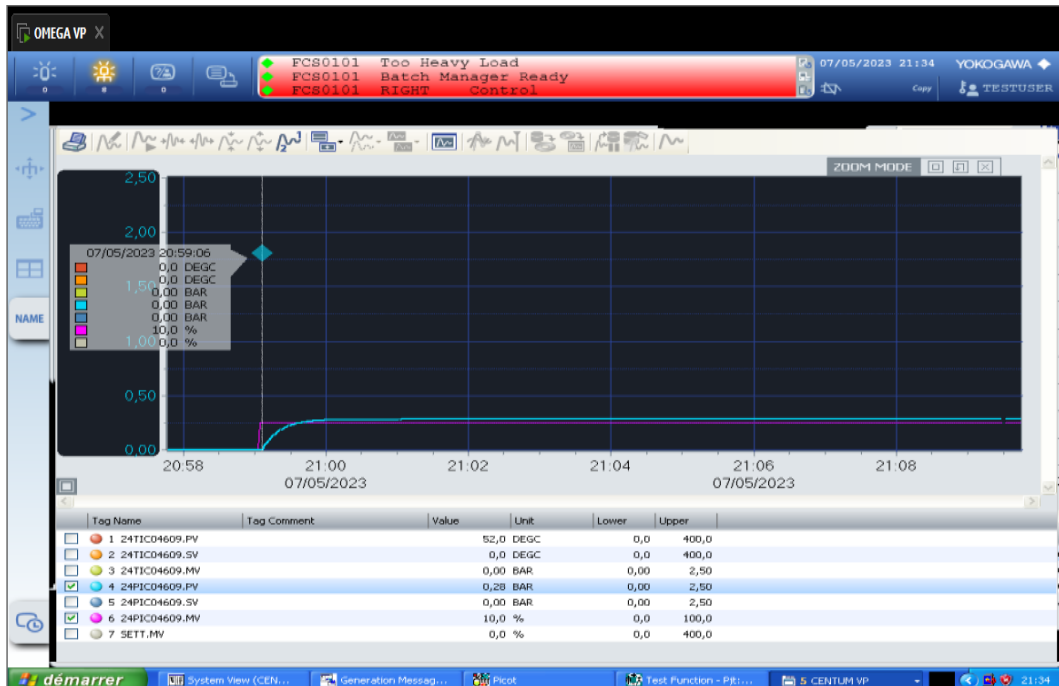


FIGURE 4.16 – Réponse indicielle de la boucle ouverte « interne »

#### 4.4.3.2 Identification de la boucle interne

L'objectif de l'identification est de calculer les paramètres d'un modèle du procédé, à partir des données expérimentales, de façon à ce que le comportement du procédé et celui de modèle soient identiques, et ceci pour toutes les séquences de variables d'entrées habituellement utilisées. [26] Pour élaborer ce modèle on a besoin d'utiliser les méthodes d'identification. Parmi les méthodes les plus utilisées ; la méthode de premier ordre 63%

##### Modèle du premier ordre :

La réponse d'un système du premier ordre soumis à un échelon, est donnée comme suit :

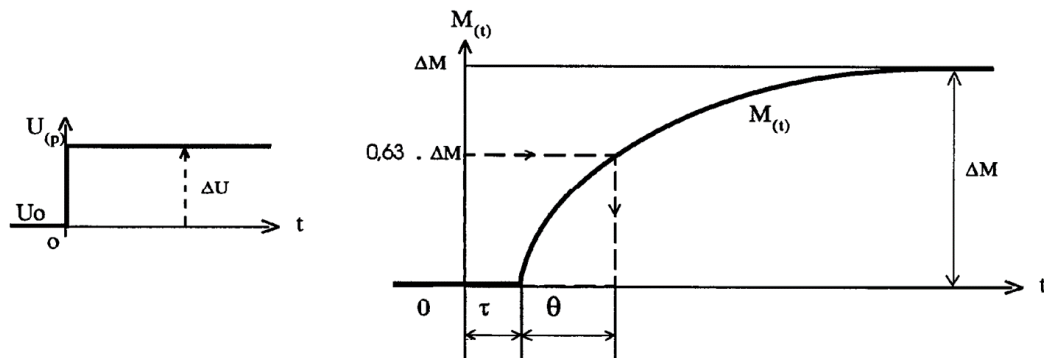


FIGURE 4.17 – Méthode d'identification de 1er ordre.

Le modèle du premier ordre affecté d'un retard pur est de la forme :

$$\frac{K}{1 + Tp} e^{-\tau p} \quad (4.1)$$

L'objectif c'est de déterminer les paramètres suivants : T Constante du temps (sec.),  $\tau$  Temps de retard pur (sec.) et le gain statique K. La détermination de ces paramètres se fait comme suit :

Le gain statique est mesuré directement par :  $K = \Delta Y / \Delta X = \Delta PV / \Delta MV$ .

Le temps de retard  $\tau$  : aussi appelé Temps mort du procédé, c'est le temps entre la variation de commande et le début de variation observée de la mesure.

La constante de temps T : temps mis par la mesure (hors temps mort), pour varier de 63,2% de sa variation totale, donc on fait la projection de la valeur de  $M(\theta)$  sur l'axe des abscisses tel que :

$$M(\theta) = M_i + 0.632(M_f - M_i) \quad (4.2)$$

### Relevés expérimentaux :

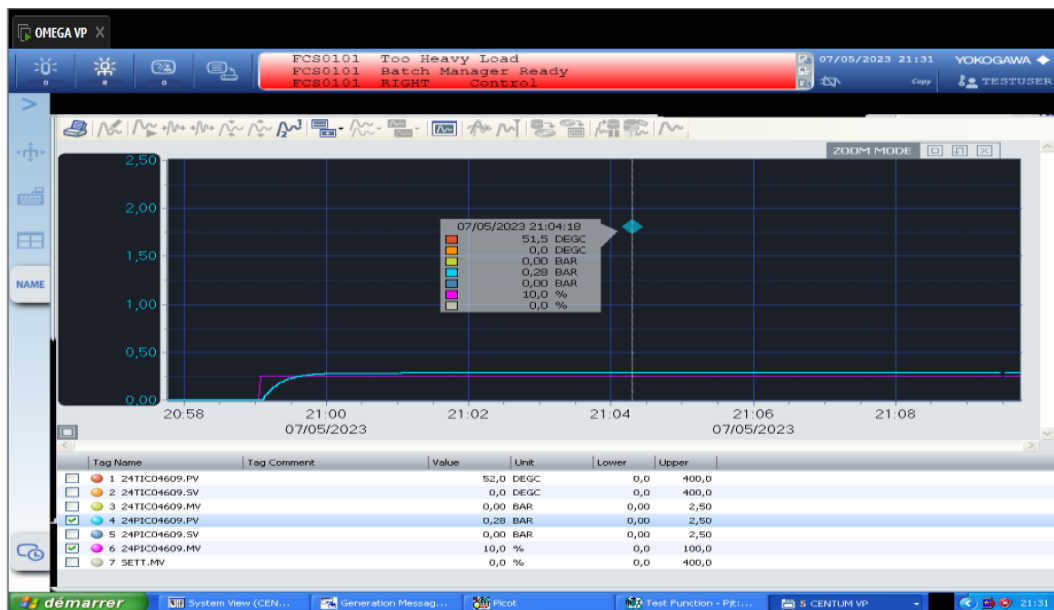


FIGURE 4.18 – la réponse indicielle de la boucle interne.

