

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DU 20 AOUT 1955 SKIKDA



Faculté de Technologie
Département de pétrochimie



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Industrie pétrochimique.

Spécialité : Automatisation en industrie pétrochimique

Thème:

**Etude et Régulation d'une colonne
de distillation de pétrole brut**

Realisées Par :

- ❖ Araibia Menat Allah Nadine
- ❖ Boukerche Rahma

Encadré Par :

-Pr. Rouainia Mounira

Soutenu le 06/07/2023 devant le jury :

- Encadreur : Pr.Rouainia Mounira**
- President : Dr Kerboua Adlene**
- Examinatrice :Pr.Zighed Lilia**

Année Universitaire: 2022/2023

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre gratitude envers **Dieu** pour nous avoir accordé cette opportunité et nous avoir guidés tout au long de notre parcours. Nous souhaitons également exprimer nos sincères remerciements à notre encadrante, **Madame ROUINIA** pour sa précieuse guidance et son soutien tout au long de notre projet de fin d'études.

Nous voulons remercier chaleureusement l'ingénieur **Mokhtari Housseem**, qui a été d'une grande aide et d'un encouragement constant pendant notre stage. Ses connaissances et son expertise ont été essentielles pour notre apprentissage.

Un grand merci également à Monsieur **BEHAZ Said**, qui nous a offert une précieuse formation sur le système de contrôle distribué (DCS) et qui nous a assistés dans la partie pratique de notre projet. Sa disponibilité et sa volonté de partager ses connaissances ont grandement contribué à notre succès.

Nos remerciements vont également à Monsieur **MEDDAH Mohamed** et à Monsieur **ABDENNEBI Salim**, qui nous ont apporté leur aide et leur soutien tout au long de notre stage à la raffinerie de Hassi Messouad. Leur expertise et leurs conseils ont été d'une grande valeur pour nous.

Nous sommes profondément reconnaissants envers toutes ces personnes qui ont contribué à notre projet et nous ont soutenus tout au long de cette période. Leur aide et leurs encouragements ont été d'une valeur inestimable, et nous leur en sommes énormément reconnaissants.

Dédicace

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma reconnaissance et à dédier ce projet à ma maman. Son soutien inconditionnel et ses efforts tout au long de mes 23 ans ont été une source d'encouragement inestimable. Je dédie également ce projet à mon beau-père, qui a fait des sacrifices pour me permettre d'avoir tout ce dont j'avais besoin. Je tiens à exprimer ma gratitude envers ma belle-sœur qui, malgré son absence physique, a toujours été présente pour m'aider et me soutenir tout au long de mon parcours d'études. Elle a joué un rôle essentiel dans mon éducation et m'a apporté un soutien constant. Je lui suis reconnaissante pour son amour inconditionnel, ses conseils précieux et sa confiance en moi. Sa présence bienveillante et ses encouragements ont été des éléments clés de ma réussite. Cette dédicace est un témoignage de ma profonde reconnaissance envers ma belle-sœur, qui a toujours été là pour moi malgré son éloignement physique.

Je souhaite également dédier ce projet à mes amies Amira, Oumaima, Silina, Ouiem, Asma, Maria, Cham, Lyna, et Ouiessam. Leur présence et leur soutien ont été essentiels pour moi tout au long de mon parcours.

Enfin, je dédie spécialement ce projet à mon binôme, Rahma. Notre collaboration, notre travail d'équipe et notre soutien mutuel ont été les clés de notre réussite. Merci d'avoir été là à chaque étape et d'avoir partagé cette expérience avec moi.



Dédicace

Je dédie humblement ce travail à plusieurs personnes qui ont joué un rôle essentiel dans ma vie :

- À mon père que Dieu garde dans son paradis, qui m'a constamment encouragé et soutenu. Il a été à mes côtés, et ses efforts ont été inestimables pour mon développement.
- À ma mère, qui m'a élevé et éduqué avec dévouement. Elle a comblé l'absence de mon père et a fait tout son possible pour répondre à mes besoins.
- À mon frère Hani, qui a été mon bras droit et ma source de soutien constant. Sa présence et sa générosité ont été précieuses.
- À mes adorables petits frères, Mouiz et Taha, qui apportent de la joie et de la légèreté à ma vie.
- À mes amies Bouchra et Feriel, qui sont très proches de moi et ont été là dans les moments difficiles.
- À mes amies éternelles, Amira et Oumaima, que j'aime profondément et qui ont toujours été là pour moi.
- Et enfin, à ma binôme Mena, avec qui j'ai partagé ce parcours et qui a été une compagne de travail extraordinaire.



Rahma

ملخص:

هدف هذا العمل هو دراسة وتحسين عمود تقطير النفط الخام في المصفاة الجديدة في حاسي مسعود . حالياً، يُستخدم نظام هوائي، ولكننا نقترح استبداله بنظام كهربائي أكثر أداءً، باستخدام DCS YOKOGAWA Centum VP R4 . الهدف هو تحسين عمليات التكرير من خلال التحكم تحديث الممارسات والحصول على تنظيم أدق وأكثر استجابة، مما يحسن جودة المنتجات ويقلل من التكاليف الطاقوية والصيانة. يأتي هذا المشروع في إطار مسعى للابتكار التكنولوجي بهدف الحفاظ على المصفاة في مقدمة التكنولوجيا في قطاع النفط .

Résumé :

L'objectif de ce travail est l'étude et l'amélioration de la colonne de distillation du pétrole brut dans la nouvelle raffinerie RHM2 de Hassi Messaoud. Actuellement, un système pneumatique est utilisé, mais nous proposons de le remplacer par un système électrique plus performant, en utilisant le logiciel de programmation DCS YOKOGAWA Centum VP R4. L'objectif est d'optimiser les processus de raffinage en modernisant les pratiques et en obtenant une régulation plus précise et réactive, améliorant ainsi la qualité des produits et réduisant les coûts énergétiques et de maintenance. Ce projet s'inscrit dans une démarche d'innovation technologique visant à maintenir la raffinerie à la pointe de la technologie dans le secteur pétrolier.

Abstract:

The objective of this work is the study and improvement of the crude oil distillation column in the new RHM2 refinery in Hassi Messaoud. Currently, a pneumatic system is used, but we propose to replace it with a more efficient electrical system using the DCS programming software YOKOGAWA Centum VP R4. The aim is to optimize the refining processes by modernizing practices and achieving more precise and responsive control, thereby improving product quality and reducing energy and maintenance costs. This project is part of a technological innovation approach aimed at keeping the refinery at the forefront of technology in the oil sector.

Sommaire :

Liste de tableau	I
Liste des Figures :	II
Abréviation:	III
Symbole	IV
Introduction générale	1

Chapitre I:

Présentation de la Raffinerie de Hassi Messaoud(RHM2)

I.1. sonatrach.....	3
I.2.Présentation de la région de Hassi Messaoud.....	3
I.3. Présentation de la nouvelle raffinerie.....	4
I.3.1. les unités de la nouvelle raffinerie.....	5
I.3.1.1. Section distillation atmosphérique "Topping".....	6
I.3.1.2. Section prétraitement du Naphta (U300) (Hydrodésulfuration).....	9
I.3.1.3. Section Reformage catalytique(U800).....	9
I.3.1.4. Une unité de stockage et utilités (U900).....	9
I.4. Date de mise en service.....	10
I.5. Capacité de traitement design.....	10

Chapitre II :

Généralités Sur La Distillation

II-1- Introduction	11
II-2- Généralités sur le pétrole.....	11
II.2.1 Raffinage du Pétrole.....	12
II.2.2. Les procédés de séparation du pétrole brut.....	13
II.2.2.1. Distillation atmosphérique.....	14
II.2.2.2. Distillation sous vide.....	16
II-3- La Distillation.....	18
II.3.1 Définition de la distillation.....	18
II.3.2. But de la distillation.....	19
II.3.3. Les types de distillation.....	20

II.3.3.1. La composition du mélange.....	20
II.3.3.2. Le mode de traitement.....	20
II.4. La Colonne e Distillation.....	21
II.4.1. Définition de la colonne de distillation.....	21
II.4.2. Principaux composants des colonnes de distillation.....	23
II.4.3. Principe de fonctionnement d'une colonne de distillation.....	26
II.4.4. Les différents types de colonnes.....	27
II.4.4.1. Les colonnes à plateaux	28
II.4.4.1.1. Plateaux à courants croisés avec trop plein.....	29
II.4.4.1.2. Types de plateaux à contre-courant	31
II.4.4.2. Les colonnes à garnissage	31
II.4.4.2.1. Colonnes à contre-courant.....	33
II.4.4.2.2. Colonnes à co-courant.....	33
II.4.4.2.3. Colonnes à courants croisés.....	33
II.4.4.3. La différence entre les colonnes à plateaux et à garnissage	34
II.5. Le procédé de distillation à la Nouvelle Raffinerie de Hassi Messaoud RHM2.....	34
II.6. Conclusion.....	35

ChapitreIII:

La Régulation Industrielle

III.1.Introduction	36
III.2. Généralité sur la régulation.....	36
III.2.1.Définition de la régulation.....	37
III.3. Définitions de la boucle de régulation.....	37
III.3.1 Éléments constitutifs d'une boucle de régulation	37
III.3.2. Schéma de principe d'une boucle de régulation	41
III.3.3. Les principales grandeurs mesurées dans l'industrie	41
III.4. Différents types de signaux	41
III.5. Systèmes pneumatiques et électriques	42
III.5.1. Systèmes pneumatiques	42
III.5.1.1. Présentation des systèmes pneumatiques comme source d'énergie.....	42
III.5.1.2. Domaine d'applications.....	42

III.5.1.3. Alimentation d'une boucle pneumatique et transmission des signaux.....	42
III.5.1.3.1. Caractéristiques d'une boucle pneumatique.....	42
III.5.1.3.2. Réception d'un signal pneumatique.....	45
III.5.1.3.3. Avantages - Inconvénients des boucles pneumatiques.....	46
III.5.2. systèmes électrique	46
III.5.2.1. Présentation des systèmes électrique comme source d'énergie.....	46
III.5.2.2. Domaine d'applications.....	47
III.5.2.3. Alimentation d'une boucle électrique et transmission des signaux.....	47
III.5.2.3.1. Caractéristiques d'une boucle Électrique	47
III.5.2.3.2. La réception d'un signal électrique.....	48
III.5.2.3.3. Avantages - Inconvénients des boucles électriques.....	49
III.5.3. Comparaison entre systèmes pneumatiques et électriques.....	49
III.6. Étude de divers types de boucles de régulation.....	50
III.6.1. Boucle simple	50
III.6.2. Boucle de régulation cascade (cascade control)	52
III.6.3. Boucle de régulation par partage d'étendue (split-range)	53
III.7. Type de régulation	54
III.7.1. Régulateur Continu.....	54
III.7.1.1. Le régulateur proportionnel (P)	55
III.7.1.2. Le régulateur intégral (I)	55
III.7.1.3. Régulateur de type PI	56
III.7.1.4. Le régulateur dérivé (D)	57
III.7.1.5. Le régulateur PID	57
III.7.2. Résumés des actions PID et domaine d'utilisation.....	58
III.8. Choix du régulateur PID pour différentes applications de régulation.....	58
III.9. Régulation d'une colonne de distillation de pétrole brut.....	61
III.10. Utilisation du système pneumatique dans la distillation de pétrole brut à la nouvelle raffinerie de Hassi Messaoud.....	62
III.11 Introduction.....	62

Chapitre IV :

Résultats et simulation

IV.1. Introduction	64
IV.2. Partie théorique	64
IV.2.1. présentation de simulateur DCS YOCOGAWA CENTUM VP R4.....	64
IV.2.1.1. Système DCS	66
IV.2.1.2 Système CENTUM VP par YOKOGAWA	66
IV.2.1.3. Programmation d'un projet sur le logiciel YOKOGAWA CENTUM VP.....	69
IV.3. Partie Pratique	79
IV.3.1. Problématique	79
IV.3.2. Principe de fonctionnement	79
IV.3.3. Les entrees et les sorties de boucle cascade	80
IV.3.4. Configuration du système DCS	80
IV.3.4.1. Programation et Régulation.....	81
IV.3.4.2 Simulation	86
IV.3.4.2.1. L'action reverse dans les régulateurs de température et de débit (Impact de la consigne sur la commande)	86
IV.3.4.3. Amélioration du système DCS (la page graphique):	89
IV.4.Conclusion	90

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Champ de l'unité Hassi Messaoud.....	04
Figure I.2 : Schéma synoptique De la raffinerie.....	05
Figure I.3: Schema de process topping /RHM2.....	06
Figure II.1 : Images du pétrole brut	12
Figure II.2 : Raffineries simple.....	13
Figure II.3 : Raffineries Complexe	13
Figure II.4 : Procédé de distillation atmosphérique	15
Figure II.5 : Schéma du procédé de distillation atmosphérique	15
Figure II.6 : Distillation atmosphérique.....	16
Figure II.7 : Procédé de distillation sous vide.....	17
Figure II.8 : Schéma du Procédé de distillation sous vide.....	17
Figure II.9 : Schéma du procédé de distillation atmosphérique et sous vide.....	18
Figure II.10 : Schéma de Fractions De Distillation Du Pétrole.....	19
Figure II.11: Schéma des différentes coupes pétrolières	19
Figure II.12: Schéma général d'une colonne de distillation.....	21
Figure II.13 : Colonnes de distillation	22
Figure II.14 : Vue écorchée d'une colonne.....	22
Figure II.15 : Colonnes de distillation	23
Figure II.16 : Type de plateaux d'après l'écoulement des phases.....	25
Figure II.17 : Principaux composants des colonnes de distillation.....	26
Figure II.18 : Schéma de principe d'une colonne de distillation.....	27
Figure II.19 : Colonne de Distillation.....	28
Figure II.20: Trou d'Homme.....	28
Figure II.21: Exemple d'une colonne à courant croisé.....	29
Figure II.22 : Le trop – plein.....	30
Figure II.23 : Plateau à calottes.....	30
Figure II.24 : Différents arrangements de distribution des phases dans les colonnes à Garnissage.....	32
Figure II.25 : Internes d'une colonne à garnissage.....	32
Figure II.26 : Exemple de corps de garnissage en céramique	33
Figure II.27: Colonnes à garnissage à flux croisé.....	34
Figure III.1 : Le Transmetteur.....	38

Figure III.2 : Le régulateur.....	39
Figure III.3 : L'actionneur.....	40
Figure III.4 : Le positionneur.....	40
Figure III.5 : Boucle de Régulation	41
Figure III.6 : Les éléments constitutifs d'une boucle de régulation pneumatique	43
Figure III.7 : Transmetteur.....	43
Figure III.8 : Un Régulateur.....	44
Figure III.9 : Une Vanne.....	44
Figure III.10 : Enregistreur.....	45
Figure III.11 : Le Fonctionnement d'un indicateur pneumatique.....	46
Figure III.12 : les éléments constitutifs d'une boucle de régulation Électrique.....	48
Figure III.13 : un schéma simplifié d'une boucle de régulation simple.....	51
Figure III. 14 : Une Boucle De Régulation Simple	52
Figure III.15 : Boucle de régulation cascade.....	52
Figure III.16 : Boucle De Régulation Cascade.....	53
Figure III.17 : Boucle de régulation split-range.....	53
Figure III.18 : Exemple d'une régulation split-range.....	54
Figure III.19 : L'effet de l'action proportionnelle(P).....	55
Figure III.20 : L'effet de l'action intégrale(I).....	56
Figure III.21 : Régulateur de type PI.....	56
Figure III.22 : Régulateur PID.....	57
Figure IV.1 : Architecture de DCS.....	65
Figure IV.2 : L'historique des systèmes de YOKOGAWA.....	66
Figure IV.3 : Bandeau d'exploitation	68
Figure VI.4 : Les types des faces-avants	68
Figure IV.5 : L'ouverture d'un nouveau CENTUM VP R4	69
Figure IV.6 : Le nom du projet	70
Figure IV.7 : Création d'un nouveau HIS	71
Figure IV.8 : Création d'un nouveau FCS	72
Figure IV.9 : Création d'un nouveau HIS.....	73

Figure IV.10 : Création d'un IOM	74
Figure IV.11 : Création d'analogie entrée.....	74
Figure IV.12 : Création d'analogie sortie.....	75
Figure IV.13 : Création d'iom entrée.....	75
Figure IV.14 : Création d'iom status sortie (output).....	76
Figure IV.15 : Création d'un bloc de fonction.....	76
Figure IV.16 : Schéma de bloc fonctionnel.....	77
Figure IV.17 : Test fonction	78
Figure IV.18 :Construction graphique 1	78
Figure IV.19 : Construction graphique 2	79
Figure IV.20 : Bloc MLD_PVI 100TI201.....	81
Figure IV.21 : Régulateur Temperature 100TIC201.....	82
Figure IV.22 :Indicateur d'entrée MLD_ PVI.....	82
Figure IV.23 : Régulateur PID.....	83
Figures VI.24 : Indicateur d'entrée MLD_ PVI (la vanne).....	84
Figure IV.25 : Régulation	84
Figures VI.26 : Bloc sp16	84
Figures VI.27 : Bloc SP16 pour force les vannes.....	85
Figure IV.28 : Partie régulation du DR0001.....	85
Figure IV.29 : Programmation des boucles de régulation.....	86
Figure IV.30 : Première application	87
Figure IV.31 : Deuxième application.....	88
Figure IV.32 : Troisième application.....	89

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Comparaison entre colonne à plateaux et à garnissage.....	34
Tableau III. 1 : Une comparaison générale entre les systèmes électriques et pneumatiques...50	
Tableau III.2 : Les Effets des actions du correcteur PID et domaine d'utilisation.....	58
Tableau VI.1 : Les entrées et les sorties de boucle cascade.....	80

Liste des abréviations

Sonatrach : Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures

RHM2 : Raffinerie Hassi Messaoud

CINA : Centre Industriel Nord

CIS : Centre Industriel Sud

UTBS : Unité De Traitement Du Brut Sud

ALTEC : Société Algérienne d'engineering

H.E : Hydrocarbon Engineering

ENGTP : Entreprise Nationale des Grands Travaux Pétroliers

PV : Process Variable

SP : Set point

TOR : Tout Ou Rien

PID : Proportionnelle, Intégrateur, Dérivateur.

DCS : Distributed Control System (Système de contrôle distribué)

HH: High-High Limit

PH: High Limit

LL: Low-Low Limit

PL: Low Limit

IOM: Input Output Module

SV: Set Value

HIS: Human Interface Station

FCS : Field Control Stations

MV : Manipulated Value

Introduction générale

L'avancée technologique dans le domaine de l'électronique et de l'informatique industrielle a considérablement transformé le contrôle des processus industriels. Cette évolution s'est traduite par un changement de techniques de contrôle, passant des systèmes pneumatiques aux systèmes électriques et du contrôle centralisé au contrôle distribué, notamment avec l'utilisation des systèmes de contrôle distribué (DCS). L'automatisation est devenue une priorité absolue dans les industries modernes, bien que ce phénomène suscite encore des débats et controverses, car les machines ont tendance à remplacer l'homme dans de nombreuses tâches, mais ne peuvent pas toujours assurer les tâches humaines dans de nombreux domaines.

La SONATRACH a pris une longueur d'avance en installant de nouveaux systèmes de contrôle électriques très performants, en rénovant les équipements, en modernisant l'instrumentation et les machines. L'objectif est d'améliorer la fiabilité, d'assurer la sécurité industrielle et d'optimiser la production, ce qui a un impact positif sur l'économie du pays.

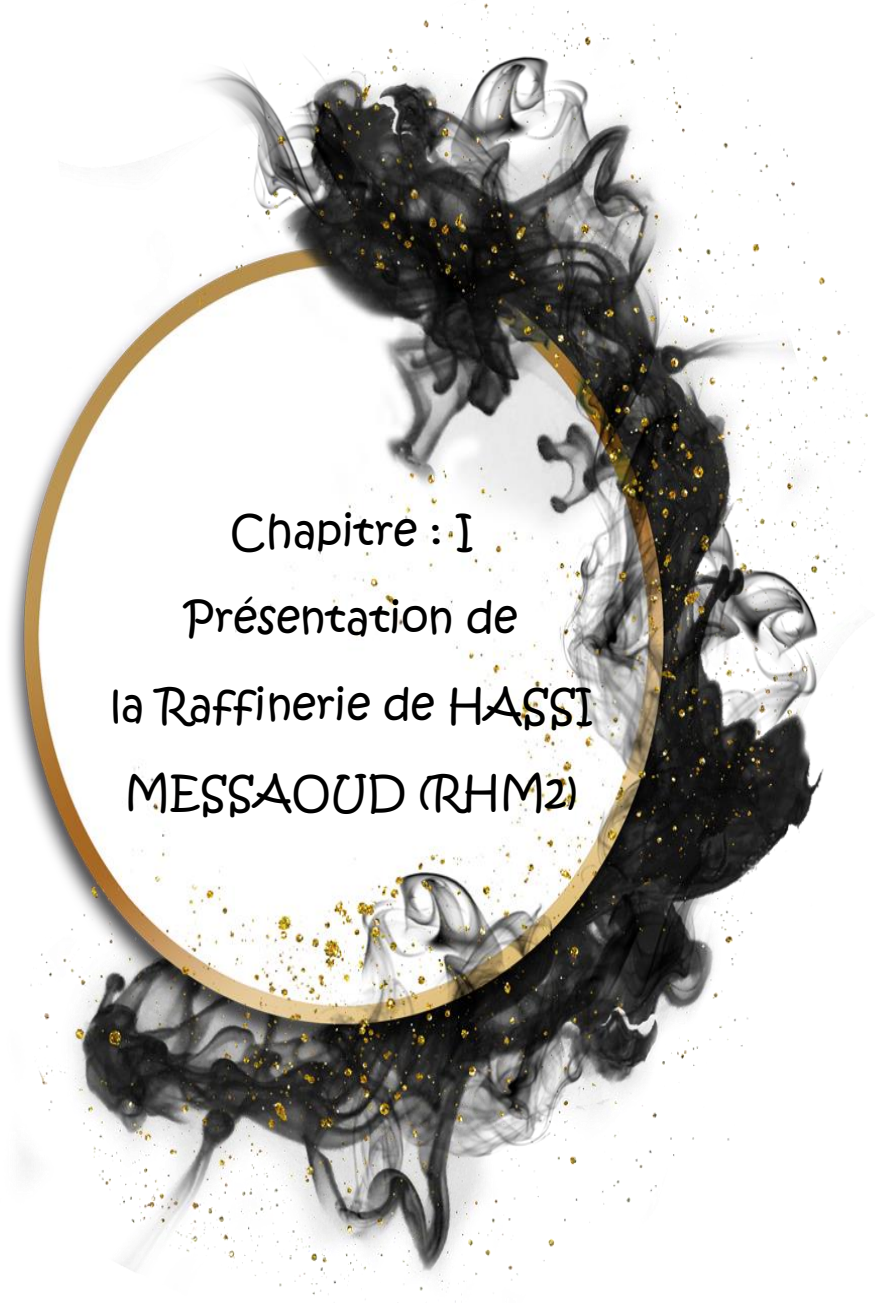
Dans ce contexte, ce projet de fin d'études se concentre sur l'étude et la simulation d'un système de raffinerie. Le travail aborde plusieurs aspects clés, à commencer par la présentation de la région de la nouvelle raffinerie de Hassi Messaoud.

Le deuxième volet du projet se concentre sur la colonne de distillation, élément clé du processus de raffinage. nous nous limiterons à présenter le principe de la distillation, son fonctionnement, ses applications aussi les colonnes de distillation , en mettant en évidence les différentes étapes de séparation des composants dans un mélange complexe.

Le troisième chapitre sera consacré à la régulation industrielle, un aspect essentiel des processus de production. Vous explorerez les différents types de régulation, en accordant une attention particulière à la régulation PID (Proportionnelle-Intégrale-Dérivée), largement utilisée dans l'industrie. De plus, vous étudierez les boucles de régulation simples et en cascade, qui permettent d'optimiser le contrôle des systèmes.

Enfin, dans le quatrième chapitre, vous aborderez la simulation du système de contrôle en transformant le système pneumatique en un système électrique à l'aide du logiciel de programmation DCS YOKOGAWA Centum VP r4. L'objectif sera de mettre en place une régulation PID à travers deux boucles, simple et en cascade, afin d'assurer un contrôle précis et efficace du processus dans la raffinerie.

Ce projet de fin d'études fournira une compréhension approfondie de la raffinerie de Hassi Messaoud, en mettant en évidence la colonne de distillation, les principes de régulation industrielle et la simulation du système de contrôle. Les résultats obtenus contribueront à l'amélioration continue des opérations de raffinage, en assurant des performances optimales et une sécurité accrue.



Chapitre : I
Présentation de
la Raffinerie de HASSI
MESSAOUD (RHM2)

1-Sonatrach

Sonatrach est un groupe pétrolier et gazier intégré sur toute la chaîne des hydrocarbures a été créé en 1963. Il détient en totalité ou en majorité absolue, plus de vingt entreprises importantes sur tous les métiers connexes à l'industrie pétrolière tel que le forage, le raffinage. Il possède aussi des participations significatives (entre 10 et 49% du capital) dans près de 50 entreprises implantées tant en Algérie qu'à l'étranger. En 2004, le Groupe Sonatrach est classé 12eme mondial parmi les compagnies pétrolières selon la revue internationale PIW qui prend en considération des critères physiques (réserves d'hydrocarbures, production) et des critères financiers (chiffres d'affaires, résultats). Cette même revue indique que le Groupe Sonatrach est le 2eme fournisseur mondial pour le gaz naturel liquéfié, le gaz de pétrole liquéfié et e 3eme pour le gaz naturel.

