

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة  
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

قسم الآلية والالكتروتقني  
Département d'Automatique et électrotechnique



# Mémoire de Master

Mention Automatique

Spécialité Automatique et Systèmes

Présenté par

**BENSALAH Amine**

&

**TAKARLI Mohamed**

## Simulation et régulation de la température d'un réchauffeur atmosphérique au niveau de la raffinerie d'Alger (RA1G)

Promotrice : Dr. KHEMICI Latifa

Co-promoteur : Mr. TAKJOUT Amine

Année Universitaire 2022-2023



## Remerciements

---

Nous tenons à remercier en premier lieu Allah de nous avoir donné la force et le courage dans notre long cursus pour accomplir ce travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promotrice Madame KHEMICI Latifa pour nous avoir encadré durant notre projet de fin d'études.

Nous adressons également nos vifs remerciements à tous les ingénieurs de la raffinerie d'Alger et spécialement à monsieur TAKDJOUT Amine pour leur grand aide qu'il nous a apporté.

Nous tenons aussi à remercier chaleureusement les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer notre projet.

Nous présentons enfin, notre profonde gratitude à notre famille, ainsi qu'à tous ceux qui nous ont aidé de loin ou de près à réaliser ce travail.

**Amine & Mohamed**

## Dédicaces

---

Nous dédions ce mémoire

À nos parents, qui ont été une source inépuisable d'amour, de soutien et d'encouragement tout au long de notre parcours.

À nos frères et sœurs, qui ont toujours cru en nous et qui ont été une source d'inspiration constante.

À tous nos amis et camarades de classe en automatique et système pour les moments que nous avons partagés ensemble.

À toutes les personnes qui nous aiment.

**Amine & Mohamed**

---

## الملخص:

لقد حصلنا على فرصة لإجراء تدريبنا في مصفاة الجزائر، مما منحنا تجربة ملموسة ومثيرة في مجال تكرير النفط. يركز هذا المشروع الختامي على محاكاة حلقة التحكم في سخان جوي. لهذا الغرض، استخدمنا نظام التحكم الموزع (DCS) FOXBORO، وقمنا بإنشاء حلقة تحكم متتابعة باستخدام برامج ArchestraIDE و Matlab. تم ضمان مراقبة هذه الحلقة بواسطة برامج FoxDraw و Foxview، والتي توفر واجهة سهلة الاستخدام لمراقبة وتصور البيانات. من خلال هذا النهج الشامل، تمكنا من محاكاة والتحكم بفعالية في سخان الهواء، مما يسهم في فهم أفضل لعمليات التكرير.

**الكلمات المفتاحية:** محاكاة، تحكم، سخان جوي، مصفاة الجزائر، حلقة التحكم المتتابعة، نظام التحكم الموزع (DCS)، ArchestraIDE، Matlab، FoxDraw، Foxview.

---

## Abstract:

We had the opportunity to carry out our internship at the Algerian refinery, which provided us with a concrete and enriching experience in the field of oil refining. This final year project focuses on the simulation of the control loop of an atmospheric heater. For this purpose, we used the distributed control system (DCS) from FOXBORO, implementing a cascade control loop using ArchestraIDE and MATLAB software. The supervision of this loop was ensured by FoxDraw and Foxview software, offering a user-friendly interface for data monitoring and visualization. Through this comprehensive approach, we were able to effectively simulate and control the atmospheric heater, contributing to a better understanding of the refining processes.

**Keywords:** simulation, control, atmospheric heater, Algerian refinery, cascade control loop, distributed control system (DCS), ArchestraIDE, MATLAB, FoxDraw, Foxview.

---

## Résumé :

Nous avons eu l'opportunité d'effectuer notre stage au sein de la raffinerie d'Alger, ce qui nous a offert une expérience concrète et enrichissante dans le domaine du raffinage du pétrole.

Ce projet de fin d'étude se concentre sur la simulation de la boucle de régulation d'un réchauffeur atmosphérique. Pour cela, nous avons utilisé le système de contrôle distribué (DCS) de FOXBORO, en mettant en place une boucle de régulation en cascade à l'aide des logiciels ArchestraIDE et Matlab. La supervision de cette boucle a été assurée par les logiciels FoxDraw et Foxview, offrant une interface conviviale pour la surveillance et la visualisation des données. Grâce à cette approche complète, nous avons pu simuler et contrôler efficacement le réchauffeur atmosphérique, contribuant ainsi à une meilleure compréhension des processus de raffinage.

**Mots-clés :** simulation, régulation, réchauffeur atmosphérique, raffinerie d'Alger, boucle de contrôle en cascade, système de contrôle distribué (DCS), ArchestraIDE, Matlab, FoxDraw, Foxview.

---

---

# Table des Matières

---

**Table des Matières**

<b>Remerciements</b>	
<b>Dédicaces</b>	
<b>Résumés</b>	
<b>Table des Matières</b>	
<b>Liste des Figures &amp; Tableaux</b>	
<b>Liste des Abréviations</b>	
<b>Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
<i>Chapitre I Présentation de la raffinerie d'Alger (RAIG)</i>	
<b>I.1 Introduction .....</b>	<b>3</b>
<b>I.2 Historique.....</b>	<b>3</b>
<b>I.3 Présentation de la raffinerie d'Alger .....</b>	<b>4</b>
I.3.1 Les différentes unités de la raffinerie d'Alger .....	5
I.3.2 Produits de la raffinerie d'Alger .....	5
I.3.3 Organisation de la sécurité de la raffinerie d'Alger .....	6
<b>I.4 Description des installations .....</b>	<b>6</b>
I.4.1 UNITÉ DE DISTILLATION ATMOSPHERIQUE- U100 .....	6
I.4.2 Unité de reforming catalytique « unité 200 : Platforming » .....	9
I.4.3 Unité de traitement du gaz « unité 300 : gaz plant » .....	10
I.4.4 Unités MS Block .....	11
I.4.5 Unité de craquage catalytique RFCC (U530).....	12
I.4.6 La section Sulfure BLOC .....	12
I.4.7 Les utilités.....	12
I.4.8 Salle de contrôle .....	15
I.4.9 Laboratoire.....	15
<b>I.5 L'organigramme de la raffinerie d'Alger .....</b>	<b>16</b>
<b>I.6 Conclusion.....</b>	<b>17</b>
<i>Chapitre II Description générale du processus</i>	
<b>II.1 Introduction.....</b>	<b>18</b>
<b>II.2 Description des procédés .....</b>	<b>18</b>

## Table des Matières

---

II.2.1 Prétraitement du brut.....	19
II.2.2 Préchauffage du brut .....	19
II.2.3 Section fours.....	20
II.2.4 Colonne de distillation atmosphérique .....	21
II.2.5 Colonne de débutanisation/stabilisateur de naphta .....	25
II.2.6 Redistillation .....	26
<b>II.3 Description du réchauffeur atmosphérique (F501) .....</b>	<b>26</b>
II.3.1 Constitution du four F501 .....	27
II.3.2 Équipements De Chauffe .....	29
II.3.3 Opérations .....	31
II.3.4 Procédure de démarrage .....	31
II.3.5 Procédure d'arrêt d'urgence .....	31
<b>II.4 Instrumentation de Four F501.....</b>	<b>32</b>
II.4.1 Capteurs.....	32
II.4.2 Transmetteur.....	32
II.4.3 Capteurs-transmetteurs.....	34
<b>II.5 Les principaux instruments de four F501.....</b>	<b>34</b>
II.5.1 Transmetteur de température.....	34
II.5.2 Transmetteur de pression .....	35
II.5.3 Transmetteur de débit.....	36
II.5.4 Vanne de régulation .....	37
II.5.5 Électrovanne.....	38
<b>II.6 Conclusion .....</b>	<b>39</b>
<i>Chapitre III Description De Système De Contrôle DCS (FOXBORO)</i>	
<b>III.1 Introduction .....</b>	<b>44</b>
<b>III.2 Système de contrôle distribue (DCS).....</b>	<b>46</b>
III.2.1 Les caractéristiques du système DCS .....	46
III.2.2 Mission d'un système DCS.....	47
III.2.3 Principales fonctions de base d'un système DCS .....	48
III.2.4 Architecture générale du DCS .....	48

<b>III.3 Adaptation des signaux d'entrée et sortie .....</b>	<b>49</b>
III.3.1 E/S analogiques.....	50
III.3.2 E/S booléennes (numériques) .....	50
<b>III.4 DCS I/A Séries (Intelligent/ Automation) de FOXBORO .....</b>	<b>50</b>
III.4.1 Historique de la société FOXBORO.....	50
III.4.2 Architecture de base de DCS I/A Séries de FOXBORO .....	50
<b>III.5 CONFIGURATION HARDWARE DE DCS I/A Séries de FOXBORO .....</b>	<b>51</b>
III.5.1 Le processeur de contrôle CP .....	51
III.5.2 Le module d'entrée/sortie FBM (Field Bus Module) .....	52
III.5.3 Le module de communication.....	53
<b>III.6 Description de support Logiciel/Software FOXBORO.....</b>	<b>54</b>
III.6.1 ARCHESTRA IDE .....	54
III.6.2 Logiciel FoxView .....	56
III.6.3 Logiciel FoxDraw .....	57
III.6.4 Logiciel Fox Select .....	57
<b>III.7 Description des réseaux de communication .....</b>	<b>58</b>
III.7.1 Réseau d'E/S : Field Bas.....	58
III.7.2 Réseau système local .....	58
III.7.3 Réseau ETHERNET .....	59
<b>III.8 Le Système de sécurité.....</b>	<b>59</b>
III.8.1 La redondance matérielle.....	59
III.8.2 Station d'interface homme-machine (station HMI).....	60
III.8.3 Emergency Shut Down (ESD Triconex).....	60
<b>III.9 Description de la Boucle de Régulation.....</b>	<b>61</b>
III.9.1 Principes de base de la régulation .....	61
III.9.2 Contrôleur PID.....	62
III.9.3 Régulation en cascade.....	62
III.9.4 Application.....	62
<b>III.10 Conclusion.....</b>	<b>64</b>

<b>IV.1 Introduction .....</b>	<b>65</b>
<b>IV.2 Présentation de la commande du réchauffeur .....</b>	<b>65</b>
IV.2.1 Contrôleur maître de température (TIC-0055) .....	66
IV.2.2 Contrôleur de débit de gaz (FIC-1000).....	66
IV.2.3 Contrôleur de pression de gaz (PIC-1001) .....	66
IV.2.4 Description détaillée de la boucle de régulation du réchauffeur .....	66
<b>IV.3 Analyse des données du réchauffeur atmosphérique .....</b>	<b>68</b>
<b>IV.4 Identification des mesures de système .....</b>	<b>70</b>
IV.4.1 Résultats de l'identification.....	71
<b>IV.5 Protocole de communication OPC .....</b>	<b>73</b>
IV.5.1 Programme Simulink pour la communication OPC .....	74
<b>IV.6 Implémentation du programme de régulation sous ArchestrA .....</b>	<b>76</b>
<b>IV.7 Simulation de la boucle de régulation sous FoxView .....</b>	<b>78</b>
IV.7.1 Les paramètres PID des contrôleurs .....	80
IV.7.2 Les résultats de la simulation.....	80
<b>IV.8 Vue de supervision sous FoxDraw .....</b>	<b>82</b>
<b>IV.9 Conclusion .....</b>	<b>83</b>
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>85</b>
<b>Références Bibliographiques.....</b>	<b>86</b>

**Annexes**

---

## Liste des Figures et Tableaux

---

### Liste des figures

<b>Figure I.1:</b> vue de la raffinerie d'Alger .....	4
<b>Figure I.2 :</b> schéma de l'unité 100 .....	8
<b>Figure I.3 :</b> schéma de l'unité 200 .....	9
<b>Figure I.4 :</b> schéma de l'unité 300 .....	10
<b>Figure I.5 :</b> Schéma synoptique de la raffinerie d'Alger .....	16
<b>Figure II.1 :</b> les étapes de la distillation .....	19
<b>Figure II.2 :</b> train de préchauffage de brute .....	20
<b>Figure II.3 :</b> schema de four.....	21
<b>Figure II.4 :</b> schéma de la colonne de distillation .....	22
<b>Figure II.5 :</b> colonne de distillation atmosphérique .....	22
<b>Figure II.6 :</b> schema de four F501 .....	27
<b>Figure II.7 :</b> brûleurs de four F501 .....	28
<b>Figure II.8:</b> schéma simplifier de four F501 .....	29
<b>Figure II.9 :</b> PFD de four F501 .....	30
<b>Figure II.10 :</b> schéma présentative de capteur .....	32
<b>Figure II.11 :</b> schéma présentative de transmetteur .....	33
<b>Figure II.12 :</b> Capteur et transmetteur en situations [11].....	34
<b>Figure II.13 :</b> Transmetteur de temperature .....	35
<b>Figure II.14 :</b> Transmetteur de pression.....	36
<b>Figure II.15 :</b> débitmètre à effet vortex .....	36
<b>Figure II.16 :</b> Vanne de régulation.....	37
<b>Figure II.17 :</b> Positionneur (FISHER) .....	38
<b>Figure II.18 :</b> Electrovanne .....	39
<b>Figure III.1 :</b> Zone variation et les systèmes intervenant [7].....	45

## Liste des Figures et Tableaux

---

<b>Figure III.2</b> : architecture du DCS.....	49
<b>Figure III.3</b> : Architecture de base du DCS I/A Série FOXBORO .....	51
<b>Figure III.4</b> : Le module CP .....	52
<b>Figure III.5</b> : Le module FBM.....	53
<b>Figure III.6</b> : Le module de communication.....	54
<b>Figure III.7</b> : CLACA Block I/O Diagramme .....	55
<b>Figure III.8</b> : La Fenêtre de logiciel FoxView.....	56
<b>Figure III.9</b> : La Fenêtre FoxDraw .....	57
<b>Figure III.10</b> : La Fenêtre Fox Select .....	58
<b>Figure III.11</b> : ESD (Triconex).....	61
<b>Figure III.12</b> : Schéma fonctionnel de la boucle cascade .....	63
<b>Figure IV.1</b> : Organigramme de la boucle de régulation .....	67
<b>Figure IV.2</b> : graphe de donnée de la température.....	68
<b>Figure IV.3</b> : graphe de donnée de débit .....	69
<b>Figure IV.4</b> : graphe de donnée de pression .....	69
<b>Figure IV.5</b> : System identification toolbox .....	71
<b>Figure IV.6</b> : Les résultats de l'identification.....	71
<b>Figure IV.7</b> : La réponse de FT-1000 .....	72
<b>Figure IV.8</b> : La réponse de PT-1001 .....	72
<b>Figure IV.9</b> : La réponse de TT-0055 .....	72
<b>Figure IV.10</b> : La configuration OPC .....	74
<b>Figure IV.11</b> : Programme Simulink .....	75
<b>Figure IV.12</b> : Orchestra stratégie.....	76
<b>Figure IV.13</b> : Block CALCA.....	76
<b>Figure IV.14</b> : FoxView de TIC0055.....	78

## Liste des Figures et Tableaux

---

<b>Figure IV.15</b> : FoxView de FIC1000.....	79
<b>Figure IV.16</b> : FoxView de PIC1000.....	79
<b>Figure IV.17</b> : FIC1000 PID .....	80
<b>Figure IV.18</b> : TIC0055 PID.....	80
<b>Figure IV.19</b> : PIC1001 PID .....	80
<b>Figure IV.20</b> : Résultat de simulation sans perturbation .....	81
<b>Figure IV.21</b> : Résultat de simulation avec perturbation .....	81
<b>Figure IV.22</b> : Vue générale de four .....	82
<b>Figure IV.23</b> : vue de la vanne de gaz .....	83

## Liste des Tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Les fractions des produits et son point de fractionnement.....	7
<b>Tableau A.1</b> : Les données de capteur de température .....	89
<b>Tableau A.2</b> : Les données de capteur de débit .....	90
<b>Tableau A.3</b> : Les données de capteur de pression .....	91

---

## Liste des Abréviations

---

## Liste des Abréviations

---

<b>ATM</b>	Atmosphérique
<b>BMS</b>	Burner Management System
<b>BP</b>	Basse Pression
<b>CP</b>	Control Processor
<b>CPU</b>	Central Processing Unite
<b>DC</b>	Direct Current
<b>DCS</b>	Distributed Control System
<b>ECS</b>	Electrical Control System
<b>ESD</b>	Emergency Shut Down
<b>FBI</b>	Field Bus Interface
<b>FBM</b>	Filed Bus Module
<b>FIC</b>	Flow Indicator Controller
<b>FT</b>	Flow Transmitter
<b>GTG</b>	Gaz Turbin Generator
<b>HMI</b>	Human Machine Interface
<b>HP</b>	Hight Pressure
<b>HSE</b>	Hygiene Security Environment
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>OPC</b>	Open Protocol Communication

## Liste des Abréviations

---

<b>PIC</b>	Pressure Indicator Controller
<b>PID</b>	Proportional Integral Derivative
<b>PIDA</b>	Proportional Integral Derivative Advanced
<b>PLC</b>	Programmable Logic Control
<b>PT</b>	Pressure Transmitter
<b>PV</b>	Pressure Valve
<b>RAIG</b>	Raffinerie D'Alger
<b>RIN</b>	Real Input
<b>ROUT</b>	Real Output
<b>RTD</b>	Resistance Temperature Detector
<b>SIS</b>	Safety Instrumented System
<b>STG</b>	Steam Turbin Generator
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol
<b>TI</b>	Temperature Indicator
<b>TIC</b>	Temperature Indicator Controller
<b>TT</b>	Temperature Transmitter
<b>UA</b>	Unified Architecture

---

# Introduction générale

---

# Introduction générale

L'industrie pétrolière et gazière joue un rôle essentiel dans notre économie mondiale, fournissant des sources d'énergie vitales pour divers secteurs. Dans ce contexte, les raffineries sont des installations critiques qui transforment les matières premières en produits pétroliers finis, tels que l'essence, le diesel et le fioul domestique. Parmi les nombreuses unités de traitement des raffineries, les réchauffeurs atmosphériques occupent une place centrale en assurant le chauffage des fluides nécessaires aux processus de production.

La régulation précise de la température dans un réchauffeur atmosphérique revêt une importance capitale pour maintenir des conditions opérationnelles optimales, garantir l'efficacité du processus et assurer la sécurité des installations. Une fluctuation excessive de la température peut entraîner des dysfonctionnements du système, des pertes de rendement ou même des incidents graves.

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous concentrons sur l'étude de la simulation et de la régulation de la température d'un réchauffeur atmosphérique dans la raffinerie d'Alger. Notre objectif est d'analyser les principaux paramètres et variables qui influencent la température du réchauffeur atmosphérique et de développer des stratégies de régulation efficaces pour maintenir la température cible dans les limites spécifiées.

Nous avons utilisé le système de contrôle distribué (DCS) Foxboro pour la simulation du réchauffeur atmosphérique. Ce système offre des fonctionnalités avancées de surveillance, de contrôle et d'acquisition de données, ce qui en fait un outil puissant pour notre étude.

La méthode de contrôle utilisée dans notre système est une boucle en cascade, qui comprend une boucle de contrôle primaire de la température, une boucle de contrôle secondaire du ratio air-carburant et une boucle de contrôle tertiaire de la pression. Cette approche en cascade permet une régulation précise et robuste de la température du réchauffeur atmosphérique, en prenant en compte les interactions entre les différentes variables du processus.

Notre mémoire se compose de quatre chapitres. Le premier chapitre présente la raffinerie d'Alger (RAIG) et met en évidence son rôle dans le raffinage du pétrole. Le deuxième chapitre aborde la description générale du processus de raffinage, en mettant l'accent sur la régulation des

réchauffeurs atmosphériques. Le troisième chapitre se concentre sur le système de contrôle distribué (DCS) de FOXBORO utilisé dans la raffinerie. Enfin, le quatrième chapitre aborde la simulation et la supervision de la boucle de régulation. La conclusion générale résume les principales contributions de ce mémoire et évoque les perspectives futures de recherche.

Nous espérons que cette étude contribuera à une meilleure compréhension de la régulation de la température dans les réchauffeurs atmosphériques des raffineries, fournissant des recommandations pratiques pour améliorer l'efficacité et la sécurité des processus.

---

# Chapitre I

## Présentation de la raffinerie d'Alger (RA1G)

---

# Chapitre I Présentation de la raffinerie d'Alger (RA1G)

## I.1 Introduction

Le raffinage du pétrole consiste en un ensemble de processus et de transformations visant à maximiser la production de produits pétroliers à haute valeur commerciale. Ces opérations sont généralement regroupées au sein d'une raffinerie.

En Algérie, l'industrie du raffinage a pris naissance avec la découverte et la production de pétrole brut à Hassi Messaoud. La première unité de raffinage a été construite sur le site même de la découverte et était principalement destinée à répondre aux besoins des sociétés impliquées dans la recherche et l'exploitation du pétrole brut. Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous avons consacré notre attention à la présentation de la raffinerie d'Alger.

## I.2 Historique

La raffinerie d'Alger, par abréviation « RA1G » est rattachée à la société nationale de raffinage du pétrole « NAFTEC » dont la totalité des actions sont détenues par le groupe SONATRACH. Elle a été construite en 1960 par une société française nommée « FOSTER WHEELER ». Le démarrage de cette dernière a eu lieu le 1964, et le complexe a coûté 27 milliards de centimes [1].

Depuis le 10 janvier 1964 jusqu'à 1971, la raffinerie était alimentée par tankers du port pétrolier de BEJAIA et le port pétrolier d'Alger et ensuite par pipe de diamètre égale à 26'' jusqu'au parc de stockage. A partir de 1979, un piquage de BENI-MANSOR à partir du pipe de diamètre à 24'' reliant HMD/BEJAIA a été opéré, un Oléoduc de diamètre à 16'' d'une longueur de 131 Km jusqu'à la raffinerie, elle traite le pétrole brut provenant de HASSI MESSAOUD, pour satisfaire la demande sans cesse croissante du centre du pays en, carburants (Essence, Kérosène et Gasoil) et exporter d'autres produits tels que le naphta et le fuel Oil.

### I.3 Présentation de la raffinerie d'Alger

La raffinerie d'Alger est située à Sidi Arcine sur la commune de Baraki à 20km à l'est d'Alger et se trouve à une altitude de 20m.

Le site de la raffinerie d'Alger occupe une superficie totale de 182 hectares (bâti et clôturé 96 Hectares) et est délimitée :

- Au Nord-Ouest par le dépôt NAFTAL GPL et le centre enfuteur.
- Au Nord par les habitants d'El Harrach.
- Au Sud par les habitations de Baraki.
- Au Sud-est par la Direction Générale de SONATRACH/ACTIVITÉ AVAL/DIVISION RAFFINAGE et le siège de SONATRACH/TRC.
- Sud-ouest et Est par des terrains agricoles.

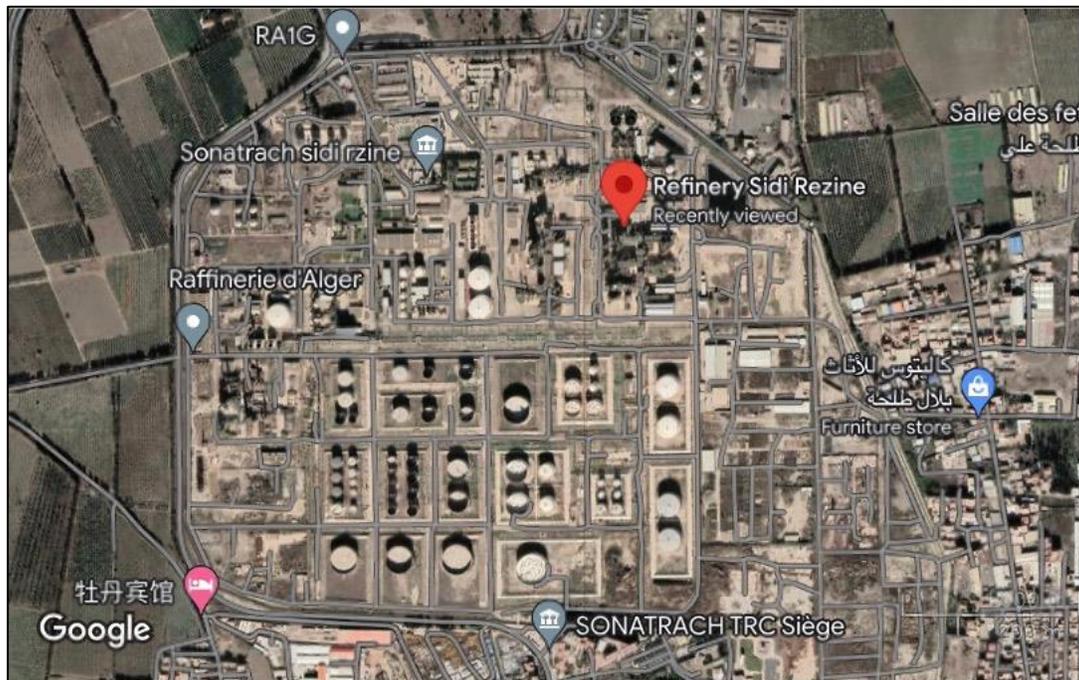


Figure I.1: vue de la raffinerie d'Alger

La raffinerie d'Alger contient des installations qui se composent d'unités de production et d'installation générale à savoir :

### I.3.1 Les différentes unités de la raffinerie d'Alger

La raffinerie comporte deux unités principales : une unité de production et une unité d'installations générales :

#### a) Unité de production

Elle comporte essentiellement les unités suivantes :

- Unité de distillation atmosphérique (unité 100).
- Unité de reforming catalytique (unité 200).
- Unité de gaz-plant (unité 300).
- Unité MS Block.
- Pomperie d'expédition pour le transfert de produit finis.

#### b) Unité d'installation générale

Elles sont constituées de :

- Centrale thermoélectrique pour la production des utilités (électricité, vapeur, air, eau traitée).
- Un parc de stockage pour les produits finis et semi-finis.
- Des ateliers d'entretien (mécanique, tuyauterie chaudronnerie, électricité contrôle et instrumentation).
- Un laboratoire de contrôle de qualité des produits (pour la conformité).

### I.3.2 Produits de la raffinerie d'Alger

La raffinerie d'Alger traite 2,7 millions de tonnes par an de pétrole brut.

Elle produit des GPL (butane et propane) et des carburants (essence normale et super, kérosène et gas-oil) pour l'approvisionnement du marché intérieur. Le fuel et les excédents de naphta sont exportés.

De plus, la raffinerie possède des moyens de stockage et d'expédition par pipes, par bateaux et par route [2].

### **I.3.3 Organisation de la sécurité de la raffinerie d'Alger**

La politique de sécurité mise en place par SONATRACH/ACTIVITÉ AVAL/DIVISION RAFFINAGE est répercutée au niveau des différents sites par le département Hygiène Sécurité et Environnement (HSE) qui veille à sa bonne application. La politique est, en outre, reprise au niveau d'un manuel HSE. Ce dernier renferme des mesures de sécurité appliquées au niveau des sites.

La problématique de la sécurité est aussi traitée dans les manuels opératoires puisque pour chaque unité de l'installation, les procédures, propres au procédé, y sont formalisées. Ces dernières permettent, pour les différents opérateurs, la maîtrise des procédés et de l'exploitation.

Comme cela a déjà été mentionné ci-dessus, en cas d'incident, la raffinerie peut toujours compter sur des moyens d'intervention appropriés. Ces moyens consistent dans des moyens fixes et mobiles d'intervention mais aussi dans un personnel convenablement formé.

Un manuel de sécurité remis à chaque membre du personnel reprend les consignes générales pour la lutte contre l'incendie.

La raffinerie et le port pétrolier disposent d'un Plan d'Organisation Interne (POI) Incendie/Explosion [3].