D'après le graphe ci-dessus « la réponse indicielle de la boucle interne » et par projection on trouve :

**Le gain :**  $K = \Delta PV / \Delta MV = (0.28 / 2.5) / 0.1 = 1.12$

**Le retard :**  $\tau = 3s$

**Constante du temps :**  $T = 15s$

D'où notre modèle de la boucle interne :  $G_1(p) = \frac{1.12}{1+15p} e^{-3p}$

#### 4.4.3.3 Détermination des paramètres TIC (la boucle externe)

**Procédure expérimentale** De la même façon que la boucle interne, On suit les étapes suivantes afin d'enregistrer la réponse indicielle de la boucle externe :

1. Mettons le régulateur (24-TIC-01609) en mode manuelle. Et Mettons le régulateur (24-PIC-04609) en mode Primaire.

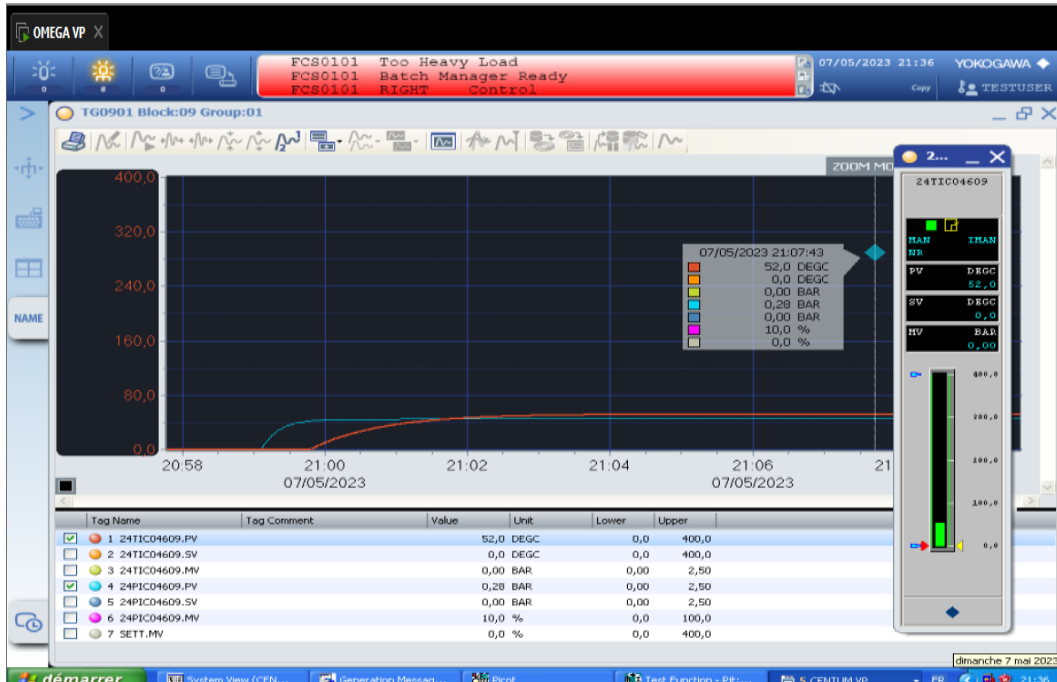


FIGURE 4.19 – Le mode du régulateur TIC.

2. Vérifions que les plages d'enregistrement sont convenables.
3. En s'assurant que le système à régler soit à l'état stable c'est-à-dire la grandeur à régler est constant.
4. Effectuons manuellement une augmentation de 1 bar sur le signal de commande (MV) de notre régulateur (24-TIC-01609).
5. Avant d'arrêter l'enregistrement, nous devons nous assurer que la grandeur à régler a effectivement atteint un régime stable.

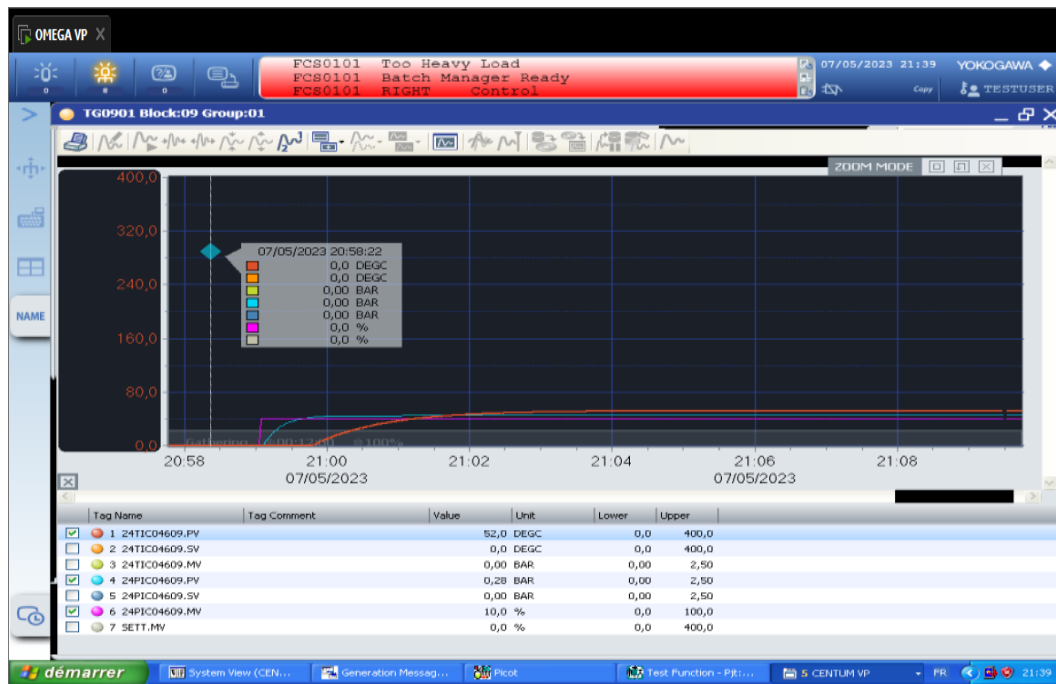


FIGURE 4.20 – Réponse indicielle de la boucle ouverte « externe ».

#### 4.4.3.4 Identification de la boucle externe

Pour élaborer le modèle mathématique de la boucle externe, on a besoin d'utiliser une des méthodes d'identification. D'après les résultats graphiques obtenus, on voit clairement que la réponse à l'échelon de la boucle maître n'a pas de dépassement (Réponse apériodique), Alors on utilise la méthode de Strejc. [27]

#### Modèle d'ordre supérieur "Méthode de Strejc "

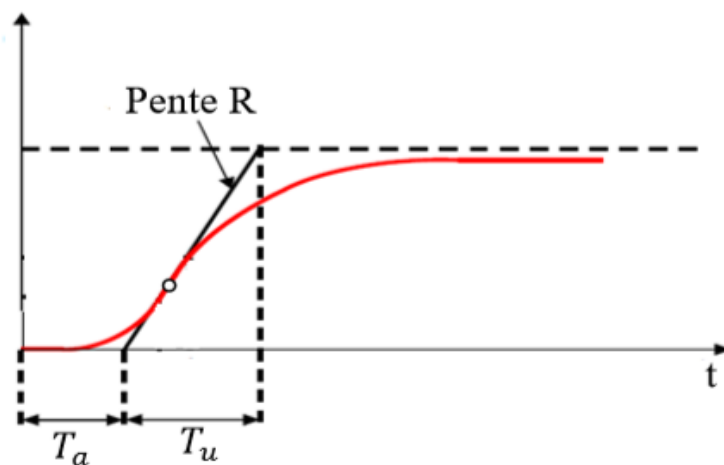


FIGURE 4.21 – Réponse d'un système sans dépassement.

La méthode de « Strejc » consiste à caractériser le procédé par un modèle de la forme : La méthode de « Strejc » consiste à caractériser le procédé par un modèle de la forme :

$$\frac{K}{(1 + Tp)^2} e^{-\tau p} \quad (4.3)$$

Ce type de modèle ne pourra convenir que pour une réponse ayant une allure telle que celle présentée sur la figure 8. Le principe de la méthode est le suivant :

- Tracer la tangente au point d'inflexion, qui permet de définir les deux grandeurs  $T_u$  et  $T_a$ .
- On calcule le rapport :  $\eta = T_u/T_a$ .
- On cherche dans le tableau (1) le rapport  $T_u/T_a$  immédiatement inférieur à la valeur calculée  $\eta$ . Cette ligne permet d'obtenir l'ordre  $n$  du modèle. La constante de temps  $T$  est calculée à partir de la troisième colonne.

$$T = \left( \frac{\tau}{T_{a, \text{tableau}}} \right) \cdot T_{a, \text{mesuré}} \quad (4.4)$$

$$\tau = T_{u, \text{mesuré}} - \left( \frac{T_u}{T_{a, \text{tableau}}} \right) \cdot T_{a, \text{mesuré}} \quad (4.5)$$

Le tableau suivant permet d'obtenir la constante de temps et l'ordre  $n$  :

TABLE 4.2 – Coefficients de la méthode de Strejc.