3-Présentation de la région de Hassi Messaoud

Le champ de Hassi Messaoud est situé à 650 km sud- sud-est d'Alger et à 350 km de la frontière tunisienne. Les dimensions du champ atteignent 2500 km² avec une surface imprégnée d'huile d'environ 1600 km², C'est le plus grand gisement d'Algérie qui s'étende sur 53x44 km de superficiel champ de Hassi Messaoud demeure traditionnellement divisé en Hassi Messaoud Nord et Hassi Messaoud Sud.

Actuellement, le champ est subdivisé en 25 zones productives. Ces zones sont relativement indépendantes et correspondent à un ensemble de puits qui communiquent entre eux litho logiquement et se comportent de la même manière de point de vue pression.

Le champ de Hassi Messaoud est divisé d'Est en Ouest en deux parties distinctes : Nord et sud, chacun a sa propre numérotation.

Hassi Messaoud se compose de trois centres de traitement :

CINA : Centre Industriel Nord

CIS : Centre Industriel Sud

UTBS : Unité De Traitement Du Brut Sud



Figure I.1: Champ de l'unité Hassi Messaoud

3-Présentation de la nouvelle raffinerie

La nouvelle raffinerie se trouve au complexe industriel sud (CIS), situé à 3 Km de la ville de Hassi Messaoud.

L'étude de la RHM2 en 1976 a été confiée à :

- ALTEC (Société Algérienne d'Engineering).
- H.E France (Hydrocarbon Engineering).

Le montage a été réalisé par ENGTP : (Entreprise Nationale des Grands Travaux Pétroliers)

La RHM2 a été conçue en 1979, et étudiée pour traiter 1 070 600 T/an de Brut de HASSI MESSAOUD afin de satisfaire à la demande du Gas-oil au sud Algérien, ainsi que l'enrichir en essences pour le parc d'automobile, et en Kérosène pour l'aviation.

3-1-les unités de la nouvelle raffinerie

La Nouvelle Raffinerie RHM2 est composée de quatre unités :

- U 200 : Distillation atmosphérique (Topping)
- U 300 : Pré traitement du naphta (Hydrodésulfuration)
- U 800 : Reforming Catalytique
- U 900 : Stockage, pompes d'expédition et Utilités

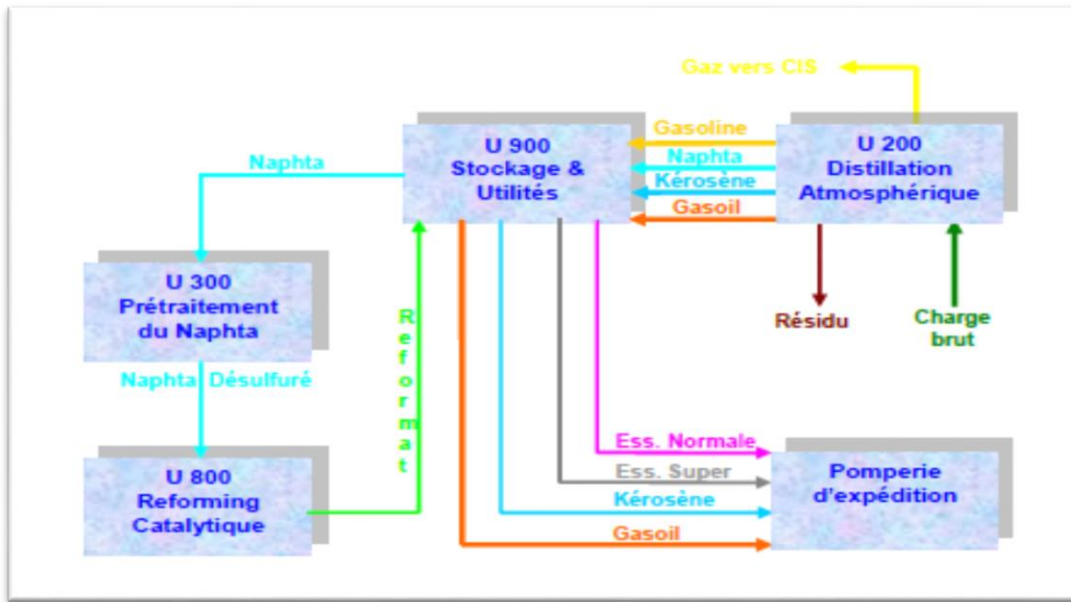


Figure I.2 : Schéma synoptique de la raffinerie

a) Section distillation atmosphérique "Topping" :

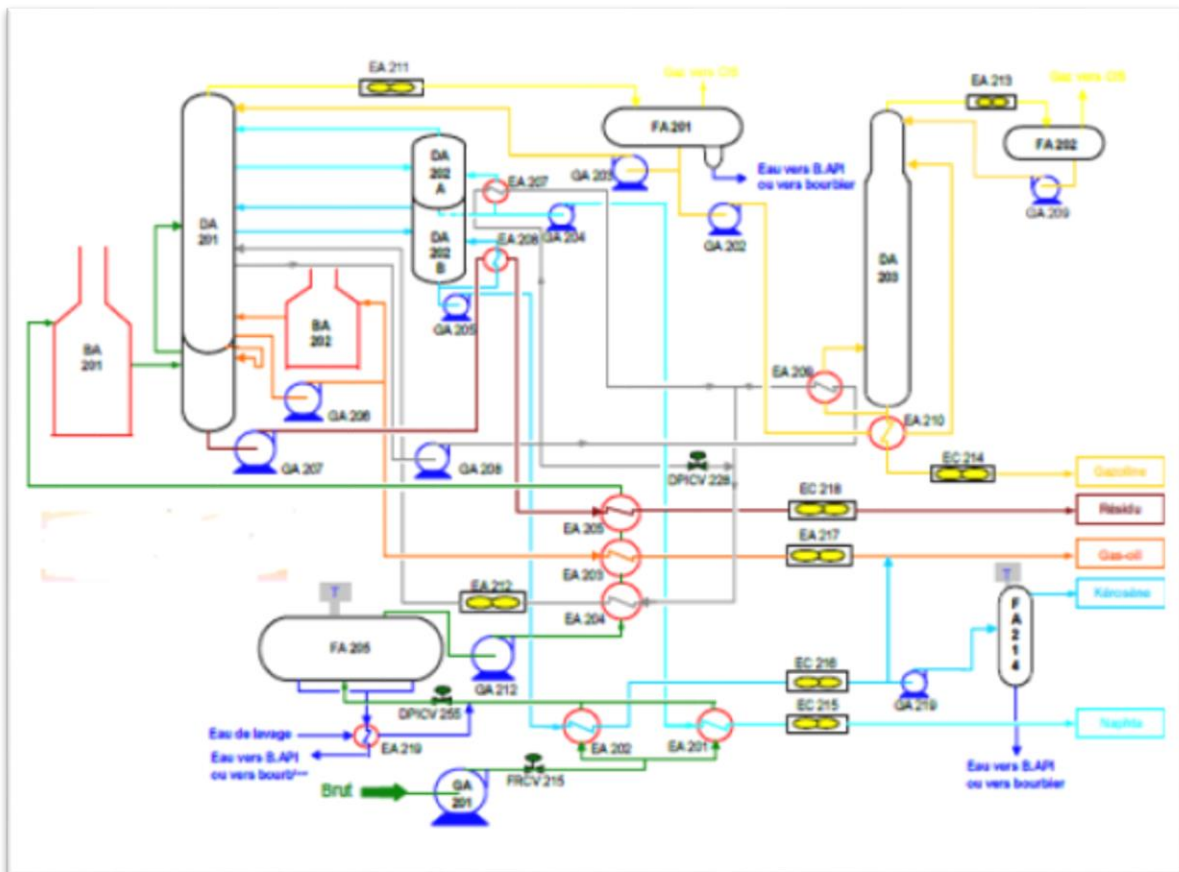


Figure I.3: Schema de process topping /RHM2

- **La charge de brut:** provenant de la pomperie d'expédition du service traitement à une pression de 3,5 b. ; est reprise par la pompe de charge GA 201 en amont de laquelle on lui injecte à l'aide de la pompe GA 213 ~5% vol. d'eau préalablement préchauffée dans l'échangeur EA 219 et ~5 ppm vol. de désémulsifiant à l'aide de la pompe doseuse GA214 par rapport au débit volumique de la charge de brut qui est régulé par le FRC215.

Le mélange est préchauffé à ~70°C dans 02 échangeurs EA201-202 en parallèles ; puis amené dans le champ électrique du dessaleur FA 205 entre 2 électrodes HT.

L'action du champ électrique provoque la coalescence et la précipitation de l'eau qui entraîne, avec elle, les sels contenus dans le brut.

L'eau saturée en sel est envoyée par gravité sous régulation du niveau interface vers borbier après avoir cédé ses calories à l'eau d'injection dans l'échangeur EA219.

Le brut dessalé est repris par la pompe booster GA212, préchauffé dans une série d'échangeurs (EA204-EA203-EA205) à ~170°C ; puis chauffé à 330°C dans le four BA 201 sous contrôle du TRC 203 pour pénétrer dans la zone d'expansion de la colonne DA201 ; cette colonne est équipée de 29 plateaux à clapets ces derniers sont répartis dans 02 zones :

- 1^{re} zone d'expansion 03 plateaux
- 2^e zone de fractionnement 26 plateaux

La partie vaporisée sort du sommet de la zone d'expansion à $\cong 220^{\circ}\text{C}$ pour alimenter la zone de fractionnement au 21^{ème} plateau de la colonne DA201.

Les produits soutirés sont :

- Résidu ou brut réduit
- Gas-oil
- Reflux circulant
- Kérosène
- Naphta
- Gasoline + gaz

- **Le résidu:** est soutiré à ~325°C du fond de la colonne DA 201 à l'aide de la pompe GA207 ; est envoyé vers slop sous contrôle du LRC 201 après avoir cédé ses calories au préchauffage du kérosène dans l'échangeur EA208 et au brut charge dans l'échangeur EA205 ; puis refroidi dans une batterie d'aéro réfrigérants à air humidifié (EC218A-B) pour être mélangé avec le brut au service traitement.

- **Le gas-oil:** est soutiré à ~325°C du fond de la colonne de fractionnement DA201 à l'aide de la pompe GA 206 ; une partie est réchauffée à ~350°C dans le four BA202 sous contrôle du TRC204 pour élimination des fractions légères et maintien du gradient de température dans la colonne de fractionnement et l'autre partie est envoyée au

stockage sous contrôle du LRC 204 après avoir cédé ses calories au brut charge dans l'échangeur EA203 ; puis refroidi dans une batterie d'aéro réfrigérants à air sec (EA 217A-B).

- **Le reflux circulant:** est soutiré à $\sim 230^{\circ}\text{C}$ du 16^{ème} plateau de la colonne de fractionnement à l'aide de la pompe GA208 sous contrôle du FRC214 ; une partie est envoyée sous contrôle du DPIC 228 qui permet de compenser les variations de ΔP à travers les rebouilleurs EA207 et EA209 pour céder ses calories au rebouillage du naphta sous contrôle du TRC207 et de la gazoline sous contrôle du TRC209.

Le retour des rebouilleurs et l'autre partie du reflux circulant retournent sur le 13^{ème} plateau de la colonne de fractionnement après avoir cédé ses calories au brut charge dans l'échangeur EA204 puis refroidi à $\sim 110^{\circ}\text{C}$ sous contrôle du TRC218 dans une batterie d'aéro réfrigérants à air sec

- **Le but du reflux circulant:** est d'assurer le rebouillage du naphta, gazoline, préchauffage de brut et de générer le reflux interne nécessaire à la qualité de fractionnement, cet apport de frigories permet de réduire la charge thermique des aéro-réfrigérants de tête de la colonne DA 201.

- **Le kérosène:** est soutiré à $\sim 200^{\circ}\text{C}$ du 12^{ème} plateau de la colonne de fractionnement, il s'écoule par gravité sous contrôle du LIC 207 dans une petite colonne (Stripper DA 202A) de 06 plateaux.

Le rebouillage du fond de la colonne DA202A se fait dans le rebouilleur EA208 à $\sim 240^{\circ}\text{C}$ par le résidu sous contrôle du TRC207 pour élimination des fractions légères (réglage du point d'éclair), les vapeurs de tête de cette colonne retournent sur le 11^{ème} plateau de la colonne de fractionnement DA201.

Le kérosène, sortie stripper, est repris par la pompe GA 205 puis refroidi dans un aéro-réfrigérant humidifié (EC216) après avoir cédé ses calories au brut charge dans l'échangeur EA202 ; une partie est reprise par la pompe GA 219 sous contrôle du FRC227 pour être envoyée vers le précipitateur électrostatique (FA 214) pour élimination des traces d'eau et subir un traitement à la soude pour le réglage de l'acidité ; avant d'être envoyée au stockage, on lui injecte un produit antistatique (STADIS 450) à l'aide de pompe doseuse GA218 pour le réglage de la conductivité électrique et l'autre partie est mélangée au gas-oil .

- **Le naphta:** est soutiré à $\sim 160^{\circ}\text{C}$ du 6^{ème} plateau de la colonne de fractionnement, il s'écoule par gravité sous contrôle du LIC209 dans une petite colonne (Stripper) DA 202B de 06 plateaux à clapets.

Le rebouillage fond DA 202B se fait par le reflux circulant dans le rebouilleur EA207 à $\approx 170^{\circ}\text{C}$ sous contrôle du TRC208 pour élimination des fractions légères (réglage du point initial), les vapeurs de tête de cette colonne retournent sur le 5^{ème} plateau de la colonne de fractionnement.

Le naphta, sortie stripper, est repris par la pompe GA204, puis refroidi dans un aéro-réfrigérant à air humidifié (EC215) après avoir cédé ses calories au brut charge dans l'échangeur EA201 puis ; envoyé au stockage sous contrôle du FRC217 pour servir de charge à la section prétraitement du naphta et réforming.

• **Les vapeurs** de tête de la colonne de fractionnement DA201 à la température de 90°C sont refroidies dans une batterie d'aéro-réfrigérants à air sec (EA211A à F) ; puis condensées et séparées dans le ballon FA201; la phase gazeuse (riche en C3 - C4) est envoyée sous régulation de pression du ballon (PRC 224) à 1,5 bars au service traitement vers l'unité de récupération 3^{ème} étage.

La phase eau est recueillie dans un appendice au FA 201, puis purgée par gravité vers borbier ou vers l'égout.

La phase liquide (condensat) une partie est reprise par la pompe GA203 pour être envoyée à la colonne de fractionnement DA 201 comme reflux de tête sous contrôle du FRC 209 et l'autre partie est reprise par la pompe GA202 pour être envoyée sous contrôle du LRC 211 du FA 101 vers une colonne de stabilisation (DA 203) de 26 plateaux à clapets.

Le rebouillage fond de la colonne DA 203 se fait par le reflux circulant dans le rebouilleur EA 209 à ~120°C sous contrôle du TRC 209 pour le réglage de la TVR de la gazoline.

La gazoline stabilisée est envoyée vers stock par gravité sous contrôle du LRC 215 après avoir cédé ses calories à la charge de la colonne DA 203 dans l'échangeur EA210 ; puis refroidie dans un aéroréfrigérant à air humidifié (EA214) pour être utilisée à la préparation des essences.

b) - Section pré-traitement du Naphta :

La capacité annuelle de la section pré-traitement de naphta (design) est de : 100 022 tonnes.

Les spécification de la charge naphta (design) :

Dté à 15°C : 0,7437

ASTM : PI 98°C

50% distilé 119°C

PF = 160°C

Composition de la charge (PONA) design :

- Paraffines : 60,7% vol.
- Naphtènes : 32,6% vol.
- Aromatiques : 6,7% vol.

Impuretés contenues dans la charge (design) :

- Soufre 12,2 mg/kg
- Azote 0,3 mg/
- Arsenic 2,0 mg/kg
- Plomb 2,0 mg/kg

La charge de la section pré-traitement provenant d'un bac de naphta est mélangée au refoulement de la pompe de charge GA301 avec un débit (≤ 1000 Nm³/h) d'hydrogène provenant du compresseur GB 801 du reforming.

Ce mélange (Naphta+H₂) est préchauffé dans une batterie d'échangeurs (EA301A-B-C) par l'effluent sortie réacteur K301 à ~230°C, puis chauffé dans le four BA301 à ~320°C (t° requise pour la réaction de désulfuration) avant de rentrer dans le réacteur catalytique K301.

L'effluent sortie réacteur est refroidi à environ 40°C dans une batterie d'aéro-réfrigérants à air humidifié (EC302A-B) après avoir cédé ses calories à la charge dans une série d'échangeurs (EA301A-B-C et EA304), puis flashé dans le ballon séparateur FA301; la phase gazeuse est envoyée sous régulation de pression du ballon FA301 à 20 bars vers torche ou fuel gas.

La phase liquide est strippée dans une colonne (DA 301) de 28 plateaux à clapets après avoir été préchauffée à ~95°C dans l'échangeur EA 304 par l'effluent sortie réacteur K301.

Le fond de la colonne DA301 est repris par la pompe GA303 pour être réchauffé à ~220°C dans le four BA302 pour servir de charge au réforming.

Les vapeurs de tête de la colonne DA301 sont refroidies dans une batterie d'aéro-réfrigérants à air humidifié (EC303A-B), puis condensées et séparées dans le ballon FA302 ; la phase gazeuse est envoyée sous régulation de pression du ballon à 7,5 bars vers torche ou vers fuel-gas et la phase liquide est envoyée en totalité comme reflux de tête de la colonne à l'aide de la pompe GA302.

Voir schéma du process réforming (section 300).

Le but du pré-traitement est d'éliminer les principaux poisons contenus dans la charge (tels que : soufre, composés azotés, oxygène arsenic etc...) et donc d'allonger la durée de vie du catalyseur du réforming.

Ces poisons sont transformés en produits éliminatoires ou retenus sur le catalyseur du pré-traitement.

Réactions fondamentales qui se produisent dans le réacteur du pré-traitement :

- Réaction de désulfuration
- Réaction de dénitrification
- Réaction de désoxygénation
- Réactions diverses

c) - Section Réforming catalytique :

La capacité annuelle de production de la section réforming (design) est de :
100 000 tonnes de réformât.

Le but du réforming catalytique est de transformer les hydrocarbures à bas nombre d'octanes en hydrocarbures à nombre d'octanes élevés.

Le nombre d'octanes d'une essence est une caractéristique fondamentale pour un carburant, son augmentation permet d'augmenter le rapport de compression des moteurs, et donc d'améliorer leurs performances.

La charge désulfurée est mélangée au refoulement de la pompe de charge GA801 avec (~25.103 Nm³) d'hydrogène provenant du compresseur volumétrique (GB801).

Le mélange qui constitue la charge des réacteurs est préchauffé dans une série d'échangeurs (EA803 A-B et EA801) par échange thermique à ~390°C avec les effluents des réacteurs, puis chauffée dans le premier four BA 801 à ~500°C avant de pénétrer dans le premier réacteur K801, puis le même cycle successif (BA 802 →K802 →BA803 →K803).

Ce processus étant endothermique c'est pour cela qu'il est nécessaire de réchauffer le mélange au cours de la réaction pour maintenir un niveau de température suffisant dans les réacteurs.

A la sortie du dernier réacteur, les effluents sont d'abord refroidis à ~346°C dans l'échangeur EA 801 pour céder leurs calories à la charge des réacteurs.

Une partie des effluents est utilisée pour le rebouillage du fond de colonne dans le rebouilleur EA 802 à ~210°C pour le réglage de la TVR du réformat.

Les effluents mélangés sont refroidis à ~160°C dans une batterie d'échangeurs (EA803A-B) pour céder leurs calories à la charge, puis refroidis dans une batterie d'aéro-réfrigérants à air humidifié (EC 804 A-B) avant d'être flashés dans un ballon séparateur vertical (FA801).

La phase gazeuse riche en hydrogène (~80%), une partie est reprise par l'un des compresseurs volumétrique GB801 pour être mélangée avec la charge au refoulement de la pompe de charge et l'autre partie (issue de la régulation de la PRCV 844) est envoyée au pré-traitement sous régulation de pression du ballon FA801 à 20 bars pour être mélangée avec la charge de naphta du pré-traitement.

Le stockage d'hydrogène nécessaire au démarrage de l'unité de réforming se fait dans un ballon FA 807 d'une capacité de 50 Nm³ à l'aide d'un compresseur volumétrique à membrane (GB 802) lorsque la pression du ballon est inférieure à 45 bars.

La phase liquide (réformat non stabilisé) qui constitue la charge de la colonne de stabilisation DA 801 est préchauffée à ~150°C dans une batterie d'échangeurs (EA805A-B) par le fond de la colonne, stabilisée dans une colonne (DA801) de 29 plateaux à clapets, puis envoyée au stockage après refroidissement dans un aéro-réfrigérant à air humidifié (EC807) pour servir à la préparation des essences.

Le rebouillage fond de colonne DA 801 se fait par une partie des effluents sorties réacteurs dans le rebouilleur EA801 à ~210 °C sous contrôle d'une TRCV (vanne à 03 voies) pour le réglage de la tension de vapeur du réformat.

Les vapeurs de tête de la colonne de stabilisation DA801 sont refroidies dans une batterie d'aéroréfrigérants à air humidifiés (EC806 A-B) puis condensées et séparées dans le ballon FA802 ; la phase gazeuse est envoyée sous régulation de pression du ballon à 15 bars vers fuel gas ou vers torche.


La phase liquide, une partie est envoyée comme reflux de tête à l'aide de la pompe GA802 et l'autre partie est envoyée au CIS (3^{ème} étage) ou vers torche.

I-2-2-Date de mise en service :

- Distillation atmosphérique : Mai 1979
- Reforming Catalytique : Octobre 1979

I-2-3-Capacité de traitement design :

- Réformat : 100 000 t /an
- Gas-Oil : 412 000 t /an
- Jet A1 : 40 500 t /an
- Essence Normale : 42 000 t /an
- Essence Super : 42 000 t /an

A decorative graphic featuring a central gold circle. The circle is surrounded by intricate, swirling black smoke or ink patterns that resemble a dragon or a mythical creature. Small, shimmering gold particles are scattered throughout the composition, particularly around the circle and the smoke. The background is plain white.

Chapitre II :
Généralité sur
la distillation

II.1. Introduction :

La distillation est l'un des processus de séparation les plus importants dans le domaine du génie chimique. Elle permet de séparer les différents composants d'un mélange liquide ou d'une solution en exploitant leur différence de température d'ébullition [7]. Elle permet ainsi la séparation des constituants en mettant à profit leur différence de volatilité. Elle représente plus de 30% des opérations unitaires et couvre une large gamme de produits chimiques, notamment le pétrole et ses dérivés [8].

La distillation est une technique extrêmement ancienne qui est devenue la méthode la plus courante pour la séparation des mélanges. Ainsi, elle est devenue indispensable dans toutes les industries chimiques. Dans cette optique, nous nous limiterons à présenter le principe de la distillation, son fonctionnement, ses applications aussi les colonnes de distillation [9].

II.2. Généralités sur le pétrole :

A première vue d'une raffinerie, on est frappé par l'importance et la complexité de ses unités et de son caractère quasiment statique de l'ensemble de ses installations. De même, celui qui cherche à s'initier aux techniques pétrolières est toujours étonné par le caractère de la multiplicité des différents éléments de cette industrie. Que ce soit la matière première, le pétrole brut ou la gamme si variée des produits finis ou encore la diversité des techniques d'élaboration, le raffinage se présente comme un art complexe regroupant plusieurs disciplines toutes en bonne harmonie chacune au voisinage de l'autre [8].

Le pétrole, une source d'énergie fossile, est couramment utilisé dans les secteurs de la pétrochimie et des transports. Cette ressource a été découverte en Pennsylvanie au milieu du XIXe siècle sous forme d'huile minérale provenant de la décomposition de composés organiques carbonés sédimentaires. Une fois extrait des gisements souterrains, le pétrole brut est acheminé par pipelines avant d'être raffiné ou transformé. Considéré comme la principale source d'énergie, la production mondiale de pétrole a atteint 84 millions de barils par jour en 2005 [10].

Le terme « pétrole » est dérivé du latin Pétra-Oléum qui signifie littéralement « huile de pierre ». C'est un liquide inflammable de couleur variant du jaune au noir, composé principalement de molécules d'hydrocarbures formées de carbone et d'hydrogène. Le pétrole contient également des molécules plus complexes appelées résines ou asphaltènes, qui contiennent de l'oxygène, de l'azote et du soufre. Ce liquide s'est formé dans les bassins sédimentaires par transformation de la matière organique.

Pour que le pétrole se forme, il est essentiel que de grandes quantités de matière organique soient rapidement enfouies afin de limiter les dégradations bactériennes en présence d'oxygène. Certains des composants du pétrole peuvent être gazeux, liquides ou solides, selon la température et la pression. Cela explique pourquoi la consistance du pétrole varie, pouvant être plus ou moins visqueuse ou liquide [11]. En d'autres termes, le pétrole brut est un mélange complexe d'un grand nombre d'hydrocarbures qui sont les éléments essentiels et qui se divisent en plusieurs familles chimiques en fonction de leur structure moléculaire[8].



Figure II.1 : Images du pétrole brut [11].