Le département Hygiène, Sécurité et Environnement sont composés de 4 services :

- Service intervention.
- Service prévention.
- Service accueil et identification.
- Cellule environnementale.

## **I.4 Description des installations**

### **I.4.1 UNITÉ DE DISTILLATION ATMOSPHERIQUE- U100**

L'unité 100 est une unité de distillation atmosphérique ou Topping. Elle a pour but de Fractionner le Pétrole brut en un certain nombre de coupes ou fractions classées selon les températures d'ébullition des hydrocarbures.

Elle produit ainsi de l'essence SR (Straight Run), des gas-oils lourds et légers, du kérosène, des solvants lourds et légers, des gaz liquéfiés et un résidu atmosphérique.

L'alimentation en pétrole brut est préchauffée par rapport au produit et à des reflux circulants avant un premier fractionnement dans la colonne de pré vaporisation [2].

Le brut pré vaporisé est ensuite acheminé vers un autre train de préchauffage par rapport au produit et à des reflux circulants avant de passer dans un réchauffeur.

Le fractionnement du brut pré vaporisé est réalisé dans la colonne de brut et dans des rectificateurs à flux latéral associés. Le naphta non stabilisé issu de la colonne de pré vaporisation est ensuite traité dans le début aniser.

Les produits sont refroidis et transférés dans un stockage intermédiaire ou traités s'il y a lieu.

La capacité de l'unité de traitement du pétrole brut est de 2.700.000 tonnes par an. Cette unité est composée des circuits : préchauffe, chauffage et distillation fractionnée.

Fractions des produits : Les fractions suivantes doivent être produites dans l'unité de distillation atmosphérique :

**Tableau I.1** : Les fractions des produits et son point de fractionnement

<b>Les fractions des produits</b>	<b>Points de fractionnement (°C)</b>
Naphta stabilisé	20 - 140
Naphta lourd	140 - 165
Kérosène	165 - 240
Gazole léger	240 - 345
Gazole lourd	345 - 365
Résidu ATM.	365 +

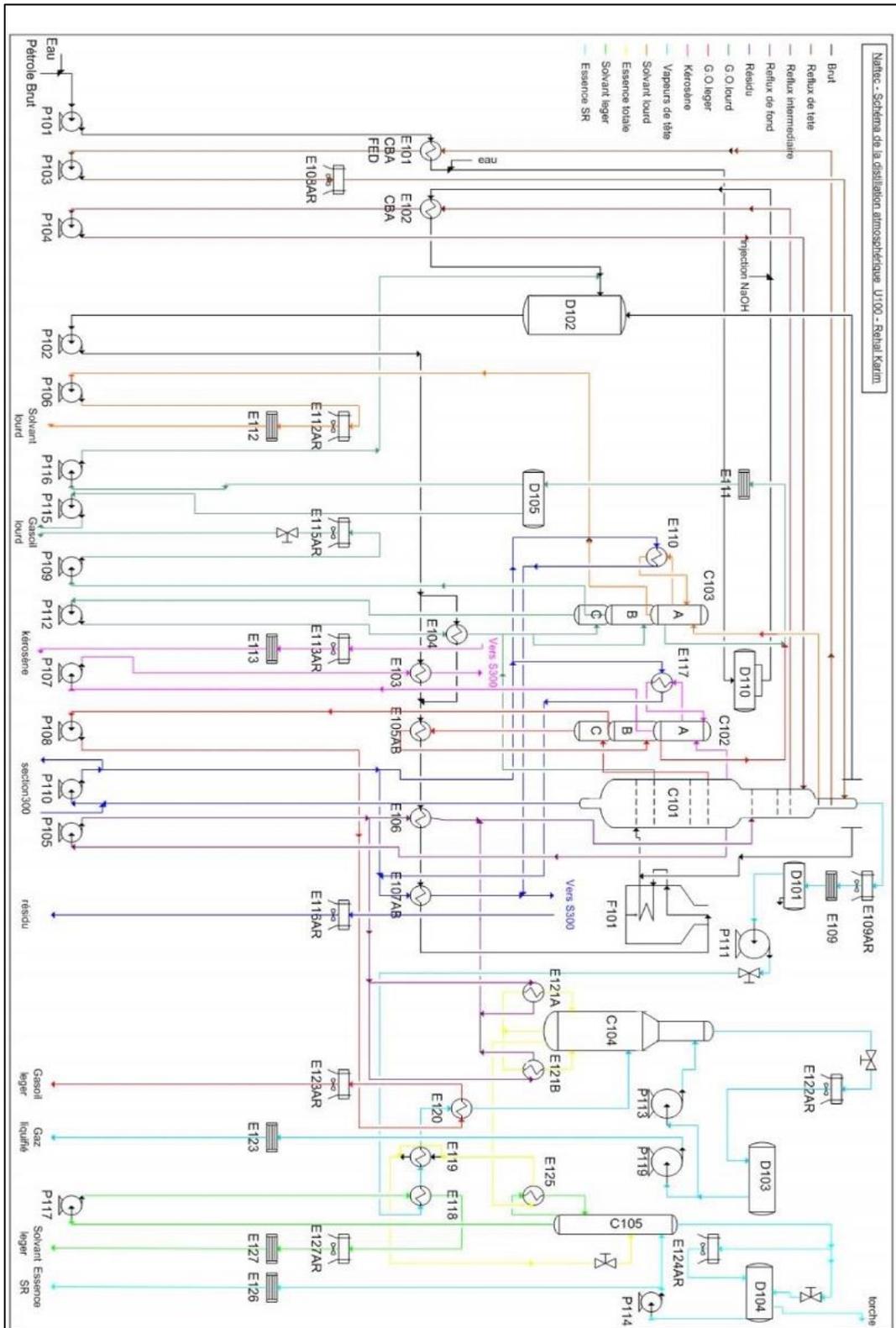


Figure I.2 : schéma de l'unité 100

### I.4.2 Unité de reforming catalytique « unité 200 : Platforming »

L'unité 200 est une unité de reforming catalytique aussi appelée Platforming. Son but est d'augmenter l'indice d'octane des solvants lourds et légers fabriqués par l'unité 100. C'est une base principale pour la fabrication des carburants automobile (essence normal et super). Cette unité comporte les circuits : catalytique, stabilisateur et générateur de vapeur.

La charge (solvant) venant soit de l'unité 100 soit des bacs A102 et A104 est reprise par la pompe P204A/B et refoulée dans deux batteries parallèles d'échangeurs E208 D, C, B et 208 FGH.

La répartition dans chaque batterie est faite par les FRC.214 et 215, en aval des FRCV est injecté l'hydrogène de recyclage. Venant du compresseur K.201, dans les E208, la chaleur cédée par l'effluent du troisième réacteur R.204 permet de porter à 357°C la charge du R.201 qui est alors partiellement vaporisée[4].

Le R.201 est un réacteur de garde rempli d'un catalyseur (hydrobon) dont le rôle est de purifier la charge en retenant des contaminants tels que le plomb, Arsenic qui empoisonneraient le catalyseur de platforming en se combinant au platine[5].

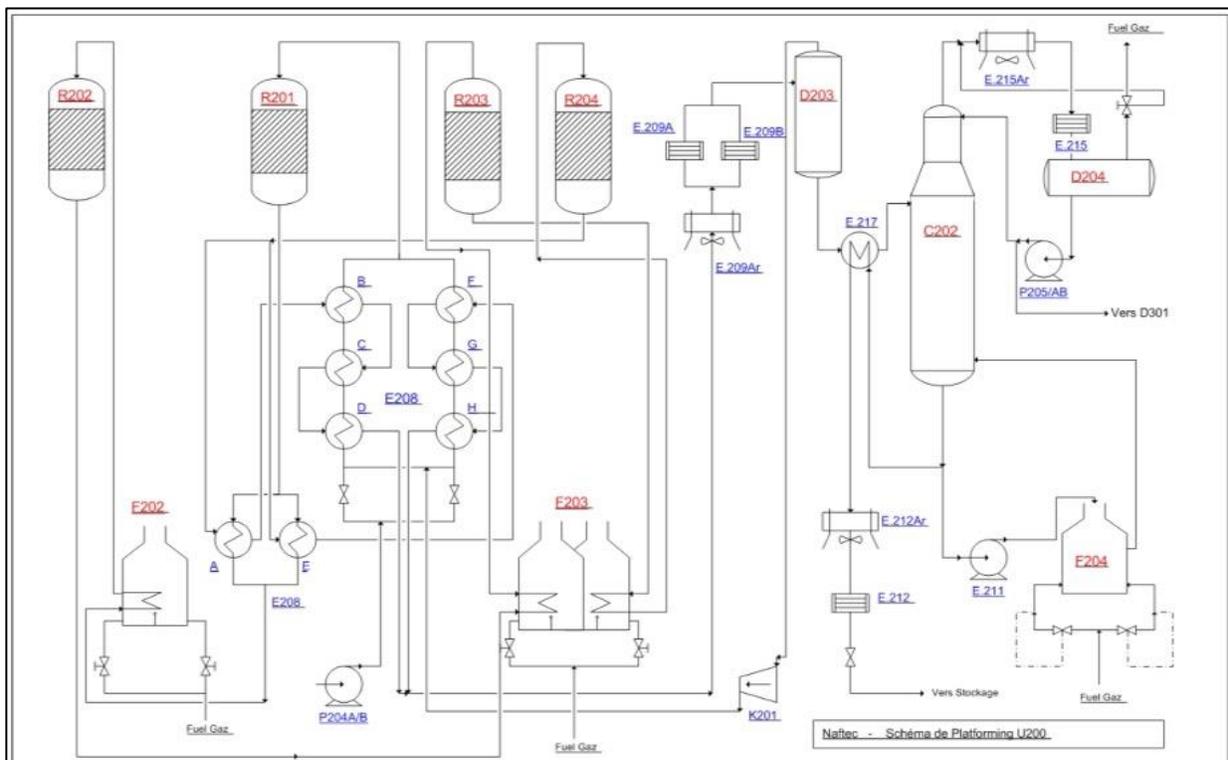


Figure I.3 : schéma de l'unité 200

I.4.3 Unité de traitement du gaz « unité 300 : gaz plant »

Cette unité permet de séparer et de traiter le produit pur liquéfiable venant des accumulateurs de tête des débutaniser de l'unité de distillation atmosphérique et reformer l'unité de reforming catalytique, afin d'obtenir du propane et du butane commerciaux. Le passage de ces vapeurs dans l'unité gaz plant permet donc de séparer et de récupérer le propane et le butane commercial. Cette unité permet de spécifier les tamis moléculaires.

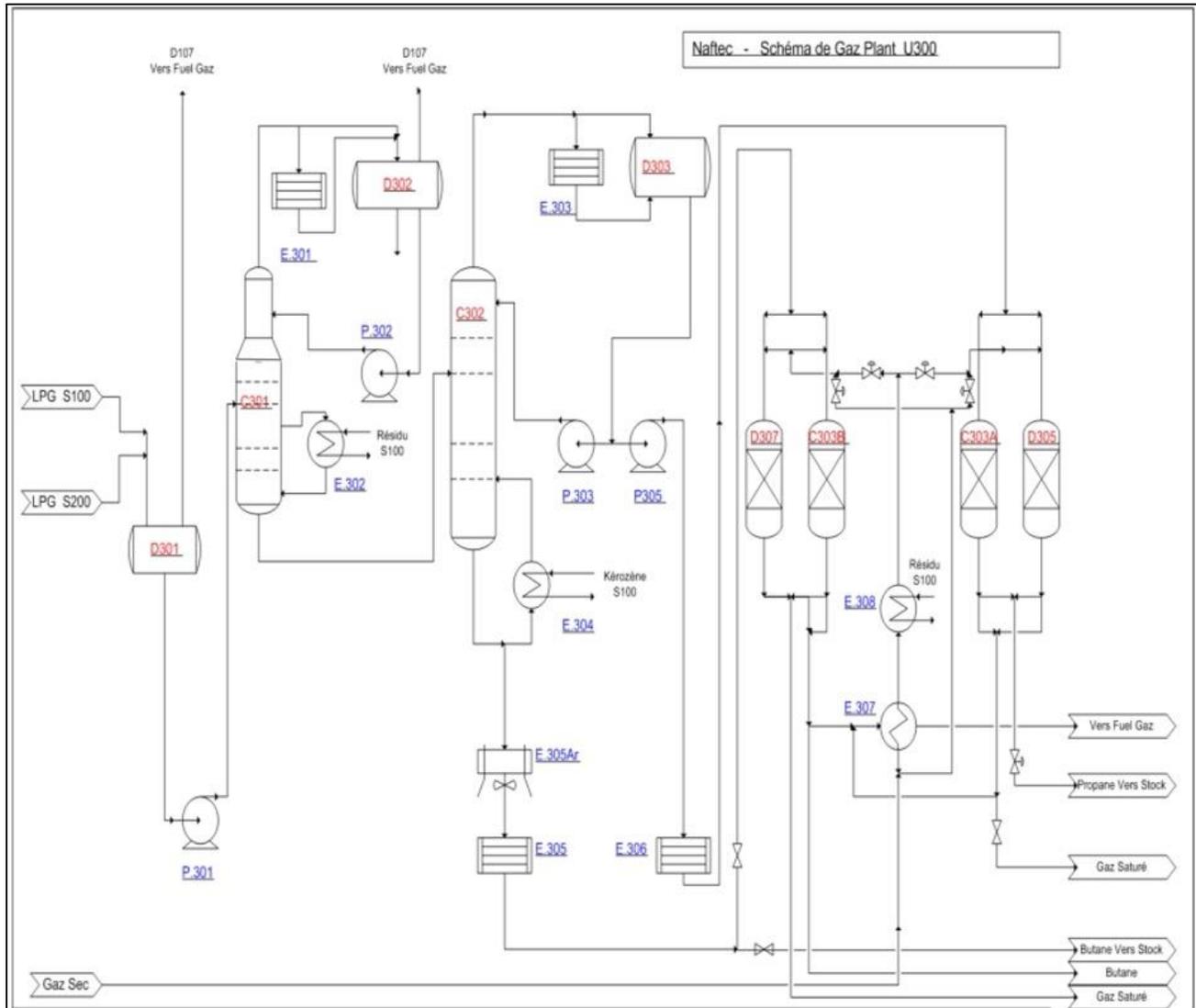


Figure I.4 : schéma de l'unité 300

### I.4.4 Unités MS Block

Elle est Constituée de 3 unités :

#### a) UNITÉ D'HYDROTRAITEMENT DE NAPHTA (NHT) -U500

L'objectif de l'unité d'hydrotraitement de naphta est de produire des charges hydro traitées propres pour alimenter l'unité isomérisation (unité 510) et l'unité Reformage (unité 520). Ces charges doivent présenter des teneurs en contaminants suffisamment faibles, comme le soufre, l'azote, l'eau, les halogènes, dioléfines, oléfines, le mercure, l'arsenic et d'autres métaux, pour ne pas affecter les unités en aval.

L'unité d'hydrotraitement de naphta est alimentée en naphta de distillation directe, provenant de la distillation de pétrole brut située en amont. Ce naphta contient des concentrations en contaminants qui sont préjudiciables aux catalyseurs de reformage et d'isomérisation, et il nécessite par conséquent un prétraitement.

Ce processus, conçu et commercialisé sous licence par Axens, comporte trois opérations consécutives :

- Traitement du naphta dans un réacteur adiabatique sur un catalyseur bimétallique à lit fixe dans un environnement d'hydrogène. Une température modérément élevée comprise entre 280 et 310 °C est nécessaire pour favoriser ces réactions chimiques (Section Réaction).
- Épuisement du produit brut hydrotraité pour retirer les fractions légères, les produits gazeux, y compris le sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) et l'eau (Section Stripper).
- Le naphta à coupe large est ensuite séparé en fractions spécifiées pour alimenter l'unité Isomérisation en naphta léger, et l'unité Reformage en naphta lourd (Section Séparateur).

#### b) Unité d'isomérisation des naphthas (U-510)

Cette unité sert à l'isomérisation des naphthas, c'est-à-dire à la transformation des C5 et C6 en leurs isomères, afin d'obtenir un produit à haut indice d'octane utilisé dans les sections de mélanges pour obtenir les essences commerciales produites par la raffinerie.

**c) Unité de reforming CCR (U-520)**

L'unité de Reforming CCR sera installée en vue de remplacer l'unité de reforming catalytique, car elle permet d'obtenir un meilleur rendement et un produit à indice d'octane élevé [6].

A l'aide d'un catalyseur, cette unité a pour but de produire un naphta à haut indice d'octane, afin de le mélanger et obtenir des essences à fort indice d'octane.

**I.4.5 Unité de craquage catalytique RFCC (U530)**

L'objectif de l'unité (RFCC) est de transformer les fractions de pétrole brut lourd RCO + HGO issues de l'unité (unité 100) en hydrocarbures plus légers et de meilleure valeur à haute température et à pression moyenne en présence d'un catalyseur à base de silice et d'alumine finement divisées.

Lors du craquage de grosses molécules d'hydrocarbures en molécules plus petites, une matière non volatile carbonée, communément dénommée coke, se dépose sur le catalyseur. Les réactions de vaporisation et de craquage se déroulent dans le « riser-réacteur » en l'espace d'environ deux secondes. Le coke déposé sur le catalyseur a pour effet de neutraliser l'activité de craquage catalytique du catalyseur en bloquant l'accès aux sites catalytiques actifs. Afin de permettre la régénération de l'activité catalytique du catalyseur, le coke déposé sur le catalyseur est brûlé à l'air dans la cuve de régénération 530-R-002.

**I.4.6 La section Sulfure BLOC**

Se compose de quatre unités :

- Unité de traitement des gaz acide (fuel-gaz) à l'amine (Unité-560).
- Unité de stripage des eaux acide (Unité-570).
- Unité de régénération de l'amine (Unité-580).
- Unité de récupération du Soufre (Unité-590).

**I.4.7 Les utilités**

Se compose des unités suivantes :

**a) Unité de l'eau brute (unité 701)**

L'unité d'eau brute 701 reçoit l'eau brute des puits de forage situés à l'intérieur de la raffinerie et peut également être alimentée en eau de SEAL par un pipeline. L'unité d'eau brute 701 distribue l'eau aux différents utilisateurs de la raffinerie [6].

**b) Les tours de refroidissement (Unité 710/711)**

Cette unité fournit de l'eau de refroidissement aux utilisateurs au sein de la raffinerie et est alimentée par l'unité d'eau brute 701.

**c) Unité d'eau déminéralisée (unité 720)**

Cette unité reçoit de l'eau brute provenant de l'unité d'eau brute 701 située au sein de la raffinerie et traite cette eau pour la convertir en eau déminéralisée et le distribue aux différents utilisateurs au sein de la raffinerie [6].

**d) Unité d'eau anti incendie (Unité 741)****e) Unité de vapeur et d'eau d'alimentation de chaudière, nouvelle et existante (u751/u750)**

Les systèmes de vapeur et d'eau d'alimentation de chaudière font partie des nouvelles installations pour la raffinerie d'Alger, et sont désignés sous l'appellation d'unité CPP 751 (centrale de production propre, ou centrale électrique dédiée, c'est-à-dire de production d'électricité pour consommation propre) [7].

Cette unité est conçue pour fournir de la vapeur aux consommateurs dans les installations des unités de procédés et pour produire une eau d'alimentation de chaudière (EAC) de qualité utilisée en interne par les nouvelles chaudières mais aussi fournie sous forme d'EAC haute pression (HP) à différentes unités de la raffinerie.

En outre, le complexe est équipé d'un turbogénérateur à gaz (Gas Turbine Generator, GTG) et d'un turbogénérateur à vapeur (Steam Turbine Generator, STG) raccordés au système de contrôle-commande électrique (Electrical Control System, ECS) et qui couvrent les besoins électriques de l'ensemble de la raffinerie.

L'électricité est produite par le GTG et le STG au sein de la nouvelle unité CPP. Si nécessaire, de l'électricité peut aussi être importée depuis le réseau national de Sonelgaz. Le présent manuel d'exploitation ne couvre que la partie procédée des générateurs d'électricité (GTG/STG) comme le conditionnement du combustible et l'interface avec la production de vapeur.

#### **f) Unité de production d'air (Unité 781)**

L'air comprimé est nécessaire dans la raffinerie pour les besoins suivants : En tant qu'air pour les instruments pour le fonctionnement des instruments utilisés dans l'installation ainsi que pour purger certains tableaux de commande. Et en tant qu'air comprimé pour les robinets d'incendie, pour la régénération catalytique, pour le décokage des fours, etc[6].

Le nouveau système d'air comprimé sera conçu pour fournir l'air comprimé aux nouvelles unités de traitement, aux nouveaux circuits de fluides et nouvelles installations extérieures du projet de réhabilitation et d'adaptation, selon les conditions, la qualité et la quantité nécessaires.

#### **g) La torche (Unité 791)**

Le système de torchère collecte et élimine en toute sécurité les flux de décharge d'hydrocarbures gazeux de la raffinerie d'Alger, ainsi que les liquides entraînés ou condensés à l'intérieur des conduites de la torchère.

#### **h) Unité de production d'azote (unité 810)**

L'unité de production d'azote consiste en une unité de production d'azote gazeux et liquide avec des installations associées de stockage et de vaporisation de l'azote liquide.

L'ensemble est conçu pour assurer :

- L'inertage /le séchage des installations pendant le démarrage.
- La purge des systèmes pendant les mises à l'arrêt.
- La régénération catalytique pendant/après le processus.
- La purge continue des joints d'étanchéité des compresseurs.
- La couverture des réservoirs tampons et des réservoirs de stockage.

#### **i) Unité de polissage des condensats (unité 830)**

Une (CPU) est installée au sein des nouvelles unités de fluides de la raffinerie d'Alger. Cette unité est une installation centralisée de traitement des condensats pollués générés par diverses unités de traitement de la raffinerie. Les condensats purifiés provenant de l'unité CPU (U-830) sont renvoyés vers le désaérateur de la nouvelle unité CPP (U-751).

**j) Unité de soude caustique et acide chlorhydrique (unité 840)**

Le système de soude caustique est prévu pour satisfaire les exigences de la raffinerie.

**k) Unité de traitement des effluents (Unité 850)**

L'objectif de cette unité est le traitement de toutes les eaux usées générées par l'exploitation de la raffinerie. Les eaux usées sont collectées et traitées dans la nouvelle station de traitement des effluents.

### **I.4.8 Salle de contrôle**

Le nombre important d'appareils de mesure équipant une unité de raffinage a conduit à la nécessité de contrôler dans une salle de contrôle toutes les informations nécessaires à la marche de l'unité (températures, pression, débit, niveau, contrôle des vannes ...)

### **I.4.9 Laboratoire**

La raffinerie dispose d'un laboratoire où se fait l'analyse des différents produits provenant des processus, afin de s'assurer de leur bonne qualité. Le laboratoire délivre le certificat de conformité des produits avant la commercialisation. Quant aux procédures de contrôles des caractéristiques le laboratoire doit suivre les normes bien précises élaborées par des agréments nationaux ou internationaux. Le laboratoire dispose des salles et des machines pour tests résultant de l'opération des solvants lourds et légers.

I.5 L'organigramme de la raffinerie d'Alger

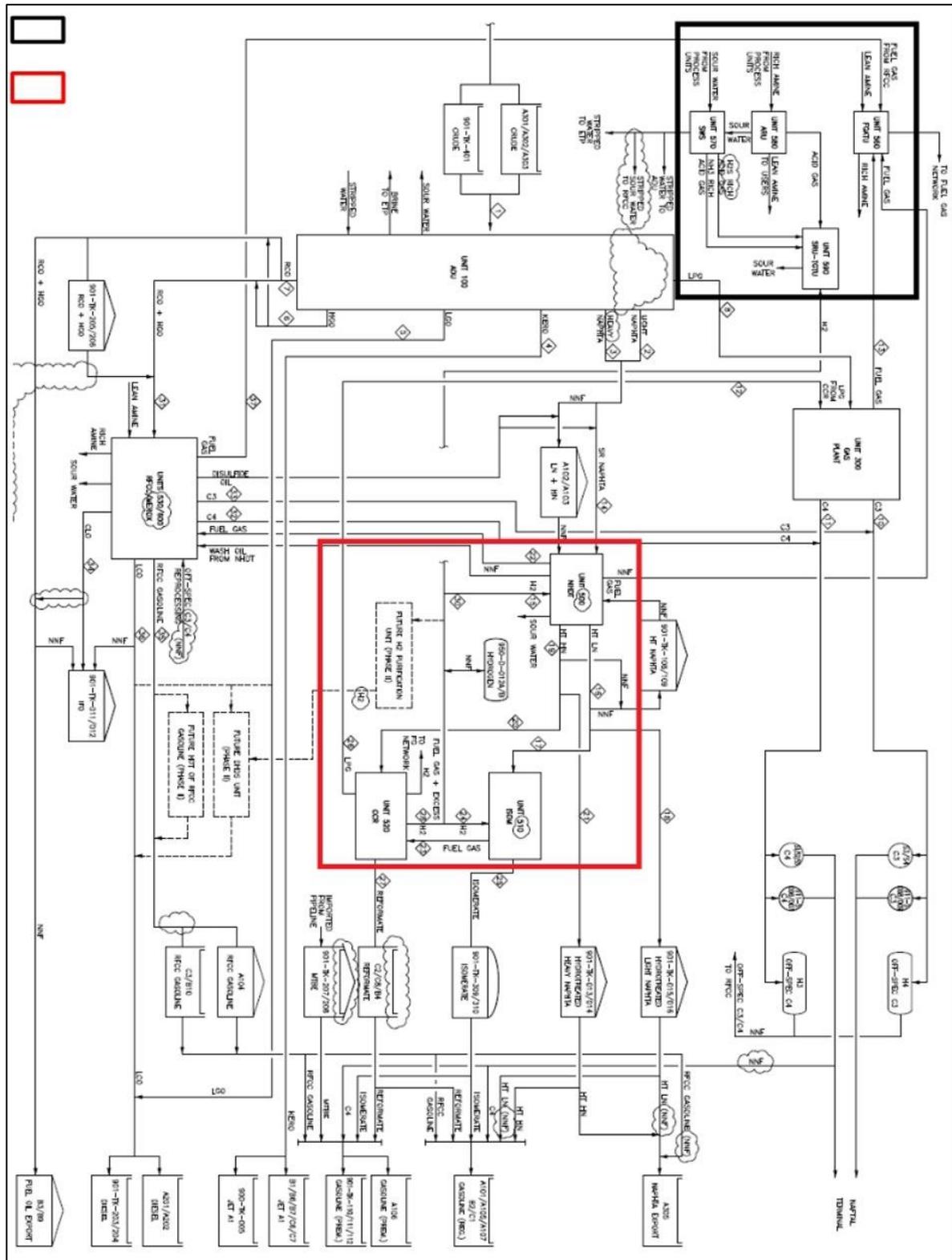


Figure I.5 : Schéma synoptique de la raffinerie d'Alger

## I.6 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons exploré les débuts de cette industrie avec la découverte du pétrole brut à Hassi Messaoud, marquant ainsi la naissance des premières unités de raffinage pour répondre aux besoins croissants des sociétés pétrolières opérant dans la région.

Ensuite, nous avons examiné les différents produits obtenus à partir du processus de raffinage, mettant en évidence leur importance économique et leur utilisation dans divers secteurs industriels et commerciaux.

Enfin, nous nous sommes familiarisés avec les différentes unités de la raffinerie d'Alger, chacune jouant un rôle essentiel dans la transformation du pétrole brut en produits finis à haute valeur ajoutée. Cette première partie nous a permis d'acquérir une vision globale de la raffinerie d'Alger.