$\eta = T_u/T_a$	Ordre du modèle « n »	$T/T_a$
0	1	1
0.105	2	0.37
0.22	3	0.27
0.32	4	0.22
0.41	5	0.20
0.49	6	0.18
0.57	7	0.19

### Relevés expérimentaux

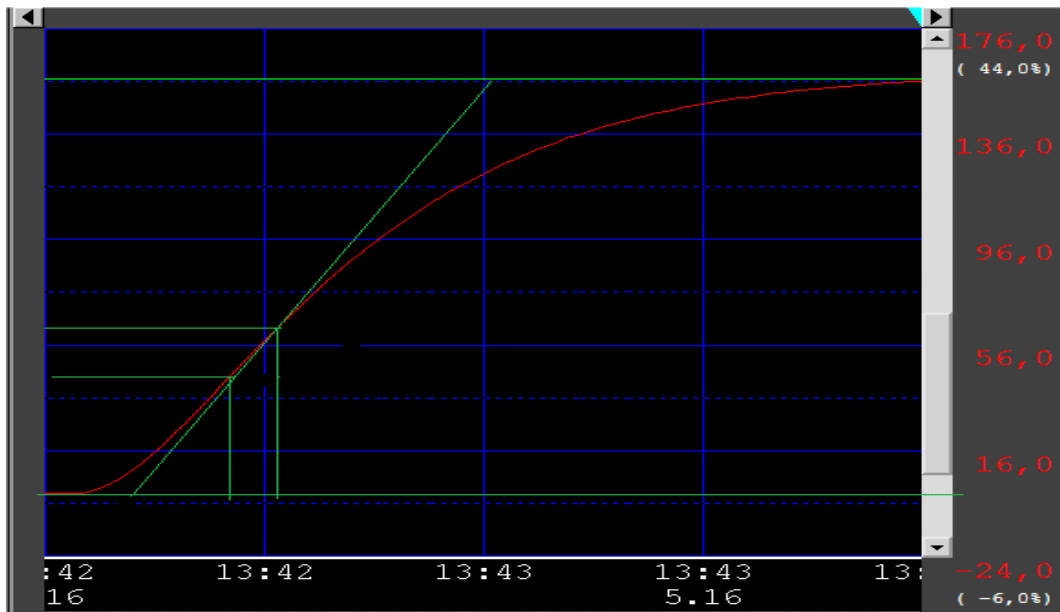


FIGURE 4.22 – la réponse indicielle de la boucle externe.

D'après le graphe ci-dessus et par projection, nous trouvons :  $T_a = 10.31$  sec et  $T_u = 49.12$  sec. Donc en utilisant les formules précédentes, nous obtenons :  $n = 2$ ,  $\tau = 5.24$  sec et  $T = 18.05$  sec. Et :  $K = (52/400)/0.104 = 1.25$ .

D'où notre modèle de la boucle externe :

$$G_2(p) = \frac{1.25}{(1 + 18p)^2} e^{-5.24p} \quad (4.6)$$

#### 4.4.4 Cahier des charges

Pour caractériser les performances d'un procédé en boucle fermée, on utilise trois paramètres :

- **Stabilité** : Un procédé asservi ou non est stable si à une variation bornée du signal d'entrée correspond une variation bornée du signal de sortie. Une variation d'un signal est dite bornée lorsqu'elle est constante en régime permanent.
- **Précision** : On souhaite que la sortie du système, soit la plus proche possible de l'entrée. Pour cela, il suffit que l'écart  $\varepsilon$  soit le plus faible possible.
- **Rapidité** : Le critère standard de rapidité utilisé est le temps de réponse à 5% de la sortie lorsque le système est soumis à une entrée en échelon. On choisit très souvent d'utiliser la notion de temps de réponse à 5 % près, ce qui revient à dire que le temps de réponse est l'instant à partir duquel la sortie a atteint sa valeur finale à  $\pm 5$  % près.

La définition des performances d'un système est une étape très intéressante qui va permettre à l'opérateur de trouver un compromis entre les trois performances

(stabilité, précision et rapidité) en respectant les exigences de procédé.

#### 4.4.5 Choix du mode de régulation

L'identification d'un procédé permet d'obtenir les paramètres caractéristiques (gain statique, constante de temps, ...). [28] A partir de ces paramètres, on calcule les actions à afficher sur le régulateur, ce calcul dépend :

- Du modèle choisi pour l'identification ;
- De la structure du régulateur utilisé ( série, parallèle,.. )
- Du mode de régulation choisi ( P , PI, PID,.. )

Le choix des modes de régulation d'un procédé dépend du rapport  $T/\tau$  pour les systèmes stables (et du rapport  $1/(k\tau)$  pour les systèmes instables).

- Si  $T/\tau$  est compris entre 10 et 20 : régulation P.
- Si  $T/\tau$  est compris entre 5 et 10 : régulation PI.
- Si  $T/\tau$  est compris entre 2 et 5 : régulation PID.
- Si  $T/\tau$  est supérieur à 20 : régulation tout ou rien.
- Si  $T/\tau$  est inférieur à 2 : régulation multi-boucles, régulation numérique.

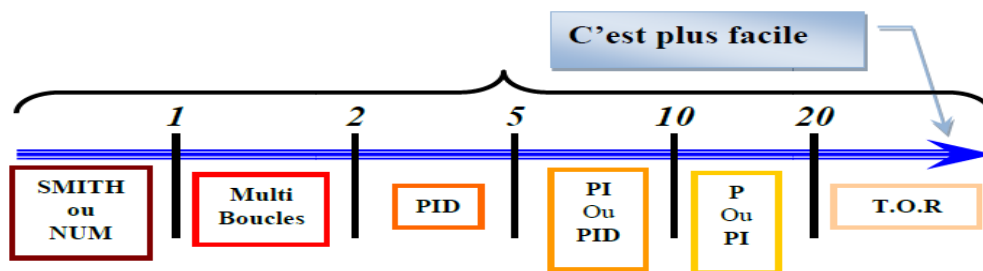


FIGURE 4.23 – Choix du type de régulation.

Au moyen du choix des coefficients du régulateur, il est possible d'obtenir un comportement désiré en boucle fermée, caractérisant les performances du système de régulation. Les critères à satisfaire sont les suivants :

- La mesure doit être égale à la consigne.
- Les effets des perturbations doivent être minimisés.
- La sollicitation des actionneurs doit être raisonnable.
- Les changements de consigne doivent s'effectuer en douceur tout en étant rapides.

TABLE 4.3 – Les méthodes de calcul des paramètres des régulateurs.