II.2.1 Raffinage du Pétrole :

Le raffinage du pétrole désigne l'ensemble des traitements et transformations visant à tirer du pétrole le maximum de produits à haute valeur commerciale. Selon l'objectif visé, en général, ces procédés sont réunis dans une raffinerie. La raffinerie est l'endroit où l'on traite le pétrole pour extraire les fractions commercialisables. Il existe des raffineries simples ou complexes. Les raffineries simples sont constituées seulement de quelques unités de traitement tandis que les raffineries complexes en possèdent bien plus [11].



Figure II.2: Raffineries simple [11].



Figure II.3: Raffineries complexe [11].

II.2.2. Les procédés de séparation du pétrole brut :

La première étape du raffinage est le fractionnement du pétrole brut dans des tours de distillation atmosphérique et sous vide. La distillation est un procédé qui consiste à séparer les différents composants d'un mélange liquide en fonction de leur température d'ébullition [11].

La distillation du pétrole brut est réalisée en deux étapes complémentaires. Une première distillation dite atmosphérique permet de séparer les gaz, les essences et le naphta (coupes légères), le kérosène et le gazole (coupes moyennes) et les coupes lourdes. Les résidus des coupes lourdes subissent ensuite une distillation dite sous vide afin de séparer certains produits moyens [12].

II.2.2.1. Distillation atmosphérique

La distillation atmosphérique est un procédé qui consiste à séparer les fractions d'hydrocarbures contenues dans le pétrole, les unes des autres. (Ne cherche pas à séparer les corps purs) Cette colonne est de forme cylindrique, est constituée de plateaux perforés et munis de calottes et de clapets. En générale, le nombre de plateaux est d'une quarantaine (entre 30 et 50 dépendant de la gamme de bruts qu'on veut y traiter).

La colonne possède une entrée qui se situe un peu au-dessus du fond de la colonne pour l'arrivée du brut à traiter.

Cette colonne comporte différentes sorties (ou soutirages) pour extraire les différents produits pendant la distillation. En voici le déroulement plus détaillé :

Le brut qui arrive, passe à travers un premier train d'échangeurs pour être chauffé à la bonne température (vers 110°C), puis il est dessalé s'il contient beaucoup de sel dans une unité de « dessalage » où, par adjonction d'eau douce et d'un champ électrostatique, ce brut est déchargé de son sel.

Le brut passe ensuite dans un deuxième train d'échangeurs, puis un four où sa température est portée à environ 360 °C. Il entre après dans la première colonne de fractionnement (colonne de distillation atmosphérique).

Le liquide descendant s'enrichit de tous les constituants lourds. La phase vapeur qui monte vers les plateaux supérieurs absorbe au contraire tous les constituants légers et la concentration de ceux-ci est de plus en plus grande dans cette phase.

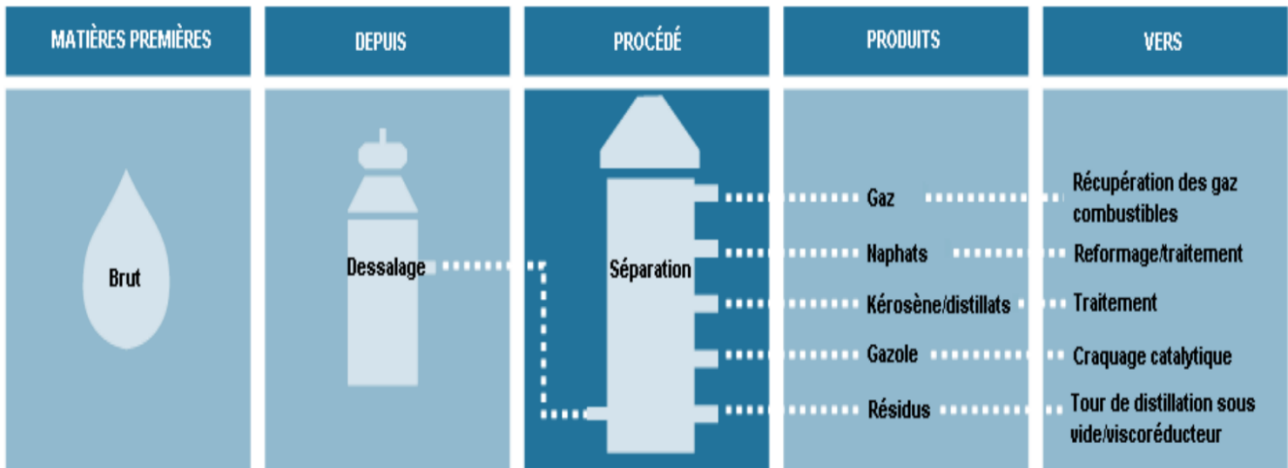
Il s'établit de la sorte dans la colonne, de haut en bas, un gradient croissant de température puisque celle-ci s'élève à 70 °C en haut de colonne pour atteindre 350 °C en fond de colonne.

Plus le taux de reflux est élevé, meilleure est la séparation des différents produits. Ce taux tourne en général autour de 7 dans la colonne atmosphérique.

Les fractions soutirées latéralement sont soumises, en plus, à un fractionnement complémentaire appelé « stripping » dans des colonnes annexes appelées « strippers », afin d'éliminer les fractions légères encore dissoutes. Ceci se fait par injection de vapeur d'eau, à contre-courant.

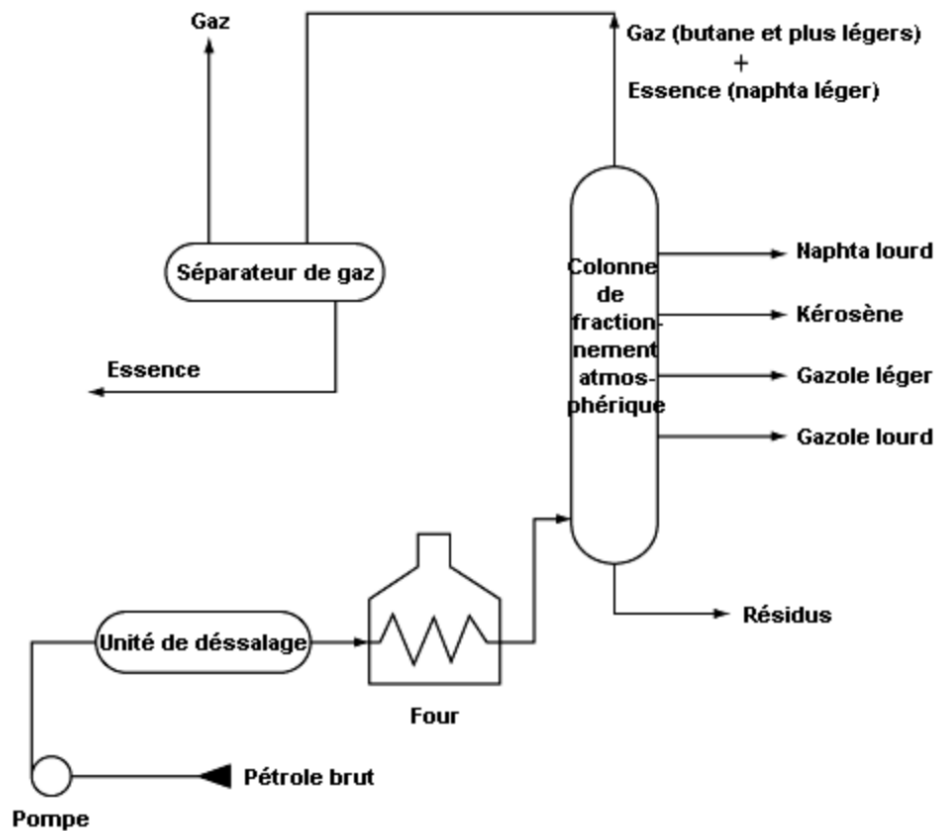
Le résidu peut être utilisé directement dans la fabrication de fuels lourds commerciaux ou subir une nouvelle distillation appelée distillation sous- vide.

Par des soutirages latéraux, placés aux bons endroits tout au long de la hauteur de la colonne, on recueille en tête de colonne la fraction la plus légère contenant des gaz liquéfiés et du naphta, ensuite un peu plus bas du kérosène, du gasoil léger, des gasoils moyen et lourd et enfin du résidu atmosphérique [12].



Source: d'après Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 1996.

Figure II.4 : Procédé de distillation atmosphérique [11].



Source: d'après Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 1996.

Figure II.5 : Schéma du procédé de distillation atmosphérique [11].

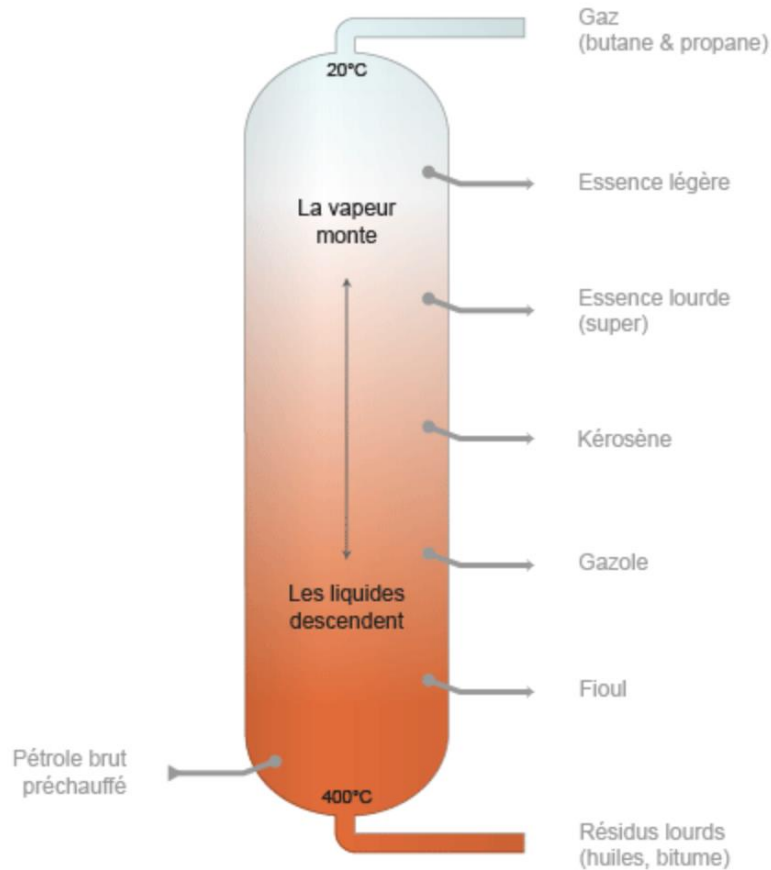


Figure II.6 : Distillation atmosphérique [17].

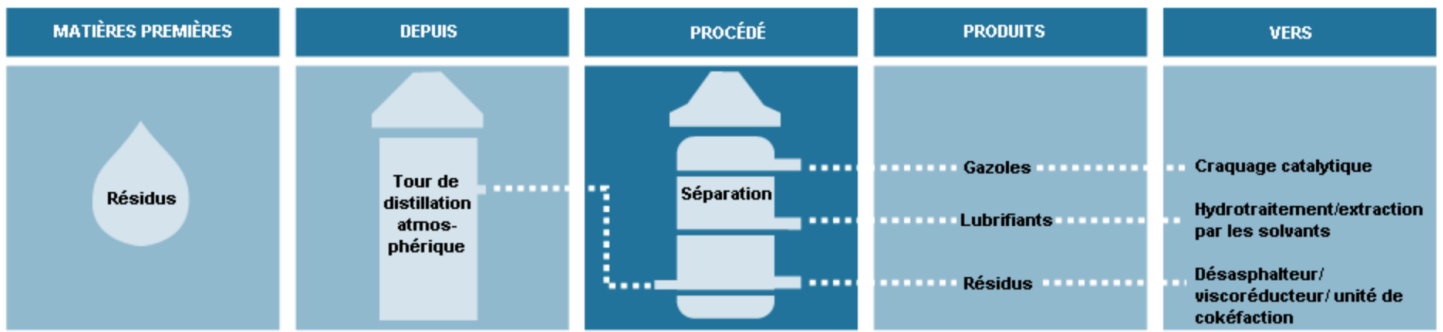
II.2.2.2. Distillation sous vide :

Après ce traitement préliminaire, toutes les fractions soutirées vont servir de charges pour alimenter les autres unités de traitement en aval. La fraction résiduelle, appelée résidu atmosphérique contient des hydrocarbures à longues chaînes et plus les chaînes sont longues plus elles sont fragiles, dont susceptibles d'être scindées en plusieurs morceaux si le chauffage continue sous la pression atmosphérique.

Afin d'éviter ces coupures intempestives de chaînes, on fait la séparation des produits de ce résidu atmosphérique sous vide.

La colonne sous vide est constituée seulement de 8 à 20 plateaux ou de Garnissage, fonctionnant sous une pression de l'ordre de 40 mm de Hg Ici la vaporisation de la charge est favorisée par une injection de vapeur d'eau et le vide est réalisé à l'aide d'une série d'éjecteurs à vapeur.

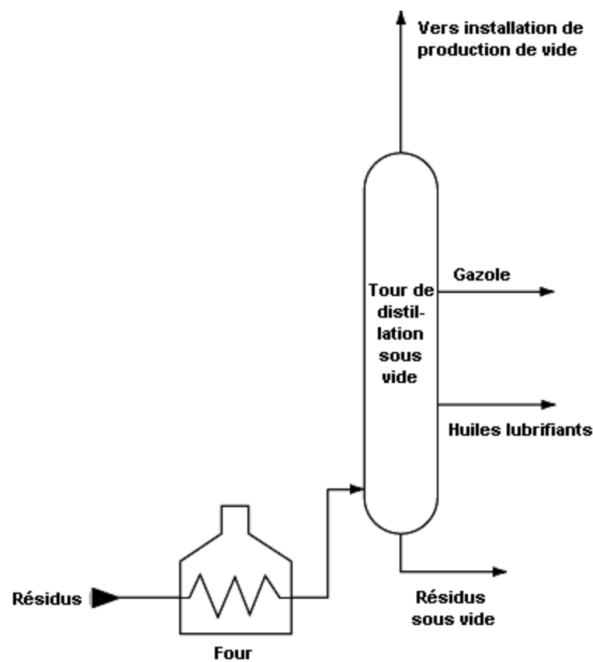
On peut soutirer à la sortie de la colonne sous vide du :
Gasoil sous-vide, Distillat léger sous-vide, Distillat lourd sous-vide, Résidu sous-vide.



Source: d'après Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 1996.

Les deux premières fractions peuvent servir de compléments dans les différents mélanges de produits finis, mais aussi comme charges pour une unité de craquage catalytique. Quant au résidu sous-vide il va servir de charge au viscoréducteur [12].

Figure II.7 : Procédé de distillation sous vide [11].



Source: d'après Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 1996.

Figure II.8 : Schéma du procédé de distillation sous vide [11].

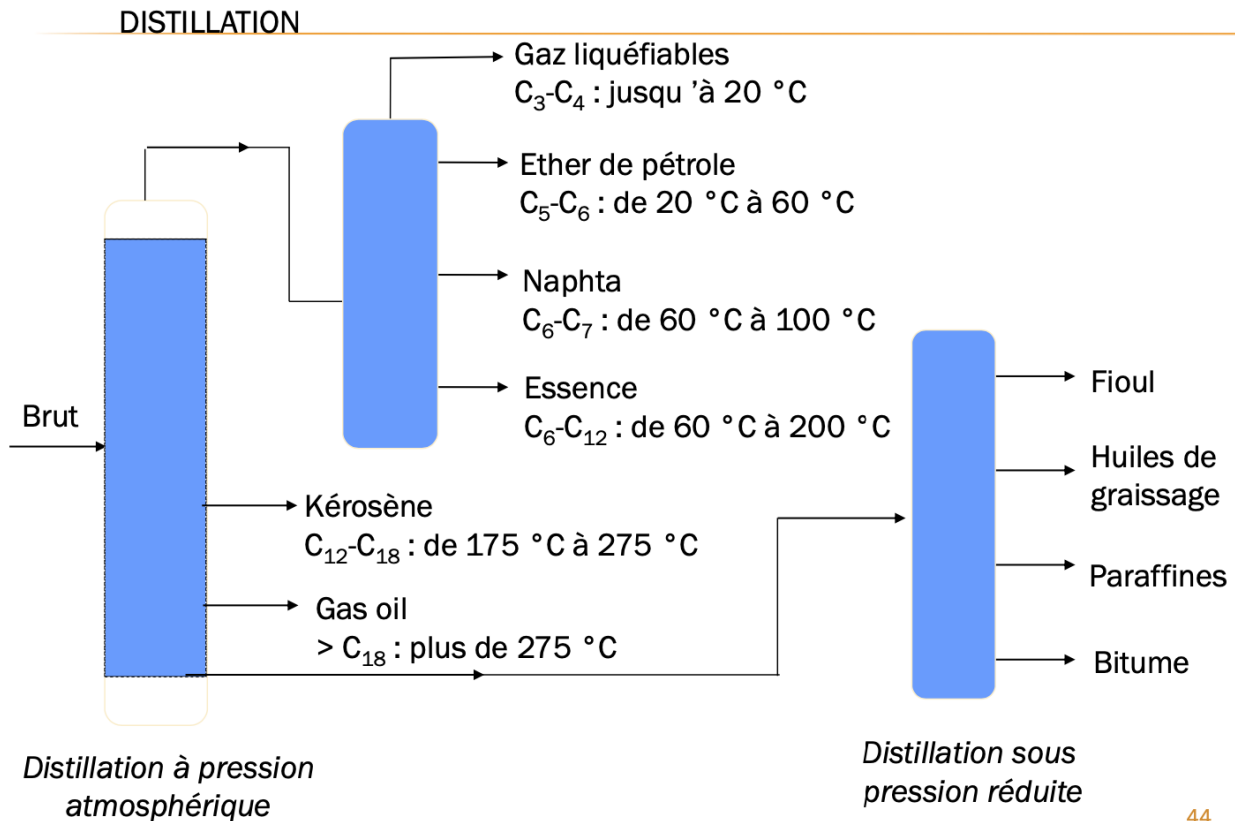


Figure II.9 : Schéma du procédé de distillation atmosphérique et sous vide [12].

II.3. La Distillation :

II.3.1 Définition de la distillation :

Le fractionnement initial du pétrole brut permet d'obtenir les différentes coupes pétrolières. Il est basé sur le procédé de distillation qui met en jeu les différences de volatilités entre les différents constituants des pétroles bruts.

La distillation atmosphérique associée aux colonnes de séparation des gaz et des essences permet la séparation en différentes coupes de la plus légère à la plus lourde :

- Gaz combustibles (C1, C2).
- Propane (C3).
- Butane (C4).
- Essence légère (C5—C6).
- Essence lourde (C7—C10).
- Kérosène (C10—C13).
- Gasoil (C13—C20/25).
- Résidu atmosphérique (C20/25+) [12].

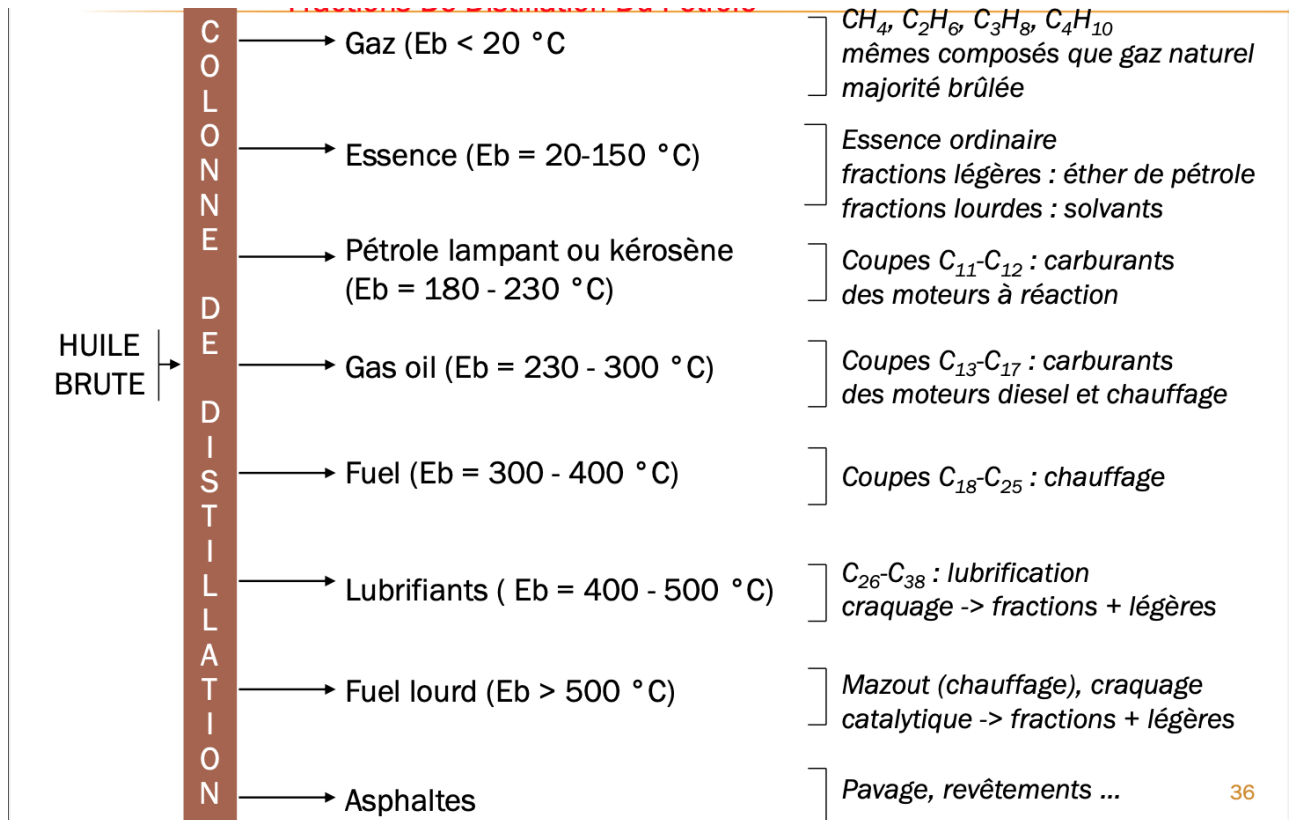


Figure II.10 : schémas de Fractions De Distillation Du Pétrole [12].

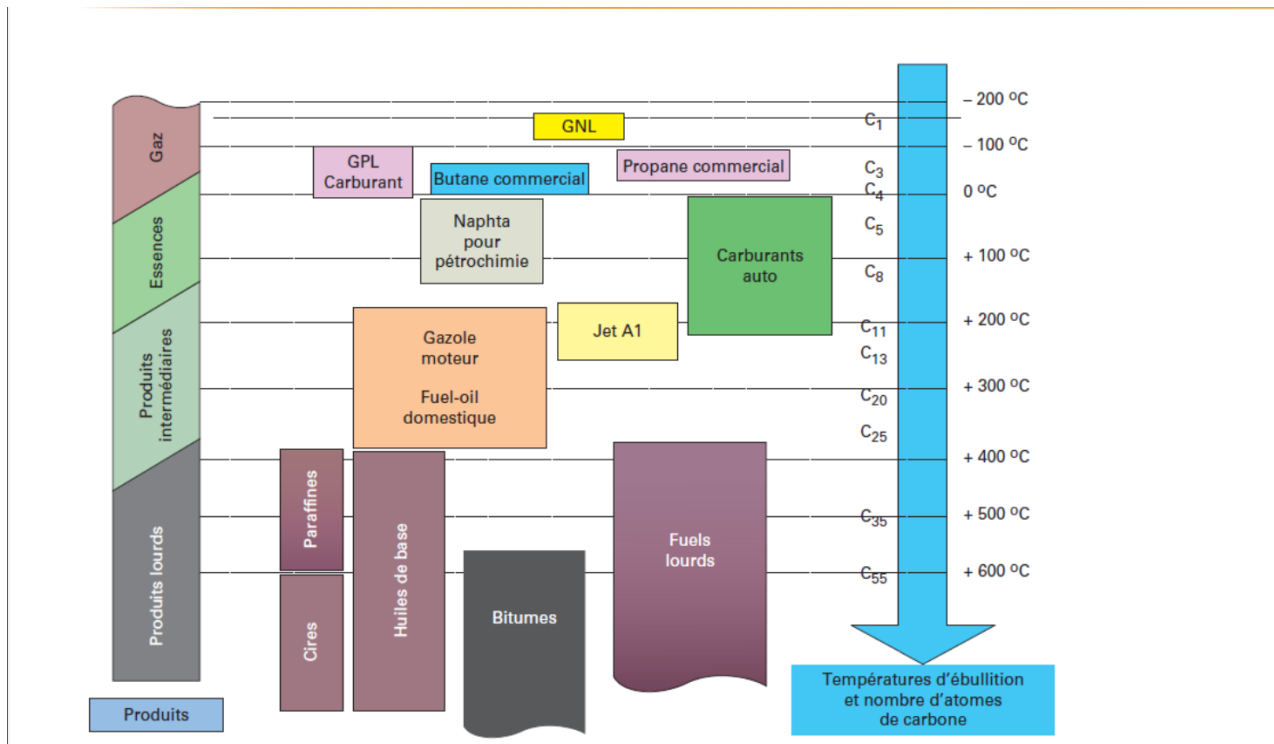


Figure II.11 : schémas des différentes coupes pétrolières [12].

II.3.2. But de la distillation :

La distillation est très utilisée dans l'industrie pétrochimique, ceci pour des raisons précises

- Élimination d'un produit en cours de réaction chimique.

- Isolement de plusieurs composés obtenus après réaction chimique.
- Élimination d'un solvant.
- Isolement d'un composé naturel.
- Purification d'un composé [9].