---

## Chapitre II

### Description générale du processus

---

## Chapitre II Description générale du processus

### II.1 Introduction

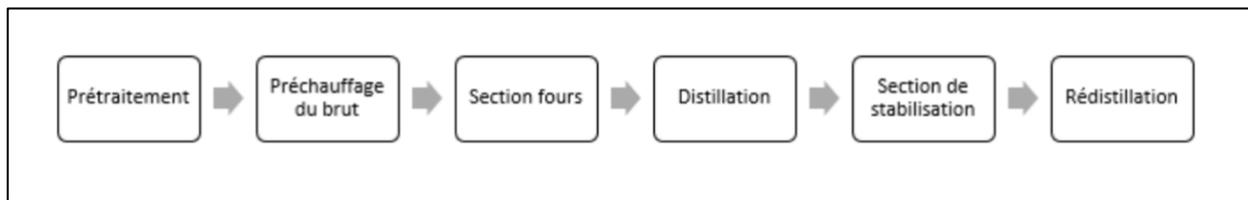
L'unité de distillation atmosphérique est au cœur de la raffinerie, représentant une étape clé du processus de transformation du pétrole brut en produits finis essentiels.

Dans ce chapitre, nous nous plongerons brièvement dans l'univers de l'unité de distillation atmosphérique, une étape essentielle du processus de raffinage du pétrole brut. Nous explorerons les différents composants qui composent cette unité, tels que les colonnes de distillation, les échangeurs de chaleur, les séparateurs et autres équipements spécialisés. Nous vous fournirons une description concise de leur rôle et de leur fonctionnement dans la séparation des fractions du pétrole brut.

Ensuite, nous nous concentrerons spécifiquement sur le réchauffeur atmosphérique, qui joue un rôle crucial dans le processus de distillation. Nous vous présenterons en détail le fonctionnement de ce réchauffeur, en mettant l'accent sur ses principaux composants tels que les échangeurs de chaleur, les brûleurs et les systèmes de régulation de la température.

### II.2 Description des procédés

Le processus de distillation atmosphérique comprend plusieurs étapes clés. Les installations principales dans la limite de zone de l'unité incluent le train de préchauffage section I, le dessaleur, le train de préchauffage section II, le ballon de prévaporisation, le train de préchauffage section III, la section de prévaporisation, le train de préchauffage section IV, le réchauffeur atmosphérique, la colonne atmosphérique, le circuit de tête de la colonne atmosphérique, la rectification de la colonne atmosphérique, le stabilisateur de naphta et le système de vide [6].



**Figure II.1** : les étapes de la distillation

### II.2.1 Prétraitement du brut

Le pétrole brut provenant de Hassi Messaoud (ou le mélange pétrole brut condensât de Hassi R'mel) est stocké au niveau des bacs de stockage ayant une capacité de 35000 m<sup>3</sup>. À l'aide des pompes verticales P101A, P101B, P101C, il est pompé à une température de 27 °C pour être refoulé en deux courants identiques dans les échangeurs E101A,B,C,D,E,F où le brut s'échauffe par échange avec le reflux circulant de tête dont la circulation est assurée par la pompe P103 A ou P103B.

Le brut chauffé quitte l'échangeur E101 pour entrer dans le dessaleur D110 ensuite il passe dans l'échangeur E102A, B, C. C'est le reflux circulant intermédiaire assure la chaleur.

Le brut ainsi chauffé, entre dans le ballon de détente D102 sous contrôle de niveau LRC 101, pour assurer une pression constante on utilise un régulateur de pression PRC101.

Le but de cette phase de prétraitement est d'enlever la partie des produits légers du brut, ainsi que de l'eau restant encore dans la charge et qui est susceptible de corroder les tubes du four F101. Cette opération se fait au niveau du ballon de détente [8].

### II.2.2 Préchauffage du brut

Le préchauffage de brut est d'abord accompli par le produit gazole léger dans l'échangeur brut prévaporisé/gazole léger rectifié (100-E-502) suivi par le RC bas dans les échangeurs brut prévaporisé/RC bas (100-E-503 A/B) et par le produit RCO dans l'échangeur brut prévaporisé/RCO (100-E-504 A/B), le brut étant préchauffé côté tube. La température du brut provenant du train de préchauffage IV est d'environ 213°C pour le brut RA1G [6]. Le brut préchauffé est dirigé vers le réchauffeur atmosphérique (100-F-501) [9].



**Figure II.2** : train de préchauffage de brute

### II.2.3 Section fours

Le brut préchauffé est encore chauffé et partiellement vaporisé dans le réchauffeur atmosphérique (100-F-501). L'alimentation du réchauffeur est répartie sur quatre passes parallèles dans le réchauffeur en entrée du réchauffeur afin d'obtenir une température de sortie de serpentin uniforme. La température est contrôlée par action sur le fuel gas et/ou une vanne de régulation de débit de fioul. La température de design de sortie du réchauffeur pour le brut RA1G est de 346°C et de 352°C pour le brut RA1G.

La vapeur BP sera surchauffée dans la section de convection : la vapeur BP sera utilisée comme vapeur de distillation dans la colonne de distillation atm. (100-C-101), le rectificateur de gazole léger (100-C-102C) et le rectificateur de gazole lourd (100-C-103C).

Le réchauffeur dispose d'un système de préchauffage d'air et est conçu avec des brûleurs combinés pour une combustion complète du fuel gas, du fioul ou des deux. Le réchauffeur possède 4 passes. Chaque passe dispose d'un régulateur de débit et d'une coupure bas débit.

Le régulateur de débit de chaque passe du réchauffeur est réinitialisé par le régulateur de débit total sur le flux d'entrée et est corrigé par la température en sortie de chaque passe.

Le contrôle de débit du réchauffeur est conçu pour maintenir une répartition équilibrée des débits massiques dans chaque passe [9].

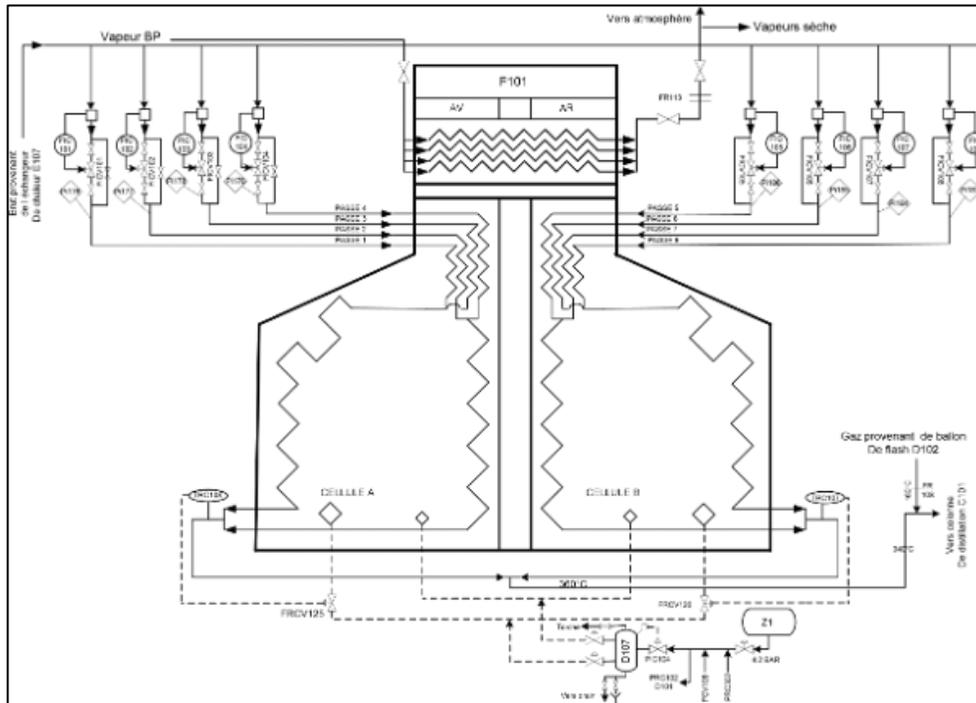


Figure II.3 : schéma de four

## II.2.4 Colonne de distillation atmosphérique

Le brut chauffé et partiellement vaporisé provenant du réchauffeur (100-F-501) pénètre dans la colonne atmosphérique (100-C-101). L'alimentation en brut pénètre dans la zone de détente au-dessus du plateau 6. La colonne atmosphérique possède 49 plateaux, dont 6 se trouvent dans la section de distillation inférieure de la colonne. La vapeur BP surchauffée provenant de 100-F-501 est utilisée comme vapeur de distillation. Elle possède quatre soutirages latéraux, à savoir le kérosène I (kéro I), le kérosène II (kéro II), le gazole léger et le gazole lourd, qui sont tous recueillis au moyen de strippers de coupe latérale. La colonne possède également trois reflux circulants (RC) pour la récupération de chaleur, à savoir le RC haut, le RC intermédiaire et le RC bas. Le RCO provenant du fond est extrait sous contrôle de niveau et est acheminé comme alimentation chaude du craquage catalytique des fluides résiduels ou du stockage hors de la limite de zone après récupération de chaleur [9].



Figure II.5 : colonne de distillation atmosphérique

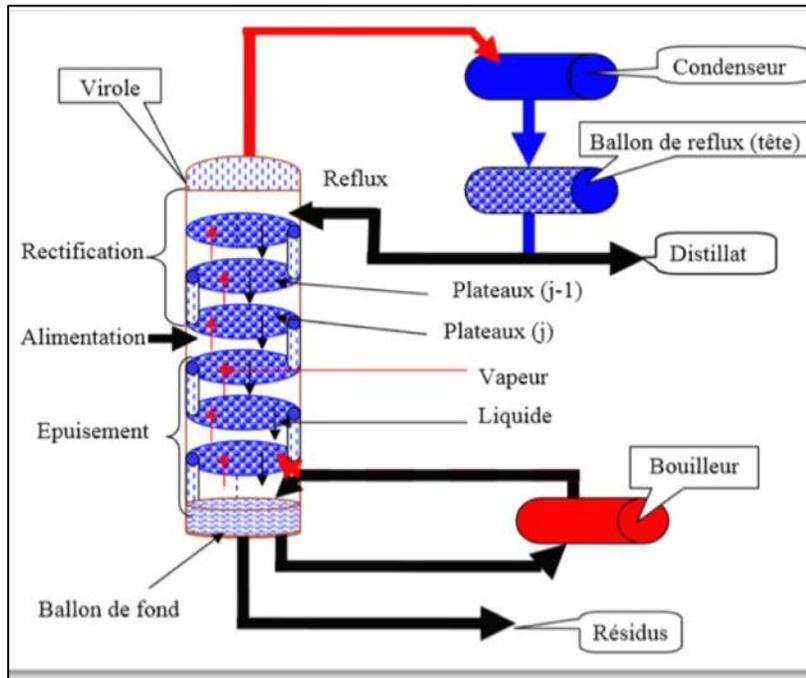


Figure II.4 : schéma de la colonne de distillation

**a) Circuit de tête de la colonne atmosphérique**

Le système de tête de la colonne atmosphérique comprend un échangeur de chaleur aérorefrigérant (100-EA-102) et un accumulateur de tête (100-D-101). 50% des ventilateurs du refroidisseur à air de tête de colonne de brut (100-EA-102) sont dotés de variateurs de fréquence pour un contrôle efficace de la température de sortie. Le refroidisseur de tête (100-E-155), prévu dans l'ingénierie de base, n'est plus nécessaire. Le système est conçu pour une condensation complète de la vapeur de tête. Les effluents provenant de 100-EA-102 sont acheminés jusqu'à l'accumulateur de tête (100-D-101) afin de séparer la vapeur, les hydrocarbures et l'eau. Le refroidisseur de tête de colonne atmosphérique existant 100-E-109 A/B sera démonté.

L'eau acide séparée dans l'accumulateur de tête (100-D-101) est dirigée vers l'unité de rectification de l'eau acide sous contrôle du niveau de l'interface par les pompes d'eau acide (100-P-162 A/B). Des dispositions ont également été prises pour acheminer l'eau acide vers le réservoir tampon d'eau de dessaleur (100-D-114), si nécessaire.

Les hydrocarbures totaux provenant de l'accumulateur (100-D-101) sont pompés par les pompes d'alimentation du débutaniseur 100-P-158 A/B sous contrôle du débit d'alimentation en cascade avec le niveau dans le réservoir, puis mélangés avec le naphta stabilisé (provenant de la colonne de débutanisation) avant d'être refroidis et envoyés vers le NHT ou le stockage.

La pression de la colonne atmosphérique est contrôlée par une régulation de pression à plage fractionnée prévue en haut de l'accumulateur de tête (100-D-101). En cas d'augmentation de la pression en haut de 100-C-101, un dégagement de gaz dans 100-D-101 est libéré vers le réseau de torchère. En cas de diminution de la pression, le fuel gas est utilisé comme tampon afin d'augmenter la pression du système [9].

**b) Rectification et refroidissement des produits de la colonne atmosphérique**

Un épuisement de coupe latérale des produits de la colonne atmosphérique (100-C-101) est prévu pour les quatre soutirages latéraux, à savoir le kérosène I (kéro I), le kérosène II (kéro II), le gazole léger et le gazole lourd. De plus, des installations d'élimination de l'humidité sous vide sont prévues pour les produits gazole léger et gazole lourd. Des strippers de coupe latérale et des sècheurs sous vide sont empilés dans deux colonnes.

Les stripper de coupes latérales de kéro I et kéro II sont deux colonnes de chauffage (100-C-103A et 100-C-102A respectivement) possédant chacune 8 plateaux. Le système est conçu pour atteindre les spécifications de point éclair du kérosène total et les « ASTM gap specifications » de naphta total/kérosène total. Le kéro I et le kéro II sont ensuite mélangés et envoyés vers stockage.

Les strippers de coupe latérale de gazole léger et gazole lourd sont deux colonnes de distillation à la vapeur (100-C-102C et 100-C-103C respectivement) utilisant de la vapeur BP surchauffée provenant de 100-F-501 et possédant chacune 5 plateaux.

Le système est conçu pour répondre à la spécification de point éclair du gazole et la qualité de fractionnement entre la coupe de kéro total et le gazole léger. Le gazole léger et gazole lourd sont ensuite envoyés vers les colonnes de séchage (100-C-102B et 100-C-103B respectivement) sous contrôle du niveau de sécheurs. Ceux derniers sont des colonnes sous vide possédant 2 plateaux et destinées à éliminer l'humidité et les hydrocarbures légers (non condensables) du gazole. Le gazole léger sera ensuite envoyé vers stockage tandis que le gazole lourd sera mélangé avec le résidu atmosphérique avant d'être envoyé vers stockage.

La tête de la colonne de séchage du gazole léger (100-C-102B) et celle du gazole lourd (100-C-103B) sont mélangés, puis dirigée vers le système de vide.

### c) **Reflux circulants de la colonne**

La colonne de brut dispose de trois reflux circulants (RC) afin d'optimiser la circulation interne vapeur-liquide et la récupération de chaleur.

- **RC haut**

Le RC haut est soutiré du plateau n°45 et envoyé vers les échangeurs brut/CR haut pour récupération de chaleur. Il est ensuite refroidi afin d'atteindre la température de retour souhaitée pour le reflux circulant, puis dirigé vers le haut de la colonne (plateau 49). Des dispositions ont été prises pour refroidir le RC haut au moyen d'un refroidisseur à air.

Le RC permet de maintenir la température de tête de 100-C-101 au niveau requis.

- **RC intermédiaire**

Le RC intermédiaire est soutiré du plateau n°34 et envoyé vers les échangeurs brut/CR intermédiaire (100-E-102 A/B/C) pour récupération de chaleur. Il est ensuite acheminé vers la colonne atmosphérique sur le plateau n°36, sous contrôle du débit.

- **RC bas**

Le RC bas est extrait du plateau n°18 avec le flux de soutirage de gazole lourd vers le stripper (100-C-102 C). Il est divisé en trois flux pour récupération de chaleur avant d'être renvoyé vers la colonne atmosphérique (100-C-101) sur le plateau n°20.

#### **d) D'épuisement**

Il se compose d'environ cinq plateaux (5) situés sous l'arbre, où le résidu de distillation atmosphérique est obtenu et utilisé comme minerai de distillation sous vide pour produire des lubrifiants, avec de la vapeur d'eau surchauffée injectée à basse pression pour éliminer le résidu le plus sophistiqué.

### **II.2.5 Colonne de débutanisation/stabilisateur de naphta**

Le naphta non stabilisé (composé de tous les composants du gazole combustible, du GPL et du naphta) provenant du ballon de tête de la colonne de prévaporisation (100 -D-501) est envoyé vers la colonne de débutanisation (100-C-104). Il est préchauffé avec les fonds du stabilisateur puis alimente la colonne de débutanisation. La colonne possède 39 plateaux avec une alimentation normale sur le plateau n°25. L'alimentation peut également se faire sur les plateaux n°24 ou 20 pour davantage de flexibilité.

Les produits de tête sont condensés avant d'être dirigés vers le ballon de reflux du débutaniseur (100-D-103) grâce à un contrôle de la pression. L'eau présente dans les produits de tête est séparée dans le ballon de reflux et envoyée vers l'unité de rectification de l'eau acide. Le GPL provenant de 100-D-103 est envoyé vers l'unité gas plant (unité 300). Le reflux du débutaniseur alimente le plateau n°39 de la colonne de stabilisation.

Le produit naphta stabilisé provenant du bas de la colonne de stabilisation est refroidi puis mélangé avec le naphta lourd provenant de l'accumulateur de tête de la colonne atmosphérique (100-D-101). Le naphta stabilisé est encore refroidi jusqu'à une température de 38°C. Le naphta

TOTAL est envoyé vers l'alimentation du MS block vers le réservoir tampon NHT et le stockage hors de la limite de zone de naphta direct.

### **II.2.6 Redistillation**

La colonne de redistillation C105 permet de séparer la coupe d'essence débutanisée obtenue comme produit de tête de cette colonne du solvant léger soutiré au fond et qui constitue l'alimentation principale de l'unité de reforming catalytique.

L'alimentation de cette colonne arrive du fond du débutaniseur C104 suffisamment chaude pour assurer le rebouillage nécessaire à la séparation essence & solvant léger.

La quantité de chaleur nécessaire au rebouilleur E125 est assurée par le jeu d'une vanne à trois voies sous contrôle de température TRC104 placée au 3ème plateau. La température de l'alimentation de la colonne de redistillation est contrôlée par la TRCV105 placé sur l'échangeur E119, ce qui permet un abaissement de température suffisant avant l'entrée de l'alimentation au niveau de l'un des plateaux 9, 11,13 [2].

L'essence débutanisée quitte le sommet de la tour C105 pour être recueillir dans le ballon de recette D104 après condensation à travers l'aéroréfrigérants E124 Ar elle sera reprise par la pompe P114 vers la limite batterie.

Cette même pompe envoie vers le sommet un reflux froid, sous contrôle de débit FRC 110, réalisant ainsi l'équilibre thermique de la colonne C105.

Le produit de fond, constitue une partie de l'alimentation de l'unité de reforming quitte la colonne sous contrôlée du régulateur LRC106 placé sur le refoulement de la pompe P117, cette pompe envoie le solvant léger vers l'échangeur E118 pour chauffer l'alimentation du Débutaniseur, puis vers l'aéroréfrigérants E127Ar, avant de l'acheminer vers la limite batterie.

### **II.3 Description du réchauffeur atmosphérique (F501)**

Le four F501 est un équipement incontournable dans les unités de traitement de brute. Il a pour rôle de réchauffer le pétrole brute jusqu'à une température de 350°C.

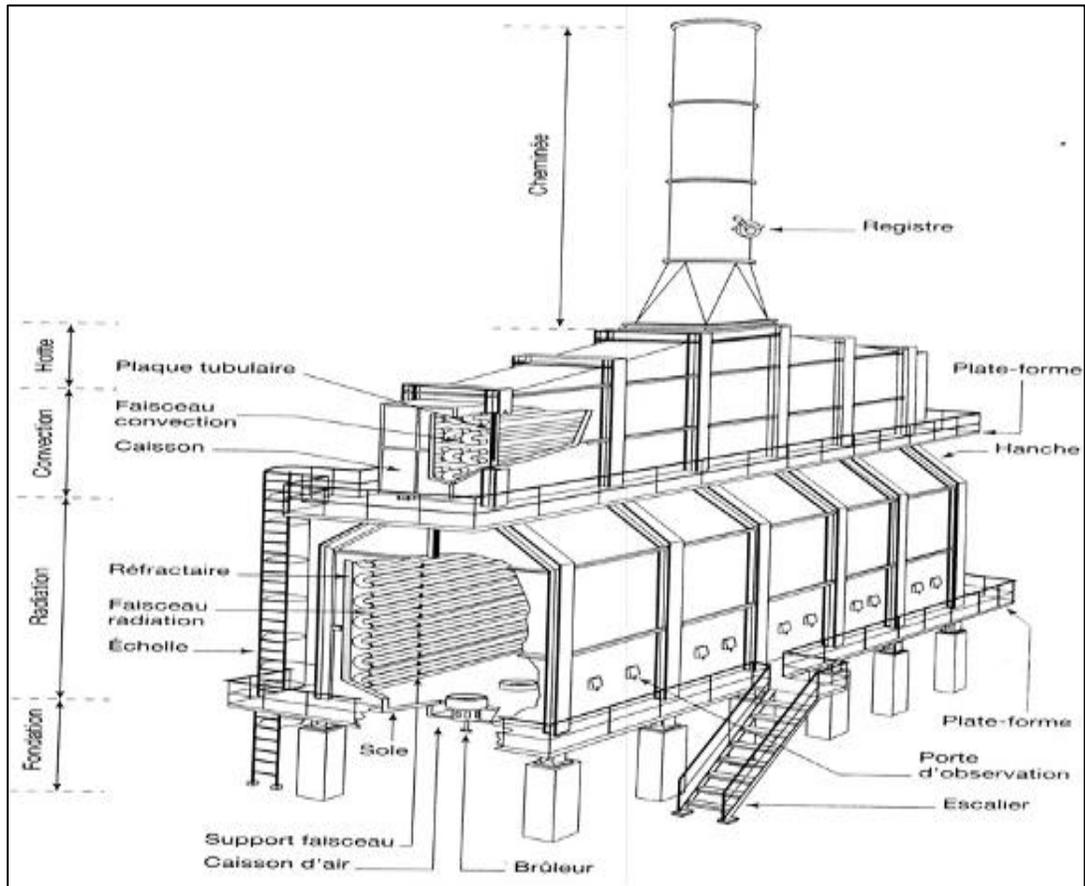


Figure II.6 : schéma de four F501

### II.3.1 Constitution du four F501

D'une façon générale, le four comporte les zones principales suivantes :

#### a) Une zone dite radiation

Constituant la chambre de combustion, garnie intérieurement des matériaux réfractaires isolant, dans laquelle les tubes sont exposés à la flamme et reçoivent la chaleur principalement par radiation des produits de combustion.

#### b) Zone dite convection

Éventuellement garnie, installée à la sortie des fumées de la chambre de combustion. Elle est constituée d'un faisceau de tube placé perpendiculairement à la direction des fumées. Le

rendement d'un four muni d'une zone de convection est supérieur à celui d'un four ne comportant qu'une zone de radiation.

### c) Brûleurs

Ils ont pour rôle de réaliser le mélange intime de l'air et du combustible en vue d'obtenir une combustion complète. L'air de combustion est introduit par des volets du fait de la dépression qui règne dans le four. Le combustible, gaz ou huile, débouche dans le courant d'air au centre d'un ouvrage réfractaire qui, par la chaleur qu'il rayonne, assure la stabilité de la flamme.



Figure II.7 : brûleurs de four F501

### d) Cheminée

La cheminée, de forme cylindrique, peut être située directement sur le four ou sur une fondation séparée. Le conduit amenant les fumées à la base de la cheminée s'appelle carneau. Le rôle de la cheminée est :

- De conduire les fumées dans l'atmosphère à une hauteur telles qu'elles ne risquent pas de gêner le voisinage (ceci est important, en particulier dans les installations très resserrées où les cheminées des fours doivent être plus élevées que les colonnes voisines).
- De mettre, par son tirage, la chambre de combustion en dépression en provoquant ainsi l'entrée de l'air nécessaire à la combustion par les volets d'air des brûleurs.

Ses dimensions, hauteur et diamètre, doivent donc être calculées pour obtenir ce tirage.