	<b>P</b>	<b>P.I Série</b>	<b>P.I Parallèle</b>	<b>P.I.D Série</b>	<b>P.I.D Parallèle</b>
$G_r$	$\frac{0,8.T}{K.\tau}$	$\frac{0,8.T}{K.\tau}$	$\frac{0,8.T}{K.\tau}$	$\frac{0,85.T}{K.\tau}$	$\frac{(T/\tau)+0,4}{1,2.K}$
$T_i$	Maxi	T	$\frac{K.\tau}{0,8}$	$K.\frac{\tau}{0,75}$	$K.\frac{\tau}{0,35.T}$
$T_d$	0	0	0	0,4.T	$\frac{0,35.T}{K}$

On peut calculer les paramètres de régulateur PI interne, en utilisant le tableau suivant : La boucle interne nécessite un régulateur PI avec une structure parallèle. Le rapport  $T/\tau$  est égal à  $15/3 = 5$ , donc on peut choisir la fonction de transfert suivante :

$$G_r = \frac{0,85T}{K\tau} = 3,75$$

$$T_i = T = 15s$$

La fonction de transfert du régulateur est donc :

$$C_{PI}(p) = G_r + \frac{1}{T_i p} = 3,75 + \frac{1}{15p}$$

## 4.5 Conclusion

Dans ce chapitre, et après avoir présenté la définition de la régulation, son principe et son objectif, nous avons expliqué étape par étape la simulation de notre système sous DCS donnant toutes les informations nécessaires qui permettent d'identifier notre système réel bouclé en cascade. par la suite, nous avons pu conclure un modèle de comportement traduisant le plus fidèlement notre procédé en utilisant des méthodes d'identification comme la méthode d'ordre 1 63% pour la boucle interne et la méthode de Strejc pour la boucle externe, nous avons entamé les méthodes de réglage et comment choisir le mode de régulation approprié. Les notions techniques et les résultats de l'identification et de réglage vues dans ce chapitre seront utilisées et appliquées pour l'étude et la simulation dans le chapitre prochain.

# Chapitre 5

## Simulation avec MATLAB et interprétation des résultats

## 5.1 Introduction

La commande adaptative avec un modèle de référence est l'une des techniques les plus utilisées dans un système industriel. Les performances souhaitées pour un système physique sont spécifiées dans un modèle de référence. La détermination d'une loi de commande adaptative adéquate permet à la réponse du système de suivre celle du modèle même en présence de perturbations, en agissant sur les performances dynamiques du système.

Dans ce chapitre, on va étudier la synthèse des lois de commandes adaptatives avec un modèle de référence basée sur la règle de MIT et nous allons simuler la réponse de notre système (le four de régénération) par la commande adaptative directe avec un modèle de référence (MRAC), en utilisant le langage de programmation MATLAB (SIMULINK), et par la suite, on va présenter les résultats obtenus.

## 5.2 Enoncé de notre problématique

La boucle de régulation étudiée du four de régénération est une boucle cascade Température-Pression qui sert à moduler la quantité de fuel gaz vers les brûleurs du four et maintenir la température désirée. Cette température doit suivre une séquence de montée progressive avec des paliers pour éviter le choc thermique du four. Cependant, les paramètres PID du régulateur de température ainsi que les paramètres PI du régulateur de pression sont fixes durant les différentes phases, ce qui entraîne des dépassements et une instabilité dans certaines étapes.

L'objectif de notre étude est de trouver un moyen d'ajuster les paramètres des contrôleurs à l'aide de modèles d'ajustement, afin de rendre la boucle plus stable avec des dépassements acceptables. En d'autres termes, les contrôleurs doivent s'adapter aux variations du système. De plus, nous devons prendre en compte les contraintes spécifiques liées à cette boucle de régulation du four de régénération. Ces contraintes comprennent notamment la nécessité d'éviter la formation d'hydrates dans l'unité (givrage dû à la présence d'eau dans le gaz), la préservation de l'intégrité des composants internes des pompes, la gestion de la criticité de la boucle et de la section régénération, ainsi que la prévention de l'arrêt du train et de la perte de production, tout en assurant un chauffage efficace de l'unité.

Notre étude vise donc à développer des méthodes d'ajustement des paramètres de contrôle adaptatives, prenant en compte ces contraintes spécifiques, afin d'améliorer la performance et la fiabilité de la boucle de régulation du four de régénération tout en évitant les problèmes potentiels liés aux hydrates, à la détérioration des

composants internes, à la criticité de la boucle et à la section régénération, ainsi qu'aux arrêts non planifiés et à la perte de production.

## 5.3 modèle mathématique du process et l'environnement de travail

### 5.3.1 Environnement logiciel

Nous avons utilisé l'environnement de programmation « MATLAB R2014b ».

MATLAB est un environnement de calcul intégré, basé sur un langage de programmation qui permet le développement rapide d'applications. Le langage permet la manipulation d'objets mathématiques à l'aide de fonctions. Il dispose des fonctions de calcul de base ainsi que des bibliothèques spécialisées.

### 5.3.2 Système de controle en cascade du Four

La figure (1) montre la conception du système de commande de la boucle de régulation en cascade pour le four. Les équations 1 et 2 sont les fonctions de transfert pour les objets primaires et secondaires.

$$G_1(p) = \frac{1.25}{(1 + 18p)^2} e^{-5.24p} \quad (5.1)$$

$$G_2(p) = \frac{1.12}{1 + 15p} e^{-3p} \quad (5.2)$$

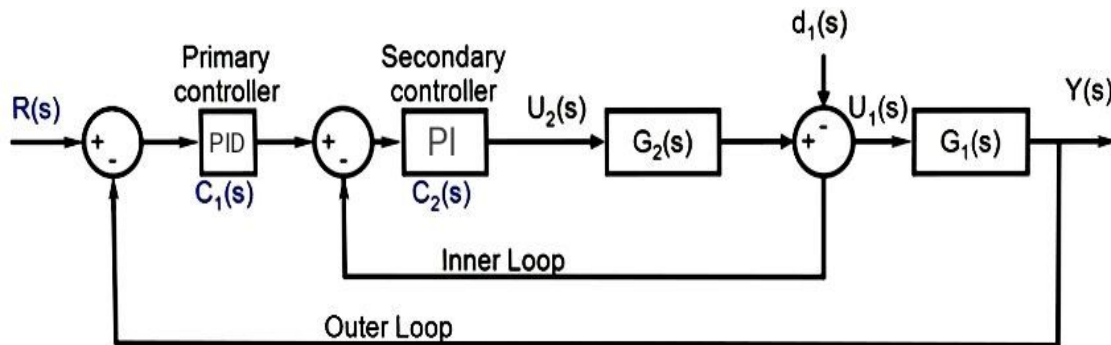


FIGURE 5.1 – Schéma explicatif de la boucle en cascade étudiée.

Pour mener notre étude et appliquer la commande adaptative. Cela nécessite l'extraction de la fonction globale du processus en bouclant les deux fonctions de transfert afin d'obtenir la fonction de transfert globale H.



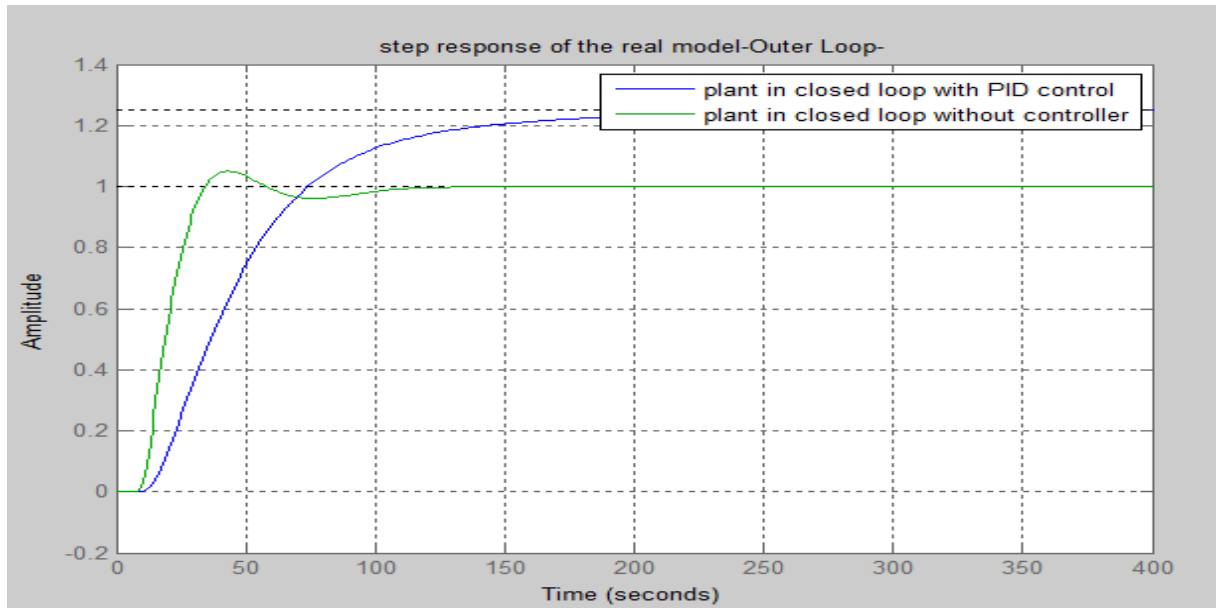


FIGURE 5.3 – la réponse indicielle de la boucle de régulation classique.

les performances de la boucle de régulation sont évaluées en utilisant les informations de la réponse indicielle. Les résultats sont affichés dans la console en utilisant la fonction `fprintf`.