II.3.3. Les types de distillation :

La distillation peut être classée en différentes catégories selon :

II.3.3.1. La composition du mélange :

Les deux types de distillations sont : la distillation binaire et la distillation à plusieurs composants.

- **La distillation binaire**

Le mélange est séparé en deux produits liquide seulement.

- **La distillation multi-composante**

C'est une distillation commerciale où le mélange est séparé en plusieurs produits liquides, comme le raffinage du pétrole.

II.3.3.2. Le mode de traitement :

La distillation peut être effectuée d'une manière continue ou discontinue avec une colonne à plateaux ou à garnissage

- **Distillation continue**

Le mélange liquide à traiter est introduit en permanence sur le plateau d'alimentation de la colonne. Le produit le plus volatil est extrait continuellement en tête de colonne (distillat) alors que le produit le moins volatil est éliminé sans interruption en pied de colonne (résidu).

La plupart des distillations sont conduites en mode opératoire continu, adapté pour les forts tonnages des industries de la chimie lourde et pétrochimique [14].

- **Distillation discontinue ou (distillation batch)**

Le mélange liquide à traiter est introduit dans le bouilleur de façon transitoire. Pendant la distillation, la composition du distillat peut varier et le distillat est souvent séparé en plusieurs fractions. L'opération discontinue présente l'avantage de pouvoir séparer plusieurs produits avec un appareillage relativement simple mais l'inconvénient d'être grosse consommatrice en temps et en énergie].

Elle est utilisée pour les produits à forte valeur ajoutée dans l'industrie pharmaceutique, agroalimentaire, régénération de solvant [14].

II.4. La Colonne e Distillation :

II.4.1. Définition de la colonne de distillation :

La distillation est la méthode de séparation la plus populaire et la plus importante dans les industries pétrolières pour la purification des produits finis. Les colonnes de distillation sont composées de plusieurs composants, chacun d'entre eux est utilisé soit pour transférer l'énergie thermique ou pour améliorer le transfert de masse. Une typique colonne de distillation contient une colonne verticale où des plateaux ou des plaques sont utilisées pour améliorer la séparation de composants, un rebouilleur pour fournir de la chaleur pour la vaporisation nécessaire du fond de la colonne, un condenseur pour refroidir et condenser la vapeur du haut de la colonne, et un tambour de reflux pour maintenir la vapeur condensée de sorte que le reflux liquide peut être recyclé du haut de la colonne [14].

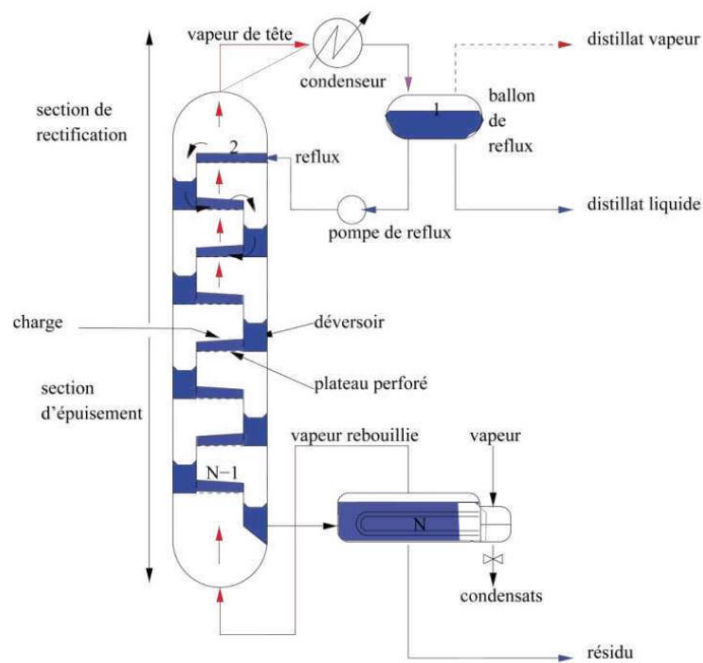


Figure II.12 : Schéma général d'une colonne de distillation [14].



Figure II.13 : Colonnes de distillation [16]

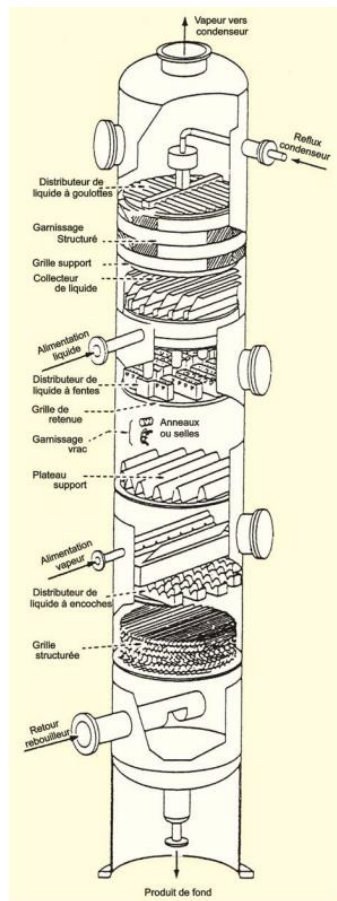


Figure II.14 : Vue écorchée d'une colonne [16].**Figure II.15** : Colonne de distillation

II.4.2. Principaux composants des colonnes de distillation :

➤ **La virole :**

La virole est l'enveloppe de la colonne. C'est un corps cylindrique en tôles d'acier soudées. Elle doit résister aux efforts de pression, de dilatation et éventuellement aux efforts du vent et aux séismes. Elle peut être constituée de sections de différents diamètres. Si le débit et les propriétés physiques du flux de vapeur varient fortement entre le pied et la tête de la colonne, il sera plus économique d'ajuster la colonne aux conditions opératoires et de prévoir une colonne à deux ou même trois diamètres. On distingue deux types de viroles : Les viroles monobloc et les viroles tronçon [15].

➤ **Les fonds :**

La colonne de distillation a deux fonds (fond supérieur, fond inférieur) qui ont diverses formes. Les fonds les plus utilisés sont les fonds elliptiques et les fonds hémisphériques. A égalité de résistances et de diamètres, les fonds sphériques sont moins épais que les fonds elliptiques. Les fonds elliptiques sont livrés emboutis jusqu'à 3m de diamètre. Les fonds sont soudés à la virole : toutefois dans certains cas particuliers et pour des diamètres ne dépassant pas

1.5m, le fond supérieur pourra être rapporté avec des brides boulonnées. Le métal des fonds est le même que celui de la virole [15].

➤ **Ballon de tête et Ballon de fond :**

On dispose en haut et en bas de deux ballons contenant des quantités du liquide nettement plus importantes que sur les plateaux :

Grâce au ballon de tête, on peut augmenter le débit de reflux. Donc les débits internes de liquide augmentent.

Par représentation du contenu du ballon de fond, on peut augmenter les débits internes de la vapeur.

Pour disposer à tout instant de ces retenues, on régule les niveaux du liquide dans les deux ballons [15].

➤ **Les plateaux :**

Le plateau est l'élément actif de la colonne, il a pour fonction la mise en contact de la phase liquide et de la phase gazeuse de façon à amener celles-ci le plus près possible de l'état d'équilibre.

Chaque plateau est alimenté à la fois par la phase vapeur sortant du plateau inférieur et par la phase liquide sortant du plateau supérieur, le long de la colonne de distillation, les constituants d'un mélange initial vont se déplacer en masse d'une phase à une autre tel que le liquide descend de plateau en plateau et sous l'effet de chaleur, les produits les plus volatils se vaporisent. Pour se faire, on utilise directement l'énergie de pression de la vapeur pour disperser les phases l'une de l'autre. Il existe donc deux types de dispositifs utilisés :

- Une dispersion du gaz dans une phase liquide continue qui correspond aux colonnes à plateaux.
- Une dispersion du liquide dans une phase gazeuse continue qui correspond aux colonnes à garnissage.

A part ces quelques dispositifs particuliers, ils peuvent se ranger en deux grandes catégories :

- Les plateaux à courants croisés avec trop-plein.
- Les plateaux à contre-courant sans trop-plein.



(a) : Plateau à courants croisés.

(b) : Plateau à contre-courant.

Figure II.16 : Type de plateaux d'après l'écoulement des phases [15].

Dans les plateaux à courants croisés, la phase gazeuse ascendante traverse le liquide qui se déplace horizontalement sur le plateau. Le liquide s'écoule par gravité d'un plateau à l'autre par une conduite (trop-plein). Les plateaux à contre-courant, ne comportent pas un barrage de sortie ni un trop-plein. Le liquide et la vapeur s'écoulent par les mêmes orifices [15].

➤ **Les garnissages :**

Le garnissage est déposé sur toute la section de la colonne soit en vrac soit donné en fraction. Il existe plusieurs garnissages qui diffèrent par la forme et les matériaux de construction. Les deux phases liquide et vapeur circulent en contre-courant, le liquide ruisselle sur les éléments du garnissage formant un film qui est léché par la phase gazeuse [15].

➤ **Le rebouilleur :**

Il est constitué d'un four ou d'un échangeur sert à garder une certaine température au fond de colonne [15].

➤ **Le condenseur :**

Le condenseur est un appareil d'échange thermique où la condensation est un procédé de changement de phases, il permet d'obtenir le flux liquide.

Il a pour rôle de condenser totalement ou partiellement les vapeurs de tête de la colonne de manière à disposer du reflux qui permet d'initier le courant liquide sur les plateaux [15].

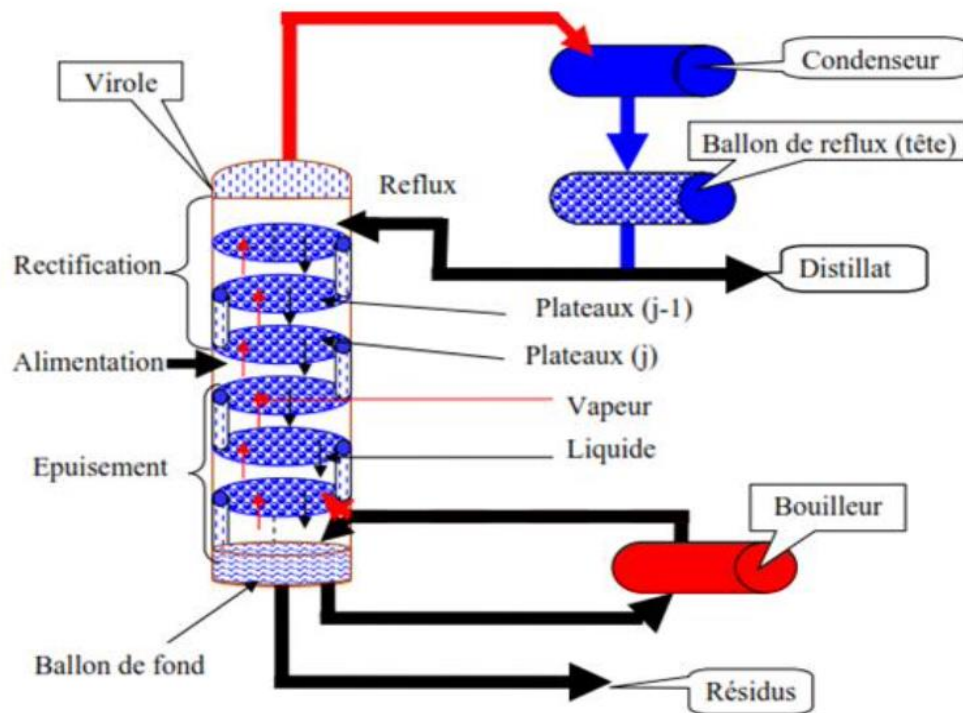


Figure II.17 : Principaux composants des colonnes de distillation [15].

II.4.3. Principe de fonctionnement d'une colonne de distillation :

Le principe de fonctionnement d'une colonne de rectification consiste à déplacer à pression constante, les équilibres de phases à l'aide d'un gradient de température créé par une source froide (le condenseur (Q_D)) qui génère un flux de liquide froid descendant dans la colonne et une source chaude (bouilleur (Q_B)), générant un flux montant de vapeur chaude (figure II.18).

Pour assurer le transfert de chaleur et de matière, des éléments de contact sont placés à l'intérieur d'une virole. Ils sont constitués soit par des plateaux dont le principe de base est de mettre en contact le flux de vapeur montant vers la tête de la colonne et la phase liquide se trouvant à la surface de l'aire active du plateau, soit par des garnissages dispersant les deux phases et assurant une bonne surface d'échange. A chaque contact la vapeur s'enrichit en constituants légers et le liquide se concentre en produits lourds.

Le bouilleur fonctionne à l'aide d'un fluide extérieur (vapeur, huile chaude).

Le condenseur travaille dans des conditions différentes, selon que l'on cherche à obtenir une coupe légère, distillat sous forme liquide ou sous forme vapeur [9].

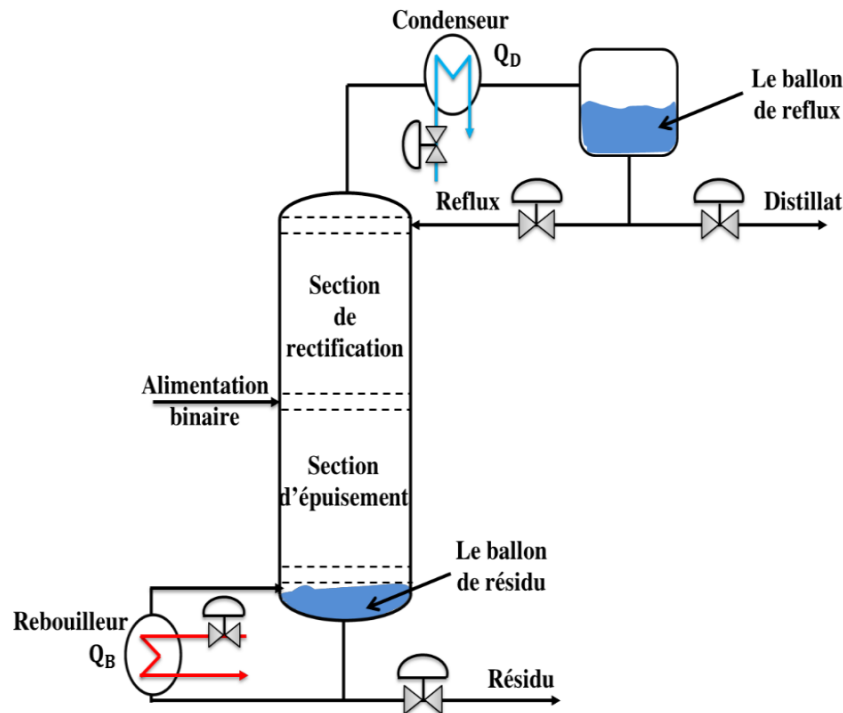


Figure II.18 : Schéma de principe d'une colonne de distillation [9].

II.4.4. Les différents types de colonnes :

Les colonnes ont une forme cylindrique, leur hauteur est toujours très grande comparée à leur diamètre.

Les plus utilisées sont équipées de plateaux (ils peuvent être de plusieurs types) ; mais il existe aussi des colonnes à garnissage (là aussi plusieurs types de garnissage sont disponibles sur le marché).

Dans le cas des colonnes à plateaux on dispose régulièrement entre les plateaux d'"accès" appelés "trou de poing" et "trou d'homme", qui permettent d'entretenir le matériel sans avoir à démonter l'ensemble de la colonne. Il en va de même pour les colonnes à garnissage.

Les matériaux utilisés pour les colonnes peuvent être : l'acier inoxydable, le cuivre, le verre, ou encore des matières plastiques (pour les faibles températures) [16].



Figure II.19 : Colonne de Distillation [16].

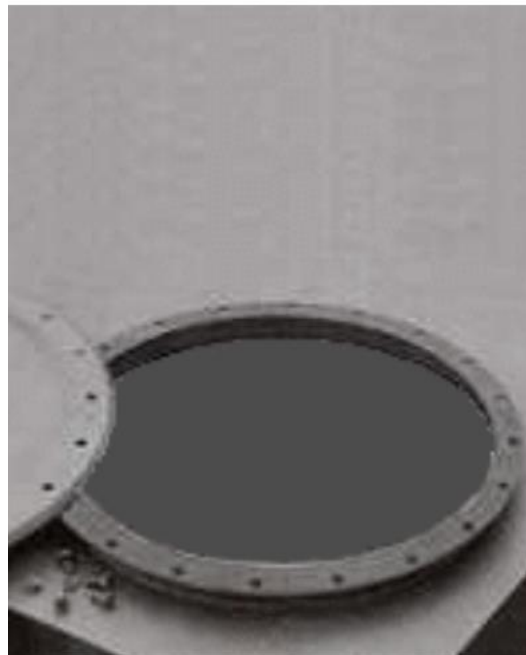


Figure II.20 : Trou d'homme [16].

II.4.4.1. Les colonnes à plateaux :

Les colonnes à plateaux ont à l'origine été inventées pour la distillation, mais elles peuvent également être utilisées comme absorbeur mais en fait, tous les types de plateaux peuvent être utilisés.

Les plateaux, éléments actifs d'une colonne, sont en fait conçus pour assurer la dispersion de la phase gazeuse au sein du liquide en utilisant directement l'énergie de pression de cette phase

gazeuse. Les dispositifs de dispersion divisent la vapeur en jets indépendants et augmentent la surface de contact avec le liquide.

Au sein des colonnes à plateaux, le mouvement de la phase liquide a toujours lieu du haut vers le bas.

Mis à part certains dispositifs, dans leur ensemble, les plateaux peuvent être classés en deux grandes catégories :

- Les plateaux à courants croisés avec trop plein.
- Les plateaux à contre-courant sans trop-plein [16].

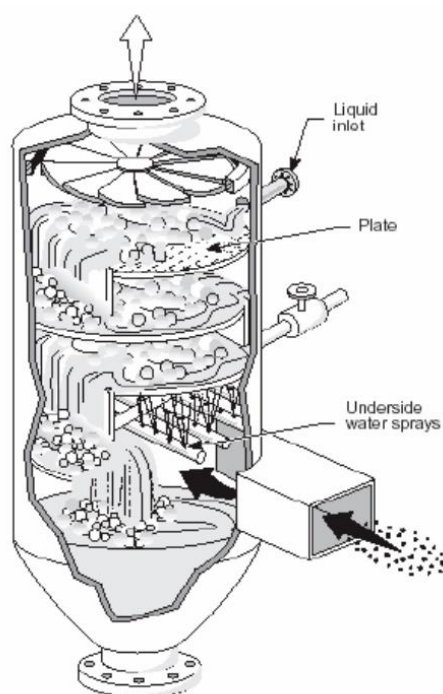


Figure II.21 : Exemple d'une colonne à courant croisé [16].

II.4.4.1.1. Plateaux à courants croisés avec trop plein

Principe de fonctionnement

Dans les colonnes à plateaux à courants croisés, la phase gazeuse ascendante traverse le liquide qui se déplace horizontalement sur le plateau. Un barrage de sortie maintient sur le plateau une couche de liquide, qui s'écoule par gravité d'un plateau à l'autre, par une conduite (trop plein, cf. schéma suivant) [16].

Différents types de plateaux à courants croisés

Il existe différents types de plateaux qui varient selon les fournisseurs.

Le choix du plateau dépend principalement du débit du liquide, de la souplesse d'utilisation souhaitée et du coût de l'installation.

Les principaux types de plateaux sont : les plateaux perforés, à calottes, à soupapes, à tunnels et à fentes [16].

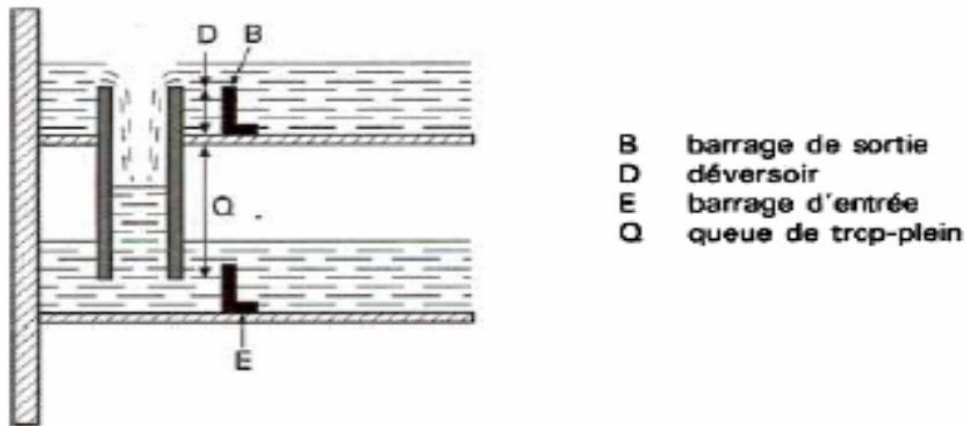


Figure II.22: Le trop – plein [16].

➤ Plateaux à calottes/cloches

Principe de fonctionnement

Le gaz arrive par le bas, passe par la cheminée, puis change de direction et sort par la fente de la calotte. Le niveau du liquide est compris entre la sortie de la fente et le sommet de la cheminée.

Pour augmenter le temps de séjour (la quantité) du liquide sur le plateau, on augmente la hauteur de la cheminée. Le gaz sortant de la fente barbotte dans la couche de liquide et crée une émulsion dans laquelle se produit l'échange de matière [16].

Domaine d'application

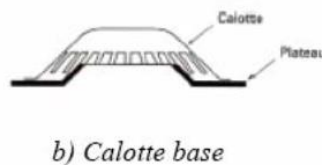
Les plateaux à calottes classiques sont les plus anciens et sont, en raison de leur coût, de moins en moins utilisés dans l'industrie.

Toutefois ils sont encore recommandés dans des cas particuliers :

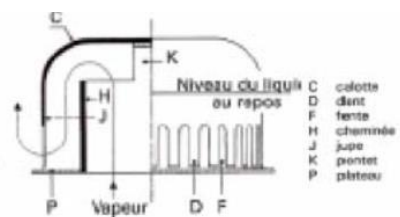
- Fonctionnement à très faible débit.
- Distillation sous vide moyen.
- Temps de séjour important sur le plateau, nécessité par une réaction Chimique lente [16].



a) Plateau à calottes



b) Calotte base



c) Calotte cylindrique

Figure II.23 : Plateau à calottes [16].

II.4.4.1.2. Types de plateaux à contre-courant :

➤ **Plateaux perforés sans déversoir**

Dans le cas des plateaux perforés sans déversoirs, les trous sont plus grands que dans les plateaux avec déversoir, car le liquide passe par les mêmes orifices que le gaz [16].

➤ **Plateaux TurboTRAIN**

Ce type de plateau a été inventé par Shell. Son principe, est le suivant : des barreaux égaux, parallèles et équidistants, de section rectangulaire forment un plancher ajouré horizontal.

Ce plateau a le gros avantage de pouvoir être construit en matériau quelconque.

Il ne peut fonctionner que dans une zone étroite de débits. Son fonctionnement est semblable à celui des plateaux perforés sans déversoir [16].

II.4.4.2. Les colonnes à garnissage :

Les colonnes à garnissage sont généralement utilisées pour l'absorption de gaz et de substances corrosives.

De même il sera préférable d'utiliser une colonne à garnissage pour :

Les opérations discontinues car la rétention du liquide dans ce type de colonne est faible.

En considérant la façon d'alimenter la colonne en gaz et en liquide, on peut distinguer trois types de colonnes :

- À co-courant.
- À contre-courant.
- À flux croisé.

Dans les colonnes à garnissage, le liquide est pulvérisé sur le garnissage placé entre des grilles. La phase liquide qui contient l'absorbant, forme un film sur les éléments de garnissage (zone de mouillage) [16].

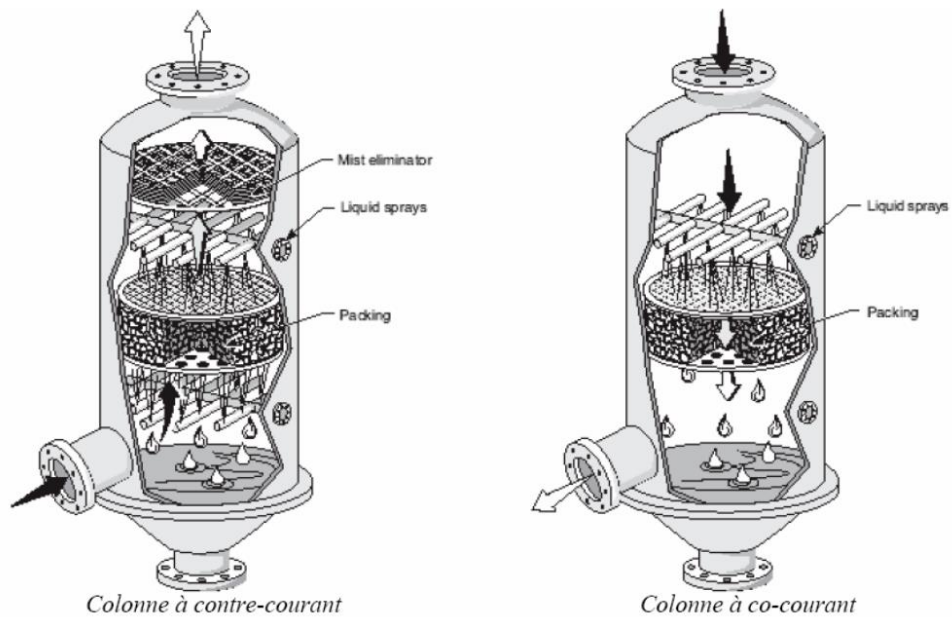


Figure II.24: Différents arrangements de distribution des phases dans les colonnes à garnissage [16].