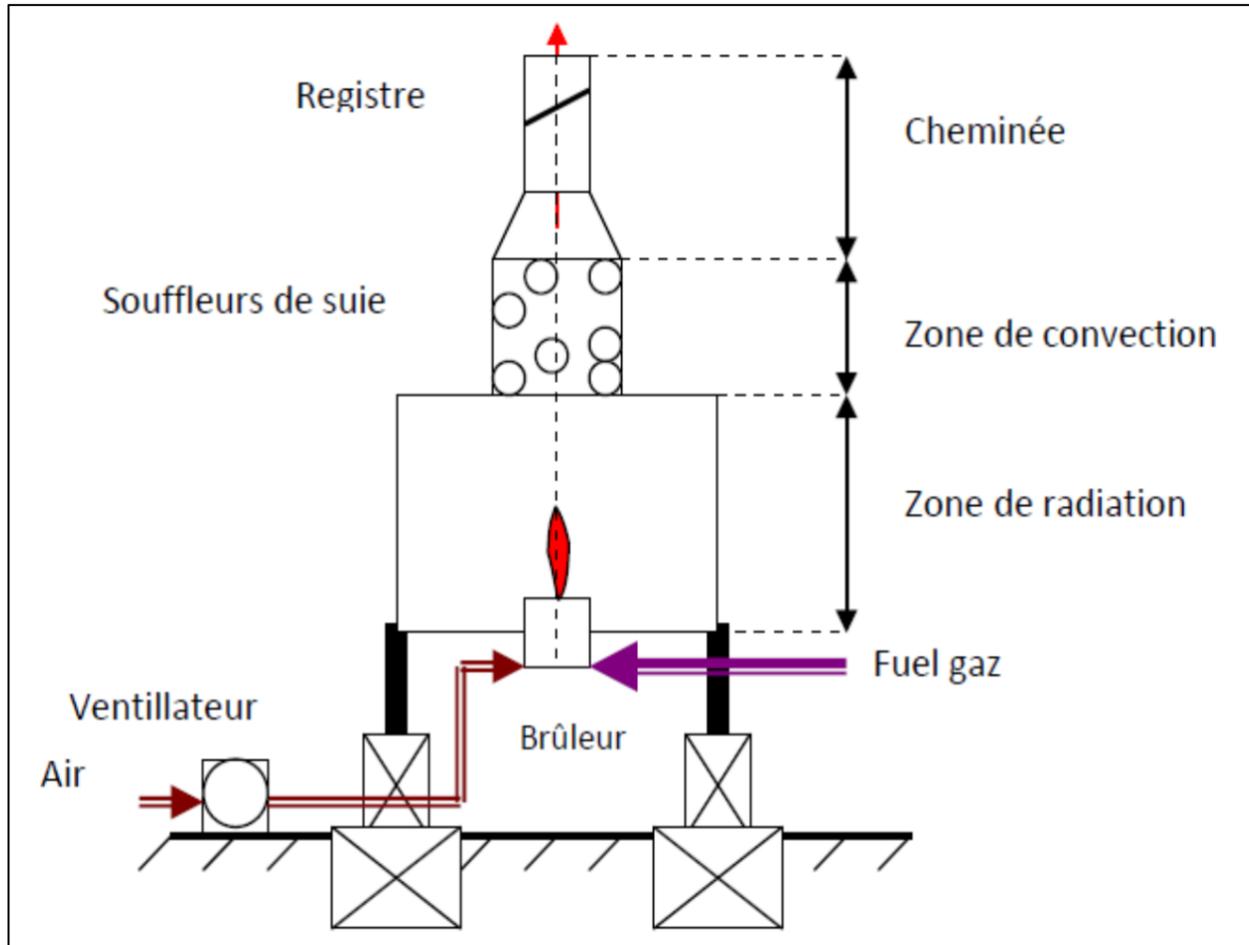


Figure II.8: schéma simplifié de four F501

### II.3.2 Équipements De Chauffe

Le pétrole brut à 216°C entre dans la zone de convection du four F501 en quatre passes (4 tubes) comme le montre la figure suivante :

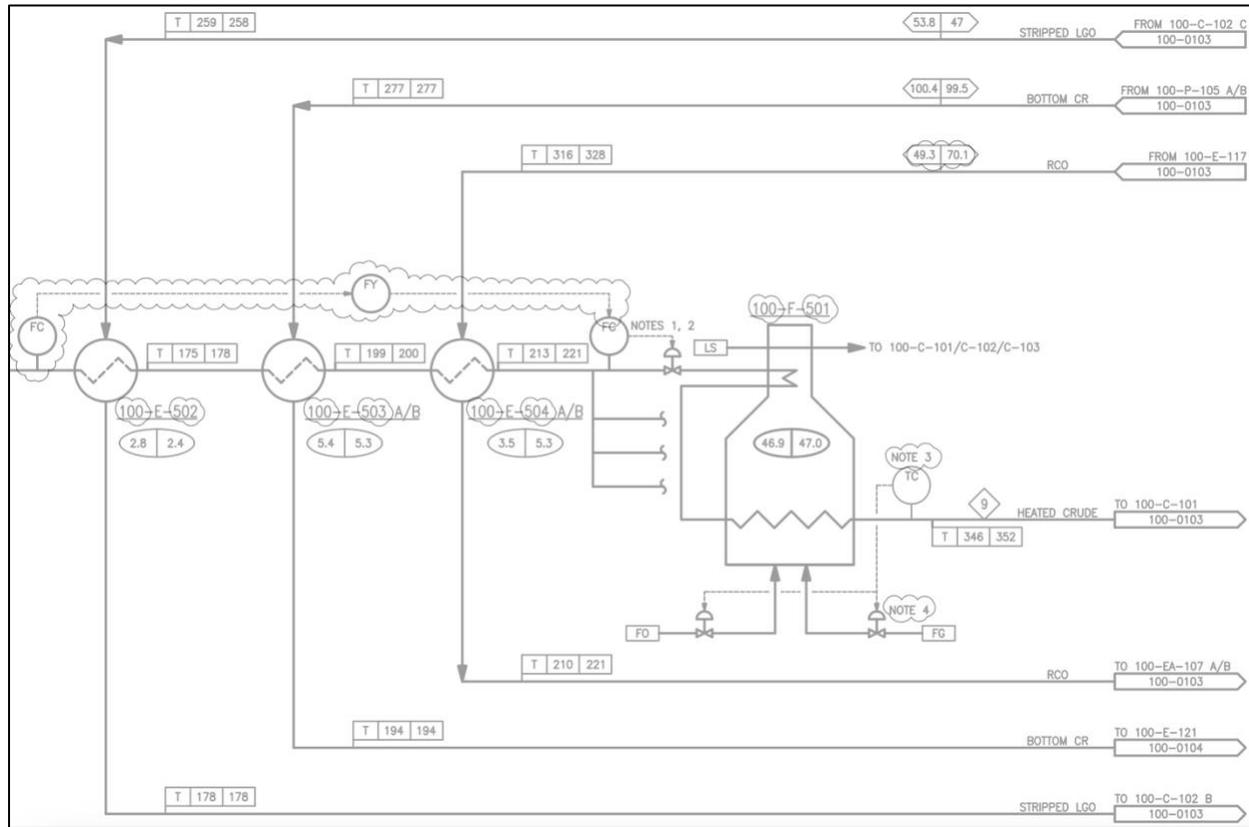


Figure II.9 : PFD de four F501

Le chauffage du four est assuré par la combustion du fuel gaz dans des brûleurs, Le fuel gaz alimentant le four F501, il entre par l'intermédiaire de 2 pompes P1 et P2 à fin d'être chauffé dans des brûleurs.

Le four est équipé d'une boucle de régulation de débit du fuel gaz et du pétrole brut, de température, et de pression, puisque la vanne de contrôle et de régulation de débit FRC, contrôle le débit du fuel gaz entrant, en même temps elle est associée à :

- L'indicateur de débit FI d'entrée du pétrole brut
- L'indicateur de température TI de température de surface du pétrole brut
- L'indicateur de différence de pression interne et externe

Le four F501 est aussi équipé de détecteurs de gaz placés à l'entrée des brûleurs et de détecteurs de fumées.

En haut des volets est placé l'analyseur de fumées.

La température du pétrole brut monte jusqu'à 332°C et la pression de service est à 10 bar, Le four est équipé d'une boucle de régulation du fuel gaz et du pétrole brut entrant [10].

### **II.3.3 Opérations**

Le four F501 est surveillé depuis la salle de contrôle centralisé.

Cependant, certaines phases nécessitent des interventions particulières des opérateurs, comme c'est le cas d'une mauvaise transmission du signal en provenance d'un indicateur de flamme relatif à chaque bruleur [10].

### **II.3.4 Procédure de démarrage**

A la suite d'un arrêt du four F501, SONATRACH/ACTIVITÉ AVAL/DIVISION RAFFINAGE prévoit qu'il sera purgé à l'aide de la vapeur stripping.

Les précautions prises pour ces phases transitoires d'arrêt et de démarrage permettent de minimiser les risques d'accident et de garantir la sécurité du four F501 [10].

### **II.3.5 Procédure d'arrêt d'urgence**

En cas d'urgence SONATRACH/ACTIVITÉ AVAL/DIVISION RAFFINAGE a mis en œuvre une procédure d'arrêt complet du four qui consigne étape par étape les actions à mener.

Lorsque le four F501 est arrêté par le BMS (Burner Management System) les brûleurs surveillés depuis la salle de contrôle seront coupés (isolés), les vannes d'entrée du fuel gaz (vannes de sectionnement ou vannes tout ou rien) et les vannes d'entrée du pétrole brut se mettront en position fermé, leurs positions sont définies par conception et sont adaptées, ces FRC constituent une barrière passive efficace contre toute dérive.

Ensuite les volets de la cheminée seront fermés et cela pour minimiser le choc thermique sur la structure du four.

Et enfin, la vapeur stripping (vapeur d'eau) sera envoyée dans le four.

La procédure d'arrêt d'urgence prévoit la mise du four F501 sous contrôle manuel le temps de revenir à la normale [10].

Les cas d'arrêt du four F501 sont les suivants :

- Manque de fuel gaz.
- Manque de vapeur stripping.
- Pannes électriques.
- Si le taux d'oxygène est inférieur ou égale à 2 %.

## II.4 Instrumentation de Four F501

Les appareils de mesure donnent la possibilité d'agir sur le procédé de fabrication, de manière à obtenir en qualité et en quantité des produits finis conformément à certaines spécifications dans les meilleures conditions de sécurité, de fiabilité et de rendement.

Nous allons étudier les différents dispositifs de contrôle, transmission et de mesure du four F501 des trois paramètres physiques industriels les plus importants à savoir la pression, le débit, et la température.

### II.4.1 Capteurs

Un capteur est un organe de prélèvement d'information qui élabore, à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur de nature différente (très souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande.

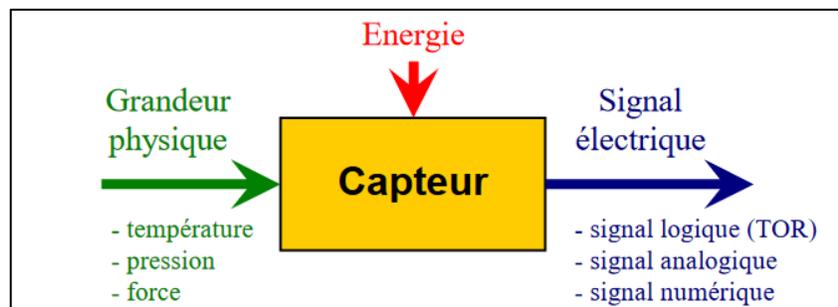


Figure II.10 : schéma représentative de capteur

### II.4.2 Transmetteur

Un transmetteur est un appareil qui, recevant une vraie variable mesurée, produit un signal de sortie normalisé.

Pouvant être transmis et ayant une relation continue et définie avec la valeur de la variable mesurée.

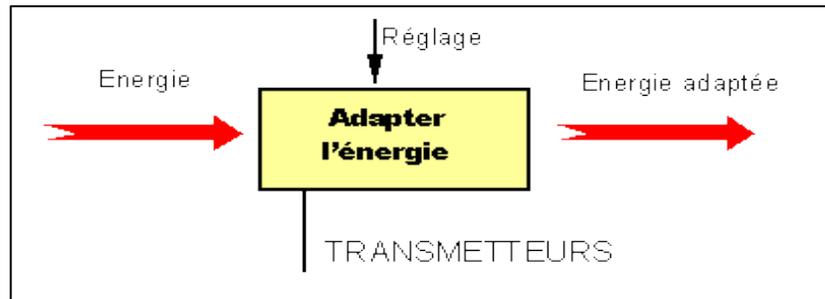


Figure II.11 : schéma représentative de transmetteur

### a) Signaux universels

- Un capteur délivre un signal de faible intensité désigné par l'appellation « signal bas niveau ». Pour l'étendue de mesure du capteur, les signaux « bas niveau » sont : potentiométrique, thermocouple, RTD (Résistor Thermomètre Detector), tension (exemples :  $-20$  mV à  $+20$  mV,  $0$  à  $100$  mV), ou courant.
- Un transmetteur délivre un signal appelé « signal haut niveau » puisque son énergie permet la transmission de la mesure à une grande distance (plusieurs centaines de mètres) du point de mesure. Ces signaux « haut niveau » sont :  $(0 - 5)$  V,  $(1 - 5)$  V,  $(0 - 10)$  V,  $(0 - 20)$  mA et  $(4 - 20)$  mA.
- Malgré un signal « bas niveau », un capteur peut être relié à l'entrée de mesure d'un dispositif de contrôle tel qu'un automate programmable industriel (API) ou un régulateur.
- Dans ce cas, la carte d'entrée se substitue au transmetteur absent et réalise par exemple l'amplification et le traitement de linéarisation du signal délivré par un thermocouple.

### b) Lestandard4-20mA :

Les avantages du signal analogique en courant 4-20 mA :

- Il n'est pas affecté par les chutes ohmiques de tension.

### II.4.3 Capteurs-transmetteurs

C'est l'un des éléments essentiels pour le bon déroulement du procédé du système à automatiser. Il a pour rôle de capter les informations (débit, température pression) et ensuite les transmettre au système de traitement d'information à travers un transmetteur [11].

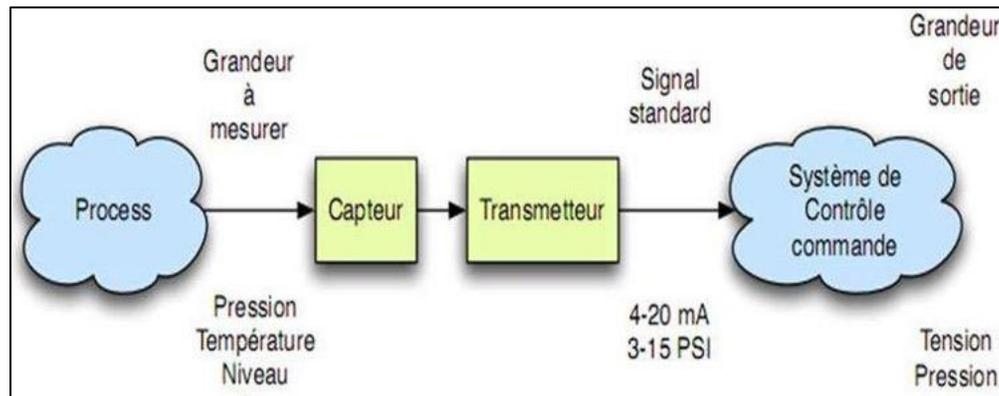


Figure II.12 : Capteur et transmetteur en situations [11].

Les bornes du signal de sortie sont situées dans un compartiment séparé du boîtier, les bornes du haut sont des bornes du signal et les bornes du bas sont des bornes de test où on trouve le même signal (4-20 mA). L'alimentation du transmetteur est fournie par le raccordement électrique du signal.

## II.5 Les principaux instruments de four F501

### II.5.1 Transmetteur de température

La mesure de la température nous informe sur la quantité de chaleur qu'un corps ou un environnement contient. Cette mesure peut être lue à l'aide de la dilatation d'un liquide, par un thermomètre, ou par la variation d'un élément primaire via capteur. L'unité de mesure la plus utilisée est l'échelle en degré Celsius ou centigrade.

Ce sont des dispositifs permettant de transformer l'effet du réchauffement ou du refroidissement sur leurs composants en un signal électrique. Ils peuvent amplifier les signaux de température et puis les transmettre aux signaux DC standards.

Transmetteur de température

thermo-couple



Figure II.13 : Transmetteur de température

## II.5.2 Transmetteur de pression

La mesure de la pression est une information fort utile pour de nombreuses applications industrielles. En effet, dans certains cas, la mesure de la pression permet de déterminer le niveau d'un liquide, la température d'une chaudière thermique, le débit, la densité ou la viscosité de certains gaz ou liquides.

Un capteur de pression est un dispositif capable de mesurer la pression appliquée. Le capteur de pression convertit la pression physique en un signal électrique. Un capteur de pression, souvent appelé transducteur ou transmetteur de pression, est un dispositif utilisé pour mesurer et convertir une pression mécanique ou hydraulique en un signal électrique. Le signal électrique peut être utilisé pour afficher la mesure de la pression sur un afficheur ou être envoyé à un régulateur, un automate ou à un système d'acquisition de données pour un traitement ultérieur.



Figure II.14 : Transmetteur de pression

### II.5.3 Transmetteur de débit

La mesure de débit est une information fort utile pour de nombreuses applications industrielles. Les systèmes de contrôle industriels nécessitent souvent des mesures de fluides dans des canalisations. Les mesures de débit sont donc importantes, fréquentes, mais aussi très complexes.



Figure II.15 : débitmètre à effet vortex

Les débitmètres à effet vortex traditionnels mesurent le plus souvent des débits élevés, ce qui explique que ces instruments aient tendance à ignorer les faibles débits (en raison des coupures à bas débit). Des dispositifs permettent de limiter cet inconvénient, en utilisant un corps de débitmètre de plus faible diamètre pour abaisser le seuil de mesure fiable, et c'est un débitmètre qui est très sensible aux vibrations.

### II.5.4 Vanne de régulation

Une vanne de régulation est un dispositif conçu pour contrôler le débit de toutes sortes de fluides (liquide ou gaz) dans un système de commande de processus.

La vanne est commandée par un régulateur qui utilise l'action de l'air comme fluide d'asservissement.

Ainsi l'ouverture, la fermeture ou l'action modulée de la vanne est produites par les variations de pression de sortie d'un instrument de mesure et de contrôle. La vanne est actionnée mécaniquement Elle est reliée à un actionneur capable de faire varier la position d'un organe de fermeture dans la vanne. L'actionneur peut être mû par une énergie pneumatique, électrique, hydraulique ou toute combinaison de ces énergies [12].



Figure II.16 : Vanne de régulation

### a) Positionneur

Pratiquement les problèmes de régulation sont causés généralement par les éléments terminaux tels que les vannes automatiques.

Essentiellement grâce aux positionneurs, les performances des vannes sont en effet améliorées et donc amélioration des boucles de régulation.

Donc le positionneur est indispensable pour assurer le positionnement du clapet de la vanne. C'est un régulateur de position qui reçoit comme consigne la sortie du régulateur ou de l'automate, comme mesure la position réelle de la vanne et émet un signal à un moteur (il s'agit en général d'un servomoteur pneumatique, parfois d'un moteur électrique) pour obtenir la position désirée de la vanne.

Il permet ainsi de s'affranchir de l'hystérésis des presse-étoupe de vanne et du servomoteur, des ressorts, des effets des pressions amont/aval agissant sur le ou les clapets, des variations de la pression d'air d'alimentation du servomoteur.



Figure II.17 : Positionneur (FISHER)

### II.5.5 Électrovanne

Une électrovanne ou électrovalve est une vanne commandée électriquement. Grâce à cet organe il est possible d'agir sur le débit d'un fluide dans un circuit par un signal électrique.

L'état des électrovannes changent suivant qu'elles soient alimentées électriquement ou non. Il existe deux sortes d'électrovannes tout ou rien :

Les électrovannes dites normalement ouvertes, qui est entièrement ouvertes en l'absence d'alimentation électrique (absence de tension) et qui se ferment lorsqu'elles sont alimentées électriquement.

Les électrovannes dites normalement fermées, qui est entièrement fermées en l'absence d'alimentation électrique et qui s'ouvrent lorsqu'elles sont alimentées.

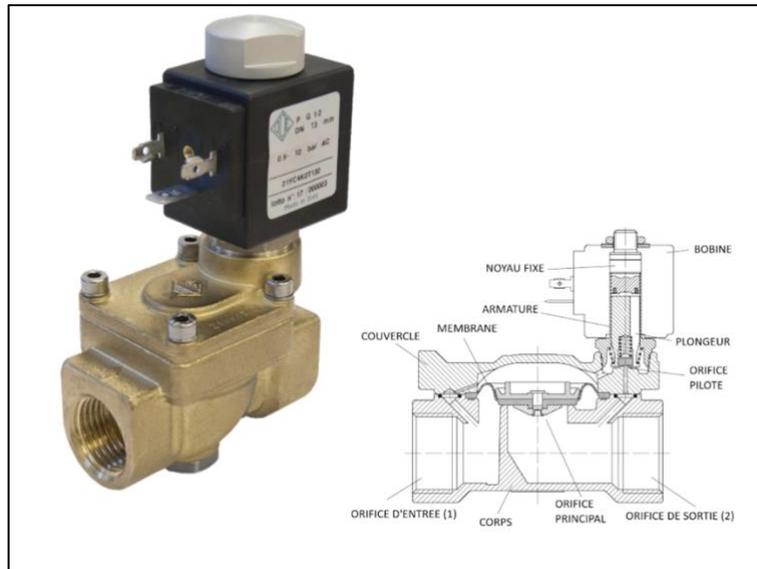


Figure II.18 : Électrovanne

## II.6 Conclusion

On a vu d'ensemble dans ce chapitre ce que veut dire un four atmosphérique.

On a défini presque tous les éléments de notre four, les paramètres de fonctionnement et les différents procédés qui suivent lors de sa mise en marche ou bien son arrêt.

L'étude des différents instruments de mesure nous a permis d'approfondir les connaissances sur le four atmosphérique F501 et de faciliter l'élaboration d'une solution sur le procédé dans un système numérique de contrôle et de commande.

---

## Chapitre III

Description de système de contrôle DCS  
(FOXBORO)

---

## Chapitre III Description De Système De Contrôle DCS (FOXBORO)

### III.1 Introduction

L'automatisation d'un procédé consiste à en assurer la conduite par un dispositif technologique moderne robuste. Les systèmes ainsi conçus pourront prendre en compte les situations pour lesquelles sa commande a été réalisée.

La conduite d'un procédé dans le domaine pétrole et gaz implique la connaissance, la surveillance et la maîtrise de certains paramètres tels que la pression, la température, le débit, etc. Chaque procédé ses exigences propres, et chaque équipement a ses conditions de fonctionnement. Le système de contrôle commande doit satisfaire ces besoins.

Les installations industrielles dans le domaine pétrole et gaz présentent des risques pour les personnes, l'environnement et les équipements, d'où la nécessité de mise en œuvre des système de mise en sécurité de ces installations a risque pour le respect des exigences réglementaires.

On distingue plusieurs zones de variation d'un paramètre quelconque et les systèmes qui interviennent pour le maintenir dans le fonctionnement normal.

La modernisation des systèmes de contrôle a été réalisée par l'incorporation d'un système d'automatisation intelligente de supervision et de contrôle réparti (DCS) série de **FOXBORO**

Pour assurer le bon fonctionnement et la sécurité des installations et des équipements du complexe **RA1G**, ce dernier est doté de 2 systèmes :

- **DCS** : Pour assurer tout ce qu'il est régulation et asservissement.
- **ESD, BMS** : A base des API pour gérer les séquences de démarrage et les déclenchements des installations et aussi assure une surveillance permanente des équipements [7].

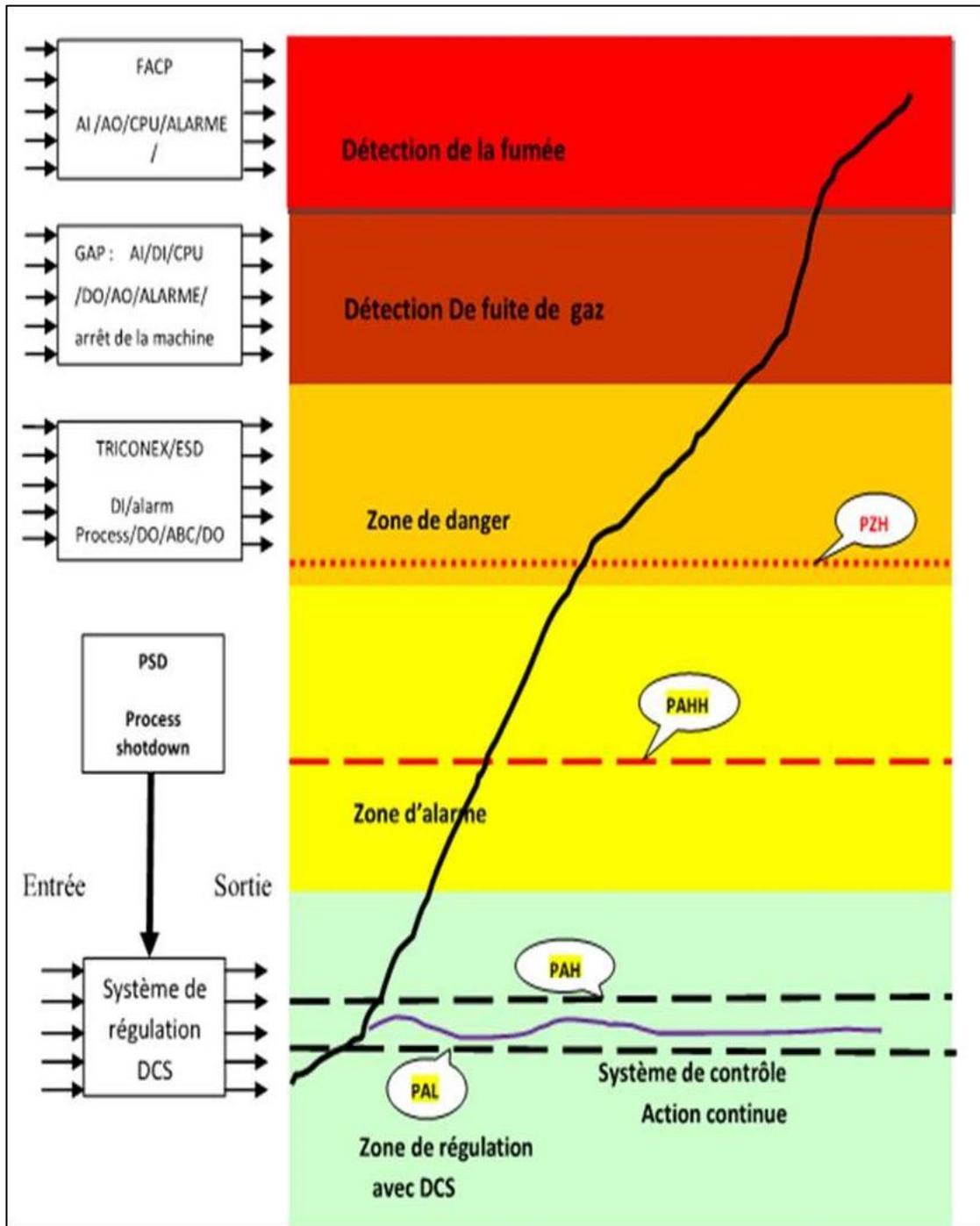


Figure III.1 : Zone variation et les systèmes intervenant [7]

- **Zone de régulation** : correspond à la plage de fonctionnement normal d'un paramètre donné. Ce fonctionnement est contrôlé via un système de contrôle.

- **Zone d'alarme** : en cas de dépassement des seuils de fonctionnement normal, l'opérateur est informé et des actions opératives sont engagées pour ramener le procédé dans la zone de fonctionnement normale.
- **Zone de danger** : la mise en sécurité du procédé est assurée par un système d'arrêt d'urgence ESD (Emergency Shut Down).
- **Zone de détection de gaz** : c'est la zone de détection de fuite de gaz dans les installations.
- **Zone de détection de flamme** : c'est la zone de détection de flamme début de flamme détecté par des capteur qui vont faire enclencher automatiquement des équipements anti incendie.

## III.2 Système de contrôle distribue (DCS)

Le contrôle distribué fait référence à un système de contrôle d'un procédé, dans lequel les éléments régulateurs ne sont pas centralisés mais distribués avec chaque sous-système sous le contrôle d'un ou plusieurs régulateurs. Les éléments du système tout entier peuvent être connectés en réseau pour assurer les fonctions de communication, de conduite, de surveillance et de contrôle des équipements distribués avec ou sans l'intervention à distance d'un opérateur humain.

### III.2.1 Les caractéristiques du système DCS

Il est caractérisé par :

- Des procédés mieux maîtrisés avec moins de consommation d'énergie.
- L'archivage et l'accès aux informations en temps réel.
- Visualisation, représentation graphique et impression de données.
- Acquisition électronique des données et enregistrement sans papier.
- L'introduction de la redondance dans un double objectif.
- Sécuriser au maximum les procédés et minimiser les déclenchements intempestifs.
- L'autocontrôle et la fonction diagnostique détaillée des systèmes ont contribué à la réduction des coûts d'appels de maintenance.
- Sécurité améliorée, une réduction des risques pour les hommes, les installations et l'environnement.

En plus, le DCS est constitué de plusieurs sous-systèmes dont :

- Les dispositifs d'entres/sorties.
- Les contrôleurs individuels (PLC régulateurs).
- Les interfaces opérateurs (écran, souris, clavier).
- La station de travail ingénieur.
- Le réseau de communication (bus) pour l'échange d'information.

### III.2.2 Mission d'un système DCS

Depuis l'installation du système DCS et en comparaison avec les systèmes précédents, plusieurs améliorations détaillées par domaines d'applications sont constatées.

#### a) Par rapport au Procédé :

Augmentation de la disponibilité du système par sa redondance :

- Précision de la mesure et gain en temps de réponse.
- Facilite la supervision et opérations (process et système) à partir de la même station.
- Possibilité d'interconnexion avec d'autres systèmes (GE-FANUC, MKV, etc...).
- Occupation d'un espace réduit.

#### b) Coût de maintenance :

- Gain en temps de maintenance préventif en salle de contrôle (encrage des enregistreurs, entretien des instruments).
- Minimisation et précision des interventions en salle de contrôle.
- Facilite le diagnostic et la recherche des pannes.
- Performance et possibilité d'extension du système, permet son exploitation à pleine charge.
- Sauvegarde de tous les évènements et alarmes (process, actions opérateur et alarmes système).
- Éventuelles études historiques.
- Facilite les interventions sur site et diminue les risques de déclenchement.