TABLE 5.1 – Les performances de la boucle de régulation classique.

Le dépassement	5.017930%
Le temps de réponse	97.092674 s

En dépit de ces résultats satisfaisants, cette approche nécessite tout de même un mécanisme d'ajustement des paramètres de régulation afin d'optimiser les indices de performances du système.

Malgré les améliorations apportées par la commande en cascade et l'utilisation des types de commande conventionnels, il est essentiel de maintenir un équilibre optimal des paramètres pour assurer des performances stables et précises. Une analyse continue et une adaptation des paramètres de régulation sont donc nécessaires pour réduire davantage les effets indésirables, et ainsi garantir une régulation optimale de la température et de la pression dans la boucle de régulation.

## 5.4.2 Application de la commande adaptative directe avec MRAC sur le modèle étudié

### 5.4.2.1 Etapes de simulation

On applique une commande adaptative avec un modèle de référence sans aucune perturbation extérieure sur notre système. Pour bien analyser les performances de

la commande MRAC, il fallait suivre les étapes suivantes :

**Choix du modèle de référence :**

Une approche courante consiste à choisir une fonction de transfert de référence qui réponde aux exigences de stabilité et de rapidité. Pour ce faire, nous avons utilisé un critère de performance tel que le critère de temps de réponse et le critère de dépassement maximal. Une fonction de transfert de référence couramment utilisée pour les systèmes du 5ème ordre est une fonction de type "double intégrateur" telle que :

$$R(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (5.4)$$

Où  $\omega_n$  est la pulsation propre du modèle et  $\zeta$  est le coefficient d'amortissement.

Les paramètres du modèle que nous allons utiliser tout le long de ce chapitre sont choisis de telle façon que notre modèle de référence est stable, que ce soit le système à contrôler est stable ou instable. A titre d'exemple de simulation, on choisit un modèle de référence représenté par la fonction de transfert suivante :

$$R(s) = \frac{(25)^2}{s^2 + 2(0.8)(25)s + (25)^2} \quad (5.5)$$

Les figures ci-dessous illustrent les réponses du modèle de référence à différentes entrées ; échelon unitaire, un signal carré et un signal sinusoïdal :

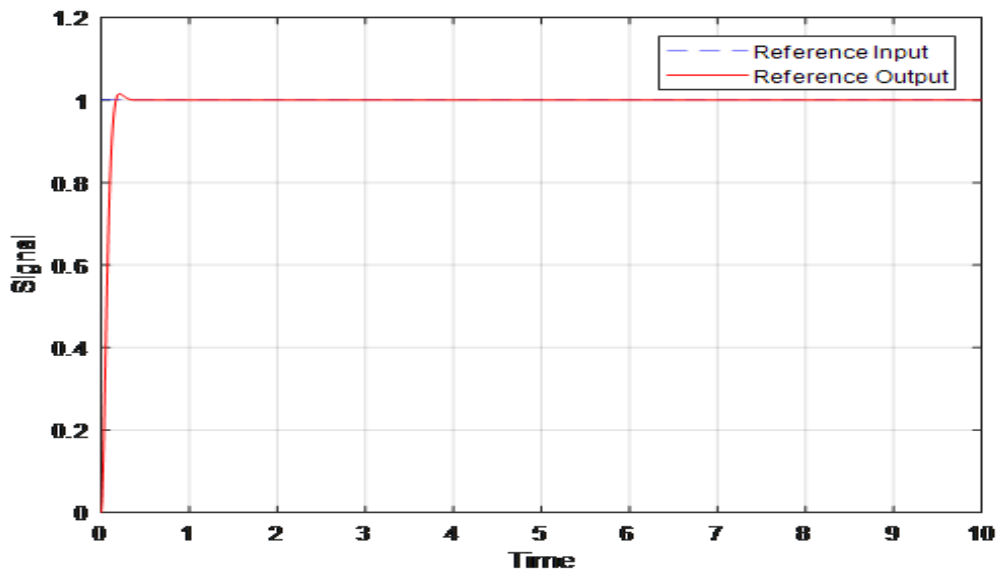


FIGURE 5.4 – Réponse indicielle du modèle de référence.

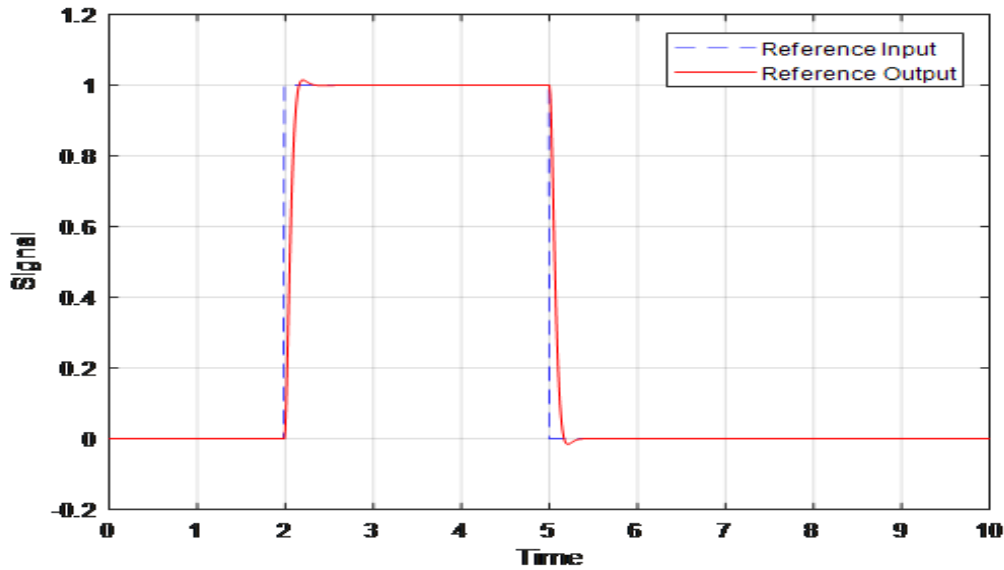


FIGURE 5.5 – Réponse du modèle de référence où l'entrée est un signal carré.

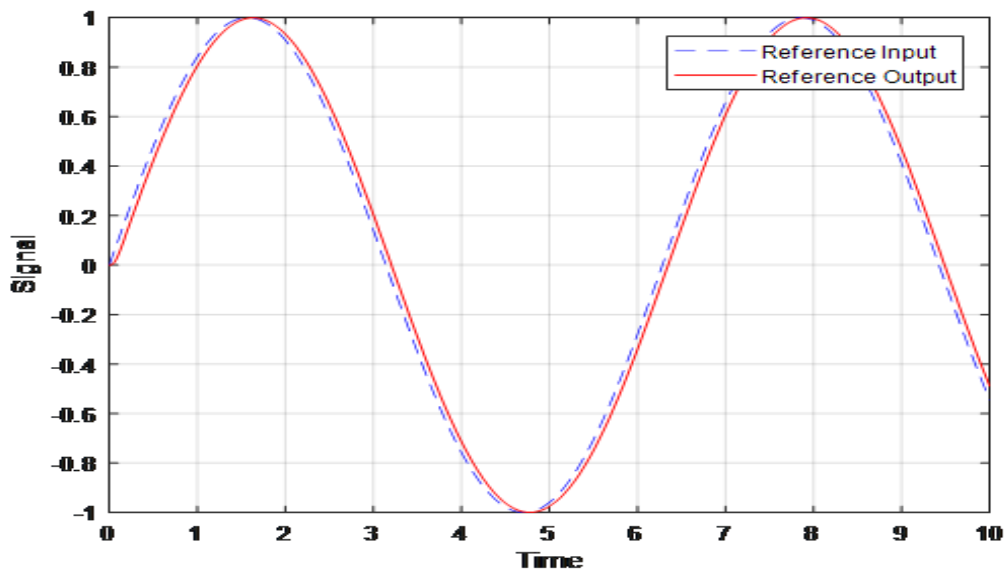


FIGURE 5.6 – Réponse du modèle de référence où l'entrée est un signal sinusoidal.