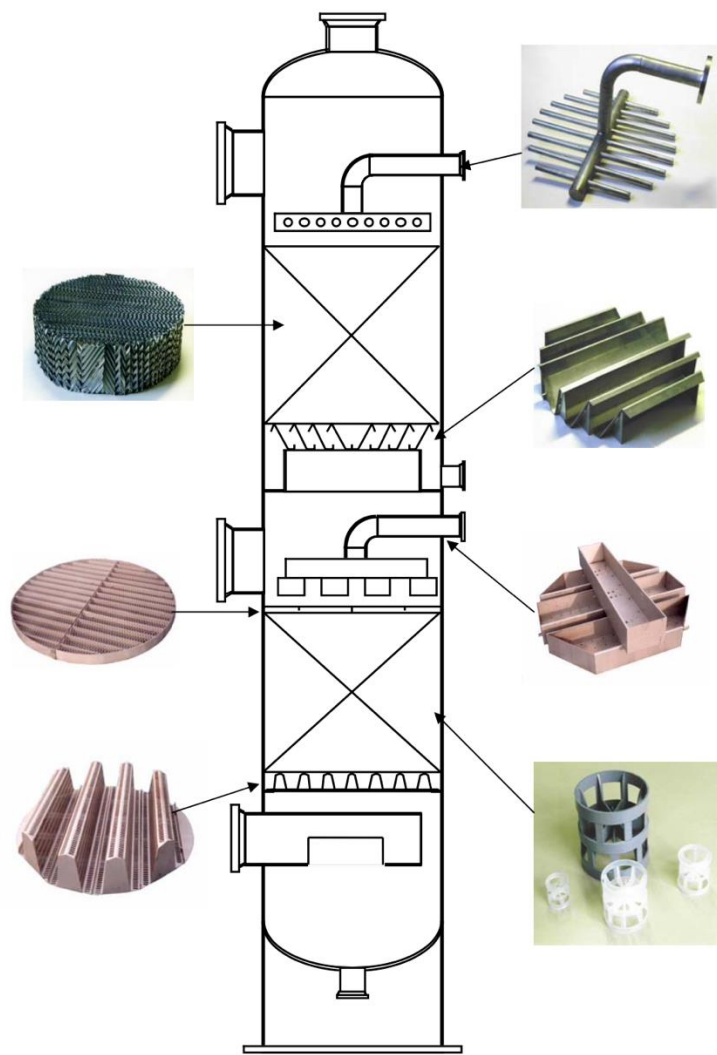


Figure II.25 : Internes d'une colonne à garnissage [16].



Figure II.26 : Exemple de corps de garnissage en céramique [16].

II.4.4.2.1. Colonnes à contre-courant :

Les colonnes à contre-courant sont les plus utilisées [16].

Principe de fonctionnement

Le gaz à traiter entre par le bas de la colonne, traverse le garnissage et sort en tête de colonne. La phase gaz passant par la colonne garnie est forcée, en raison de la présence du garnissage, de changer souvent de direction d'écoulement. Ceci permet de bien mélanger les deux phases. Ce type d'écoulement est celui qui présente l'efficacité théorique la plus importante [16].

II.4.4.2.2. Colonnes à co-courant :

Principe de fonctionnement

Les deux phases sont introduites en tête de colonne et descendent ensemble, en passant par le garnissage, vers la base de l'absorbeur. Cet arrangement permet à la colonne de fonctionner avec des débits plus grands, car dans cette configuration les problèmes liés à l'engorgement n'existent plus [16].

II.4.4.2.3. Colonnes à courants croisés :

Principe de fonctionnement

Ces colonnes sont horizontales. Le gaz est introduit à une extrémité et le liquide est introduit perpendiculairement au gaz par la partie supérieure de la colonne. Le lit garni est mouillé par ce liquide. Parfois, du liquide peut être introduit par la même extrémité que le gaz, par un dispositif spécifique (injecteur) pour améliorer le taux de mouillage du lit [16].

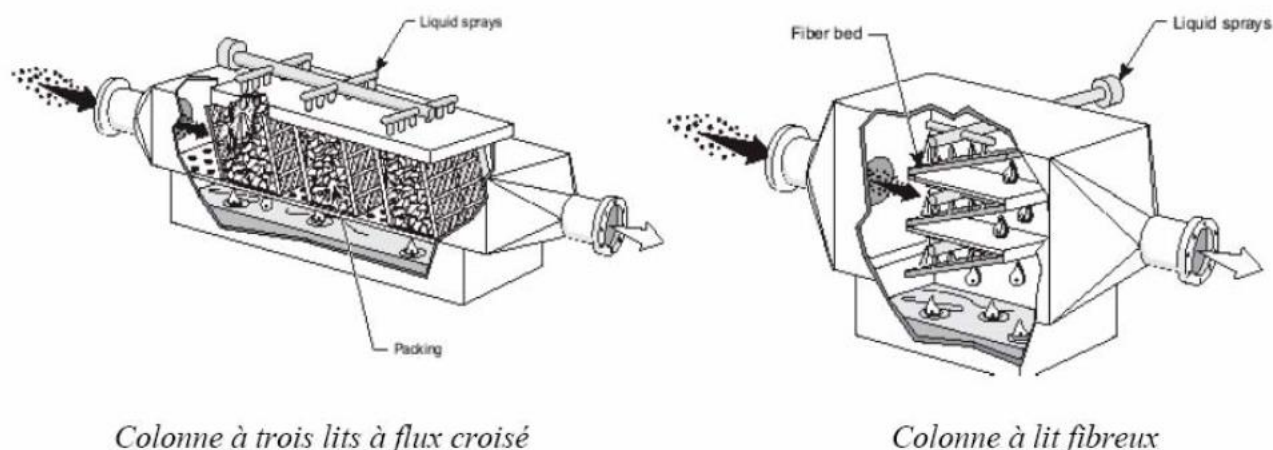


Figure II.27: Colonnes à garnissage à flux croisé [16].

II.4.4.3. La différence entre les colonnes à plateaux et à garnissage :

Le tableau ci-dessous représente une comparaison récapitulative entre les deux colonnes

Type de colonne	A plateaux	A garnissage
Coût	Coût élevé	A moindre coût
Rétention	Elevée	Faible
Perte de charge	Faible	Elevée
Nombre d'étages	Grand	Petit

Tableau II.1 : Comparaison entre colonne à plateaux et à garnissage [14].

II.5. Le procédé de distillation à la Nouvelle Raffinerie de Hassi Messaoud RHM2 :

À la Nouvelle Raffinerie de Hassi Messaoud RHM2, la distillation atmosphérique est utilisée comme méthode principale de séparation des composants du pétrole brut. Cette technique fait appel à des colonnes à plateaux de types à calotte, qui jouent un rôle crucial dans le processus de distillation. Les colonnes à plateaux de types à calotte sont spécialement conçues pour permettre une séparation efficace des différents hydrocarbures présents dans le pétrole brut. Grâce à leur structure et à leur fonctionnement, ces colonnes permettent d'obtenir des produits raffinés de haute qualité, tels que l'essence, le diesel et le kérosène, qui répondent aux normes et aux exigences du marché. La distillation atmosphérique associée aux colonnes à plateaux de types à calotte est donc

une étape essentielle dans le processus de raffinage à la nouvelle raffinerie de Hassi Messaoud, contribuant à la production de produits pétroliers de grande valeur.

II.6. Conclusion :

En résumé de ce chapitre, nous avons fourni une introduction détaillée sur la distillation du pétrole brut, en soulignant l'importance de cette technique dans l'industrie pétrolière et le rôle essentiel joué par les colonnes de distillation pour la séparation des différents composants du pétrole brut.

Nous avons identifié deux types de distillation, à savoir la distillation continue et la distillation discontinue, et nous avons classé les colonnes de distillation en deux catégories principales : les colonnes à plateaux et les colonnes à garnissage, en fonction de leur structure.

En outre, nous avons mené une recherche documentaire approfondie sur les colonnes de distillation, en explorant leur définition, leurs types et leur mode de fonctionnement.

Dans le prochain chapitre, nous aborderons les méthodes de contrôle des colonnes de distillation. Nous examinerons les différentes stratégies et techniques utilisées pour maintenir des conditions de fonctionnement optimales, assurer une séparation efficace des composants du pétrole brut et améliorer les performances globales de la colonne.

En conclusion, ce chapitre a jeté les bases nécessaires pour une compréhension approfondie des colonnes de distillation du pétrole brut, en mettant en évidence leur importance cruciale dans l'industrie pétrolière. Les connaissances acquises dans ce chapitre nous permettront d'approfondir notre étude dans les chapitres suivants, où nous explorerons les méthodes de contrôle et analyserons les performances des colonnes de distillation, dans le but de contribuer à l'optimisation des processus de raffinage et de production de pétrole brut.



Chapitre III :
La régulation
Industrielle

III.1. Introduction :

La régulation dans le domaine des procédés industriels concerne la mise en œuvre de l'ensemble des moyens théoriques, matériels et techniques pour maintenir chaque grandeur physique essentielle égale à une valeur désirée, appelée consigne, par action sur une grandeur réglant, et ce, malgré l'influence des grandeurs perturbatrices du système [18].

Ce chapitre aborde les principes fondamentaux de la régulation dans les procédés industriels. Il met en évidence les éléments essentiels d'une boucle de régulation, tels que le processus, le capteur, le régulateur et l'actionneur. Différents types de régulation, tels que la régulation proportionnelle, intégrale et dérivée, sont présentés, avec un accent particulier sur le régulateur PID.

Les grandeurs mesurées dans l'industrie, telles que la température, la pression, le débit et la composition chimique, sont également discutées. En outre, les systèmes pneumatiques et électriques sont comparés en termes d'avantages et d'inconvénients. En résumé, ce chapitre fournit une vue d'ensemble des concepts clés liés à la régulation, offrant ainsi une base solide pour la compréhension et l'application de ces principes dans le domaine industriel.

III.2. Généralité sur la régulation :

La Régulation (Control), découle du verbe Réguler (to control), signifiant le contrôle ou la maîtrise, ce terme est très différent du Réglage (Ajustement) qui provient du verbe Régler, qui signifie fixer ou ajuster.

Cette science est utilisée au début du XX siècle, dans le domaine de gisement et d'exploitation en domaine pétrolier, navigation et ensuite en aviation et dans les industries des armes de pointes. Et suite aux progrès considérables dans les domaines de l'électronique et de l'informatique industriel, la régulation est introduite dans les procédés de fabrication automatisés, pour maîtriser et asservir plusieurs grandeurs 3 physiques par exemple : Température [°C], Débit [m³/h], Pression [bar], Niveau [mm], Humidité [%], Vitesse [tr/min], PH [10], Position [°], Distance[m], Force [N], Poids [Kg]...

De nos jours, quasiment toutes les industries, appareillages électroménagers et engins de transport utilisent forcément l'asservissement et la régulation.

La régulation industrielle touche à plusieurs industries à savoir :

- Alimentaires, Agroalimentaires, Pharmaceutiques, Médicales
- Pétrochimiques, Chimiques, Parapharmaceutiques, Textiles, chaussures
- Traitement des eaux, Tabac, Papeteries, Automobile
- Énergies, transformations des matières brutes, Manufactures, Usinages [19].

III.2.1. Définition de la régulation :

La régulation regroupe l'ensemble de techniques et moyens industriels utilisés visant à contrôler une grandeur physique soumise à des perturbations et de la maintenir égale à une valeur désirée appelée consigne cette grandeur physique est appelée grandeur réglée. Une boucle de régulation est constituée essentiellement d'un capteur transmetteur mesurant et conditionnant la grandeur a réglé d'un régulateur commandant un actionneur qui agit sur la grandeur à régler [20].

Le but de la régulation est de maintenir l'état stable, conforme à ce qui est prévu, dans le fonctionnement d'une machine ou l'état d'un système [21].

III.3. Définitions de la boucle de régulation :

La régulation est l'action de régler automatiquement une grandeur physique de telle sorte que celle-ci garde constamment sa valeur ou reste proche de la valeur désirée, quelles que soient les perturbations qui peuvent subvenir [22].

La régulation : regroupe l'ensemble des techniques utilisées visant à contrôler une grandeur physique. Exemples de grandeur physique : Pression, température, débit, niveau etc...

La grandeur réglée : c'est la grandeur physique que l'on désire contrôler. Elle donne son nom à la régulation. Exemple : une régulation de température.

La consigne : C'est la valeur que doit prendre la grandeur réglée.

La grandeur réglante : est la grandeur physique qui a été choisie pour contrôler la grandeur réglée. Elle n'est généralement pas de même nature que la grandeur réglée.

Les grandeurs perturbatrices : sont les grandeurs physiques qui influencent la grandeur réglée. Elles ne sont généralement pas de même nature que la grandeur réglée.

L'organe de réglage : est l'élément qui agit sur la grandeur réglant [18].

III.3.1 Éléments constitutifs d'une boucle de régulation :

Une boucle de régulation doit comporter au minimum les éléments suivants :

- Un capteur de mesure.
- Un transmetteur souvent intégré au capteur.
- Un régulateur.
- Un actionneur.

Elle est souvent complétée par :

- Un enregistreur.
- Des convertisseurs.
- Des sécurités [22].

➤ **Le transmetteur :**

On appelle transmetteur tout instrument approprié pour mesurer et transformer une grandeur quelconque en un signal standard, électrique ou pneumatique ou autre (proportionnel à cette grandeur) et pouvant être envoyé à une certaine distance à un instrument récepteur convenable.

A son tour, celui-ci convertira le signal reçu en un déplacement d'une aiguille ou d'une plume sur une échelle graduée en unités convenables à la nature de la grandeur mesurée [22].



Figure III.1 : Le Transmetteur [22].

➤ **Le régulateur :**

C'est la partie du système de commande qui compare le signal de mesure avec le signal de consigne et en fonction de l'écart entre ces deux valeurs et de l'algorithme de calcul pour lequel il a été configuré, il va délivrer un signal de commande dirigé vers la vanne afin d'annuler cet écart et ramener la mesure à la valeur de consigne.

Donc, le **régulateur** reçoit deux informations :

- ❖ Le signal de mesure (**M ou PV**) provenant du capteur,
- ❖ La consigne (**C ou SP**) (qui peut être locale ou externe).

En fonction de l'écart entre ces deux valeurs et de l'algorithme de calcul pour lequel il a été configuré, il délivre un signal de sortie (**S ou OUT**) dirigé vers l'actionneur afin d'annuler cet écart et de ramener la mesure vers la valeur de consigne.

Le régulateur est le "cerveau" de la boucle de régulation.

Le **régulateur** reçoit deux informations :

Grandeurs perturbatrices grandeur réglante

- Le signal de mesure (**M ou PV**) provenant du capteur,
- la consigne (**C ou SP**) (qui peut être locale ou externe)

En fonction de l'écart entre ces deux valeurs et de l'algorithme de calcul pour lequel il a été configuré, il délivre un signal de sortie (**S ou OUT**) dirigé vers l'actionneur afin d'annuler cet écart et de ramener la mesure vers la valeur de consigne [22].

En électrique (intensité) : 0% échelle > 4 mA

100% échelle > 20mA

En pneumatique (pression) :

0% échelle > 200 mb

100% échelle > 1000mb



Figure III.2 : Le régulateur [22].

➤ **L'actionneur (Organe de réglage) :**

Dans une boucle de régulation, l'organe final de réglage est, le plus souvent, **une vanne de régulation** qui, par action sur le débit d'un fluide (gaz ou liquide) permet de réguler la grandeur mesurée :

- Pression.
- Débit.
- Température.
- Niveau [22].



Figure III.3 : L'actionneur [22].

➤ **Le positionneur :**

Le positionneur est placé dans le cycle de réglage, entre l'appareil de contrôle et l'élément final (vanne). Il reçoit le signal de sortie de 0.2 à 1 bar du régulateur. Une liaison mécanique avec la tige de la vanne sert à renvoyer la position effective de la tige au positionneur. Lorsque la sortie d'un régulateur exige que la vanne soit ouverte ou fermée, le positionneur agit comme un relais pneumatique, fournissant de l'air d'une source indépendante de façon à porter la vanne dans la position voulue [22].



Figure III.4 : Le positionneur [22].

N.B : Les vannes automatiques utilisées dans l'industrie pétrolière sont le plus souvent à commande pneumatique, alors que dans certain cas, le signal régulateur est électrique (sortie courante : 4 – 20 mA). Un appareil de conversion **I / P** est interposé entre le régulateur et la vanne [22].

III.3.2. Schéma de principe d'une boucle de régulation :

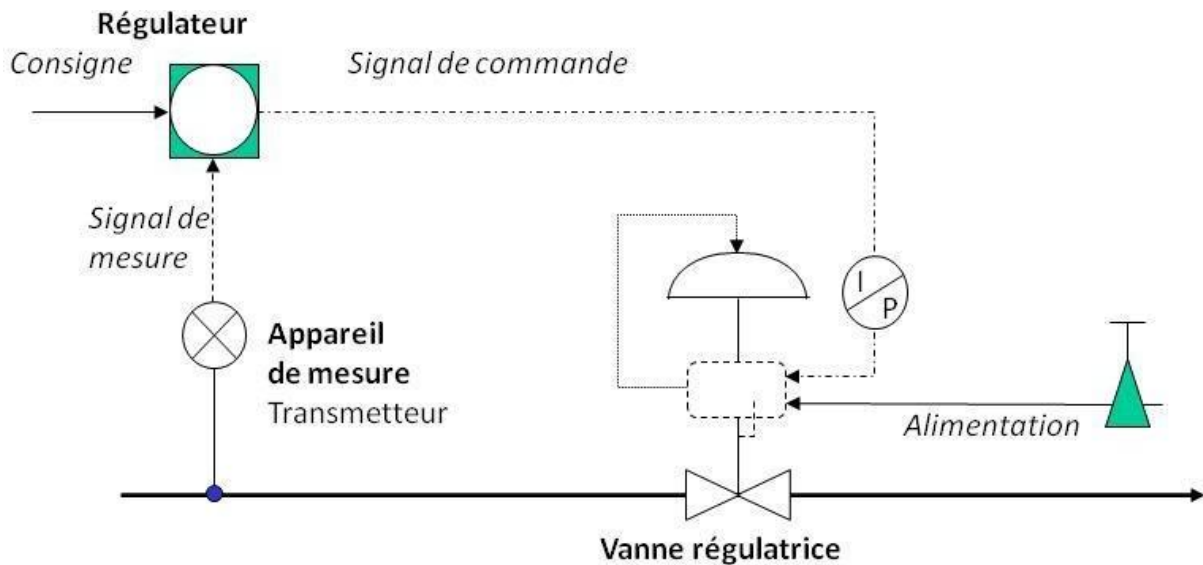


Figure III.5 : Boucle de Régulation [23].

III.3.3. Les principales grandeurs mesurées dans l'industrie :

La température : le thermocouple, PT 100, NI 100, C.T.N., C.T.P, ...

Les niveaux : ultrasons, capacitif, Vibrations, ...

La pression : manomètre à tube de Bourdon, à membrane, ...

Les débits : dispositifs déprimogènes (venturi), débitmètre électromagnétique, vortex, ...[23].

III.4. Différents types de signaux

Dans une boucle de régulation ou d'automatisme, les différents appareils sont reliés entre eux et les Informations circulent le plus souvent :

- soit sous forme de **pression d'air**
- soit sous forme de **courant électrique continu**
- soit sous forme d'**information numérique**

Les signaux sont alors appelés respectivement signaux **pneumatiques**, **électriques** et **numériques**.

Les signaux pneumatiques et électriques, qui sont des signaux continus, sont dits **analogiques**.

En numérique, les signaux sont émis à intervalles de temps réguliers (seconde ou fraction de seconde correspondant à la période de scrutation)[24].

III.5. Systèmes pneumatiques et électriques :

III.5.1. Systèmes pneumatiques :

III.5.1.1. Présentation des systèmes pneumatiques comme source d'énergie

Le mot « pneumatique » nous arrive du grec ancien « pneuma » qui signifie « souffle » ou « respiration ». Dans son sens original, il définissait la science des mouvements ou phénomènes aériens. La technique a pour sa part adopté ses propres définitions en pneumatique pour les phénomènes de dépression ou de surpression[25].

Le pneumatique est un domaine technologique qui utilise un gaz sous pression pour créer un mouvement mécanique. Le plus souvent, ce gaz est simplement de l'air, qui peut être sec ou lubrifié. Les systèmes pneumatiques utilisent des compresseurs d'air pour réduire le volume d'air ce qui augmente sa pression. Le flux d'air en pression circulant dans les conduites pneumatiques est contrôlé par l'intermédiaire de distributeurs, vannes, clapets jusqu'aux actionneurs, vérins et moteurs. Il est également important de filtrer et contrôler l'air régulièrement pour garantir sa qualité ce qui améliore aussi la fiabilité et efficacité du système pneumatique[24].

III.5.1.2. Domaine d'applications

La technologie pneumatique est utile en manutention, assemblage, robotique, machines-outils etc. L'emploi de l'énergie pneumatique permet de réaliser des automatismes avec des composants simples et robustes, notamment dans les milieux hostiles (hautes températures, milieux déflagrants, milieux humides).

On trouve les systèmes pneumatiques dans :

- L'industrie chimique, pétrochimique, médicale et alimentaire.
- Machines-outils.
- Les engins mobiles (Bateaux, Voitures, Camions, Chargeurs...)
- La manutention en général tel que serrage, transfert...
- Dans divers domaines technologiques tel que le remplissage, emballage, ouverture et fermeture de portes... [26].

III.5.1.3. Alimentation d'une boucle pneumatique et transmission des signaux

III.5.1.3.1. Caractéristiques d'une boucle pneumatique

Le schéma de principe ci-dessous rappelle les éléments constitutifs d'une boucle de régulation pneumatique.

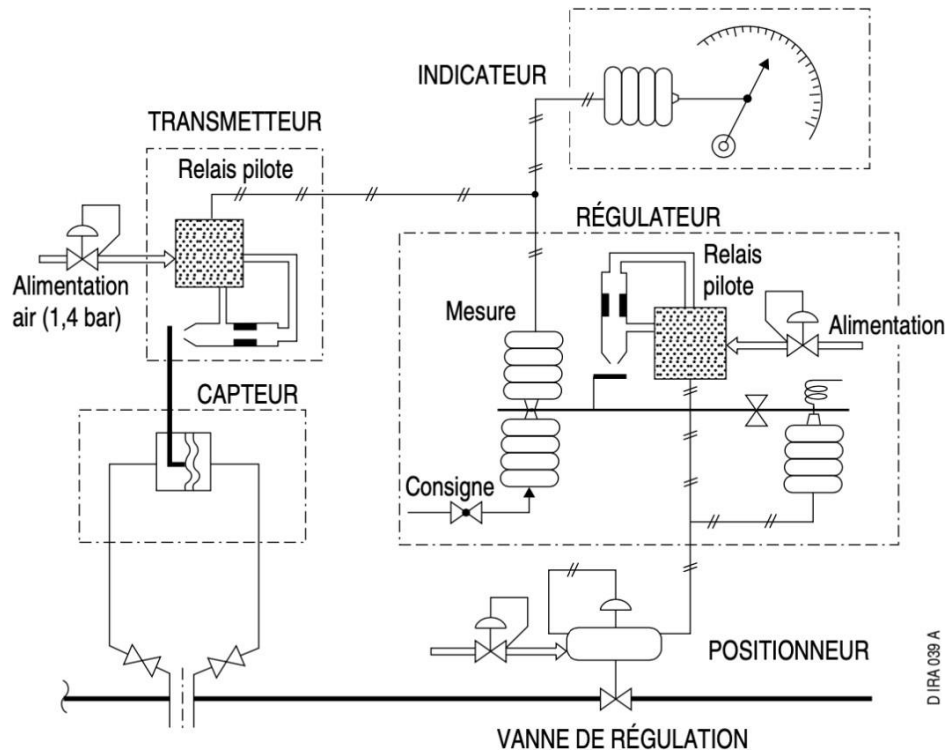


Figure III.6 : les éléments constitutifs d'une boucle de régulation pneumatique[24].