**c) Exploitation :**

L'utilisation du système informatique comme noyau central du projet a en effet apporté un grand plus à la malléabilité de ce dernier. Certains calculs nécessaires à la prise de décision, sont devenus possibles, offrant ainsi une analyse beaucoup plus optimale à l'utilisateur. Nous énumérerons à titre d'exemple les points suivants :

- Calcul automatique du bilan de production journalier.
- Consultation et suivi des opérations journalières.
- Disponibilité de tous les outils nécessaires à l'opérateur (trends, contrôle, group...etc.).
- Facilite la manipulation et le contrôle du process.

**III.2.3 Principales fonctions de base d'un système DCS**

Les principales fonctions de base à réaliser par un système numérique de contrôle et de commande des procédés industriels sont :

- Adaptation des signaux échangés avec le procédé.
- Traitement en temps réel des données échangées avec le procédé.
- Traitement en temps différé des données échangées avec le procédé.
- Communication avec les utilisateurs du système numérique.
- Communication avec d'autres systèmes voisins.

**III.2.4 Architecture générale du DCS**

L'architecture de bas du DCS se présente sur les quatre niveaux suivants :

**Niveau1** : Raccordement

- Instruments de mesure et de contrôle.

**Niveau 2** : acquisition des signaux

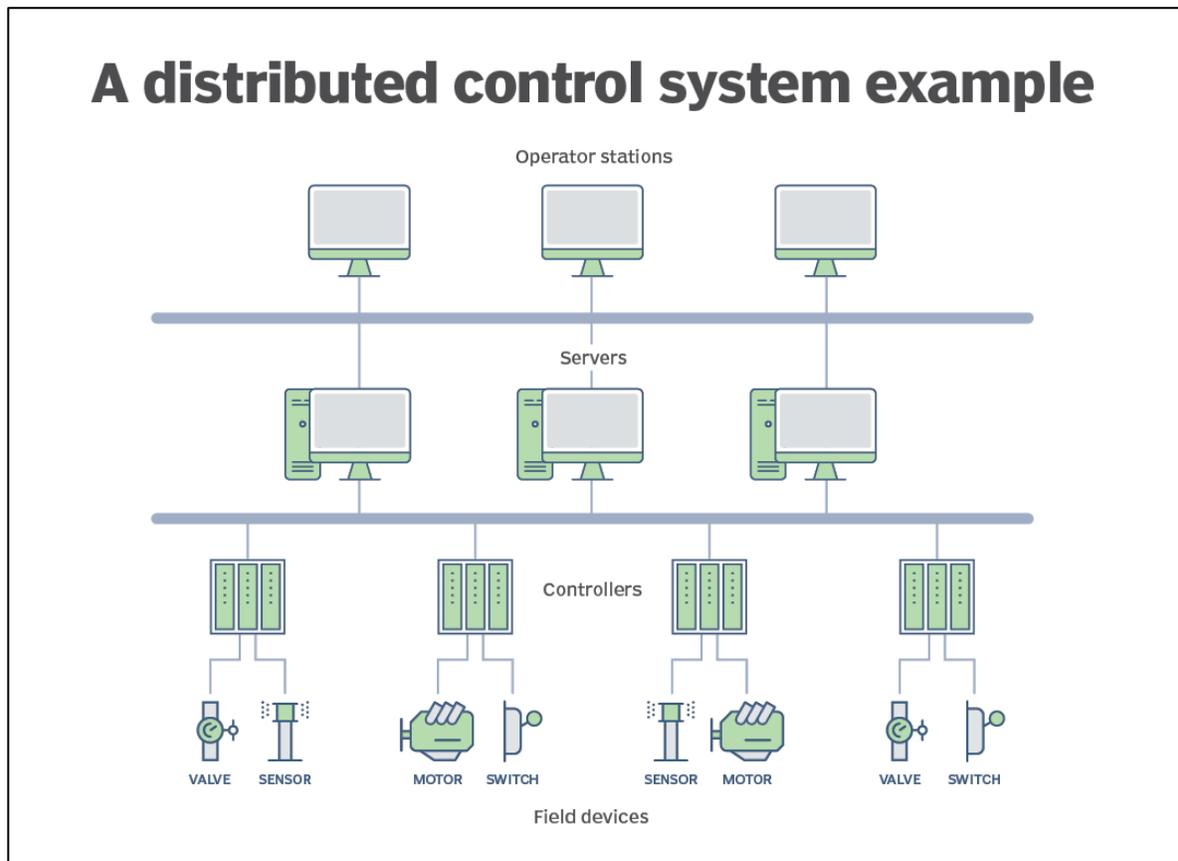
- Analogiques.
- Digitaux.
- Liaisons séries.

**Niveau 3** : Traitement des entrées / sorties

- Exécution des algorithmes.

**Niveau 4** : Interface opérateur

- Affichage des graphiques, des valeurs numériques et des états digitaux.
- Gestion des alarmes.
- Historisation.
- Passage des consignes.
- Rapports de production.



**Figure III.2** : architecture du DCS

### III.3 Adaptation des signaux d'entrée et sortie

Les signaux industriels sont classés en deux catégories standard :

### III.3.1 E/S analogiques

Ce sont les procédés ou les signaux d'E/S quantifiant une mesure ou une action à l'aide d'une valeur électrique. Par exemple : les paramètres (niveau, pression, débit et température) converti en un signal électrique standard 4-20 mA et 0.2-1 Kg/cm pour un signal pneumatique le dispositif technologique utilisé est composé de capteur-régulateur-actionneur [13].

### III.3.2 E/S booléennes (numériques)

Ce sont les procédés logiques qui sont caractérisés par la nature (tout ou rien) c'est-à-dire le signal état 0c/o à 100c/o par exemple : la tension de 110V pour exciter une électrovanne ce type de procédé est constitué d'un ensemble d'équations logiques qui traitent les données par (0 et 1) logique, exemple : système PLC qui assure les sécurités des ballons, pompe, compresseur. Le dispositif technologique est composé de capteur-circuit logique compose de relais –actionneur.

## III.4 DCS I/A Séries (Intelligent/ Automation) de FOXBORO

### III.4.1 Historique de la société FOXBORO

Société multinationale créée 1908 par les américains à Massachussets, elle a pour objectif le développement et la commercialisation de matériel (instrumentation et système) et logiciel de contrôle-commande de procédés industriels (Pétrochimie, chimie, industries agro- alimentaire, industries papeteries). Elle a un effectif qui dépasse 6000 personnes réparties dans plus de 100 pays, c'est principaux concurrents sont :

- YOKOGAWA
- HONEYWELL
- EMERSON

### III.4.2 Architecture de base de DCS I/A Séries de FOXBORO

Cette architecture du DCS englobe les stations, les imprimantes et les réseaux pour le fonctionnement du système. Un système d'arrêt d'urgence « ESD » basé sur un automate PLC est indispensable pour la sécurité du procédé. Ce système indépendant est connecté au DCS via un

port de communication juste pour la visualisation de certain paramètre ESD sur les stations d'opération [13].

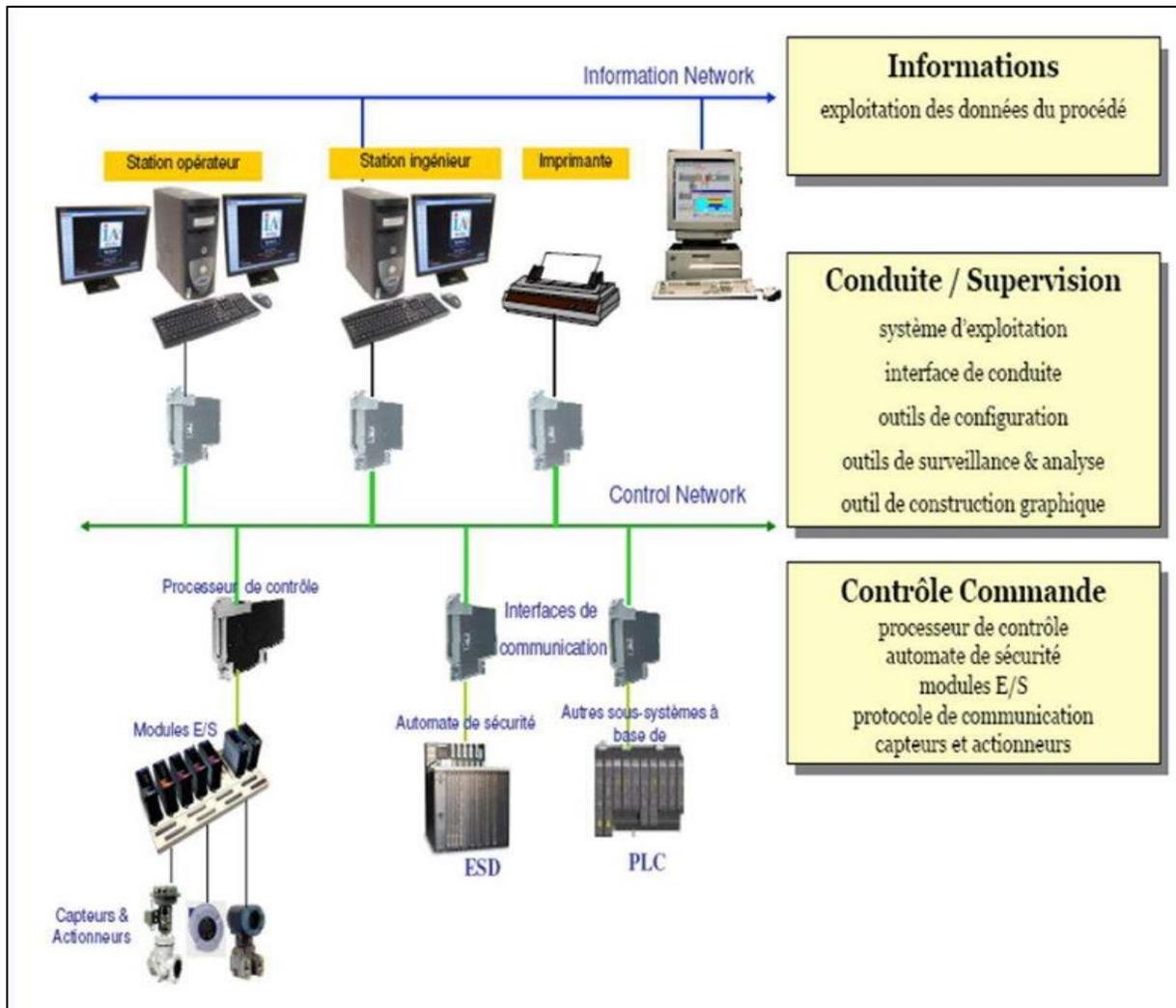


Figure III.3 : Architecture de base du DCS I/A Série FOXBORO

## III.5 CONFIGURATION HARDWARE DE DCS I/A Séries de FOXBORO

### III.5.1 Le processeur de contrôle CP

Les traitements réalisés par le processeur de contrôle font appel à des algorithmes standards fournis par appelés 'BLOC'.

Le bloc est une entité logicielle qui réalise une fonction (calcul, etc..) prédéfinie par son algorithme.

Le CP assure les fonctions principales suivantes :

- Communication avec les modules d'E/S et les cartes de conversion (FBM).
- Communication avec les autres stations du réseau CP.
- Exécutions des algorithmes de traitements continus.
- Exécutions des algorithmes de traitements séquentiels.
- Selon le type de processeur utilisé, il existe plusieurs types de processeurs de contrôle (CP10, CP30, CP40, CP60, CP270, CP280).



Figure III.4 : Le module CP

### III.5.2 Le module d'entrée/sortie FBM (Field Bus Module)

Les modules d'E/S FBM réalisant les fonctions générales suivantes :

- Interface entre les signaux industriels du processus automatisé et le processeur de contrôle.
- Convection des signaux industriels (analogiques) en signaux numériques (acquisition) et inversement (commande).

- Mise en repli de sécurité de l'équipement commandé en cas perte de communication avec le CP.



Figure III.5 : Le module FBM

### III.5.3 Le module de communication

Le FBM232 se connecte à un seul réseau Ethernet en cuivre de 10 Mbps ou 100 Mbps pour communiquer avec les appareils. Le FBM232 est connecté à des commutateurs ou des concentrateurs Ethernet afin de communiquer avec un appareil externe ou jusqu'à 64 appareils externes.

Les principales caractéristiques du FBM232 sont les suivantes :

- Taux de transmission du réseau Ethernet de 10 Mbps ou 100 Mbps vers/depuis l'appareil de terrain.
- Communication avec un maximum de 64 appareils de terrain.

- Le pilote du logiciel d'E/S est téléchargeable à partir d'une bibliothèque de protocoles disponibles Jusqu'à 2000 connexions de blocs DCI.
- Intégration des données des appareils de terrain dans une base de données de contrôle FOXBORO Evo à l'aide de la connectivité Ethernet.
- Montage sur site.

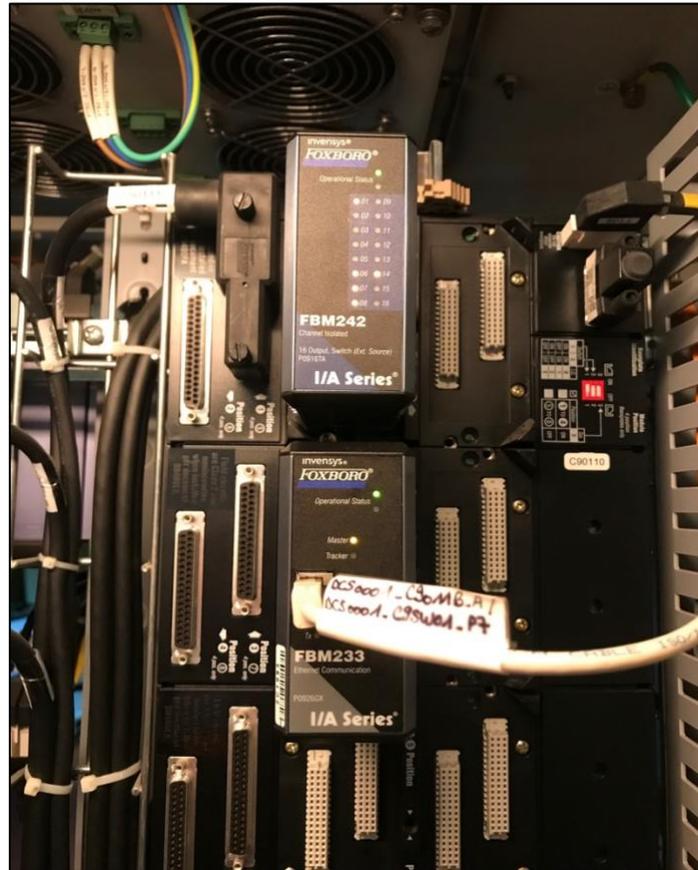


Figure III.6 : Le module de communication

## III.6 Description de support Logiciel/Software FOXBORO

### III.6.1 ARCHESTRA IDE

ARCHESTRA est un logiciel de développement interactif éditée par INVENSYS pour faciliter la configuration des différents modules entrée / sortie et l'introduction des différents programmes DCS [7].

#### a) Le bloc Advanced Calculateur

Le bloc Advanced Calculateur (CALCA) fournit à la fois des fonctions logiques et des calculs arithmétiques. Capacité au sein d'un environnement intégré. Ce bloc offre une efficacité à double opérande dans plusieurs instructions mathématique et logiques résultant en une réduction de trois à un de la durée de votre programme par rapport au même calculs effectués dans un programme bloc CALCA. Le bloc CALCA ne prend pas en charge le verrouillage des sorties réelles, contrairement au bloc CALCA.

Le processus de configuration vous permet de programmer le bloc en entrant une série de jusqu'à 50 paramètres de programmation. Chaque pas de programme est représenté par une chaîne de paramètres de 16 caractères maximum. Les entrées et sorties du bloc CALCA sont : 8 entrées réelles, 2 entrées entières longues, 2 entrées entières, 16 entrées booléennes, 4 sorties réelles, 2 sorties entières longues, 8 sorties booléennes et 6 sorties entières. Plus le bloc contient 24 registres de stockage de données en mémoire à virgule flottante qui sont conservés entre les cycles d'exécution.

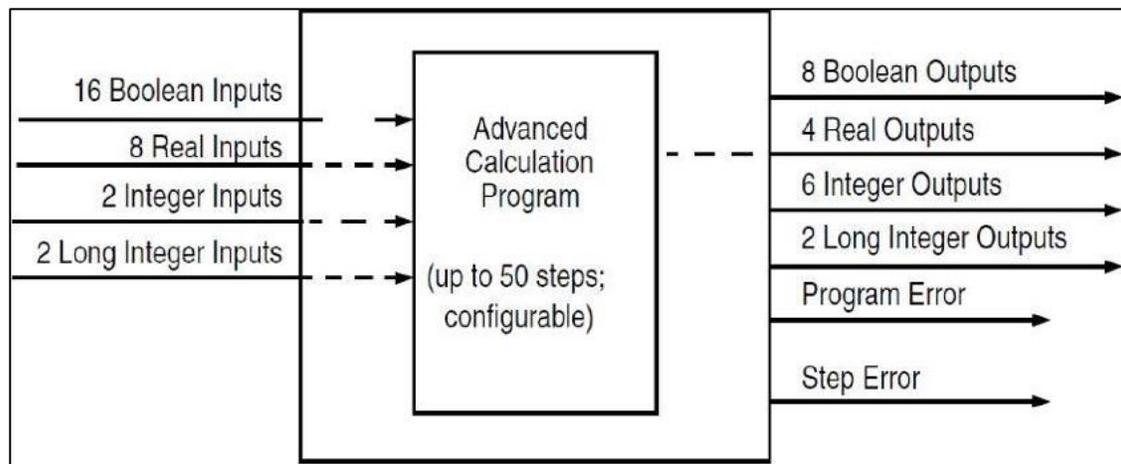


Figure III.7 : CLACA Block I/O Diagramme

### b) Le block PIDA (PID Advanced)

Le contrôleur PIDA implémente une rétroaction PID continue et une anticipation additive et multiplicative commande d'une boucle analogique. Ses entrées principales, consigne et mesure, sont utilisés pour calculer sa sortie, la variable manipulée, basée sur l'ensemble de l'utilisateur ou de manière adaptative valeur réglage – bande proportionnelle, temps intégral, temps dérivé, retard le temps et le gain relatif du point de consigne. La capacité d'anticipation peut être utilisée pour

découpler l'interaction boucles, telles au 'un contrôle de niveau lent en cascade vers un contrôle de débit rapide, en plus de compenser perturbations de charge mesurées [7].

### III.6.2 Logiciel FoxView

FoxView (remplace Display Manager) est l'interface Homme/Machine du système. En effet, cet outil de base inclus dans toutes les stations AW et WP a pour rôle d'avoir sous forme de synoptiques une partie ou l'ensemble du process. Il permet :

- La présentation de l'environnement opérationnel du I/A series sous forme de synoptiques interactif et dynamique en temps réel.
- La conduite, sous vues synoptiques, du procédé.
- La visualisation de l'état des différentes alarmes du procédé.
- Le réglage de l'environnement selon l'utilisateur du poste. Les différents opérateurs et ingénieurs ont accès à des données et des fonctions spécifiques selon leur autorisation.
- L'accès aux autres applications et logiciels comme FoxDraw, FoxHistory, ...

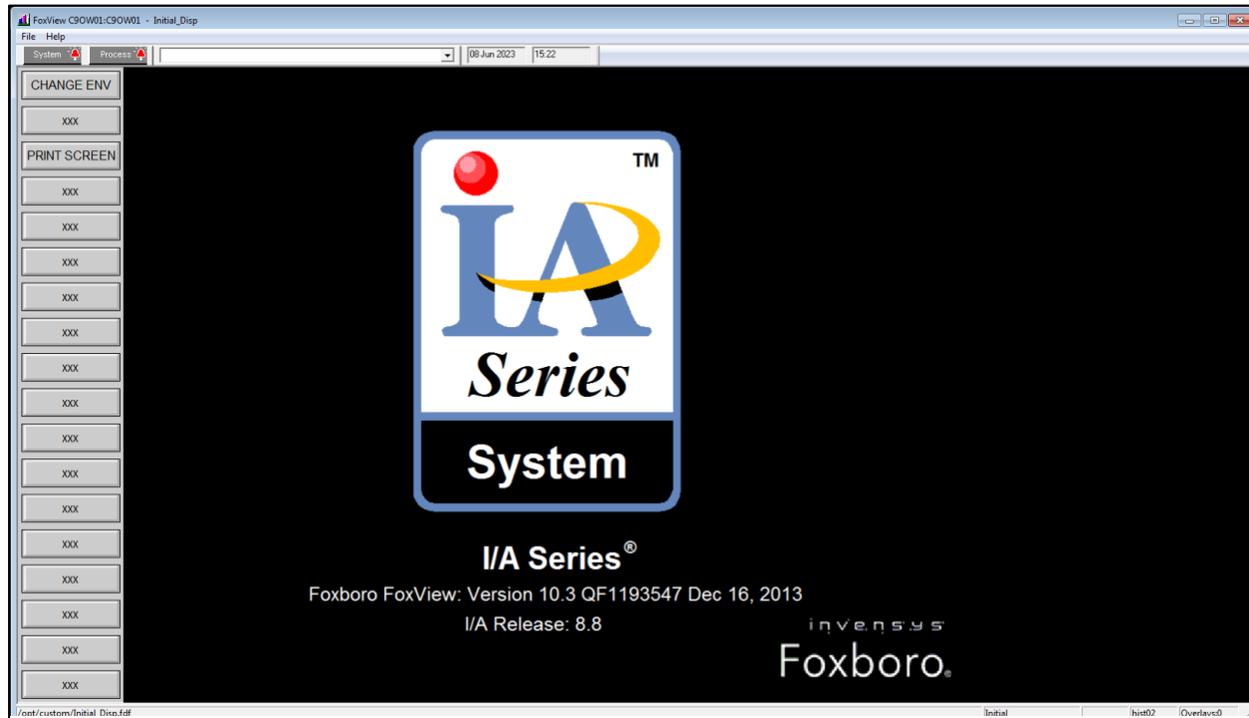


Figure III.8 : La Fenêtre de logiciel FoxView

### III.6.3 Logiciel FoxDraw

Le logiciel d'édition graphique FOXDRAW (remplace Display builder) permet la construction conviviale des vues de conduites du système I/A Series. Le logiciel FOXDRAW dispose d'une importante bibliothèque d'objets graphiques (boutons, vannes, pompes, capteurs, bidons, etc.) pour optimiser le temps de construction de l'imagerie. Il est possible de définir les propriétés graphiques des objets telles que les couleurs, les types de ligne et les configurer pour les faire refléter des conditions procédées ou les changements opérateur.

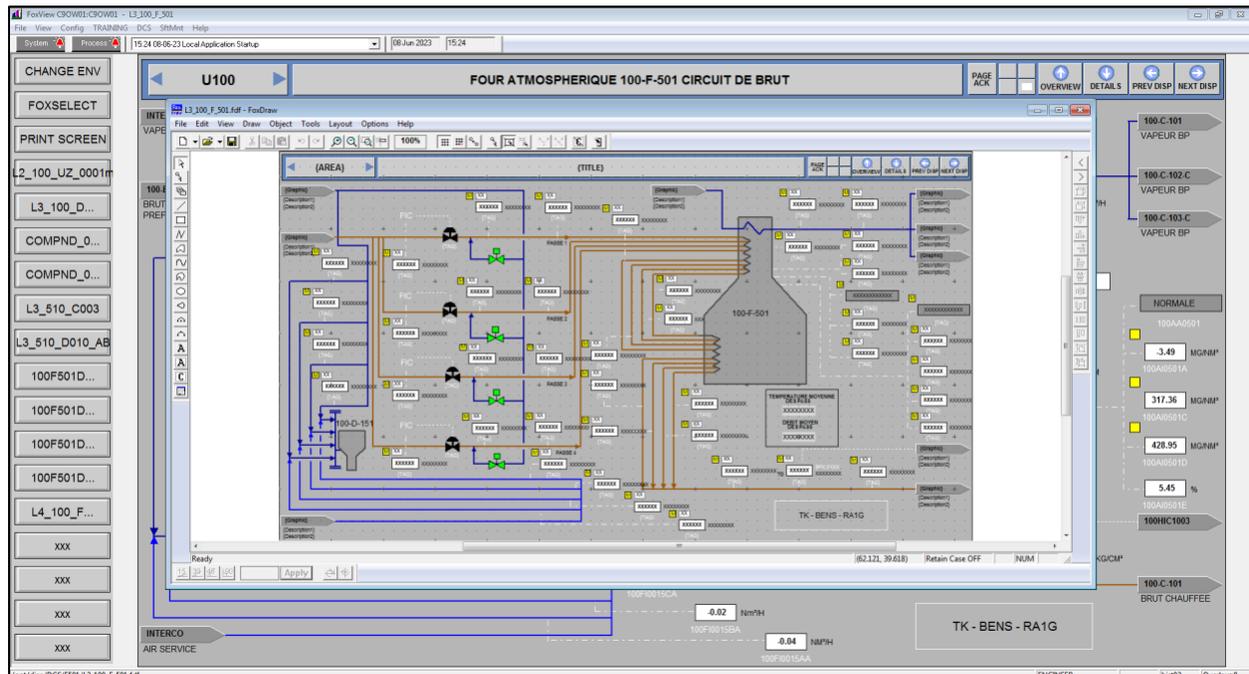


Figure III.9 : La Fenêtre FoxDraw

### III.6.4 Logiciel Fox Select

Dans le système I/A Séries, la base de données du traitement algorithmique est organisée suivant la hiérarchie station, schéma puis bloc.

Dans cette partie Nous allons décrire Le logiciel Fox Select qui permet d'accéder aux divers éléments de cette hiérarchie, den visualiser la composition détaillée et état opérationnel, dans un mode interactif.

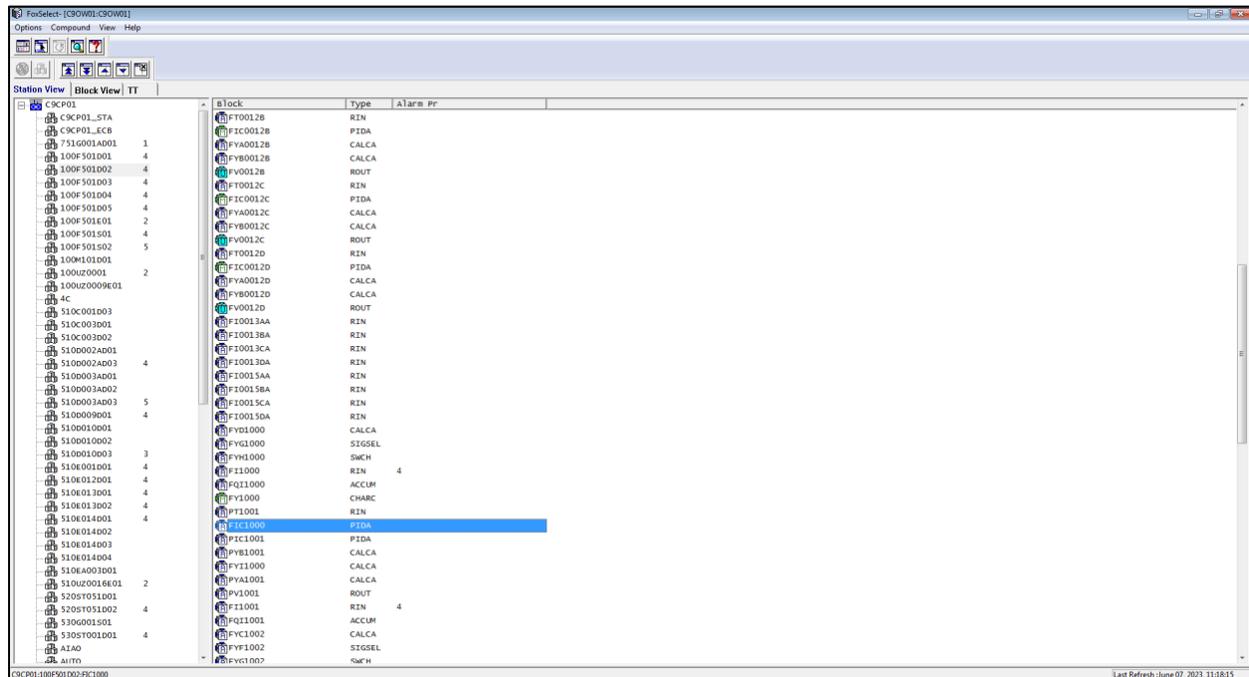


Figure III.10 : La Fenêtre Fox Select

## III.7 Description des réseaux de communication

Pour une communication industrielle efficace, les réseaux industriels sont désormais incontournables dans le monde de l'automatisme, pour des raisons liées au coût et à la robustesse, la plupart des réseaux de communication industriels utilisent :

### III.7.1 Réseau d'E/S : Field Bus

Le rôle de ce réseau est d'assurer la liaison de communication entre le processeur de contrôle CP et les modules d'E/S FBM. Dans les armoires du module (4) les modules sont éloignés du CP mais ils sont reliés envers lui via un module appelé FBI, chacun de ces derniers supporte 24 FBM qui représente une cellule. Le type câble utilisé est coaxial redondant pour la sécurité du réseau.