Une fois que nous avons choisi notre modèle de référence, nous pouvons utiliser la commande adaptative MRAC pour ajuster les paramètres de notre système en temps réel et atteindre la référence choisie.

**Sélection de l'algorithme de commande pour obtenir un suivi parfait du modèle :**

Pour obtenir un suivi parfait du modèle, l'algorithme de commande proportion-

nelle intégrale dérivée (PID) suivant est sélectionné pour le processus :

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt - k_d \dot{y}(t), \quad (5.6)$$

où  $k_p$  est le gain proportionnel,  $k_i$  est le gain intégral,  $k_d$  est le gain dérivé,  $y$  est la sortie de l'usine, et  $e(t) = r_{in}(t) - y(t)$ , avec  $r_{in}(t)$  comme entrée du modèle de référence.

La représentation du contrôleur PID dans le domaine de Laplace est :

$$U(s) = k_p E(s) + \frac{k_i}{s} E(s) - s k_d Y(s), \quad (5.7)$$

et la sortie  $Y(s)$  du processus peut être trouvée comme suit :

$$Y(s) = G(s)U(s), \quad (5.8)$$

où  $G(s)$  est la fonction de transfert du processus.

La substitution de la première équation dans la deuxième donne :

$$Y(s) = G(s) \left[ k_p E(s) + \frac{k_i}{s} E(s) - s k_d Y(s) \right], \quad (5.9)$$

et le système en boucle fermée est :

$$Y(s) = G(s)E(s) \left[ k_p + \frac{k_i}{s} \right] - s k_d Y(s)G(s). \quad (5.10)$$

Sachant que :  $E(s) = R_{in}(s) - Y(s)$ ,  $E(s)$  est substitué dans l'équation (5.7) comme suit :

$$\begin{aligned} Y(s) &= G(s)[R_{in}(s) - Y(s)][K_p + \frac{1}{s}K_i] - sK_d Y(s)G(s) \\ Y(s) + [K_p + \frac{1}{s}K_i + sK_d]G(s)Y(s) &= G(s)R_{in}(s)[K_p + \frac{1}{s}K_i] \\ Y(s)[1 + (K_p + \frac{1}{s}K_i + sK_d)G(s)] &= G(s)R_{in}(s)[K_p + \frac{1}{s}K_i] \\ Y(s) &= \frac{[sK_p G(s) + K_i G(s)]R_{in}(s)}{s^2 K_d G(s) + (1 + K_p G(s))s + K_i G(s)} \end{aligned} \quad (5.11)$$

Pour convertir cette équation en domaine temporel, un opérateur différentiel est introduit. La fonction de coût est représentée par  $\theta = k_p, k_i, k_d$ .

La représentation de l'équation (5.10) dans le domaine temporel est :

$$y(t) = \frac{[pK_p g(t) + K_i g(t)]r_{in}(t)}{p^2 K_d g(t) + (1 + K_p g(t))s + K_i g(t)}$$

Où  $p$  est un opérateur différentiel.

**Détermination de l'erreur entre les états du processus et les états du modèle de référence :**

L'erreur de suivi entre le système en boucle fermée et le modèle de référence est :

$$\varepsilon(t) = y(t) - y_m(t), \quad (5.12)$$

où  $y_m(t)$  est la sortie du modèle de référence.

En substituant  $e(t)$  et  $Y(s)$  dans  $\varepsilon(t)$ , on obtient :

$$\varepsilon(t) = \frac{(pk_p g(t) + k_i g(t))r_{in}(t)}{p^2 k_d g(t) + (1 + k_p g(t))s + k_i g(t)} - \frac{\omega_n^2}{p^2 + 2\zeta\omega_n p + \omega_n^2} r_{in}(t) \quad (5.13)$$

$\varepsilon(t)$  représente l'erreur entre le comportement de transition du système en boucle fermée et le modèle de référence.

### Conception de mécanisme d'adaptation

Le mécanisme adaptatif conçu ajustera les paramètres de la loi de commande et garantira également la stabilité du système de commande. La convergence de l'erreur de suivi vers 0 est également garantie par ce mécanisme adaptatif. En prenant les dérivées partielles de  $\theta$  par rapport à  $k_p$ ,  $k_i$  et  $k_d$ , la sensibilité peut être déterminée.

Les expressions des fonctions de sensibilité de l'erreur du système en boucle fermée par rapport aux paramètres du contrôleur sont dérivées en différentiant l'équation (36). Ces expressions sont définies comme  $\frac{\partial \varepsilon(t)}{\partial k_p}$ ,  $\frac{\partial \varepsilon(t)}{\partial k_i}$  et  $\frac{\partial \varepsilon(t)}{\partial k_d}$ . Elles sont dérivées comme suit :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon(t)}{\partial k_p} &= \frac{g(t)e(t)p}{p^2 k_d g(t) + (1 + k_p g(t))s + k_i g(t)} \\ \frac{\partial \varepsilon(t)}{\partial k_i} &= \frac{g(t)e(t)}{p^2 k_d g(t) + (1 + k_p g(t))s + k_i g(t)} \\ \frac{\partial \varepsilon(t)}{\partial k_d} &= -\frac{y(t)e(t)p^2}{p^2 k_d g(t) + (1 + k_p g(t))s + k_i g(t)} \end{aligned}$$

Pour s'assurer qu'il y a une erreur de suivi parfait, supposons que le comportement temporel du processus est égal au comportement temporel du modèle de référence, comme suit :

$$\frac{g(t)}{p^2 k_d g(t) + (1 + k_p g(t))s + k_i g(t)} = \frac{\omega_n^2}{p^2 + 2\zeta\omega_n p + \omega_n^2}$$

La méthode de gradient décrite dans (26) est appliquée pour trouver les expres-

sions des paramètres de commande :

$$\begin{aligned} \dot{k}_p &= -\gamma_p \varepsilon(t) \frac{\omega_n^2}{p^2 + 2\zeta\omega_n p + \omega_n^2} e(t) \\ \dot{k}_i &= -\gamma_i \varepsilon(t) \frac{\omega_n^2}{p^2 + 2\zeta\omega_n p + \omega_n^2} e(t) \\ \dot{k}_d &= -\gamma_d \varepsilon(t) \frac{\omega_n^2}{p^2 + 2\zeta\omega_n p + \omega_n^2} y(t) \end{aligned}$$

où  $\gamma_p$ ,  $\gamma_i$  et  $\gamma_d$  sont les gains d'adaptation. L'expression du contrôleur PID adaptatif est la suivante :

$$u(t) = -\gamma_p \varepsilon(t) \frac{\omega_n^2}{p^2 + 2\zeta\omega_n p + \omega_n^2} e(t) - \gamma_i \varepsilon(t) \frac{\omega_n^2}{p^2 + 2\zeta\omega_n p + \omega_n^2} e(t) + \gamma_d \varepsilon(t) \frac{\omega_n^2}{p^2 + 2\zeta\omega_n p + \omega_n^2} y(t)$$

### Résultats de simulation :

Le diagramme Simulink du système en boucle fermée est montré dans la figure. La simulation est effectuée dans l'environnement MATLAB. Le système en boucle fermée est constitué des sous-systèmes suivants :

- Le modèle du processus représenté par la fonction de transfert  $H(s)$ .
- Le modèle de référence représenté par une fonction de transfert du deuxième ordre.
- Les algorithmes de contrôle d'adaptation.