Pour que les différents appareils pneumatiques tels que :
 - transmetteur



Figure III.7: Transmetteur

- régulateur

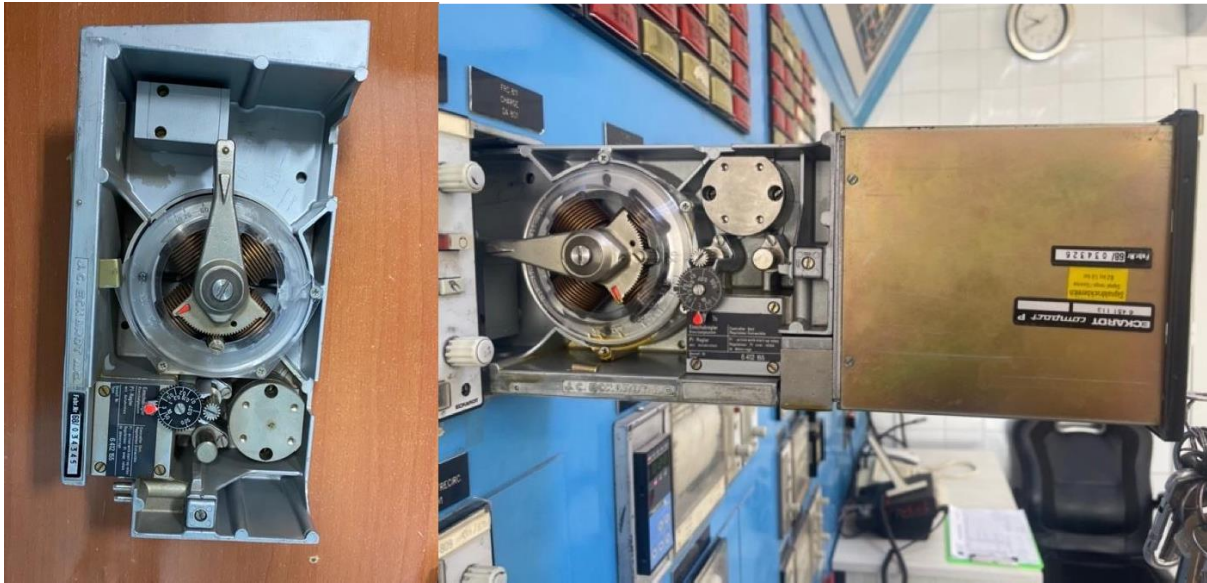


Figure III.8 :Un Régulateur

- vanne



Figure III.9: Une Vanne

Puissent fonctionner, il est nécessaire de leur fournir de l'énergie sous forme de pression d'air. A partir du réseau Air-Instrument, l'alimentation en air d'un appareil pneumatique est assurée par un filtre détenteur dont le rôle est de maintenir une pression constante quelle que soit la consommation de l'appareil en question.

Le fonctionnement d'un appareil pneumatique revient toujours à générer un déplacement ou une force. L'émission du signal pneumatique consiste à les transformer en une pression d'air variable ou signal de sortie. Ceci est généralement réalisé par un système buse-palette ou par un montage s'en rapprochant.

Le signal émis circule dans un tube métallique (acier, cuivre, inox) dans l'atelier et en tube plastique souple en salle de contrôle. La réception d'un signal pneumatique dans les appareils tels que :

- indicateur et enregistreur



Figure III.10 : Enregistreur

- régulateur
- positionneur

S'effectue dans un soufflet [24]

III.5.1.3.2. Réception d'un signal pneumatique :

Le signal pneumatique est reçu dans un **soufflet** pour être **transformé en une force utilisable**.

A titre d'exemple le schéma ci-dessous illustre le fonctionnement d'un indicateur pneumatique.

Le signal est transformé par un système soufflet-embellage en un déplacement d'une aiguille devant un cadran.

Le cadran de ce type d'appareil est généralement gradué de 0 % à 100 % :

- le 0 % correspondant à un signal de 0,2 bar
- le 100 % correspondant à un signal de 1 bar [24].

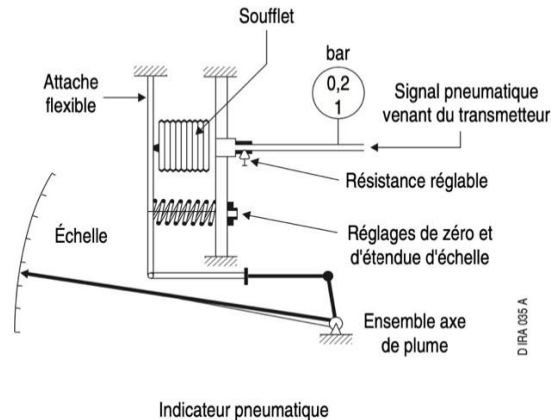


Figure III.11: Le Fonctionnement d'un indicateur pneumatique[24].

III.5.1.3.3. Avantages - Inconvénients des boucles pneumatiques :

➤ Avantages :

- insensibilité aux parasites industriels tels que inductions parasites, champs magnétiques
- pression d'air directement utilisable sur une membrane ou un piston
- conviennent bien à la sécurité incendie (pas de génération d'étincelles, bonne tenue au feu) [24].

➤ Inconvénients :

- lenteur de transmission
- portée limitée (quelques centaines de mètres en tube 4//6 ou 6/8)
- coût d'installation élevé
- sensibilité à l'humidité et aux poussières
- nombreuses pièces mécaniques en mouvement
- difficulté d'effectuer sans conversion des calculs élaborés

Néanmoins, il existe encore de nombreuses boucles pneumatiques et il s'en installe de nos jours pour des applications simples (ex : régulation locale de pression ou de niveau, sécurité locale, ...)[24].

III.5.2. systèmes électrique :

III.5.2.1. Présentation des systèmes électrique comme source d'énergie :

Un système électrique est un ensemble de composants et de dispositifs interconnectés qui utilisent l'électricité comme source d'énergie pour réaliser des fonctions spécifiques. Il est conçu pour la génération, la distribution, la conversion et le contrôle de l'électricité afin de répondre aux besoins de diverses applications. Les systèmes électriques utilisent l'électricité comme source

d'énergie pour alimenter et contrôler diverses applications et dispositifs. Ils offrent de nombreux avantages et sont largement utilisés dans de nombreux domaines.

III.5.2.2. Domaine d'applications :

- Industrie manufacturière : Les systèmes électriques sont utilisés dans l'automatisation industrielle, les lignes de production, les machines-outils, les robots industriels, les systèmes de contrôle de processus, etc.
- Transport : Les systèmes électriques sont utilisés dans les véhicules électriques tels que les voitures, les bus, les trains, les vélos électriques, les navires et même les avions. Ils alimentent les moteurs électriques et permettent la gestion de l'énergie, la recharge des batteries, etc.
- Bâtiments résidentiels et commerciaux : Les systèmes électriques sont utilisés pour l'éclairage, le chauffage, la climatisation, les systèmes de sécurité, les systèmes de gestion de l'énergie, les appareils électroménagers, etc.
- Télécommunications : Les systèmes électriques sont utilisés dans les infrastructures de télécommunication pour alimenter les équipements de commutation, les antennes, les réseaux de téléphonie mobile, les réseaux de données, etc.
- Énergie renouvelable : Les systèmes électriques sont utilisés dans les installations de production d'énergie renouvelable telles que les parcs éoliens, les centrales solaires et les centrales hydroélectriques pour convertir l'énergie renouvelable en électricité.
- Secteur médical : Les systèmes électriques sont utilisés dans les équipements médicaux tels que les scanners, les IRM, les appareils de diagnostic, les équipements chirurgicaux, les dispositifs de surveillance des patients, etc.
- Secteur informatique et électronique : Les systèmes électriques sont utilisés dans les ordinateurs, les serveurs, les équipements de stockage de données, les appareils électroniques grand public, les réseaux informatiques, etc.
- Infrastructure publique : Les systèmes électriques sont utilisés dans l'éclairage public, les systèmes de signalisation, les systèmes de gestion du trafic, les infrastructures de transport en commun, etc.

III.5.2.3. Alimentation d'une boucle électrique et transmission des signaux :

III.5.2.3.1. Caractéristiques d'une boucle Électrique :

Un bloc d'alimentation, situé en salle de contrôle, relie par 2 fils un circuit où l'on trouve en série le transmetteur et une résistance fixe de 250Ω et en parallèle de la résistance le régulateur.

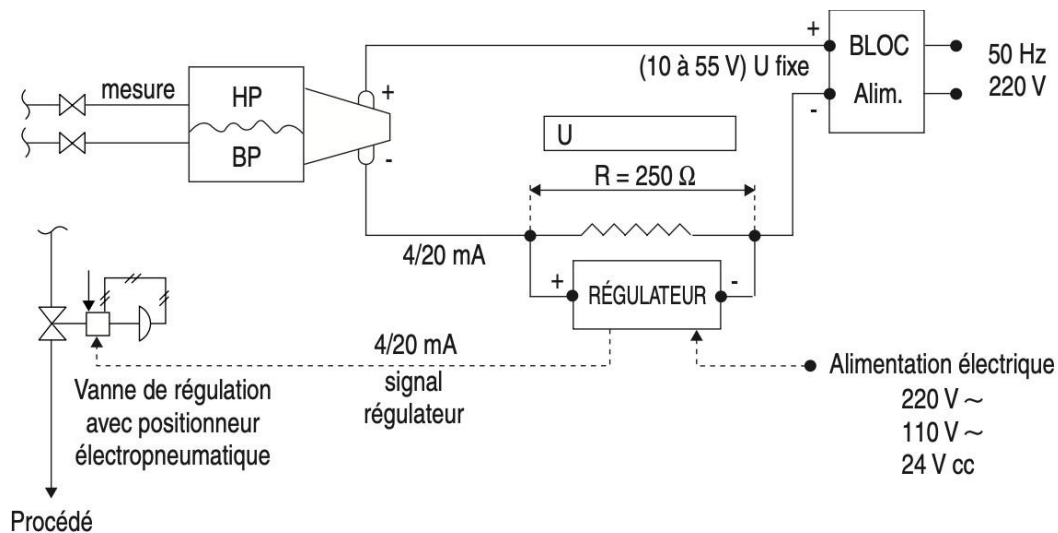


Figure III.12 : les éléments constitutifs d'une boucle de régulation Électrique [24].

Ce montage est parfois appelé montage en parallèle. La tension continue fixe délivrée par le bloc d'alimentation est de 10 V à 55 V suivant les constructeurs de matériel. Le 24 V est toutefois le plus utilisé, c'est cette tension fixe qui est utilisée comme vecteur électrique de la mesure.

Le transmetteur peut être assimilé à une résistance variable R_i placée dans le circuit électrique.

Les variations de mesure se traduisent par des variations de la résistance interne du transmetteur et donc de la résistance totale R_t du circuit. L'intensité i du courant de mesure varie en sens inverse de cette résistance R_t selon la loi d'Ohm.

Avec $R_t = R_i + 250$

U en Volt v R_t en Ohm Ω I en Ampère A

$$U = R_t \cdot I \tag{III.1}$$

Le transmetteur est étalonné pour que l'intensité du courant passant dans le circuit varie de 4 à 20 mA en général, quand la mesure fluctue de 0 à 100 % de l'échelle.

Le signal minimal de 0 mA n'est pas utilisé pour éviter la confusion avec une rupture du circuit[24].

III.5.2.3.2. La réception d'un signal électrique :

La réception d'un signal électrique peut être réalisée de différentes manières, selon le type de signal et l'application spécifique. Voici un résumé des méthodes courantes de réception de signaux électriques :

- Connecteurs et câbles : Les signaux électriques sont transmis d'un appareil à un autre à l'aide de connecteurs et de câbles.

- Capteurs : Les capteurs convertissent les grandeurs physiques en signaux électriques correspondants.
- Antennes : Les antennes captent les signaux électromagnétiques et les convertissent en signaux électriques utilisables.
- Récepteurs : Les récepteurs démodulent les signaux électriques transportant des informations, permettant ainsi leur réception et leur utilisation.
- Circuits électroniques : Les circuits électroniques amplifient, conditionnent, convertissent ou filtrent les signaux électriques en fonction des besoins.
- Interfaces d'entrée : Les interfaces d'entrée, comme les claviers, les souris, les écrans tactiles, reçoivent les signaux électriques correspondant aux actions de l'utilisateur.

Il est important de choisir la méthode de réception appropriée en fonction de l'application et des exigences spécifiques du système. Différents dispositifs et technologies peuvent être utilisés pour recevoir et traiter les signaux électriques, permettant ainsi leur utilisation dans diverses applications.

III.5.2.3.3. Avantages - Inconvénients des boucles électriques :

➤ **Avantages :**

- Temps de réponse instantané,
 - Très bonne précision,
 - Signaux facilement utilisables par un ordinateur (supervision, optimisation, etc.) où
- Dans un Système Numérique de Contrôle Commande (SNCC) après conversion en numérique [24].

➤ **Inconvénients :**

- Risque de perturbations des signaux par l'environnement (champs électromagnétiques, ...)
- Boucle agréée pour atmosphère explosive (boîtier antidéflagrant, sécurité intrinsèque, etc.),
- Mauvaise tenue des câbles au feu[24].

III.5.3. Comparaison entre systèmes pneumatiques et électriques :

Ce tableau présente une comparaison générale entre les systèmes électriques et pneumatiques. Les performances et les caractéristiques peuvent varier en fonction des spécifications et des configurations spécifiques de chaque application.

Caractéristiques	Système électrique	Système pneumatique
Source d'énergie	Énergie électrique	Air comprimé
Réponse et temps de	Rapide	Relativement lent
Puissance	Haute	Faible à moyenne
Contrôle et régulation	Précis	Moins précis
Sensibilité aux	Sensible	Moins sensible
Taille des composants	Petits	Grands
Coût des composants	Généralement élevé	Généralement moins élevé
Flexibilité	Moins flexible	Plus flexible
Maintenance et	Généralement facile	Généralement facile
Bruit	Faible	Généralement élevé
Sécurité	Risque d'électrocution	Risque de fuite d'air
Environnement	Propagation d'ondes électromagnétiques	Propagation de bruit
Applications	Électronique, informatique,	Industrie manufacturière,

Tableau III. 1: Une comparaison générale entre les systèmes électriques et pneumatiques

III.6. Étude de divers types de boucles de régulation :

III.6.1. Boucle simple :

C'est la régulation que l'on a étudiée jusqu'à présent. La mesure est comparée à la consigne afin de calculer le signal de commande. Ce type de régulation est d'autant moins adaptée que le temps mort est grand[18].

Une boucle de régulation simple, également appelée boucle de régulation en boucle ouverte, est un système de contrôle qui utilise un seul régulateur pour ajuster l'action de contrôle en fonction d'une consigne de référence prédéterminée. Elle ne fait pas appel à une rétroaction continue de la mesure du processus.

Voici un schéma simplifié d'une boucle de régulation simple :



Figure III.13 : un schéma simplifié d'une boucle de régulation simple

- Consigne : La consigne est la valeur de référence que l'on souhaite atteindre ou maintenir dans le processus contrôlé. Elle peut être fixe ou variable dans le temps.
- Régulateur : Le régulateur reçoit la consigne en entrée et génère une action de contrôle en fonction de celle-ci. Dans une boucle de régulation simple, le régulateur prend uniquement en compte la consigne et ne réagit pas aux variations de la mesure du processus.
- Action de Contrôle : L'action de contrôle est la sortie du régulateur qui influence le processus contrôlé. Elle peut prendre différentes formes selon le système, telle qu'un signal électrique, une commande de vanne, une tension de sortie, etc.

Dans une boucle de régulation simple, l'action de contrôle est déterminée uniquement par la consigne et la logique de contrôle interne du régulateur. Il n'y a pas de rétroaction pour ajuster l'action de contrôle en fonction de la mesure du processus, ce qui peut rendre la régulation moins précise et moins robuste face aux perturbations.

Ce type de boucle de régulation est utilisé dans des applications où la relation entre la consigne et la sortie du processus est relativement simple et stable, et où les perturbations sont faibles ou négligeables. Par exemple, dans des systèmes où la consigne reste constante et la réponse du processus est prévisible, une boucle de régulation simple peut être suffisante pour maintenir la sortie du processus proche de la consigne souhaitée.

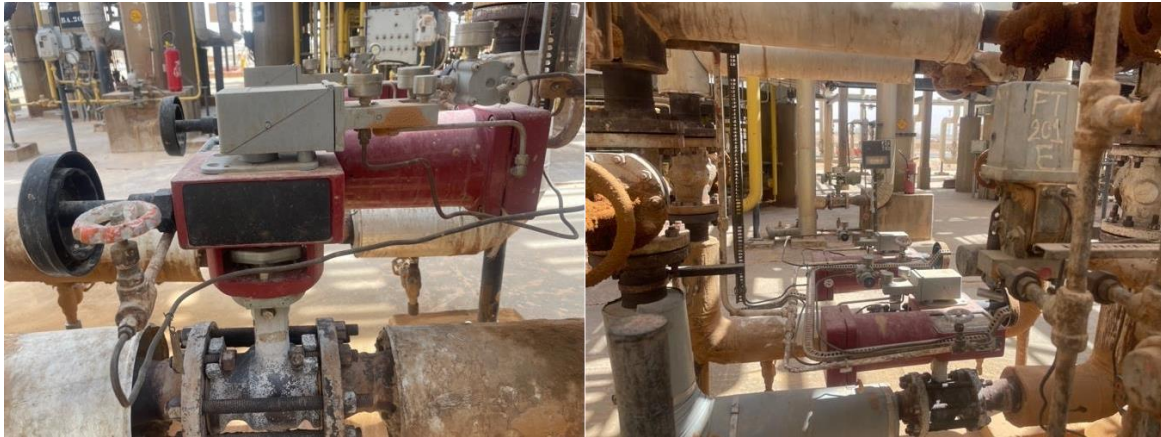


Figure III. 14: Une Boucle De Régulation Simple

III.6.2. Boucle de régulation cascade (cascade control) :

Une régulation cascade est composée de deux boucles imbriquées. Le système peut être décomposé en deux sous-systèmes liés par une grandeur intermédiaire mesurable. Une première boucle, la boucle esclave, a pour grandeur réglée cette grandeur intermédiaire. La deuxième boucle, la boucle maître, a pour grandeur réglée la grandeur réglée de la régulation cascade et commande la consigne de la régulation esclave[18].

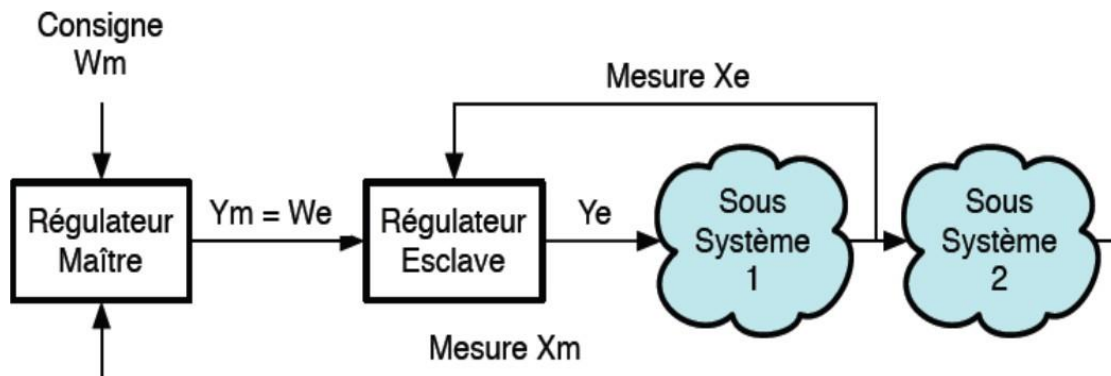


Figure III.15 : Boucle de régulation cascade [18].

On peut utiliser une régulation cascade dans une régulation de niveau. La boucle esclave est la régulation du débit d'alimentation du réservoir.

Ce type de régulation se justifie quand on a une grande inertie du système vis à vis d'une perturbation sur la grandeur réglant, ou sur une grandeur intermédiaire. Il faut d'abord régler la boucle interne, puis la boucle externe avec le régulateur esclave fermée.

➤ Rôle de la régulation cascade

La régulation en cascade est utilisée lorsque la dynamique du processus est très inerte et que la boucle fermée seule ne parvient pas à obtenir une régulation performante. Son objectif est de minimiser les effets des perturbations agissant sur la variable réglant ou sur une grandeur

intermédiaire en amont de la variable à régler. Cela est particulièrement utile dans les processus à grande constante de temps.

Lorsqu'une perturbation se manifeste, il faut attendre que son influence soit ressentie au niveau de l'organe de mesure en sortie de la régulation. Si le temps de réponse est long, la correction intervient tardivement, entraînant un déphasage entre la grandeur réglée et la grandeur réglant, provoquant des oscillations et une instabilité du processus.

Cependant, la régulation en cascade n'apporte aucun avantage si la perturbation se produit en aval de la mesure intermédiaire. Pour justifier l'utilisation de la cascade, il est nécessaire que la boucle interne soit beaucoup plus rapide que la boucle externe [27].



Figure III.16 : Boucle De Régulation Cascade

III.6.3. Boucle de régulation par partage d'étendue (split-range) :

On utilise une régulation à partage d'étendue lorsque l'on désire contrôler le système à l'aide de deux organes de réglage différents. Ces deux organes de réglage peuvent avoir des effets antagonistes de type chaud-froid[18].

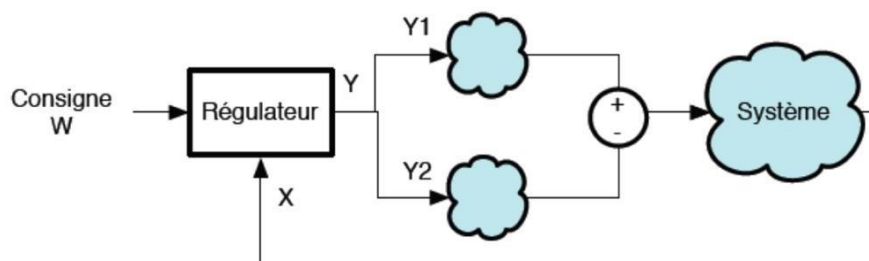


Figure III.17 : Boucle de régulation split-range[18].

continue, qui peut imposer au signal de sortie une variation continue entre deux limites déterminées, est aussi appelé progressif. L'intelligence ou la perception des régulateurs à action continue va au-delà du seul signe de l'écart (sp-pv) et, selon cette perception, les modes en continu sont classés en trois catégories :

- L'action proportionnelle P.
- L'action intégrale I.
- L'action dérivée D.

Chacun de ces modes se distingue par la manière dont le signal d'entrée affecte le signal de sortie. Notons que d'une façon générale les régulateurs sont à action combinée, de deux ou trois des actions P, I et D [18].

III.7.1.1. Le régulateur proportionnel (P) :

Dans le cas d'un régulateur P, la variable régulée est toujours proportionnelle à l'erreur calculée. Il en résulte qu'un régulateur P réagit sans temps de retard à tout écart entre la sortie et la consigne, et seul dans ce cas sera générée une valeur régulée :

$$y = K.e \quad (\text{III.2})$$

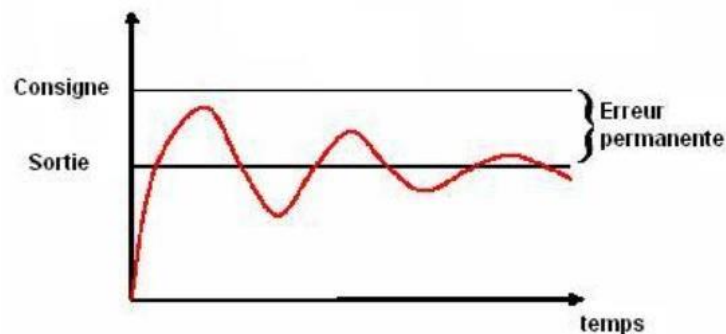


Figure III.19: L'effet de l'action proportionnelle(P) [18].

III.7.1.2. Le régulateur intégral (I) :

Un régulateur de type intégral permet de complètement compenser une erreur de régulation constante. Tant que l'erreur n'est pas nulle, la valeur de la variable régulée est ajustée.

La régulation se termine lorsque la sortie a atteint la valeur de la consigne ou que la variable régulée a atteint un seuil maximal fixé par les propriétés du système (U_{max} , P_{max} ...etc.). La formulation mathématique de ce comportement intégral est : la variable régulée est proportionnelle à l'intégrale par rapport au temps de l'erreur.

$$y = K_i \int e dt \quad \text{Où} \quad K_i = \frac{1}{T_i} \quad (\text{III.3})$$

La vitesse avec laquelle la variable régulée augmente (ou diminue) dépend de l'erreur de régulation et de la constante de temps d'intégration choisie [18].

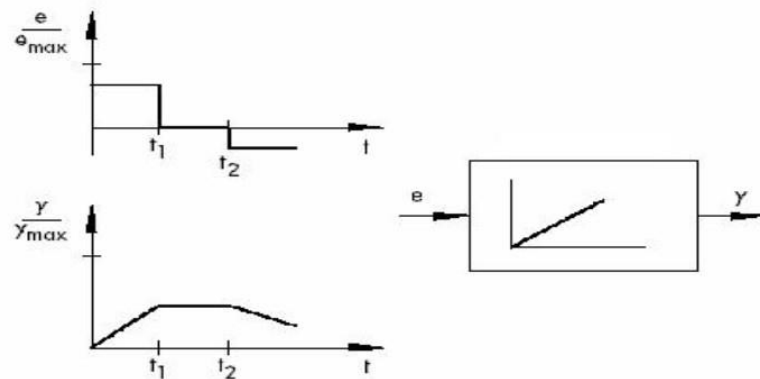


Figure III.20: L'effet de l'action intégrale(I) [18].

III.7.1.3. Régulateur de type PI :

Le régulateur de type PI est l'un des plus utilisés dans la pratique. Il s'agit d'un couplage parallèle entre un régulateur proportionnel et un régulateur intégral.

S'il est correctement paramétré, le régulateur PI cumule les avantages des deux types de régulateurs (stable, rapide, faible erreur résiduelle), tout en compensant leurs désavantages respectifs.

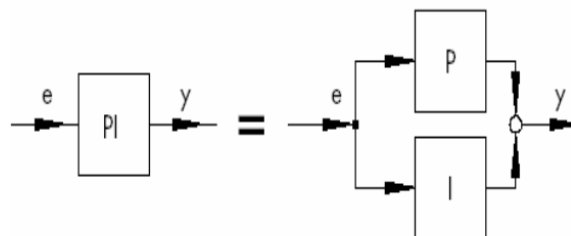


Figure III.21: Régulateur de type PI [18].

Le comportement dans le temps est caractérisé par le facteur proportionnel K_p et la constante d'intégration T_i . Grâce à la partie proportionnelle, le régulateur réagit immédiatement à toute erreur de régulation, alors que la partie intégrale ne fera effet qu'après un certain temps.