### III.7.2 Réseau système local

Le réseau local permet d'assurer les communications entre des stations du système I/A série pas trop éloignées les unes des autres [13].

### III.7.3 Réseau ETHERNET

C'est le réseau LAN interne utilisé pour la connexion des HMI permet :

- Le transfert des fichiers de configuration.
- Le transfert de données (exemple : liaison du PC du laboratoire avec la base de données I/A série).
- L'acquisition des données du procédé, les messages et les données historiques.

## III.8 Le Système de sécurité

La sécurité industrielle renvoie à la mise en place des démarches de préventions pour éviter les risques industriels.

### III.8.1 La redondance matérielle

La redondance matérielle est une stratégie de sécurité utilisée dans les raffineries et autres installations industrielles pour assurer une disponibilité continue des systèmes critiques et minimiser les risques de défaillance. Elle consiste à dupliquer les composants matériels clés, tels que les processeurs, les modules d'E/S, les alimentations électriques, les disques durs, etc., afin d'avoir une redondance fonctionnelle.

L'idée derrière la redondance matérielle est que si un composant tombe en panne, un autre composant identique prend automatiquement le relais, assurant ainsi une continuité des opérations sans interruption significative. Cela peut être réalisé en utilisant des systèmes redondants tels que des architectures à double ou triple redondance.

La redondance matérielle peut être mise en œuvre à différents niveaux dans une raffinerie. Par exemple, dans les systèmes de contrôle distribué (DCS), les contrôleurs, les modules d'E/S et les réseaux peuvent être redondants pour garantir une disponibilité continue du système de contrôle. De même, dans les systèmes de sécurité et d'urgence, tels que les systèmes de détection d'incendie ou les systèmes de sécurité instrumentés (SIS), des redondances matérielles peuvent être utilisées pour assurer la fiabilité et la robustesse de ces systèmes critiques.

### **III.8.2 Station d'interface homme-machine (station HMI)**

La station d'interface homme-machine est construite autour du système d'exploitation Windows. C'est une station de surveillance qui offre une vue d'ensemble du site, elle affiche les variables procédés, les paramètres de contrôle et les alarmes nécessaires à l'exploitation. Elle dispose également de fonctions d'ingénierie et de supervision. Le choix du matériel hardware peut s'orienter vers un PC standard ou vers la console opérateur à la fiabilité éprouvée.

### **III.8.3 Emergency Shut Down (ESD Triconex)**

Le Triconex est un système de sécurité instrumenté (SIS) utilisé dans les industries à haut risque, telles que les raffineries, pour assurer la sécurité des processus industriels. Il s'agit d'un système de contrôle et de sécurité intégré qui est conçu pour détecter les situations dangereuses, prendre des mesures de sécurité appropriées et protéger les travailleurs, l'équipement et l'environnement. Il utilise une architecture à triple redondance, ce qui signifie que chaque fonction de sécurité est surveillée par trois modules indépendants. En cas de défaillance d'un module, les autres modules prennent le relais pour assurer la continuité des fonctions de sécurité.

L'utilisation du Triconex dans les raffineries contribue à améliorer la sécurité des opérations et à réduire les risques d'accidents majeurs. Il permet de détecter rapidement les situations dangereuses, de prendre des mesures préventives ou correctives et d'assurer une protection fiable des travailleurs et des installations [7].



Figure III.11 : ESD (Triconex)

## III.9 Description de la Boucle de Régulation

La régulation joue un rôle essentiel dans les systèmes de contrôle des processus industriels. Elle vise à maintenir les variables de sortie d'un système à des valeurs désirées malgré les perturbations. La régulation permet d'optimiser les performances du processus et d'assurer sa stabilité. Dans ce chapitre, nous aborderons brièvement les principes de base de la régulation et leur application dans la boucle de contrôle.

### III.9.1 Principes de base de la régulation

La régulation repose sur des concepts clés, notamment la boucle de rétroaction, l'erreur de régulation et les objectifs de la régulation. La boucle de régulation comprend un capteur qui mesure la variable de sortie, un comparateur qui évalue l'écart entre la valeur désirée et la valeur mesurée,

et un actionneur qui ajuste la variable de commande pour corriger l'écart. L'objectif de la régulation est de minimiser l'erreur de régulation et de maintenir la variable de sortie à sa valeur souhaitée.

### **III.9.2 Contrôleur PID**

Le contrôleur PID (Proportionnel, Intégral, Dérivé) est l'un des algorithmes de contrôle les plus couramment utilisés dans les boucles de régulation. Il est basé sur trois termes : le terme proportionnel, le terme intégral et le terme dérivé. Le terme proportionnel ajuste la variable de commande proportionnellement à l'erreur de régulation, le terme intégral agit pour réduire l'erreur de régulation cumulée dans le temps, et le terme dérivé anticipe les variations futures de l'erreur de régulation. En combinant ces trois termes, le contrôleur PID est capable de réagir de manière efficace et rapide aux perturbations du système.

### **III.9.3 Régulation en cascade**

La boucle de régulation en cascade est une approche avancée de contrôle qui utilise plusieurs boucles interconnectées pour améliorer les performances d'un système. Elle se compose d'une boucle principale qui régule une variable de processus critique et de boucles secondaires qui régulent des variables moins critiques mais impactant directement la variable principale. La sortie de la boucle principale sert de référence aux boucles secondaires, permettant ainsi un ajustement fin pour maintenir la variable principale à sa valeur cible. La boucle de régulation en cascade améliore la réactivité aux perturbations, réduit les interactions entre les variables et offre une meilleure performance globale du système.

### **III.9.4 Application**

La mise en œuvre de la boucle de régulation cascade sur le réchauffeur atmosphérique vise à améliorer le contrôle et la stabilité des paramètres clés tels que la température, le débit de gaz et la pression de gaz, notamment pour la commande de la vanne de pression de gaz. Dans ce système, la boucle de régulation de la température joue le rôle de boucle maître, tandis que les boucles de régulation du débit de gaz et de la pression de gaz agissent en tant que boucles esclaves. (Voir la figure III.12)

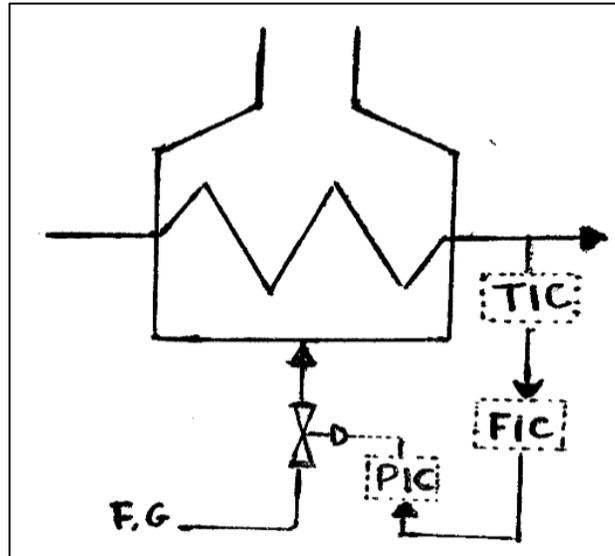


Figure III.12 : Schéma fonctionnel de la boucle cascade

La boucle maître, qui est la boucle de régulation de la température (TIC), est responsable de maintenir la température souhaitée dans le réchauffeur atmosphérique. Elle ajuste la quantité de combustible alimentée au brûleur afin de maintenir la température de manière précise et stable. La boucle de régulation du débit de gaz (FIC) agit en tant que boucle esclave, recevant le signal de consigne de la boucle de régulation de la température et ajustant le débit de gaz en conséquence pour répondre aux exigences de la boucle maître.

La boucle de régulation de la pression de gaz (PIC), quant à elle, joue un rôle important dans la commande de la vanne de pression de gaz. Elle reçoit la consigne de la boucle de régulation du débit de gaz et ajuste la pression du gaz en fonction de cette consigne, permettant ainsi de contrôler précisément l'ouverture de la vanne de pression pour maintenir la valeur de pression d'gaz dans le réchauffeur atmosphérique.

Cette configuration en cascade, avec la boucle de régulation de la température comme boucle maître et les boucles de régulation du débit de gaz et de la pression de gaz comme boucles esclaves, permet d'obtenir une régulation plus précise et une meilleure performance globale du réchauffeur atmosphérique.

### III.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le système de contrôle DCS et la boucle de régulation du réchauffeur atmosphérique. Nous avons examiné les composants du système de contrôle, tels que les régulateurs et les interfaces utilisateur. La boucle de régulation a été décrite avec la température en tant que boucle maître et le débit de gaz et la pression de gaz en tant que boucles esclaves. Nous avons discuté de la mise en œuvre de la boucle de régulation en utilisant le PID. Ce chapitre a fourni les connaissances nécessaires pour comprendre le fonctionnement du système de contrôle et prépare le terrain pour l'analyse des résultats de simulation de la boucle de régulation dans le chapitre suivant.

---

# Chapitre IV

## Simulation et Supervision

---

## Chapitre IV Simulation et Supervision

### IV.1 Introduction

Dans le domaine du contrôle des processus, il est essentiel d'assurer un fonctionnement optimal et stable des systèmes complexes. Lorsqu'il s'agit de contrôler la température, le débit de gaz combustible et la pression dans un chauffage atmosphérique, ces paramètres jouent un rôle important pour garantir une combustion efficace, maintenir les conditions de processus souhaitées et assurer la sécurité globale. Afin d'obtenir un contrôle précis et coordonné de ces paramètres, une boucle de régulation en cascade est souvent utilisée.

Ce chapitre se concentre sur la conception et l'analyse de la boucle de contrôle en cascade pour la régulation de la température dans un chauffage atmosphérique. La boucle de contrôle principale est dédiée à la régulation de la température, tandis que le débit de gaz combustible et la pression sont gérés par les boucles internes. Pour réaliser cela, nous avons intégré le DCS de Foxboro avec Matlab, ce qui nous a permis de simuler et d'évaluer les performances de notre système de contrôle dans le maintien du niveau de température souhaité. Les résultats obtenus ont confirmé le succès de notre approche de contrôle, en démontrant une régulation stable et précise de la température. Cependant, nous abordons également les limites de notre travail et proposons des pistes de recherche et d'amélioration pour l'avenir.

### IV.2 Présentation de la commande du réchauffeur

Le contrôle du réchauffeur atmosphérique est essentiel pour assurer un fonctionnement sûr et efficace de l'unité de distillation atmosphérique. Dans cette section, nous allons examiner en détail la configuration du contrôle de ce processus. La boucle de contrôle du réchauffeur atmosphérique est mise en œuvre sous la forme d'une boucle cascade, où un contrôleur maître est utilisé pour réguler la température du réchauffeur, tandis que deux contrôleurs esclaves sont responsables de réguler le débit de gaz et la pression de gaz.

### **IV.2.1 Contrôleur maître de température (TIC-0055)**

Le rôle principal de contrôleur de température est de maintenir la température du réchauffeur à un niveau spécifié, en ajustant le débit de combustible et d'air. Le TIC-0055 reçoit des mesures de température du réchauffeur à partir d'un transmetteur (TT-0055) et génère une sortie de commande en fonction de la différence entre la température mesurée et la consigne de température désirée.

### **IV.2.2 Contrôleur de débit de gaz (FIC-1000)**

Le contrôleur de débit de gaz (FIC-1000) est chargé de maintenir le débit de gaz souhaité dans le réchauffeur atmosphérique. Il reçoit une consigne de débit de gaz provenant du contrôleur maître de température (TIC-0055) et utilise une mesure de débit provenant d'un transmetteur (FT-1000) pour générer un signal de commande en fonction de la différence entre le débit mesuré et la consigne obtenue de (TIC-0055).

### **IV.2.3 Contrôleur de pression de gaz (PIC-1001)**

Le contrôleur de pression de gaz PIC-1001 est chargé de réguler la pression de gaz dans le réchauffeur atmosphérique. Il reçoit une consigne de pression de gaz provenant du FIC-1000 et ajuste la commande de la vanne de pression (PV-1001) de gaz pour atteindre cette consigne. Le PIC utilise des algorithmes de contrôle PID pour ajuster la commande de la vanne en fonction des mesures de pression qui obtenue par un transmetteur de pression (PT-1001) et de la consigne de pression.

Dans la section suivante, nous allons examiner en détail la boucle de régulation du réchauffeur atmosphérique.

### **IV.2.4 Description détaillée de la boucle de régulation du réchauffeur**

Voici la description de la boucle cascade du réchauffeur atmosphérique :

La boucle de régulation du réchauffeur atmosphérique comprend un contrôleur maître de température (TIC-0055) et deux contrôleurs esclaves : le contrôleur de débit de gaz (FIC-1000) et le contrôleur de pression de gaz (PIC-1001).

Le TIC-0055 joue le rôle de contrôleur maître de la boucle. Sa sortie est convertie en une valeur de débit grâce à une fonction mathématique appelée mise à l'échelle (Fx-17).

En parallèle, La fonction de sélection basse (Fx-15) compare le débit fourni par le TIC-0055, qui est calculé en fonction de la température souhaitée, avec le débit nécessaire en fonction de l'air disponible cette fonction prendra la valeur la plus basse de débit pour assurer que le débit de carburant ne dépasse pas la capacité maximale d'air disponible. Cela garantit une combustion complète et évite tout problème lié à un fonctionnement anormal ou à des conditions dangereuses. Cette valeur est utilisée comme consigne pour le FIC-1000.

La sortie du FIC-1000 est à son tour convertie en une consigne de pression par une autre fonction de mise à l'échelle (Fx-18). Cette consigne de pression est ensuite transmise au contrôleur de pression de gaz (PIC-1001), qui génère un signal de commande pour la vanne de pression de gaz (PV-1001).

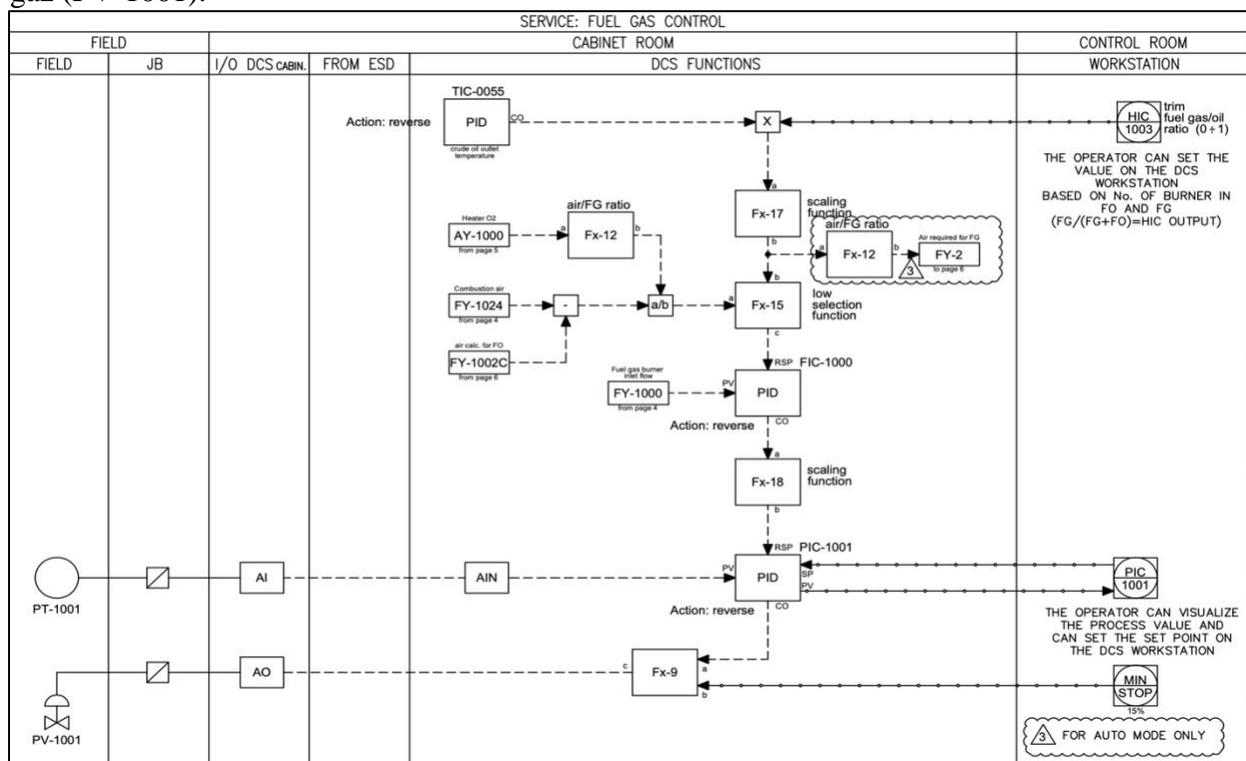


Figure IV.1 : Organigramme de la boucle de régulation

Lorsque les capteurs réels ne sont pas disponibles, il est nécessaire d'estimer les fonctions de transfert des capteurs pour simuler la boucle de régulation. L'estimation des fonctions de

transfert des capteurs est une étape importante qui permet de modéliser leur comportement et de les intégrer dans la simulation.

Pour estimer les fonctions de transfert des capteurs, il est nécessaire de collecter des données réelles de mesure provenant du réchauffeur. Cela peut être réalisé en utilisant des historiques de mesures qui enregistrent les valeurs des variables au fil du temps. Il est important de choisir des moments appropriés où le système est en état stable et où des changements significatifs sont observés au niveau des variables de contrôle. Cela permettra d'obtenir des données représentatives du comportement réel des capteurs. Pour en savoir plus sur les données utiliser voir **annexe**.

### IV.3 Analyse des données du réchauffeur atmosphérique

Dans les trois graphes présentés, nous observons les variations des paramètres (température, débit de gaz et pression de gaz) en fonction de la commande de la vanne de gaz. En effet, la vanne de gaz est l'actionneur principal de notre système de régulation et joue un rôle déterminant dans le contrôle des différents paramètres.

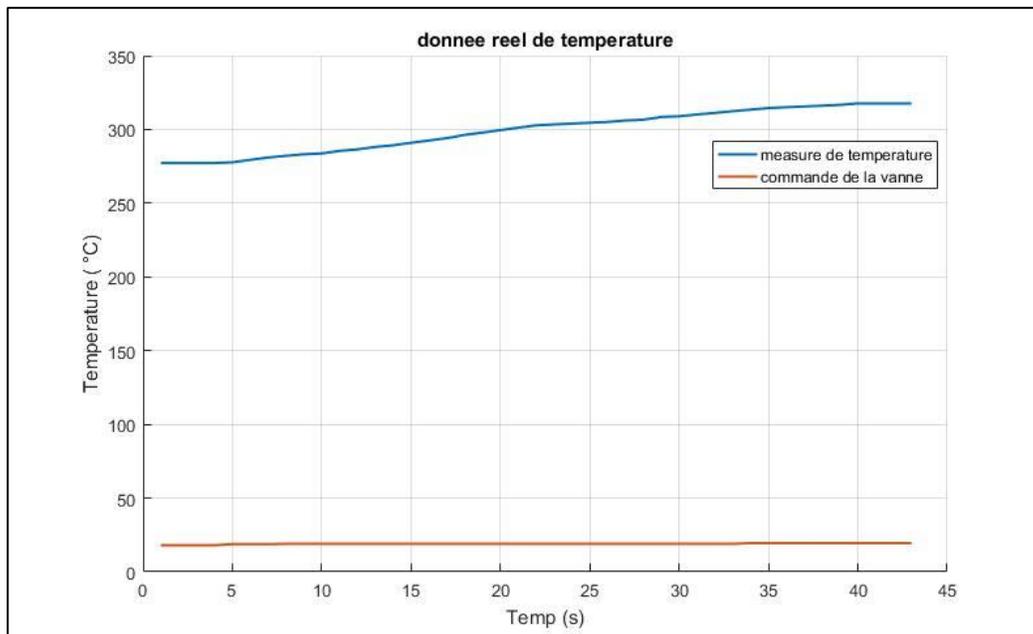


Figure IV.2 : graphe de donnée de la température

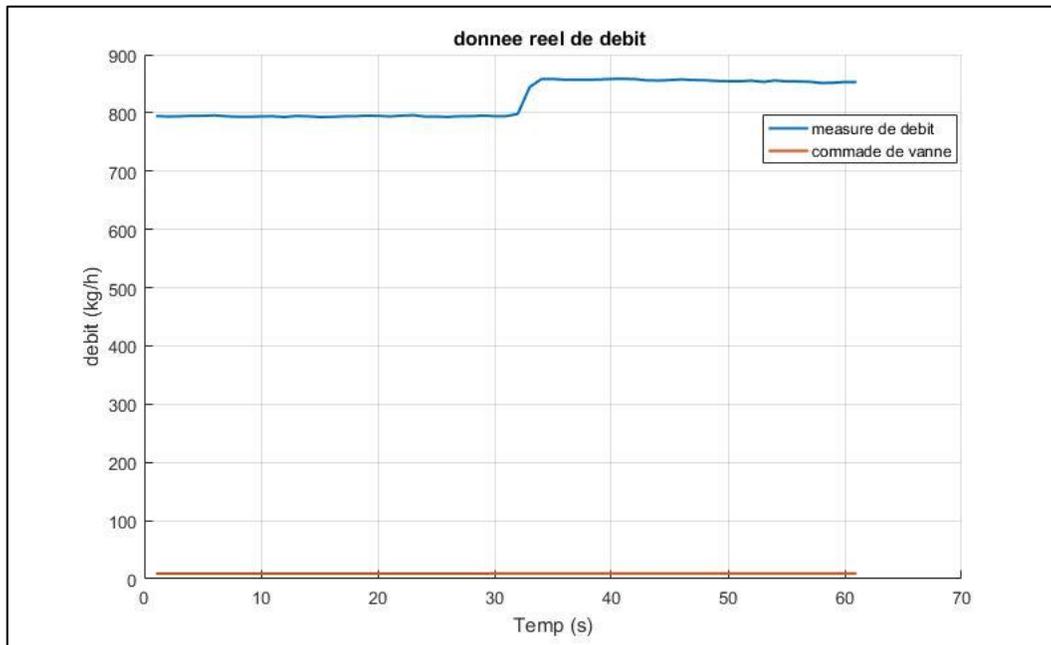


Figure IV.3 : graphe de donnée de débit

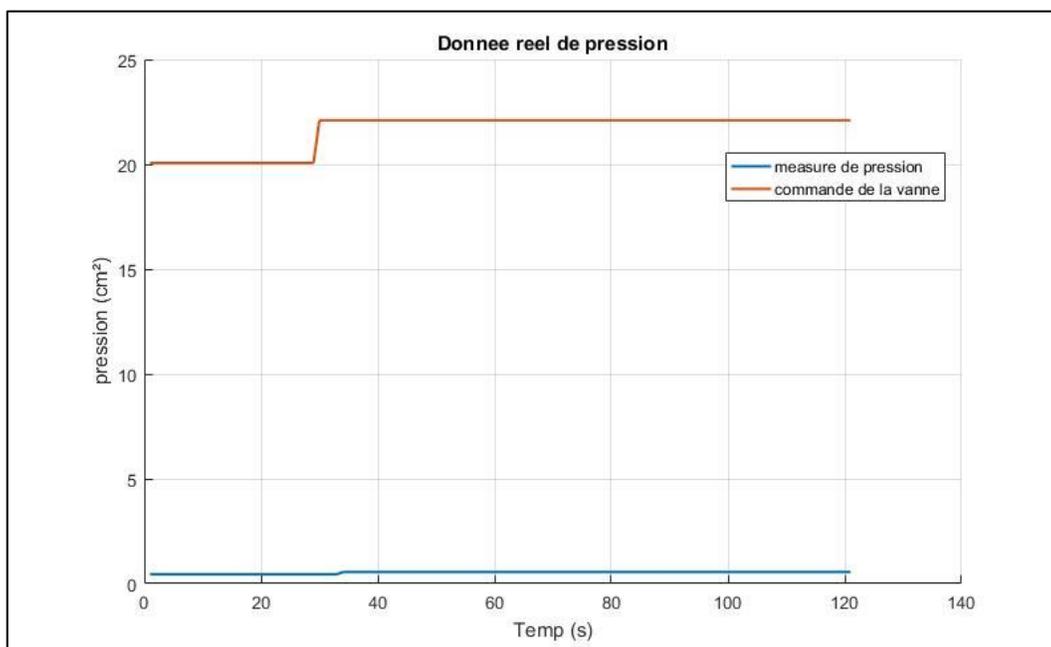


Figure IV.4 : graphe de donnée de pression

Ces graphes nous permettent de visualiser clairement la relation entre la commande de la vanne de gaz et les variations des paramètres clés du système.

Les données présentées dans les graphes fournissent une base solide pour estimer les fonctions de transfert des capteurs. Ces estimations sont indispensables pour la simulation du la boucle de régulation, ce qui nous permettra d'étudier son comportement et de concevoir des stratégies de contrôle efficaces.

## IV.4 Identification des mesures de système

Dans cette partie, nous avons utilisé la toolbox Matlab pour identifier les fonctions de transfert des capteurs. L'objectif était de modéliser mathématiquement le comportement des capteurs dans la boucle de régulation. Pour ce faire, nous avons utilisé les données récoltées précédemment, qui comprenaient les mesures de température, de débit et de pression en fonction de la commande de la vanne de gaz.

La méthode IV (Instrumental Variables) est une technique d'identification des systèmes utilisée dans la Toolbox Matlab. Cette méthode est particulièrement utile lorsque le système à modéliser présente des retards inconnus ou des perturbations externes qui affectent les mesures de manière non linéaire.

L'algorithme IV permet d'estimer les paramètres des modèles de fonctions de transfert en utilisant des variables instrumentales. Ces variables sont des mesures indépendantes et non influencées par les perturbations ou les retards du système. Elles sont utilisées pour corriger les effets indésirables et obtenir une estimation précise des paramètres.

La méthode IV présente plusieurs avantages, notamment sa capacité à traiter les problèmes de retards inconnus et de non-linéarités, ainsi que sa robustesse face aux perturbations externes. Elle est souvent utilisée dans les applications de contrôle et de régulation, où il est obligatoire d'obtenir des modèles précis pour concevoir des contrôleurs efficaces.

Dans notre étude, nous avons utilisé la méthode IV de la Toolbox Matlab pour estimer les paramètres des fonctions de transfert des capteurs.