Ce design proposé a été testé pour vérifier si le système suivra le modèle de référence afin de réduire l'erreur et fournir les performances souhaitées.

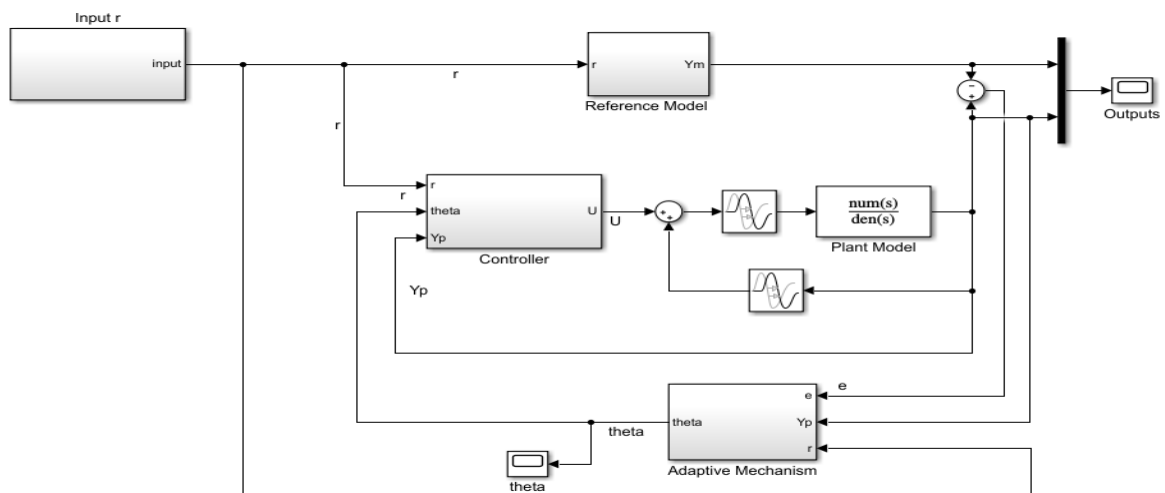


FIGURE 5.7 – Schéma de la commande adaptative directe implémenté sous Matlab.

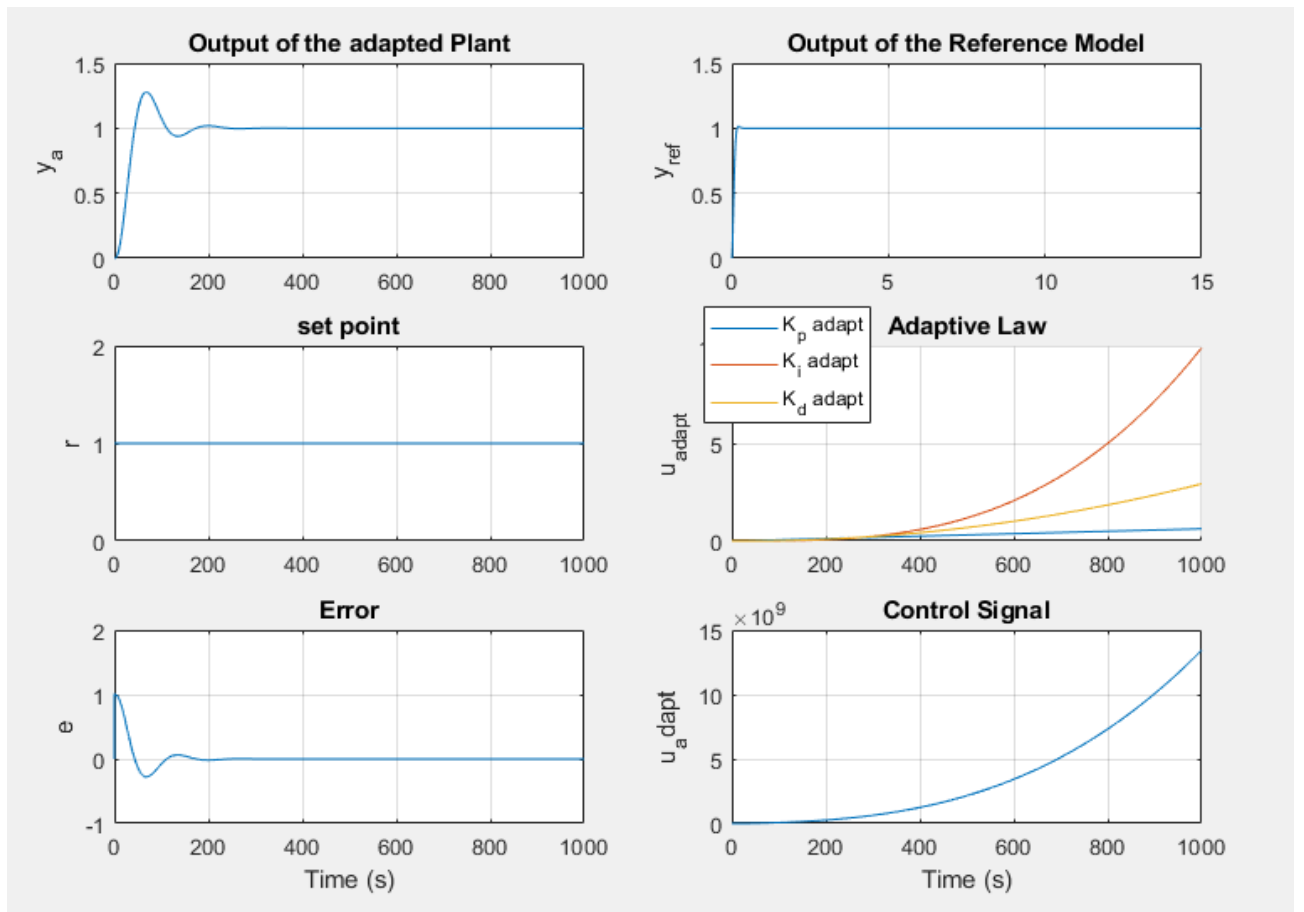


FIGURE 5.8 – Résultats de l’application de la commande adaptative MRAC sur le système.

#### 5.4.2.2 Interprétation des résultats

Le subplot (3,2,1) représente la sortie du système adapté  $y_a$  en réponse à la référence.

Le subplot (3,2,2) représente la sortie du modèle de référence  $y_r$ . on observe clairement à partir des courbes  $y_a$  et  $y_r$  que la sortie du système adapté suit la référence.

Le subplot (3,2,3) représente la consigne (set point)  $r$ . Dans ce cas, il s’agit d’un signal échelon constant.

Le subplot (3,2,4) représente la loi adaptative, c’est-à-dire les composantes proportionnelle, intégrale et dérivée d’adaptation ( $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ). Les composantes de la loi adaptative sont calculées en fonction de l’erreur ( $e$ ) entre la sortie du système adapté  $y_a$  et la référence  $y_r$ . Les courbes représentent les signaux de commande calculés pour chaque composante de la loi adaptative.

Le subplot (3,2,5) représente l'erreur (e) entre la sortie du système adapté  $y_a$  et la référence  $y_r$ , sachant que l'objectif de la commande adaptative est de minimiser cette erreur. Comme l'erreur converge vers une constante différente de zéro avec une fréquence d'oscillation très faible donc le système adapté est stable.

Le subplot (3,2,6) représente le signal de commande ( $u_a$ ) appliqué au système adapté. Le signal de commande est calculé en utilisant la loi adaptative et est destiné à minimiser l'erreur entre la sortie et la référence.

Le tableau suivant représente des mesures quantitatives des performances du système adapté : le dépassement et le temps de réponse.

TABLE 5.2 – Les performances de la boucle de commande avancée.