La loi du régulateur PI (proportionnel-intégral) est donnée par l'équation suivante :

$$U(t) = K_p * [e(t) + (1/T_i) * \int e(\tau) d\tau] \tag{III.4}$$

- Domaine d'application du régulateur P.I : boucle de régulation rapide qui ne tolère aucune erreur résiduelle (ex : régulation de pression, de débit, température...etc.)[18].

III.7.1.4. Le régulateur dérivé (D) :

Le régulateur dérivé établit une valeur régulée en fonction de la vitesse de variation de l'erreur et pas en fonction de l'amplitude comme pour le régulateur P. C'est pour cette raison qu'il réagit beaucoup plus rapidement qu'un régulateur P. Même face à une petite erreur il va Générer une grosse valeur régulée dès lors qu'il y a une variation d'amplitude de l'erreur. Le régulateur D sera inefficace face à une erreur résiduelle permanente, quel que soit sa valeur puisque celle-ci reste constante (pas de variation d'amplitude donc pas de réaction du régulateur). [18]

La loi du régulateur D (dérivée) est donnée par l'équation suivante :

$$U(t) = K_d * (de(t)/dt) \quad (III.5)$$

III.7.1.5. Le régulateur PID :

Le régulateur universel PID est obtenu en ajoutant une composante de type D (dérivée) à un régulateur PI (proportionnel intégral). Cette composante dérivée, tout comme dans un régulateur PD, permet d'atteindre plus rapidement la valeur de consigne en ajoutant une action anticipatrice au régulateur.

Le régulateur PID est un dispositif de contrôle largement utilisé dans l'industrie pour la régulation en boucle fermée des systèmes industriels. Il est capable de contrôler de nombreux types de processus. L'erreur observée est la différence entre la consigne et la mesure. La fonction de transfert du régulateur est généralement exprimée par

$$K(p) = K(1 + 1/T_i P + T_d P). \quad (III.6)$$

Cependant, en pratique, le régulateur n'est pas utilisé en action dérivée pure, car cela entraînerait une instabilité. Il fonctionne donc en tant que correcteur proportionnel intégral dérivé (PID) [18].

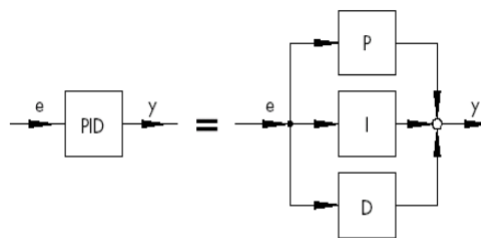


Figure III.22: Régulateur PID [18].

La loi de régulateur PID est définie par l'équation :

$$u(t) = K_p * e(t) + K_i * \int e(t) dt + K_d * de(t)/dt \quad (III.7)$$

III.7.2. Résumés des actions PID et domaine d'utilisation










Action	Précision	Stabilité	Rapidité	Rôle et domaine d'utilisation
P				L'action proportionnelle agit de manière instantanée, donc rapide. <u>A fin</u> de diminuer l'écart de réglage et rendre le système plus rapide, on augmente le gain mais, on est limité par la stabilité du système. Le régulateur P est utilisé lorsqu'on désire régler un paramètre dont la précision n'est pas <u>important</u> , exemple : régler le niveau dans un bac de stockage.
I				L'action intégrale complète l'action proportionnelle. Elle permet d'éliminer l'erreur résiduelle (statique) en régime permanent. <u>A fin</u> de rendre le système plus dynamique (diminuer le temps de réponse). L'action intégrale est utilisée lorsque on désire avoir en régime permanent, une précision parfaite.
D				L'action dérivée, en compensant les inerties dues au temps mort, accélère la réponse du système et améliore la stabilité de la boucle, en permettant notamment un amortissement rapide des oscillations dus à l'apparition d'une perturbation ou à une variation subite de la consigne. L'action D est utilisée dans l'industrie pour le réglage des variables lentes telles que la température, elle n'est pas recommandée pour le réglage d'une variable bruitée ou trop dynamique (la pression.)

Tableau III.2 : Les Effets des actions du correcteur PID et domaine d'utilisation [28].

III.8. Choix du régulateur PID pour différentes applications de régulation

Lorsqu'il s'agit de choisir le type de régulateur PID pour une application de régulation, certaines généralités peuvent être prises en compte :

- L'action proportionnelle accélère la réponse du procédé mais peut engendrer un écart à l'état stationnaire, sauf si le procédé possède un terme intégral dans sa fonction de transfert.

- L'action intégrale élimine l'écart à l'état stationnaire, mais cela peut entraîner des dépassements supérieurs et des réponses traînantes avec de longues oscillations.
L'augmentation du gain K dans l'action proportionnelle rend le comportement plus oscillatoire et peut conduire à des instabilités.
- L'action dérivée anticipe les erreurs futures et apporte un effet stabilisant à la réponse en boucle fermée.

Voici quelques règles simples à suivre lors du choix du régulateur PID :

Utiliser un régulateur P lorsque l'écart à l'état stationnaire est tolérable ou lorsque le procédé contient un terme intégral, par exemple, dans la régulation de la pression d'un gaz ou du niveau d'un liquide. Si le régulateur P n'est pas suffisant, utiliser un régulateur PI lorsque l'écart à l'état stationnaire est important, par exemple, dans la régulation du débit. Dans ce cas, la réponse sera rapide et le ralentissement causé par l'action intégrale ne sera pas préjudiciable. Pour les procédés de dynamique de premier ordre tels que la régulation du niveau dans un réservoir, il est recommandé d'utiliser un régulateur PI.

Dans les autres cas, utiliser un régulateur PID pour obtenir une réponse en boucle fermée plus rapide et une meilleure robustesse. Par exemple, dans la régulation de la température ou dans les procédés à capacités en série. Selon Aström and Hägglund (1988), l'utilisation de régulateurs PID est recommandée pour les procédés de dynamique de deuxième ordre, ce qui peut être difficile à déterminer avant d'avoir des constantes de temps d'ordre de grandeur. Grâce à l'action dérivée, le gain peut être limité.

Les systèmes posant des problèmes pour les PID sont les suivants :

- Les systèmes présentant un retard pur.
- Les systèmes avec des modes oscillatoires.
- Les systèmes avec de fortes variations de paramètres.
- Les systèmes pour lesquels on cherche à contrôler une variable de qualité.

Il convient de noter que ces recommandations sont valables lorsque l'on ne dispose pas d'un modèle précis du procédé. Elles doivent être utilisées avec précaution et adaptées à chaque situation. En conclusion, le choix du régulateur PID dépend de plusieurs facteurs, tels que l'écart à l'état stationnaire tolérable, la dynamique du procédé et les variations de paramètres. Les régulateurs P, PI et PID sont utilisés en fonction des besoins spécifiques de l'application de régulation, telle que la régulation de débit, de niveau, de pression ou de température.

Il est difficile de déterminer les constantes de temps d'ordre de grandeur pertinents pour les PID. Grâce à l'action dérivée, le gain peut être limité.

Les systèmes typiques posant des problèmes pour les PID sont les systèmes présentant un retard pur, les systèmes avec des modes oscillatoires, les systèmes avec de fortes variations de paramètres, et les systèmes pour lesquels on cherche à contrôler une variable de qualité.

Ces conseils sont valables pour une utilisation lorsque l'on ne dispose pas d'un modèle du procédé ; ils ne constituent pas un mode d'emploi sans réserve et doivent toujours être utilisés avec précaution.

- **Régulation de débit** : Les boucles de régulation de débit et de pression de liquide sont caractérisées par des réponses rapides, de sorte que les retards sont généralement négligeables. Le capteur et les lignes de transmission pneumatiques peuvent introduire un retard. Les perturbations sont généralement du bruit haute fréquence, ce qui rend l'action dérivée inutilisable. On utilise couramment des régulateurs PI.
- **Régulation de niveau liquide** : L'action intégrale n'est pas nécessaire si l'on tolère une légère fluctuation (de l'ordre de 5%) sur le niveau. Si l'action intégrale est utilisée, on peut choisir des gains élevés grâce à la nature intégratrice du procédé. En général, on n'emploie pas l'action dérivée. Dans de nombreux cas, un réservoir sert de tampon pour éviter des fluctuations de débit dans l'atelier. Dans ce cas, il faut que le débit de sortie du réservoir soit le plus stable possible et le régulateur devra être soigneusement ajusté. Lorsque le réservoir est le siège d'un transfert de chaleur (bouilleur, évaporateur), son modèle de représentation est plus complexe et le régulateur sera différent.
- **Régulation de pression de gaz** : La régulation de pression de gaz seul est difficile, notamment lorsqu'il s'agit d'un gaz en équilibre avec un liquide. Le réservoir (ou le tuyau) s'autorégule partiellement : si la pression à l'intérieur du système devient trop élevée, le débit d'alimentation diminue, et vice-versa. En général, on utilise des régulateurs PI avec une faible action intégrale (temps grand). Comme les volumes sont souvent petits, les temps de réponse sont faibles par rapport au reste du procédé et l'action dérivée n'est pas nécessaire.
- **Régulation de température** : Les problèmes de régulation de température sont complexes et varient grandement en fonction du système considéré. En présence de retards, le gain ne doit pas être trop élevé sous peine de provoquer une instabilité. On peut utiliser des régulateurs PID pour obtenir une réponse plus rapide qu'avec un PI et stabiliser le procédé [29].

III.9. Régulation d'une colonne de distillation de pétrole brut :

La régulation d'une colonne de distillation de pétrole brut est d'une importance capitale dans le processus de raffinage. La distillation permet de séparer les différentes fractions de pétrole en fonction de leurs points d'ébullition, permettant ainsi d'obtenir des produits tels que l'essence, le diesel et le fioul.

La régulation de la colonne de distillation repose sur l'utilisation de différents systèmes et boucles de contrôle. L'objectif principal est de maintenir les conditions de fonctionnement optimales pour garantir une séparation efficace des différentes fractions.

La régulation de la température est l'un des aspects clés de la colonne de distillation. Des capteurs de température sont placés à différents niveaux de la colonne pour mesurer les variations de température. Ces informations sont ensuite utilisées par le régulateur pour ajuster les débits de liquides de refroidissement ou de vapeur afin de maintenir des températures spécifiques dans les différentes zones de la colonne.

La régulation de la pression est également essentielle pour assurer un fonctionnement optimal de la colonne de distillation. Des vannes de régulation sont utilisées pour ajuster la pression dans les différentes sections de la colonne, en fonction des besoins du processus. Cela permet de contrôler le point d'ébullition des différentes fractions et d'optimiser la séparation.

En plus de la régulation de la température et de la pression, la régulation du débit est également importante pour maintenir un équilibre optimal dans la colonne de distillation. Les débits de liquide de reflux, de vapeur et de produits sont régulés en fonction des spécifications du processus et des variations de la charge entrante de pétrole brut.

Pour mettre en œuvre ces régulations, des systèmes de contrôle avancés tels que les régulateurs PID (proportionnel-intégral-dérivé) sont souvent utilisés. Ces régulateurs permettent d'ajuster automatiquement les actions de contrôle en fonction des mesures en temps réel et des objectifs de performance.

En résumé, la régulation d'une colonne de distillation de pétrole brut est un aspect crucial du processus de raffinage. Elle repose sur la régulation de la température, de la pression et du débit pour assurer une séparation efficace des différentes fractions. Les systèmes de contrôle avancés sont utilisés pour ajuster en temps réel les paramètres de régulation, garantissant ainsi des performances optimales et des produits finaux de haute qualité.

III.10. Utilisation du système pneumatique dans la distillation de pétrole brut à la nouvelle raffinerie de Hassi Messaoud :

La nouvelle raffinerie de Hassi Messaoud, a opté pour l'utilisation du système pneumatique pour ses opérations, en particulier dans le processus de distillation de pétrole brut. La distillation est une étape essentielle dans le raffinage du pétrole, permettant de séparer les différents composants en fonction de leurs températures d'ébullition.

Le système pneumatique offre de nombreux avantages dans ce contexte. Il permet de contrôler et de réguler avec précision le flux des matières premières et des produits tout au long du processus de distillation. Les actionneurs pneumatiques sont utilisés pour manipuler les vannes de régulation, assurant ainsi un contrôle efficace des débits et des températures.

En utilisant le système pneumatique, la raffinerie de Hassi Messaoud bénéficie d'une fiabilité accrue et d'une réponse rapide aux variations de demande. Les dispositifs de régulation pneumatique permettent d'ajuster les paramètres de distillation en fonction des spécifications requises, garantissant ainsi la qualité et la conformité des produits finaux.

De plus, le système pneumatique offre une sécurité améliorée dans les environnements potentiellement explosifs, comme c'est souvent le cas dans les installations pétrolières. Les composants pneumatiques sont conçus pour résister aux conditions difficiles et aux températures élevées, assurant ainsi une performance optimale même dans des conditions extrêmes.

En résumé, l'utilisation du système pneumatique dans la distillation de pétrole brut à la nouvelle raffinerie de Hassi Messaoud présente de nombreux avantages, tels qu'un contrôle précis, une fiabilité élevée, une réponse rapide et une sécurité améliorée. Cette approche témoigne de l'engagement de la raffinerie à adopter des technologies modernes et efficaces pour optimiser ses opérations de raffinage et fournir des produits de qualité supérieure sur le marché.

III.11. Conclusion :

Ce chapitre a abordé les principaux éléments de la régulation en boucle fermée dans l'industrie. Nous avons examiné les éléments constitutifs d'une boucle de régulation, les types de régulation, les types de boucles de régulation et les grandeurs mesurées. Nous avons également discuté des systèmes pneumatiques et électriques utilisés dans la régulation, ainsi que du choix du régulateur PID pour différentes applications.

En résumé, ce chapitre met en évidence l'importance de la régulation pour assurer le bon fonctionnement des procédés industriels. Il souligne l'importance de choisir le régulateur approprié en fonction des caractéristiques spécifiques du procédé, avec le régulateur PID étant largement

utilisé en raison de sa polyvalence et de sa performance. La connaissance des différents éléments de la boucle de régulation et des grandeurs mesurées est essentielle pour concevoir et optimiser les systèmes de régulation industrielle.

En conclusion, la régulation en boucle fermée est un élément clé des opérations industrielles, permettant de maintenir les variables du processus à des niveaux souhaités. Le choix judicieux du régulateur et la compréhension des différentes composantes de la régulation contribuent à assurer la stabilité, la précision et les performances optimales des procédés industriels.



Chapitre IV :
Résultats et
Simulation

IV.1 Introduction :

Ce chapitre présente une introduction au système DCS Centum VP de Yokogawa, ainsi qu'à notre projet concret de mise en place d'une boucle cascade pour réguler le débit et la température dans la distillation du pétrole brut. Le système Centum VP est réputé pour sa fiabilité et sa flexibilité, et notre projet vise à démontrer ses capacités dans ce contexte spécifique. Une particularité de notre projet est la transformation des valeurs du système pneumatique en un système électrique, offrant ainsi des avantages en termes d'efficacité et de facilité de maintenance. Ce chapitre explorera en détail ces aspects, mettant en évidence les avantages du système Centum VP et de la conversion du système pneumatique en système électrique.

IV.2 Partie théorique :**IV.2.1 présentation de simulateur DCS YOCOGAWA CENTUM VP R4 :****IV.2.1.1 Système DCS :****a) Définition**

Un système de contrôle distribué DCS est un système qui permet à la fois la supervision et le contrôle en temps réel des procédés industriels.

La supervision consiste à traduire l'état de chaque instrument existant sur le site sous des formes différentes et les associes à des vues ou à des fenêtres descriptives afin d'avoir sur l'interface homme-machine (HIS) un site animé en temps réel dans le but de donner à l'opérateur la possibilité de surveiller à distance les installations et d'effectuer les interventions nécessaires au moment demandé (changer la consigne d'un PID, le mode Auto\Man, l'acquiescement des alarme, etc).

Le contrôle en temps réel consiste à utiliser la régulation ou le calcul séquentiel afin d'avoir un système répondant aux exigences du cahier des charges [30].

b) Description d'un DCS

Le DCS est constitué de plusieurs sous –systèmes dont :

- Les dispositions d'entrées/sorties.
- Les contrôleurs individuels (API régulateurs).
- Les interfaces opérateurs (écran, souris, clavier).
- La station de travail ingénieur.
- Le réseau de communication (bus) pour le change d'information [36]

c) L'architecture du DCS

Le système DCS est constitué de quatre niveaux :

- **Niveau 1:** est tout à fait comparable au système traditionnel il représente les Instruments installés sur champ.
- **Niveau 2:** représente les automatismes installés dans le local techniques ils sont constitués par les modules d'entrées/ sortie du procédé.
- **Niveau 3:** représente la partie où vient s'effectuer la conduite du procédé par l'intermédiaire de stations opérateurs constituées d'unités électroniques.
- **Niveau 4:** partie de supervision et de gestion de l'usine.

Les niveaux 2,3,4 sont reliés par des bus de communications[36].

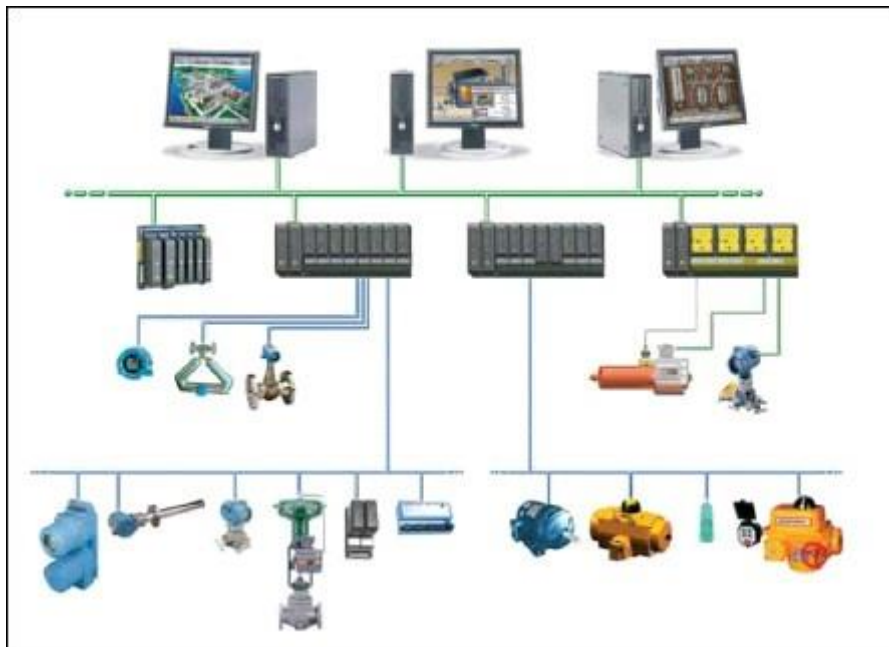


Figure IV.1: Architecture de DCS [36]

d) Les grands fournisseurs des DCS

Les systèmes DCS les plus couramment utilisés dans l'industrie mondiale sont :

- Siemens (Allemagne), avec TIA Portal, WinCC, SIMATIC
- ABB (Suède), avec le 800xA
- Yokogawa Electric (Japon), avec le CS3000 et le CENTUM VP
- Emerson (États-Unis), avec DeltaV
- Honeywell (États-Unis), avec Experion (PlantCruise, LX et PKS)
- Rockwell automation (États-Unis), avec PlantPAx
- Mitsubishi Electric (Japon), avec PMSX@pro[36].

IV212 Système CENTUM VP par YOKOGAWA :

a) Définition

Depuis plus de 45ans YOKOGAWA , a lancé son système de contrôle distribué (DCS) CENTUM en 1975, une première édition mondiale, le CENTUM VP est la neuvième génération de la série CENTUM. Au fil de ces années, YOKOGAWA a maintenu trois concepts majeurs pour la série de CENTUM: haute disponibilité de contrôle du procédé, hautes performances du système, et la rétrocompatibilité avec ses produits précédents.

En 2014, YOKOGAWA a ajouté de nouvelles fonctionnalités importantes au CENTUM VP. Cette nouvelle version devienne la plateforme qui nous fournir quatre nouvelles innovations: Hyper-intuitive Operation, Total Automation Management, Intelligent Plant Conductor, et Sustainable Plant Operation, dont chaque innovation répond à nouvelles exigences commerciales confrontées par ses clients, alors qu'ils essaient-les clients- d'atteindre une plus grande intégrité opérationnelle[30].

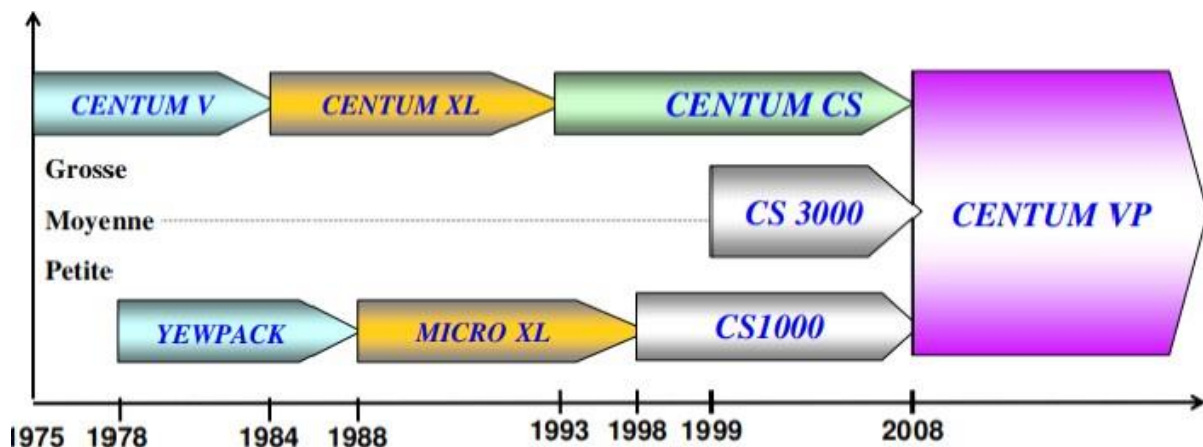


Figure IV.2 : L'historique des systèmes de YOKOGAWA [36]

YOKOGAWA a également identifié deux technologies qu'il utilise pour développer ces nouvelles innovations: la technologie numérique de terrain et la simulation dynamique de procédé. La nouvelle version CENTUM VP se compose de cinq nouvelles solutions, qui sont [32] :

- Nouveau sous-système Smart Configurable E/S
- Simulateur de procédé dynamique pour l'exploitation
- Nouvel environnement d'ingénierie totale
- Gestion consolidée de la base de données d'instrumentation
- Capacité de Field-Wireless pour le contrôle de procédé.

b) Architecture du CENTUM VP

Le CENTUM VP est le système de contrôle de procédé le plus avancé de YOKOGAWA. On peut conclure d'après la figure ci-dessous qu'il comporte plusieurs éléments, qui sont :

- Une interface Homme-Machine (HIS : Human Interface Station): principalement utilisée comme un poste de conduite de l'opérateur [33].
- OPS (Operator Station): Utilisé pour surveiller le procédé et faire manipuler les instruments [31].
- EWS (Engineering Work Station): Station de travail & d'ingénierie
- FCS (Field Control Station): Utilisé pour contrôler le procédé. Tous les instruments et les contacts créés par le logiciel sont dans la mémoire du FCS, tous les instruments de terrain tels que les transmetteurs et les vannes sont câblés du terrain à l'armoire FCS [31].
- Les stations de contrôle (SFCS / LFCS / KFCS/ FFCS) : elles réalisent les fonctions de contrôle (régulation ou séquentiel), et gèrent les entrées et les sorties de procédé et peuvent être reliées à un automate de sécurité (API-ProSafe) [33].
- SCS (Safety Control Station) : système de sécurité de Yokogawa, appelé également ProSafe.
- Les Réseaux : on en distingue deux :
 - V-Net (réseau de contrôle temps réel),
 - Ethernet (réseau LAN).
- BCV (Bus converter): permet de se relier à un autre système YOKOGAWA .
- CGW (Communication Gateway): passerelle de communication, permet à une station de travail, sous UNIX ou autre O.S (Operating System), de lire ou d'écrire des variables procédés contenues dans une FCS grâce à des primitives YOKOGAWA [33].