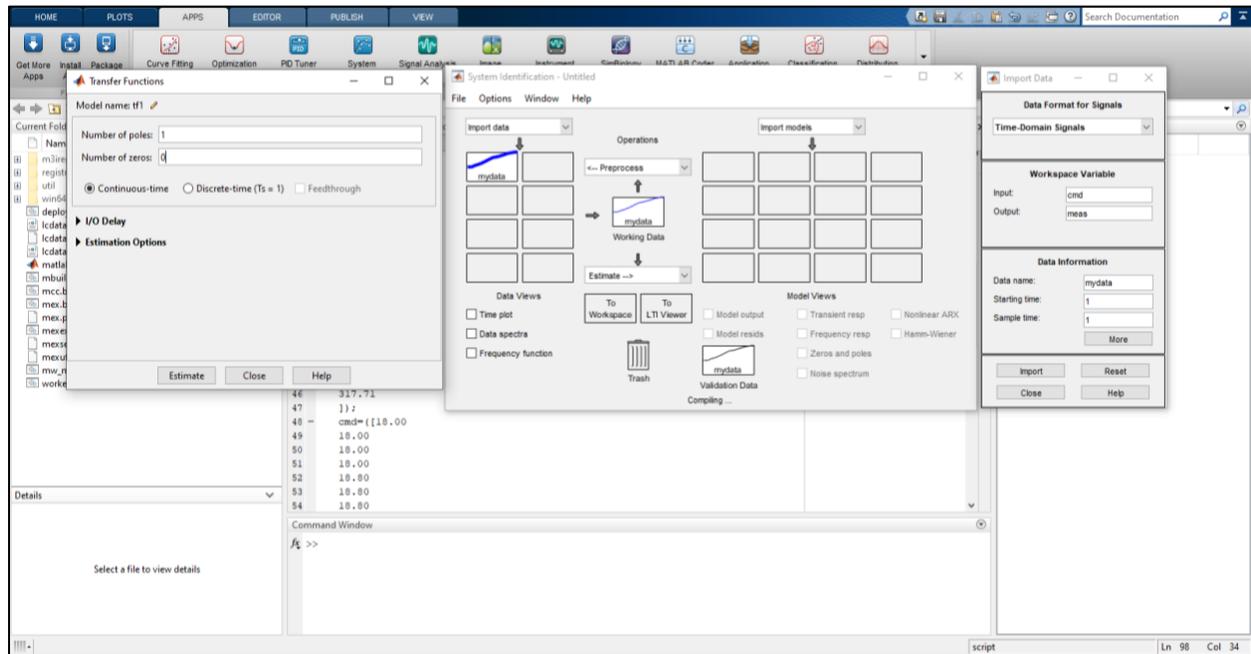


Figure IV.5 : System identification toolbox

### IV.4.1 Résultats de l'identification

Les résultats de l'identification des fonctions de transfert ont été obtenus à l'aide de la méthode IV de la toolbox MATLAB (Figure IV.6).

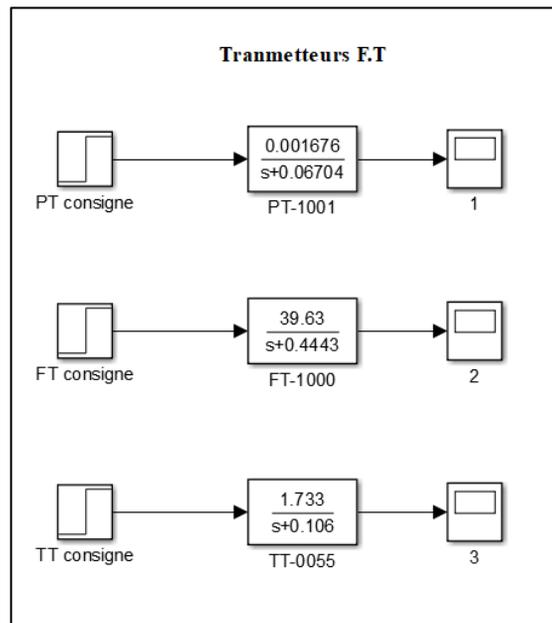


Figure IV.6 : Les résultats de l'identification

Les paramètres des fonctions de transfert ont été estimés à partir des données récoltées. Cela inclut les coefficients des polynômes numérateur et dénominateur, Ces valeurs sont essentielles pour caractériser le comportement dynamique de chaque capteur et permettent de construire des modèles mathématiques fidèles à la réalité.

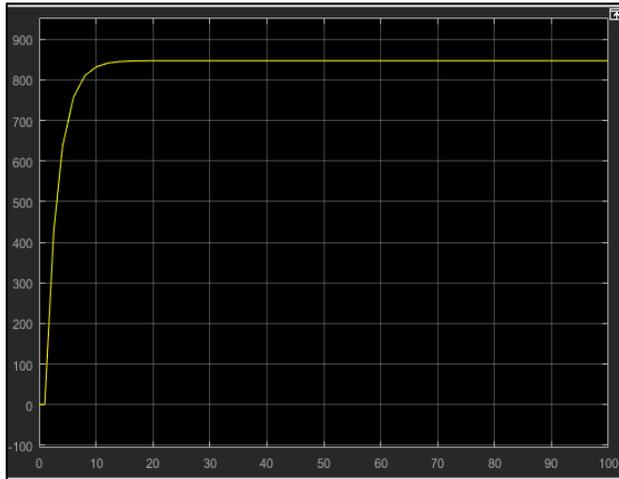


Figure IV.7 : La réponse de FT-1000

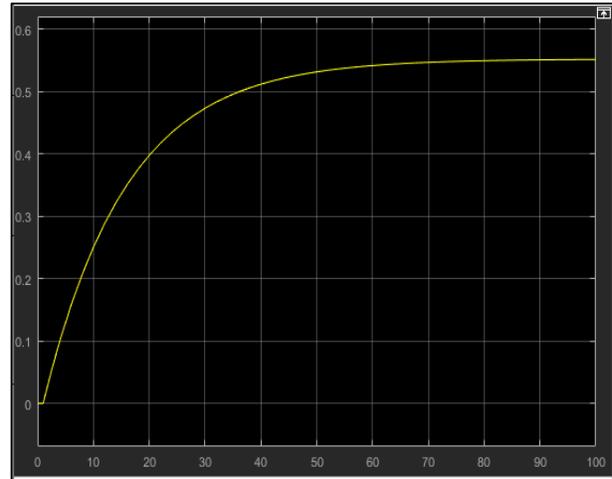


Figure IV.8 : La réponse de PT-1001



Figure IV.9 : La réponse de TT-0055

- Les graphiques des réponses en fonction de la commande de la vanne de gaz ont été générés pour chaque capteur (température, débit, pression). Ces graphiques illustrent clairement les variations des mesures en réponse aux différentes commandes de la vanne. Il est ainsi possible d'observer l'effet de la vanne sur les différentes grandeurs du système.

- Les courbes de réponse simulées ont été comparées aux données réelles afin d'évaluer la précision de l'identification. Cette comparaison permet de vérifier la capacité du modèle à reproduire le comportement du système et offre une validation de l'estimation réalisée.

## IV.5 Protocole de communication OPC

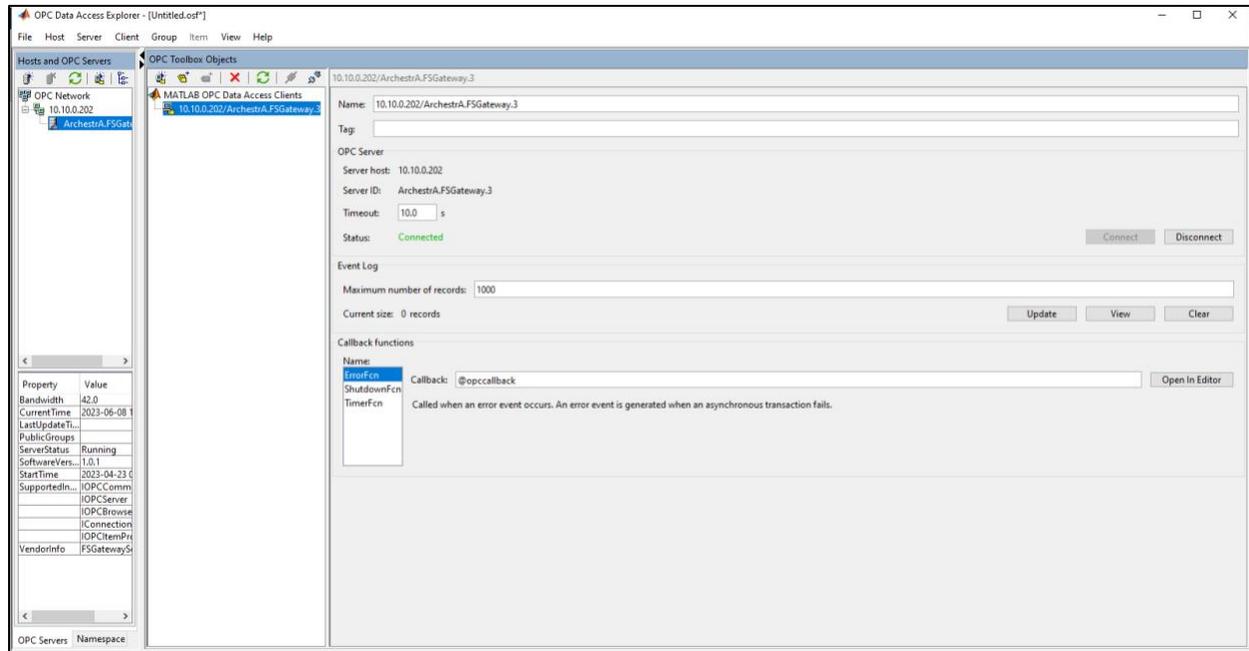
Pour transférer les mesures des transmetteurs depuis Matlab vers Wonderware ArchestrA IDE, nous avons utilisé la connexion entre les deux plateformes logicielles. Grâce à cette connexion, nous avons pu établir un flux continu de données en temps réel entre Matlab et ArchestrA IDE, permettant ainsi d'alimenter la boucle de régulation avec les mesures réelles provenant des transmetteurs.

L'utilisation de l'outil OPC Toolbox a simplifié le processus de communication entre Matlab et ArchestrAIDE, permettant une collaboration transparente entre les deux plates-formes logicielles. Cette approche a offert une flexibilité accrue dans la conception et la mise en œuvre de la régulation, en permettant une utilisation efficace des fonctionnalités avancées de Matlab tout en bénéficiant de la puissance et de la robustesse d'ArchestrAIDE. Grâce à cette connexion, nous avons pu transférer les données de mesure de Matlab vers ArchestrAIDE et utiliser ces données pour alimenter la boucle de régulation simulée. Cette intégration étroite entre Matlab et ArchestrAIDE nous a offert la possibilité d'implémenter et de tester notre algorithme de régulation dans un environnement industriel réel.

La connexion entre Wonderware ArchestrA et le serveur OPC s'établit généralement à l'aide d'un câble Ethernet utilisant le protocole TCP/IP.

Le câble Ethernet permet de relier physiquement les dispositifs, tels que l'ordinateur sur lequel ArchestrA est installé et le serveur OPC. Le protocole TCP/IP est ensuite utilisé pour établir la communication et permettre l'échange de données entre les deux systèmes.

Lors de la configuration de la connexion entre ArchestrA et le serveur OPC, il est nécessaire de spécifier l'adresse IP du serveur OPC ainsi que le numéro de port utilisé pour la communication. Ces informations permettent à ArchestrA de localiser et de se connecter au serveur OPC (**Figure IV.10**).



**Figure IV.10** : La configuration OPC

Une fois la connexion établie, ArchestraA peut accéder aux données fournies par le serveur OPC, telles que les mesures des transmetteurs, et les utiliser dans ses applications de supervision, de contrôle ou d'analyse.

### IV.5.1 Programme Simulink pour la communication OPC

La figure ci-dessous représente le programme Simulink que nous avons utilisé pour réaliser la communication entre ArchestraA et le serveur OPC.

Dans ce programme Simulink, nous avons utilisé les blocs spécifiques "OPC Read" et "OPC Write" pour établir une connexion bidirectionnelle entre notre système de régulation et le serveur OPC. Ces blocs jouent un rôle clé dans la collecte des données de mesure à partir des transmetteurs virtuels et dans l'envoi des consignes de commande à la vanne de pression de gaz.

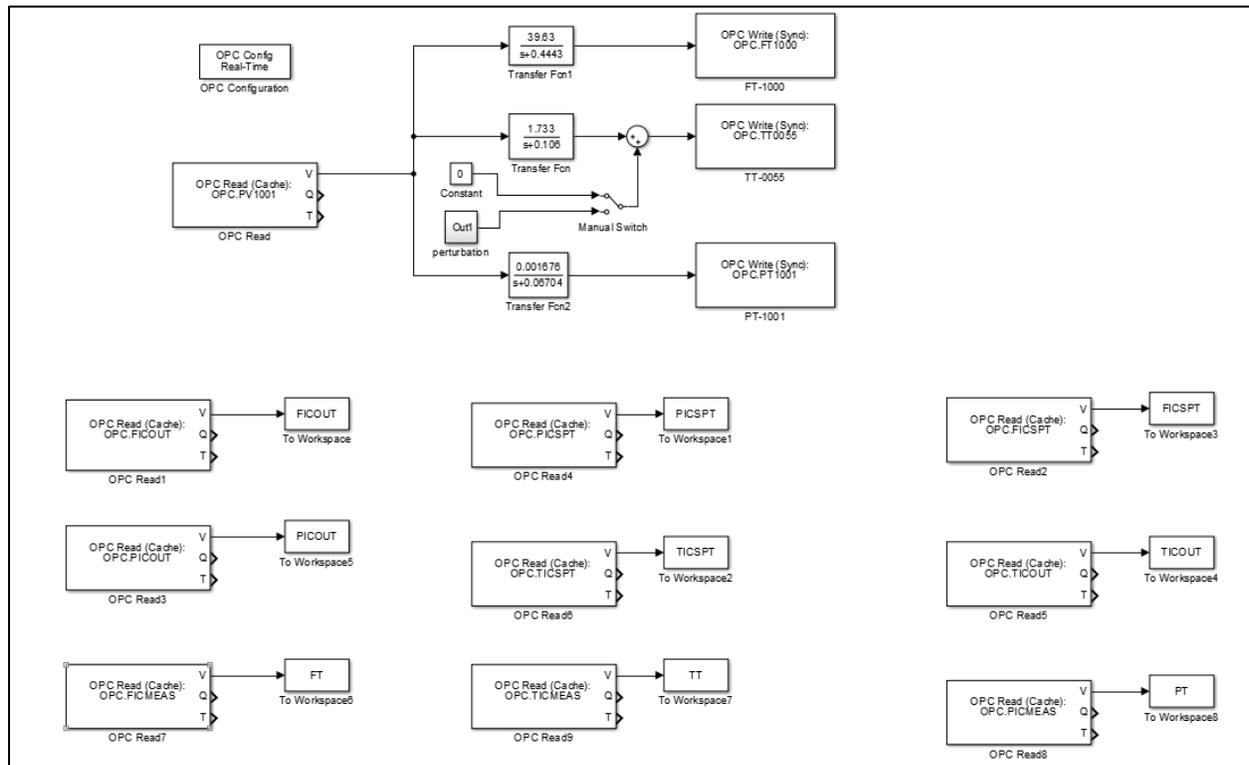


Figure IV.11 : Programme Simulink

### ➤ Bloc "OPC Read"

Le bloc "OPC Read" est utilisé pour lire les données provenant du serveur OPC. Il vous permet de spécifier les variables OPC que vous souhaitez lire, par exemple la commande de vanne de pression de gaz. Ces variables doivent également être configurées dans le serveur OPC et associées aux actionneurs virtuels correspondants.

### ➤ Bloc "OPC Write"

Le bloc "OPC Write" est utilisé pour écrire des données vers le serveur OPC. Il vous permet de spécifier les variables OPC que vous souhaitez mettre à jour, telles que les mesures de température, de débit ou de pression. Ces variables doivent être préalablement configurées dans le serveur OPC et associées aux transmetteurs virtuels correspondants.

Cela permet une communication bidirectionnelle entre notre système de régulation et le serveur OPC, où nous pouvons récupérer et envoyer les valeurs de mesure des paramètres clés. Cela facilite une régulation précise et réactive du réchauffeur atmosphérique.

## IV.6 Implémentation du programme de régulation sous Archestra

Archestra IDE est une plateforme de développement logiciel utilisée pour la conception et la mise en œuvre de systèmes de supervision et de contrôle en temps réel. Elle permet de créer des applications de contrôle personnalisées en utilisant des langages de programmation spécifiques et des bibliothèques de fonction préconfigurées (**Figure IV.13**).

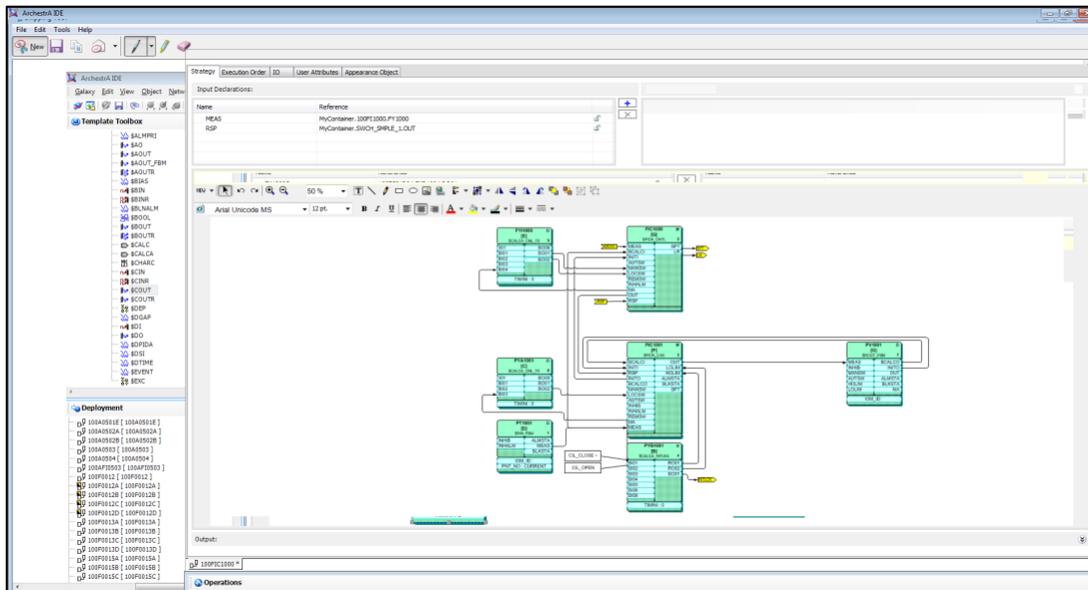


Figure IV.12 : Archestra stratégie

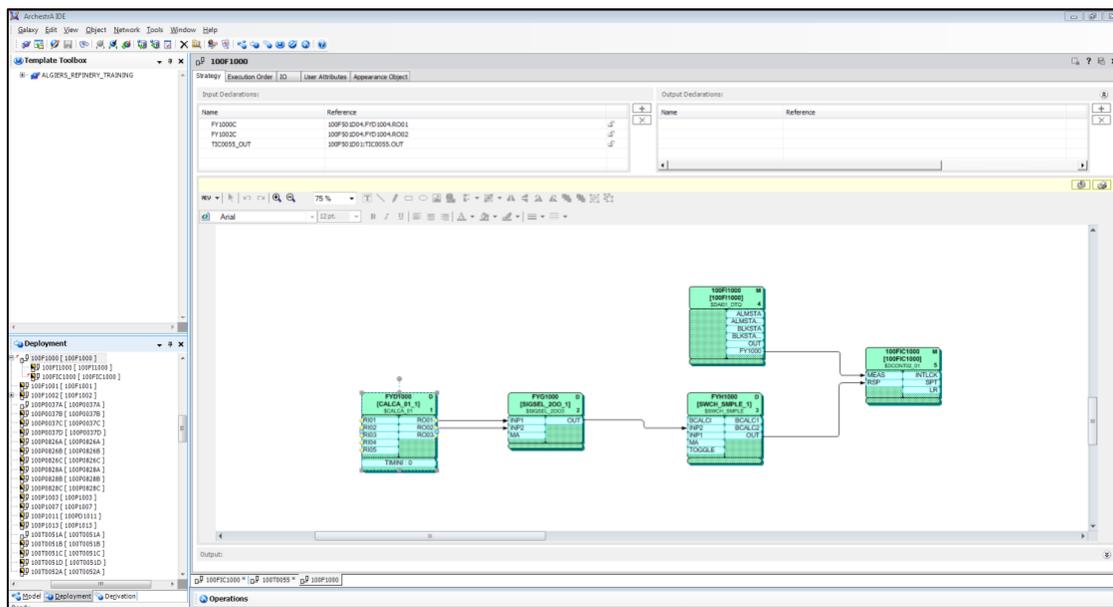


Figure IV.13 : Block CALCA

Dans le cadre de l'implémentation du programme de la boucle de régulation sous ArchestrA IDE, nous avons utilisé plusieurs blocs fonctionnels spécifiques pour réaliser des opérations de contrôle avancées :

➤ **Bloc PIDA**

Ce bloc représente un régulateur PID avancé qui combine les actions proportionnelle, intégrale et dérivée pour assurer une régulation précise et stable. Il permet de calculer le signal de commande en fonction de l'écart entre la consigne et la mesure, ainsi que des paramètres de réglage du régulateur tels que les gains proportionnels, intégral et dérivé. Le bloc PIDA offre des fonctionnalités avancées telles que le filtrage de la dérivée, la limitation des sorties, etc., permettant d'optimiser les performances de régulation.

➤ **Bloc Calca**

Ce bloc est utilisé pour effectuer des calculs mathématiques et des opérations sur les signaux. Il peut être utilisé pour réaliser des calculs de mise à l'échelle, des conversions d'unités, des opérations arithmétiques, etc. Dans le contexte de la boucle de régulation, le bloc Calca peut être utilisé pour ajuster les valeurs des paramètres de contrôle en fonction des besoins spécifiques du système. Par exemple, il peut être utilisé pour ajuster les gains du régulateur PIDA en fonction des caractéristiques du processus.

➤ **Blocs RIN et ROU**

Ces blocs sont utilisés pour réaliser la rétroaction de boucle interne. Le bloc RIN (Input Block) permet de récupérer les mesures de température, de débit et de pression provenant des transmetteurs et de les fournir comme entrées aux blocs de contrôle. Le bloc ROU (Output Block) récupère les signaux de commande générés par les régulateurs PIDA et les envoie aux actionneurs appropriés, tels que la vanne de gaz, pour ajuster les paramètres du processus.

En interconnectant ces blocs de manière appropriée, nous pouvons construire une boucle de régulation complexe et sophistiquée qui optimise les performances du système et maintient les paramètres du réchauffeur atmosphérique dans les limites souhaitées.

## IV.7 Simulation de la boucle de régulation sous FoxView

Les simulations des trois contrôleurs TIC, FIC et PIC ont été réalisées sous FoxView en utilisant les fonctionnalités de simulation disponibles dans ce logiciel. Chaque contrôleur a été configuré avec ses paramètres spécifiques, tels que les gains, les délais, les limites de sortie, etc. Les signaux d'entrée, tels que la consigne de température pour TIC, la consigne de débit pour FIC et la consigne de pression pour PIC, ont été fournis lors de la simulation. Les signaux de sortie des contrôleurs ont été tracés et analysés pour évaluer les performances de la boucle de régulation.



Figure IV.14 : FoxView de TIC0055

La simulation du contrôleur de température (TIC) permet de vérifier le comportement du système de régulation de la température du réchauffeur atmosphérique. Elle consiste à simuler différentes conditions de fonctionnement, telles que des changements de consigne et mesure de température, des perturbations externes ou des variations de charge.

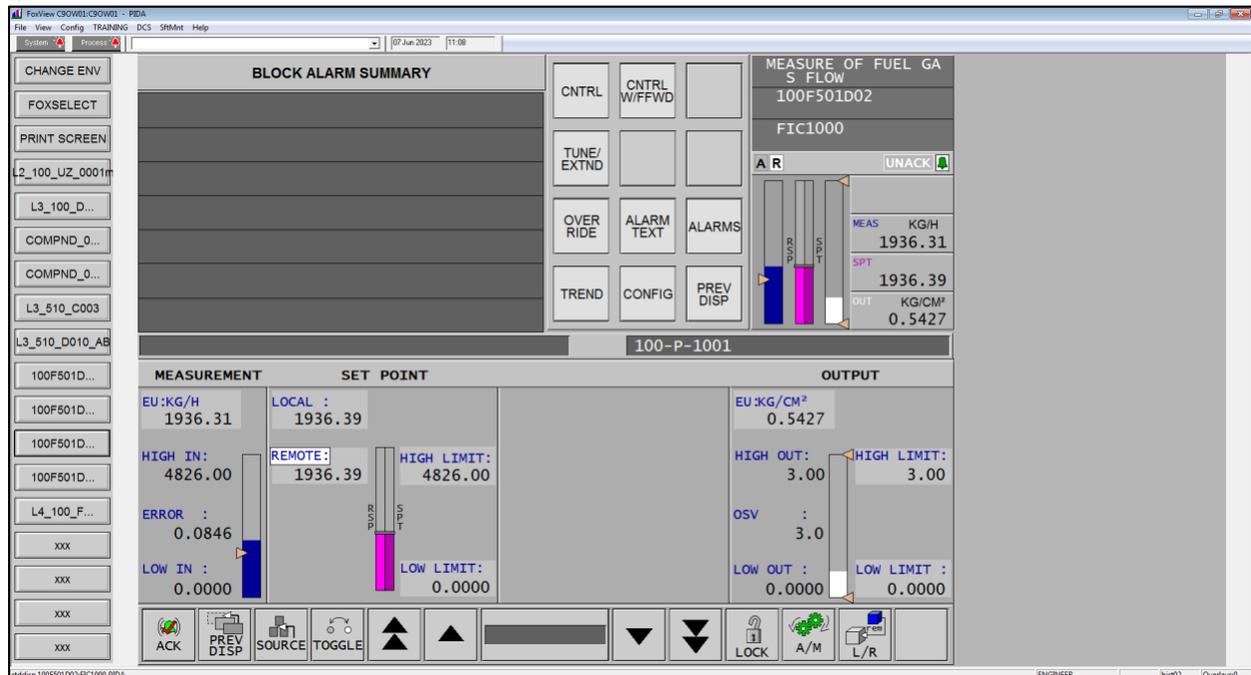


Figure IV.15 : FoxView de FIC1000

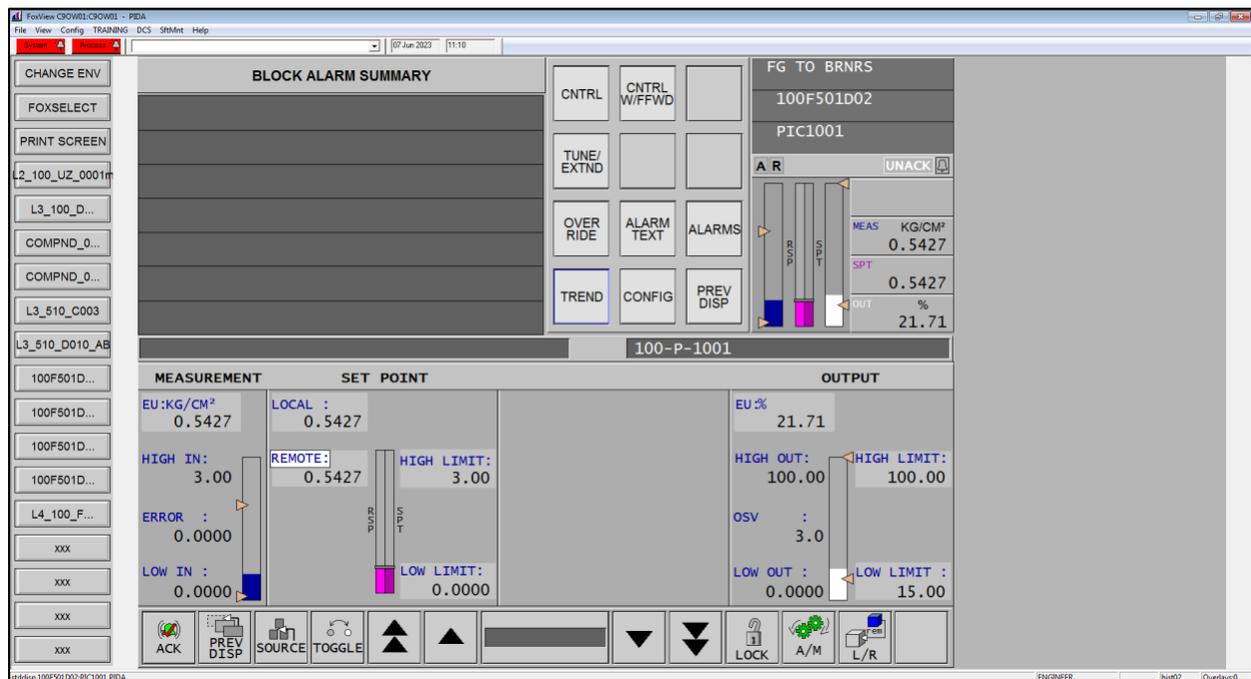


Figure IV.16 : FoxView de PIC1000

Dans les vues de simulation, nous avons la possibilité de configurer tous les paramètres de notre boucle de régulation, y compris les consignes et les paramètres PID. De plus, ces vues nous

permettent de lier les contrôleurs aux variables de mesure appropriées et de basculer entre les modes manuel et automatique.