Le dépassement	27.84%
Le temps de réponse	39.26 s

Le dépassement est calculé en comparant la valeur maximale de la sortie du système adapté avec la valeur finale de la référence. Le temps de réponse est défini comme le temps nécessaire pour atteindre 90% de la valeur finale de la référence. Ces mesures permettent d'évaluer l'efficacité de la commande adaptative dans le suivi de la référence. Ces mesures permettent d'évaluer l'efficacité de la commande adaptative dans le suivi de la référence. D'après notre comparaison des performances de la commande MRAC avec celles d'une commande conventionnelle, il est clair que la commande adaptative améliore la rapidité du système en réduisant le temps de réponse. Cependant, nous avons constaté une légère dégradation du dépassement, ce qui peut affecter la stabilité globale du système. Malgré cela, la commande MRAC offre une amélioration significative de la régulation de la température et de la pression du four, tout en garantissant une plus grande robustesse et stabilité.

## 5.5 Conclusion

En conclusion, notre étude a montré que la commande MRAC présente des avantages significatifs par rapport à une commande conventionnelle en termes de régulation de la température et de la pression du four. Bien que la rapidité du système soit améliorée grâce à la réduction du temps de réponse, une légère dégradation du dépassement a été observée, ce qui peut affecter la stabilité globale du système. Néanmoins, la commande MRAC demeure une solution plus robuste et stable pour la régulation du four, offrant ainsi des performances supérieures. Nos résultats suggèrent que la commande adaptative peut être une option intéressante pour les applications industrielles nécessitant une régulation précise et rapide de la température et de la pression.

# Conclusion générale & Perspectives

Ce mémoire a présenté une étude sur l'optimisation de la régulation d'un four de régénération dans l'unité de déshydratation de ZCINA, en utilisant la commande adaptative à modèle de référence (MRAC).

Nous avons au début exposé le principe générale et les concepts fondamentaux de cette approche basant sur approche directe , ainsi que son application sur la boucle en cascade existante.

Les outils de simulation Centum VP et Matlab ont également été utilisés pour identifier le modèle mathématique de la boucle de régulation en cascade du four de régénération, et implémenter la commande adaptative basée sur la règle de MIT. Nous avons souligné le rôle crucial de l'unité de déshydratation et de la section de régénération du four dans le processus global. Nous avons également utilisé les outils de simulation Centum VP et Matlab pour identifier le procédé et implémenter la commande adaptative basée sur la règle de MIT.

Nous avons comparé les performances de cette commande avec celles d'une commande conventionnelle. Nous avons constaté que la MRAC offre une amélioration significative de la régulation de la température et de la pression du four, tout en assurant une stabilité et une robustesse accrues. En particulier, nous avons pu minimiser le temps de réponse, améliorant ainsi la rapidité du système sans compromettre le temps de montée ou le dépassement. Ce mémoire ouvre des perspectives intéressantes pour des travaux futurs, tels que l'extension de la commande adaptative à d'autres boucles de régulation au sein de l'unité GPL ZCINA, ou l'utilisation d'autres approches ou méthodes de commande avancées, comme la commande prédictive ou la commande robuste.

# Bibliographie

- [1] Yakoub BOUTERAA. *Automatisation d'une serre agricole*. PhD thesis, 2012.
- [2] Gabor Papanek, Péter Sárkány, and Erzsébet Viszt. Les difficultés financières des entreprises dans l'industrie hongroise. *Revue d'études comparatives Est-Ouest*, pages 71–82, 1988.
- [3] Mélanie Bélanger. *Commande de l'orientation d'un satellite basée sur la logique floue*. Master's thesis, Université de Sherbrooke, 2005, 2007.
- [4] F Mudry. Ajustage des paramètres d'un régulateur pid. *Ecole d'ingénieurs du Canton de Vaud-Département d'électricité et informatique*, 2002.
- [5] John G Ziegler and Nathaniel B Nichols. Optimum settings for automatic controllers. *Transactions of the American society of mechanical engineers*, 64(8) :759–765, 1942.
- [6] Åström KJ and T Hägglund. *Pid controllers : theory, design and tuning*. Instrument Society of America, Research Triangle Park, NC, 1995.
- [7] Saad KOURICHE and Fouad HADJI. *STABILISATION ET COMMANDE ADAPTATIVE FLOUE TYPE-2 D'UNE CLASSE DE SYSTEMES NON LINEAIRES*. PhD thesis, Univ M'sila, 2020.
- [8] Hocine Lazouzi. Fouchal razika commande adaptative des systèmes à paramètres localisées : application à la régulation insuline-glucose. *Mémoire de MASTER, Faculté De Génie Electrique Et D'informatique DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE, Faculté De Génie Electrique Et D'informatique DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE*, 2018.
- [9] Yoan D Landau and Luc Dugard. *Commande adaptative : aspects pratiques et théoriques*. (No Title), 1986.
- [10] Pierre Borne, Geneviève Dauphin-Tanguy, Jean-Pierre Richard, Frédéric Rottella, and Irène Zambettakis. *Commande et optimisation des processus. Méthodes et techniques de l'ingénieur(Paris)*, 1990.
- [11] Fouzia Madour. *Commande adaptative robust floude des systèmes non linéaires*. PhD thesis, 2018.
- [12] Hemeir Farouk. *Commande adaptative à modèle de référence d'un système linéaire*.

- 
- [13] Karl J Åström and Björn Wittenmark. *Adaptive control*. Courier Corporation, 2013.
- [14] VV Chalam. *Adaptive control systems : Techniques and applications*. Marcel Dekker, Inc., 1987.
- [15] Tawanda Mushiri, Abigail Mahachi, and Charles Mbohwa. A model reference adaptive control (mrac) system for the pneumatic valve of the bottle washer in beverages using simulink. *Procedia Manufacturing*, 7 :364–373, 2017.
- [16] Karima Turki. *Nouvelles approches pour la synthèse de lois de commande non linéaires robustes. Application à un actionneur électropneumatique et proposition d’une solution au problème de redécollage*. PhD thesis, INSA de Lyon, 2010.
- [17] Houari Merabet Boulouiha. *Techniques de commande avancée*. 2015.
- [18] Lamia Abbaz and Ryma Fares. *Etude de l’extension du champ pétrolier de Hassi Messaoud*. PhD thesis, École Nationale Polytechnique, 2008.
- [19] SONATRACH. *Documentation technique*, SONATRACH, 2021.
- [20] Daniel Mikelsten. *Automatisation et technologies émergentes*, volume 3. Cambridge Stanford Books, 2020.
- [21] S Kechida, M Ayab, H Mezdour, and A Ayab. *Elaboration d’un système de supervision sous yokogawa cs3000 : Application à l’unité de production d’air de l’entreprise nationale sonatrach*. 2019.
- [22] *Documentation sonatrach. Stage ingénierie système DCS YOKOGAWA*, Centre de formation ZCINA, s.d. Hassi Messouad.
- [23] TAREK DOUADI. *Etude et commande d’un système éolien à base d’une génératrice asynchrone*. PhD thesis, Université de Batna 2, 2011.
- [24] Imane Kamli, Chamissa Mansouri, and Fayçal Megri. *Modélisation et optimisation d’un cycle organique de rankine ‘orc’ par l’intelligence artificielle*. 2022.
- [25] Nelson Serre. *Etude de mécanismes cellulaires et moléculaires impliqués dans la réponse et l’adaptation d’Arabidopsis à des stress métalliques : dynamique de modifications post-traductionnelles au cours d’un stress cadmium et effets de l’uranium sur le système racinaire*. PhD thesis, Université Grenoble Alpes, 2018.
- [26] Hoang Bao Le and Eduardo Mendes. *Une méthode d’identification par relais associée à une synthèse robuste de correcteur d’ordre réduit*. In *Conférence Internationale Francophone d’Automatique*, page xx, 2010.
- [27] Sarah Lounes. *Identification des systèmes dynamiques par l’optimisation globale*. PhD thesis, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU, 2019.

- [28] BOUGHERZA ABDELMALEK. *Etude Comparative en Simulation entre un Régulateur PID Classique et un Régulateur PID Intelligent*. PhD thesis, university center of abdalhafid boussouf-MILA, 2022.