### IV.7.1 Les paramètres PID des contrôleurs

En utilisant les algorithmes PID, ces contrôleurs cherchent à atteindre une régulation précise des variables de température, de débit et de pression, en ajustant en continu la commande des vannes pour minimiser les écarts par rapport aux consignes.

TUNING	
PBAND :	200.00
INT :	0.4000
SPLLAG:	1.00

Figure IV.17 : FIC1000 PID

TUNING	
PBAND :	67.00
INT :	6.00
DERIV :	3.10
KD :	5.00
SPLLAG:	1.0000
SPRATE:	100.00

Figure IV.18 : TIC0055 PID

TUNING	
PBAND :	250.00
INT :	0.3000
SPLLAG:	1.00

Figure IV.19 : PIC1001 PID

L'accord des paramètres PID, également connu sous le nom de PID tuning, est une étape cruciale dans la conception et l'optimisation des contrôleurs PID. Cela implique de trouver les valeurs optimales pour les paramètres proportionnel (P), intégral (I) et dérivé (D) afin d'obtenir les meilleures performances de régulation.

### IV.7.2 Les résultats de la simulation

L'impact des perturbations sur les performances du système de régulation a été évalué en comparant les résultats de la simulation avec et sans perturbation. Deux graphiques distincts ont été générés pour illustrer ces comparaisons.

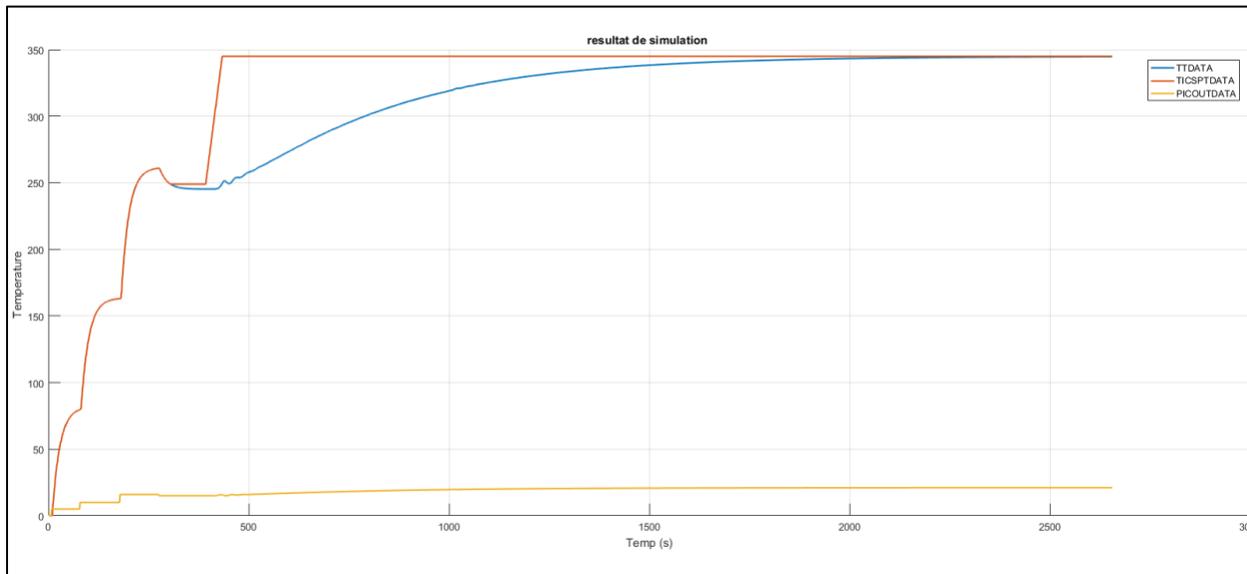


Figure IV.20 : Résultat de simulation sans perturbation

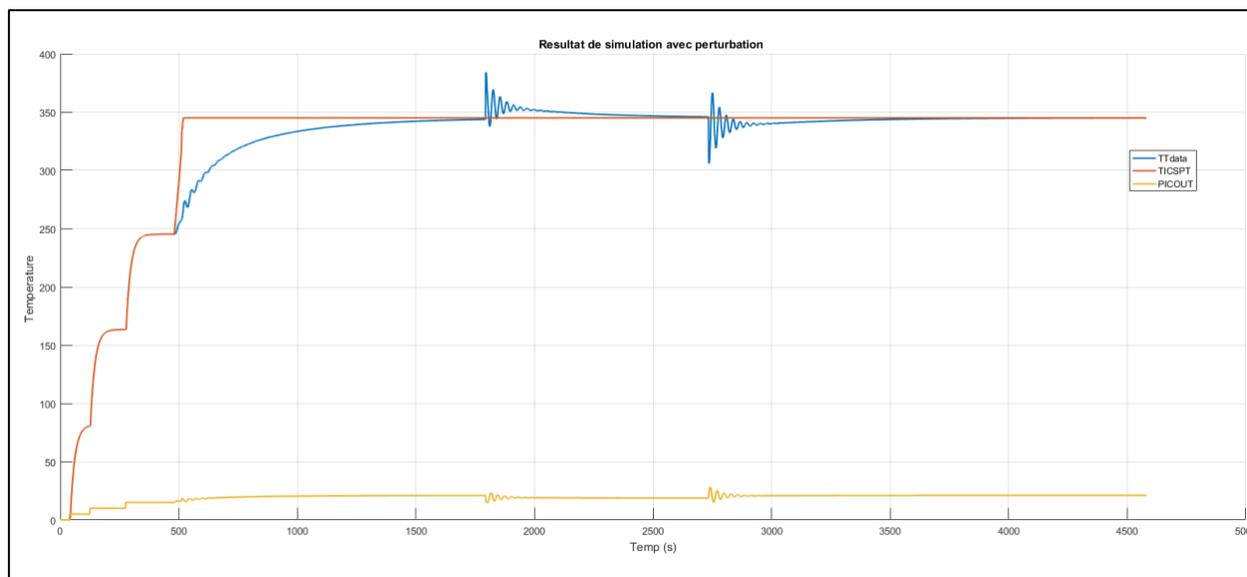


Figure IV.21 : Résultat de simulation avec perturbation

- Le premier graphique (**Figure IV.20**) représente les mesures de température en fonction du temps sans l'introduction de perturbations. Les résultats ont montré une régulation précise de la température, avec la mesure de température qui reste proche de la consigne tout au long de la simulation. Les écarts entre la mesure de température et la consigne étaient minimes, témoignant de la robustesse du système de régulation dans des conditions normales de fonctionnement.

- Le deuxième graphique (**Figure IV.21**) présente les mêmes mesures de température en présence de perturbations. Les perturbations ont été introduites à des intervalles spécifiques pour simuler des changements imprévus dans les conditions de fonctionnement. Les résultats ont révélé que le système de régulation était capable de faire face aux perturbations et de maintenir la température proche de la consigne malgré ces changements. Cependant, des variations temporaires de la mesure de température ont été observées immédiatement après l'introduction des perturbations, ce qui indique une réaction initiale du système avant de revenir à une régulation stable.

En conclusion, l'analyse comparative des graphiques avec et sans perturbation met en évidence l'impact des perturbations sur les performances du système de régulation. Ces résultats fournissent des informations précieuses pour optimiser la conception et les réglages du système, afin d'assurer une régulation précise et stable même en présence de perturbations externes.

## IV.8 Vue de supervision sous FoxDraw

Dans la dernière partie de ce chapitre, nous présenterons une vue de supervision de notre système de régulation en utilisant l'outil FoxDraw. FoxDraw est une interface graphique conviviale qui permet de visualiser en temps réel les mesures de température, de débit et de pression, ainsi que la commande de la vanne de gaz.

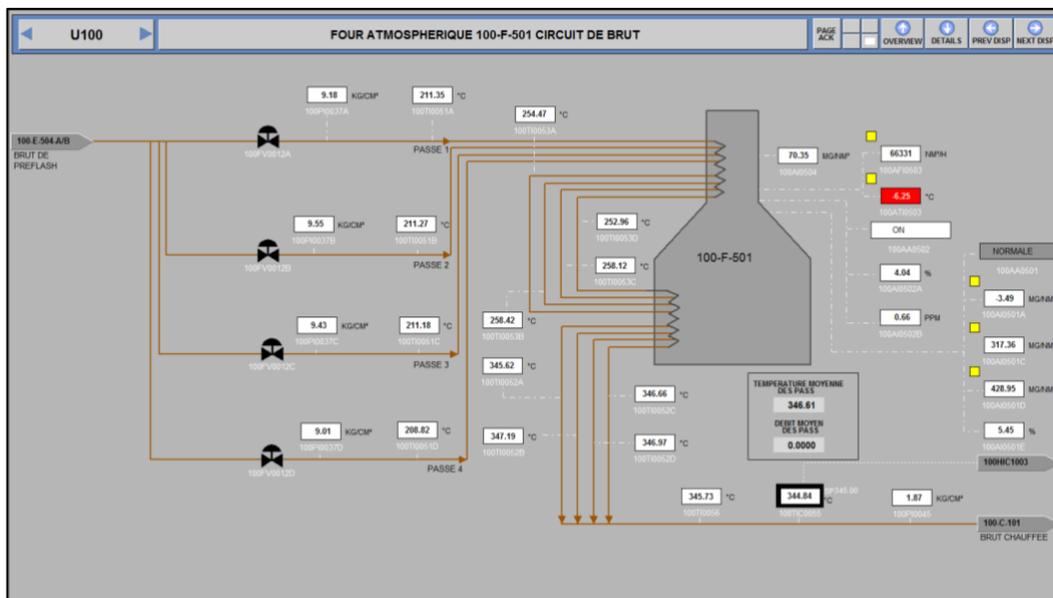


Figure IV.22 : Vue générale de four

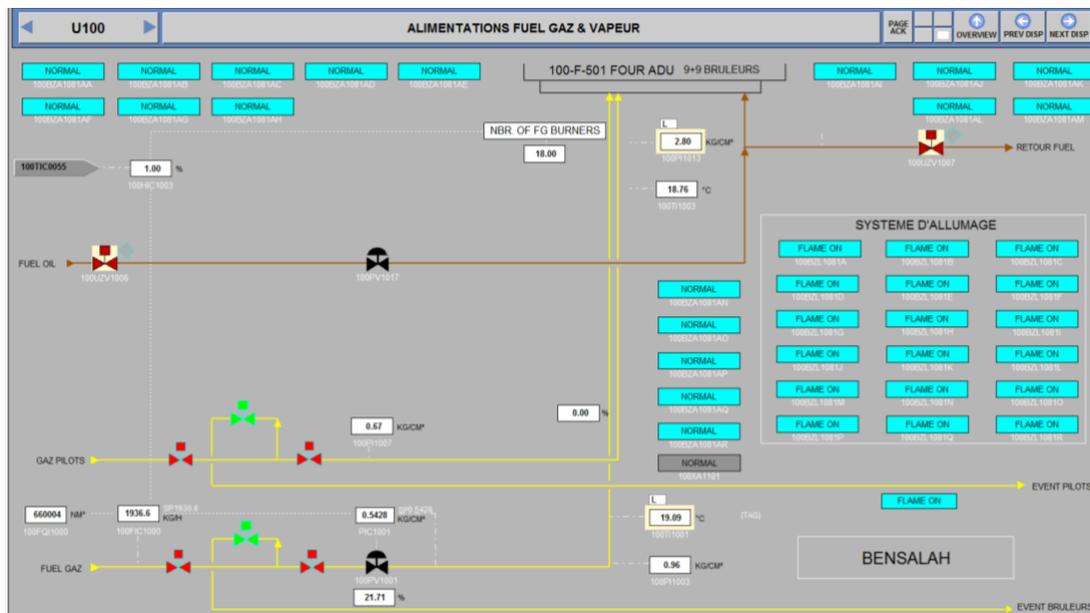


Figure IV.23 : vue de la vanne de gaz

À travers ces vues de supervision, nous serons en mesure de suivre facilement les variations des différentes grandeurs du système. Les courbes tracées sur le graphique nous fourniront une représentation visuelle claire de l'évolution des mesures et de la commande de la vanne de gaz au fil du temps.

Ces vues de supervision nous permettront également de détecter rapidement toute anomalie ou variation inattendue dans le comportement du système. Nous pourrions ainsi prendre des mesures correctives appropriées pour maintenir la stabilité et la performance de notre boucle de régulation.

En résumé, l'utilisation de FoxDraw pour la supervision de notre système de régulation nous offre une interface conviviale et visuelle pour surveiller en temps réel les mesures et la commande de notre réchauffeur atmosphérique. Cela nous permettra de prendre des décisions éclairées et d'optimiser les performances du système dans des conditions réelles d'exploitation.

## IV.9 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a présenté une approche complète pour la simulation et l'optimisation de la boucle de régulation du réchauffeur atmosphérique. Nous avons utilisé des données réelles pour estimer les fonctions de transfert des transmetteurs, puis avons établi une

communication entre MATLAB et ArcestrAIDE pour transférer les mesures du système. En utilisant les contrôleurs TIC, FIC et PIC, nous avons réglé les paramètres PID pour améliorer les performances du système. Les résultats obtenus lors des simulations ont montré que la boucle de régulation est capable de maintenir les paramètres souhaités malgré les perturbations. La supervision à l'aide de FoxDraw a également été mise en évidence.

---

## Conclusion Générale

---

# Conclusion Générale

Dans le cadre de notre projet de fin d'études au sein de la raffinerie d'Alger, nous avons eu l'opportunité d'approfondir notre compréhension des processus de distillation du pétrole, ainsi que de la boucle de régulation du réchauffeur atmosphérique.

Notre projet de fin d'études nous a permis d'approfondir nos connaissances en matière de modélisation, simulation et régulation des processus industriels. Nous avons étudié en détail les processus de distillation du pétrole et nous avons développé une boucle de régulation pour le réchauffeur atmosphérique.

Grâce à des outils tels que Matlab et ArchestrA IDE, nous avons pu modéliser le système, estimer les fonctions de transfert des transmetteurs, et mettre en place un contrôle PID efficace pour maintenir les paramètres critiques du réchauffeur.

Nos résultats de simulation ont démontré l'efficacité de notre approche de régulation, en garantissant la stabilité et la précision des paramètres de température, de débit et de pression.

En outre, nous avons exploré les possibilités de communication entre Matlab et le DCS (Distributed Control System) à l'aide de l'OPC Toolbox, ce qui nous a permis de transférer les mesures de manière fiable et en temps réel.

Au cours de notre projet, nous avons été confrontés à certaines difficultés techniques. L'une d'entre elles a été la mise en place de la communication entre Matlab et le système de contrôle distribué (DCS). La configuration et la synchronisation des deux systèmes ont nécessité une compréhension approfondie des protocoles de communication, ainsi qu'une résolution de problèmes pour assurer une transmission fiable des données entre les deux plateformes.

De plus, l'utilisation des logiciels Foxboro, tels que ArchestrA IDE et FoxView, a également présenté des défis. Il a fallu du temps pour se familiariser avec ces outils et maîtriser leurs fonctionnalités. Des ajustements et des tests ont été nécessaires pour s'assurer que les boucles de régulation et les interfaces utilisateur fonctionnaient de manière optimale.

Ces défis nous ont également permis d'acquérir une expérience précieuse dans la résolution de problèmes et l'adaptation aux nouvelles technologies.

## Conclusion générale

---

Les perspectives futures dans ce domaine incluent la recherche continue de moyens plus efficaces et plus sécurisés de communication entre les systèmes de contrôle et les outils de modélisation et de simulation. Cela pourrait impliquer l'utilisation de protocoles de communication avancés tels que l'OPC UA (Unified Architecture) qui offrent des fonctionnalités supplémentaires telles que la sécurité avancée et la compatibilité multiplateforme.

De plus, l'intégration de technologies émergentes telles que l'Internet des objets (IoT) et le cloud computing pourrait ouvrir de nouvelles possibilités pour une communication en temps réel et une gestion des données plus avancées entre les systèmes de contrôle et les outils de modélisation.

---

# **Références Bibliographiques**

---

- [1] « présentation de RA1G », raffinerie d'Alger, 21 juillet 2008. Disponible sur : <https://raffinagecar.wordpress.com/presentation-de-ra1g/> . [Consulté le : 10 mars 2023].
- [2] M. BELKHIR Tayeb M. LAOUBI Akli, « Etude d'Automatisation et de Régulation de la pression dans le ballon de gaz 500- D-002 à la raffinerie d'Alger SONATRACH », Université Mouloud MAMMARI De Tizi-Ouzou, 2014. [https://www.ummtto.dz/dspace/bitstream/handle/ummtto/7470/BelkhirTayeb\\_LaoubiA.pdf?sequence=1](https://www.ummtto.dz/dspace/bitstream/handle/ummtto/7470/BelkhirTayeb_LaoubiA.pdf?sequence=1) . [Consulté le : 10 mars 2023].
- [3] I. Yetto, « Evaluation des nuisance sonore et cartographie de bruit (cas de la raffinerie d'Alger) », penzgtu, mai 2019, Disponible sur : [https://www.academia.edu/39254184/Evaluation\\_des\\_nuisance\\_sonore\\_et\\_cartographie\\_de\\_bruit\\_cas\\_de\\_la\\_raffinerie\\_dAlger](https://www.academia.edu/39254184/Evaluation_des_nuisance_sonore_et_cartographie_de_bruit_cas_de_la_raffinerie_dAlger) . [Consulté le : 11 mars 2023].
- [4] C. housse eddine, « Analyse énergétique de l'unité reforming catalytique de la raffinerie d'Alger », Université BLIDA 1, 2017, <https://di.univ-blida.dz/jspui/bitstream/123456789/5194/1/Untitled.pdf>. [Consulté le : 12 mars 2023].
- [5] « Memoire Pfe Copie1 2 » , Scribd. Disponible Sur : <https://www.Scribd.Com/Document/513144849/Memoire-Pfe-Copie1-2> [Consulté Le : 12 Mars 2023].
- [6] H. M. Rebiha, « Étude De La Non-Conformite Du Naphta Issue De L'unité De Topping De La Raffinerie D'alger », Université De Blida 1, 2020. <https://di.univ-blida.dz/jspui/bitstream/123456789/11460/1/mémoire%20REBIHA.pdf> [Consulté Le : 18 Mars 2023].
- [7] K. Mohamed, Yaagoub Silimi, « Etude Et Adaptation Des Boucles De Régulation Des Chaudières Au Niveau De La Raffinerie D'alger Pour Le Fonctionnement En Gaz Naturelle » , Université Yahia Fares De Medea, 2022. <http://Dspace.Univ-Medea.Dz/Bitstream/123456789/7853/1/M122120.Pdf> [Consulté Le : 24 Mars 2023].
- [8] G. Kaouther, « Proposition D'un Système De Sécurité Du Four De Distillation Atmosphérique Au Niveau De La Raffinerie D'alger », École Nationale Polytechnique, 2017.

- [Http://Repository.Enp.Edu.Dz/Jspui/Bitstream/123456789/10241/1/Gaci.Kaouther.Pdf](http://Repository.Enp.Edu.Dz/Jspui/Bitstream/123456789/10241/1/Gaci.Kaouther.Pdf) [Consulté Le: 3 Avril 2023].
- [9] C. Lavergne, « Manuel D’exploitation U100 – Unité De Distillation Atmosphérique », Raffinerie D’alger Projet De Réhabilitation Et D’adaptation, P. 143, Avr. 2015.
- [10] « Memoire Online - étude séquentielle de danger du four 11-f1 de la raffinerie d’Arzew. - Ayat Allah Ismahene Hamza », Memoire Online. Disponible sur : [https://www.memoireonline.com/01/23/13752/m\\_tude-squentielle-de-danger-du-four-11-f1-de-la-raffinerie-d-Arzew6.html](https://www.memoireonline.com/01/23/13752/m_tude-squentielle-de-danger-du-four-11-f1-de-la-raffinerie-d-Arzew6.html) [Consulté Le : 9 Avril 2023].
- [11] « MOD\_3 La mesure et les capteurs », Scribd. Disponible sur : <https://www.scribd.com/document/513385778/MOD-3-La-mesure-et-les-capteurs> [Consulté Le : 16 Avril 2023].
- [12] R. Imane, Nesrine BADA, « Régulation de niveau du séparateur “slug catcher” », Université Kasdi Merbah–Ouargla, 2014. <https://docplayer.fr/storage/83/87236897/1688220018/5zs7NvFvWixnL6LTsyU59w/87236897.pdf> [Consulté Le : 2 Mai 2023].
- [13] F. Amhis, « Étude et simulation de DCS I /A Séries de FOXBORO sur le four rebouilleur H101 », Université Mouloud MAMMERY, Tizi-Ouzou, 2011. <https://www.ummtto.dz/dspace/bitstream/handle/ummtto/8079/AmhisFerhat.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Consulté Le : 14 Mai 2023].

---

# Annexes

---

## Les données des capteurs

Voici les tableaux des données des 3 capteurs :

**Tableau A.1** : Les données de capteur de température

100F501D01.TIC0055.MEAS	100F501D01.TIC0055.OUT	100F501D01.TIC0055.SPT	100F501D02.PIC1001.MEAS	100F501D02.PIC1001.OUT	100F501D02.PIC1001.SPT
277.21	35.00	277.21	0.51	18.00	0.51
277.21	35.00	277.21	0.41	18.00	0.41
277.21	35.00	277.21	0.41	18.00	0.41
277.21	35.00	277.21	0.41	18.00	0.41
277.74	40.00	277.74	0.41	18.80	0.41
279.41	40.00	279.41	0.41	18.80	0.41
280.98	40.00	280.98	0.41	18.80	0.41
282.14	40.00	282.14	0.41	19.00	0.41
283.21	40.00	283.21	0.41	19.00	0.41
283.75	40.00	283.75	0.41	19.00	0.41
285.47	40.00	285.47	0.41	19.00	0.41
286.51	40.00	286.51	0.41	19.00	0.41
288.16	40.00	288.16	0.41	19.00	0.41
289.29	40.00	289.29	0.41	19.00	0.41
290.94	40.00	290.94	0.41	19.00	0.41
292.53	40.00	292.53	0.41	19.00	0.41
294.12	40.00	294.12	0.41	19.00	0.41
296.30	40.00	296.30	0.41	19.00	0.41
297.89	40.00	297.89	0.41	19.00	0.41
299.55	40.00	299.55	0.41	19.00	0.41
301.22	40.00	301.22	0.41	19.00	0.41
302.81	40.00	302.81	0.41	19.00	0.41
303.42	40.00	303.42	0.41	19.00	0.41
303.98	40.00	303.98	0.41	19.00	0.41
304.53	40.00	304.53	0.41	19.00	0.41
305.08	40.00	305.08	0.41	19.00	0.41
306.11	40.00	306.11	0.41	19.00	0.41
306.64	40.00	306.64	0.41	19.00	0.41
308.48	40.00	308.48	0.41	19.00	0.41
308.98	40.00	308.98	0.41	19.00	0.41
310.16	40.00	310.16	0.41	19.00	0.41
311.24	40.00	311.24	0.41	19.00	0.41
312.40	40.00	312.40	0.41	19.00	0.41
313.46	40.00	313.46	0.41	19.50	0.41
314.56	40.00	314.56	0.41	19.50	0.41
315.09	40.00	315.09	0.41	19.50	0.41
315.60	40.00	315.60	0.41	19.50	0.41
316.13	40.00	316.13	0.41	19.50	0.41
316.68	40.00	316.68	0.41	19.50	0.41
317.71	40.00	317.71	0.41	19.50	0.41
317.71	40.00	317.71	0.41	19.50	0.41
317.71	40.00	317.71	0.41	19.50	0.41
317.71	40.00	317.71	0.41	19.50	0.41

Tableau A.4 : Les données de capteur de débit

100F501D02.FIC1000.MEAS	100F501D02.FIC1000.OUT	100F501D02.FIC1000.SPT	100F501D02.PIC1001.MEAS	100F501D02.PIC1001.OUT	100F501D02.PIC1001.SPT
794.59	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
793.84	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
794.12	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
795.06	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
794.88	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
795.72	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
794.31	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
793.46	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
793.46	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
794.03	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
794.31	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
792.90	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
794.69	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
794.31	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
792.99	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
793.18	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
794.22	0.78	417.53	0.76	9.00	0.76
794.22	0.78	471.62	0.76	9.00	0.76
795.25	0.78	498.67	0.76	9.00	0.76
794.97	0.78	498.67	0.76	9.00	0.76
793.93	0.78	498.67	0.76	9.00	0.76
795.16	0.78	498.67	0.76	9.00	0.76
796.20	0.78	498.67	0.76	9.00	0.76
793.84	0.78	498.67	0.76	9.00	0.76
793.84	0.78	498.67	0.76	9.00	0.76
793.09	0.78	498.67	0.76	9.00	0.76
794.40	0.78	498.67	0.76	9.00	0.76
794.22	0.78	498.67	0.76	9.00	0.76
795.44	0.78	498.67	0.76	9.10	0.76
794.31	0.78	498.67	0.76	9.40	0.76
794.31	0.78	498.67	0.76	9.50	0.76
798.46	0.78	498.67	0.76	9.50	0.76
844.08	0.78	498.67	0.76	9.50	0.76
858.03	0.78	498.67	0.76	9.50	0.76
858.22	0.78	498.67	0.88	9.50	0.88
856.99	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
856.99	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
856.99	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
857.27	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
858.22	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
858.50	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
858.03	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
855.96	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
855.58	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
856.24	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
857.56	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
856.33	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
856.14	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
854.92	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
854.54	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
854.35	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
855.48	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
853.22	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
855.77	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
854.16	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
853.98	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
853.50	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
851.24	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
851.71	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
853.13	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88
852.94	0.88	498.67	0.88	9.50	0.88