c) L'interface deCENTUM VP R4

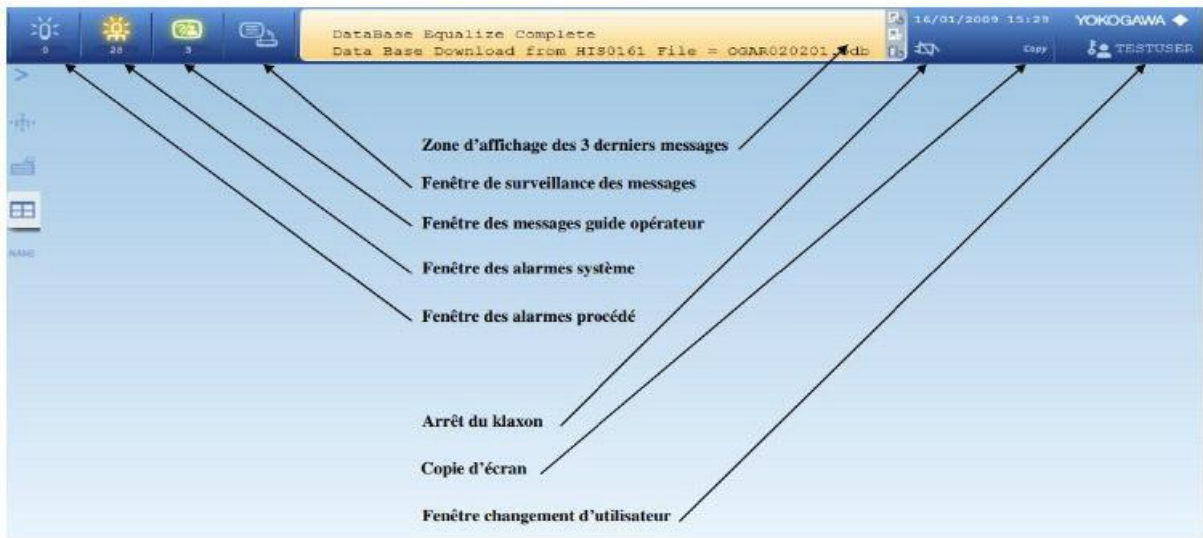
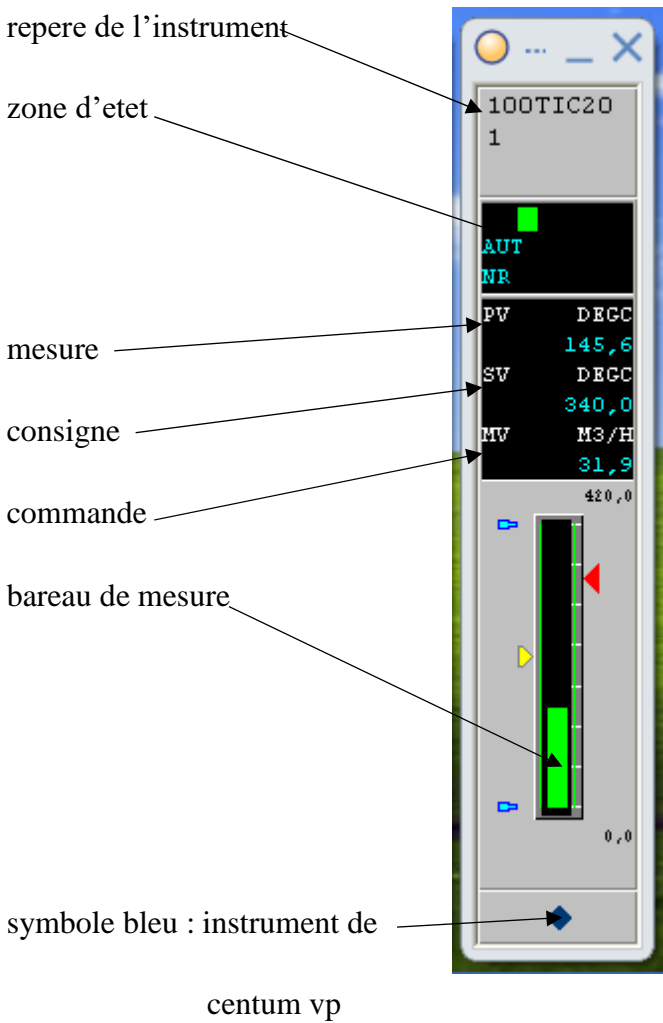


Figure IV.3 : Bandeau d'exploitation



FigureVI.4 :les types des faces-avants

IV213 Programmation d'un projet sur le logiciel YOKOGAWA CENTUM VP

a) L'ouverture d'un nouveau projet

Une fois le « system view » est lancé, cliquer sur la barre du menu dans l'ordre suivant :

File → Create new → Project

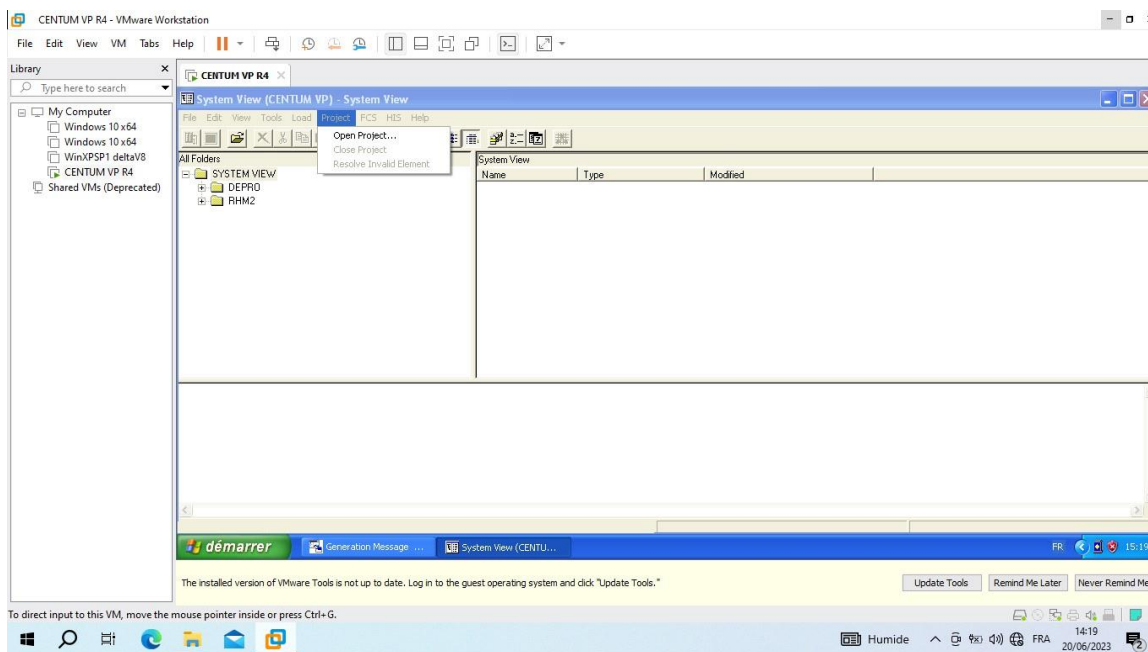


Figure IV.5 : L'ouverture d'un nouveau CENTUM VP R4

Une fenêtre apparaîtra nous demande de donner le nom (User) en majuscules et les informations relatives au projet

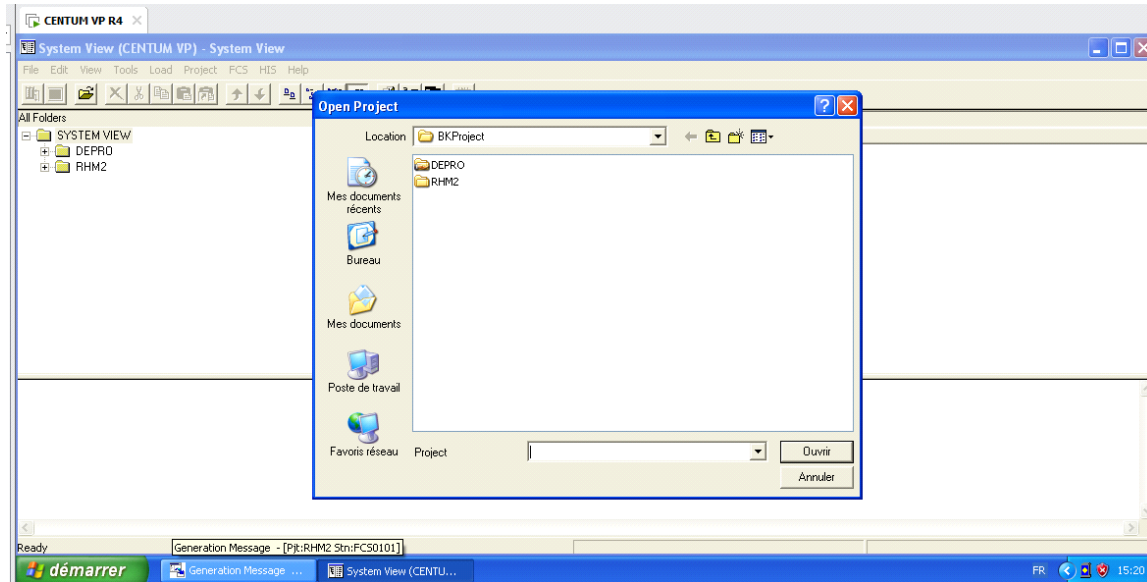


Figure IV.6 : le nom du projet

b) Création d'un nouveau HIS:

En phase de création d'un nouveau projet, la fenêtre de création d'une station opérateur (HIS) apparaît automatiquement dès que la station de contrôle est créée.

Sinon, procéder de la même façon que pour la création du projet, puis définir:

- Le type de HIS
- L'adresse de la station

Vérifier les caractéristiques:

- Réseau dans l'onglet « Network »
- Nom de la station dans la vue système (HIS)
- La vue liée

Une fois terminé, cliquer sur OK [34].

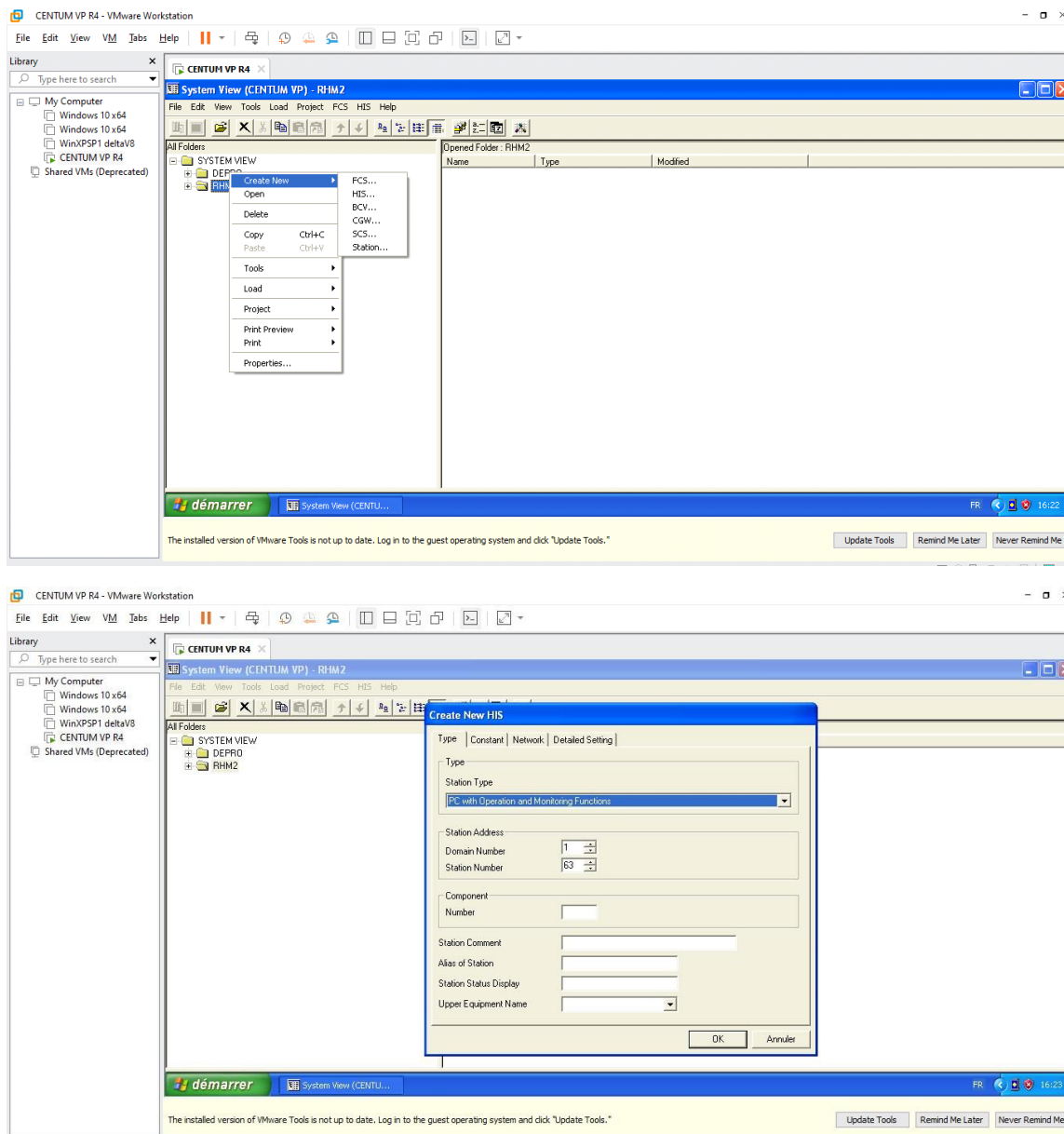


Figure IV.7 : Création d'un nouveau HIS

c) Création d'un nouveau FCS

En phase de création d'un nouveau projet, une fenêtre de création d'une station de contrôle (FCS) apparaît automatiquement dès que le projet est créé. Sinon, procéder de la même façon que pour la création du projet (sélectionner à partir du menu file ou par le bouton droit de la souris : Create new « FCS »), puis définir:

- Le modèle de la FCS
- La base de données
- L'adresse de la station

Vérifier les caractéristiques par défaut données dans les autres onglets puis cliquer OK

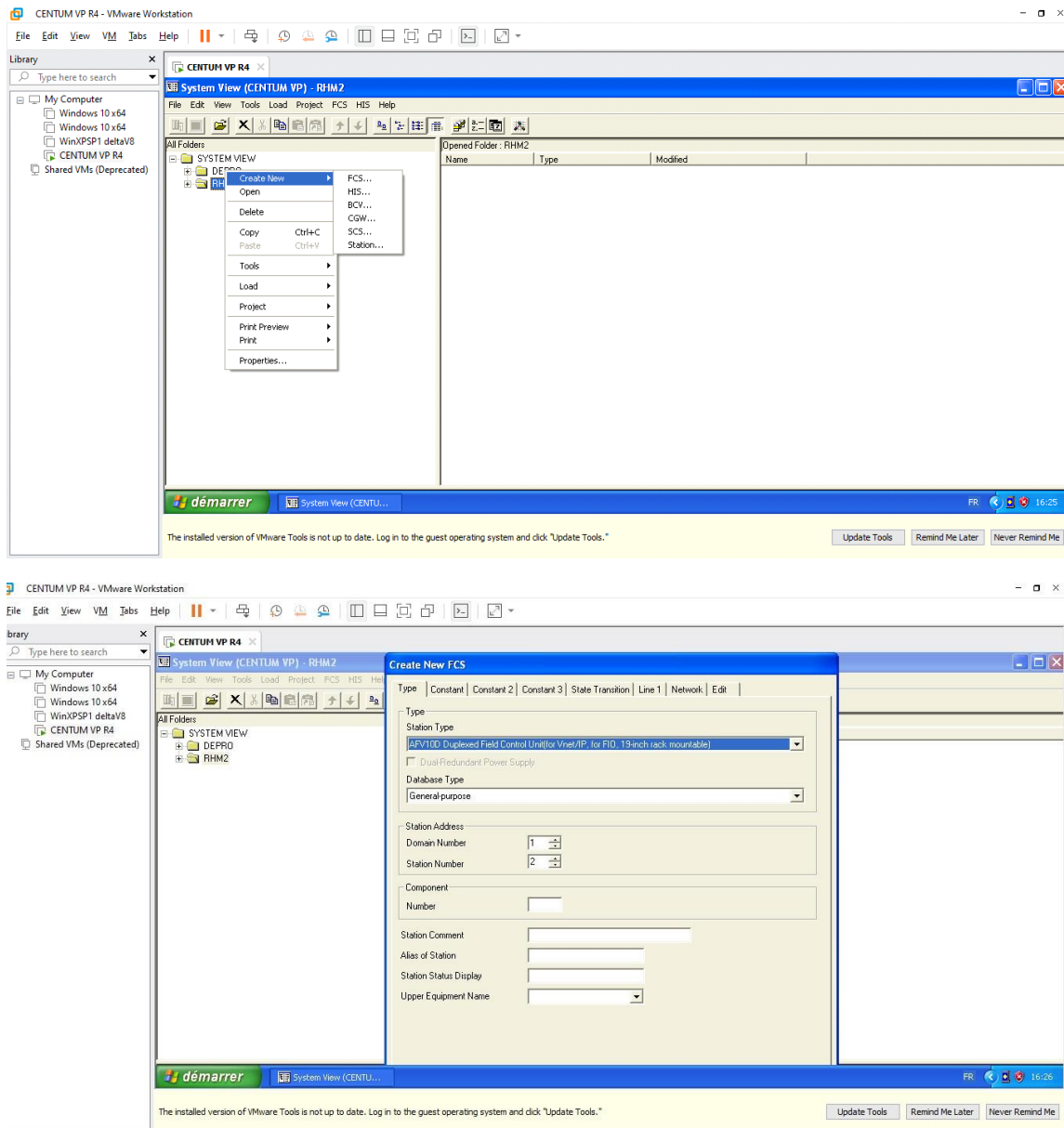


Figure IV.8 : Création d'un nouveau FCS

d) Création d'un nouveau NODE(RACK)

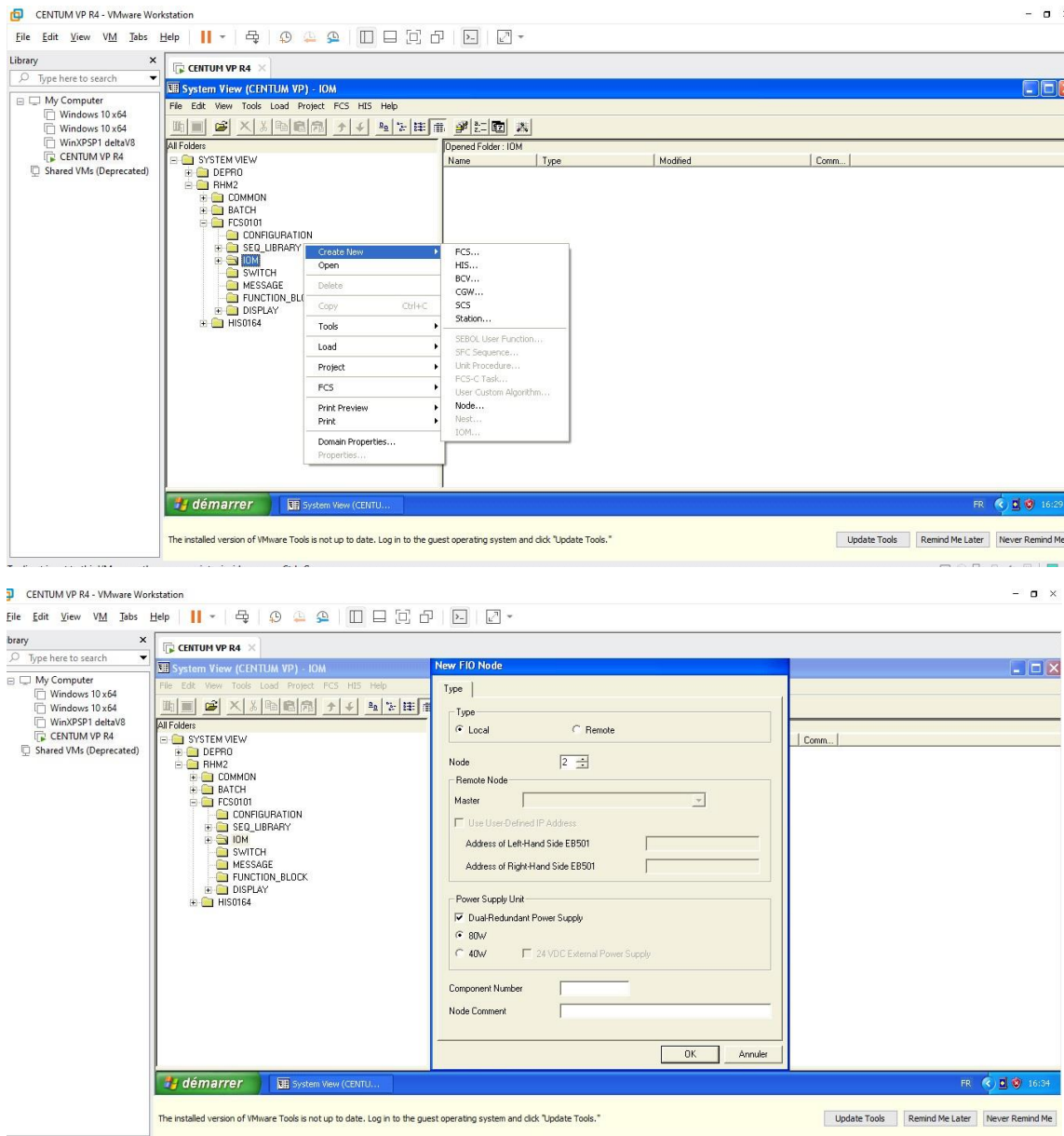


Figure IV.9 : Création d'un nouveau NODE(RACK)

e) Création des entrées / sorties de la FCS

➤ Création d'un IOM

Les fichiers des cartes d'entrées / sorties sont regroupés par Node. Dans un cas réel (conception pour une mise en place sur site), les entrées/sorties sont physiques (signaux analogiques ou logiques). Dans ce cas, il faut alors créer les entrées/sorties de la FCS comme suit [7].

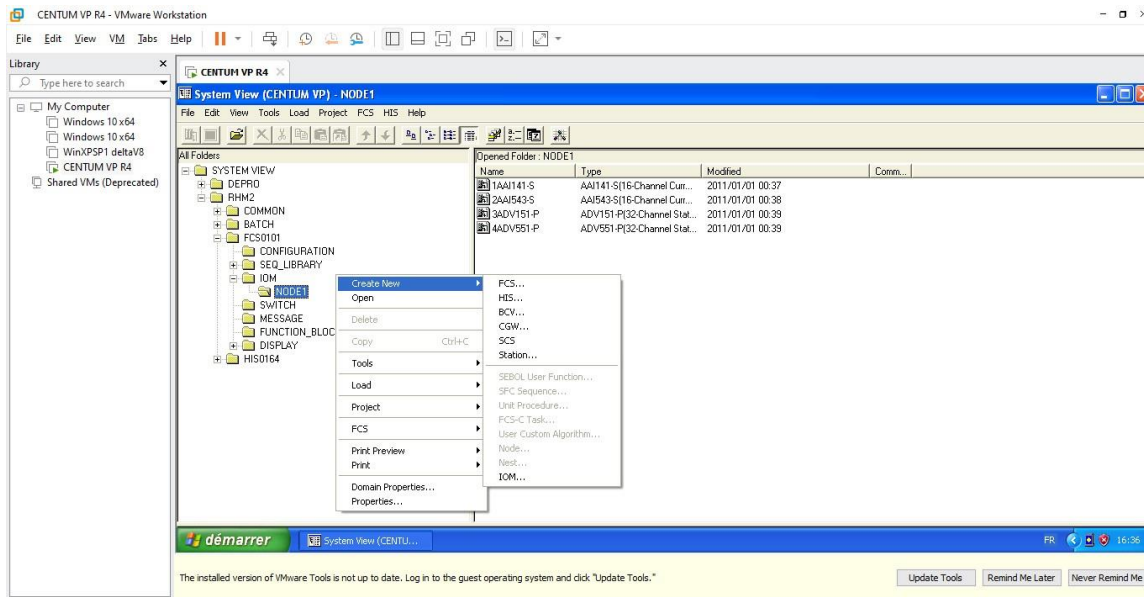


Figure IV.10 : Création d'un IOM

➤ Création analog entrée/sortie (output/input)

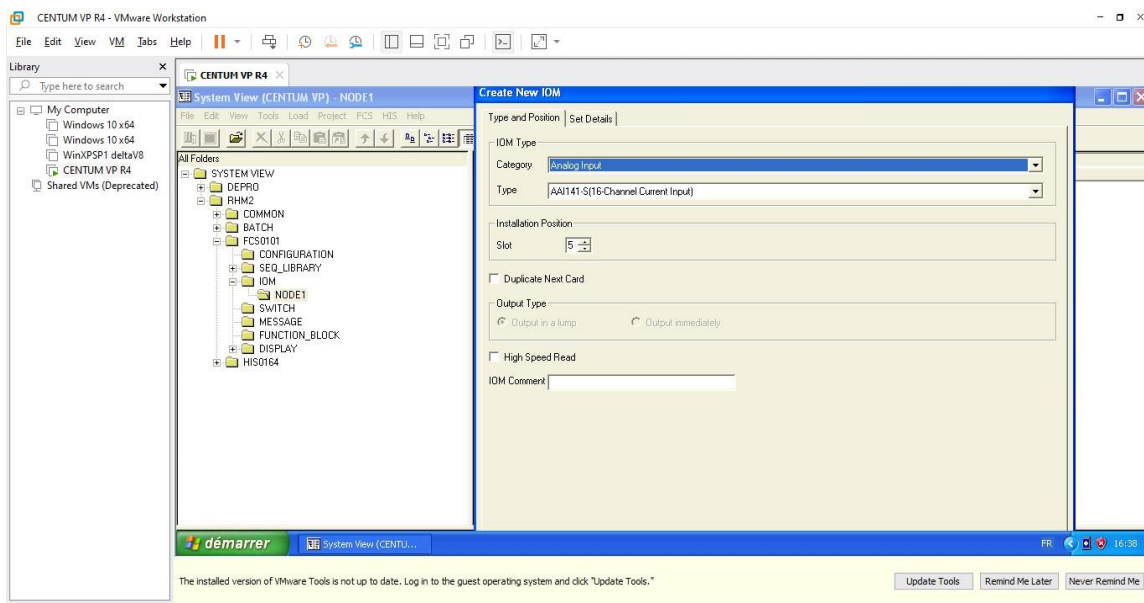


Figure IV.11 : Création d'analog entrée

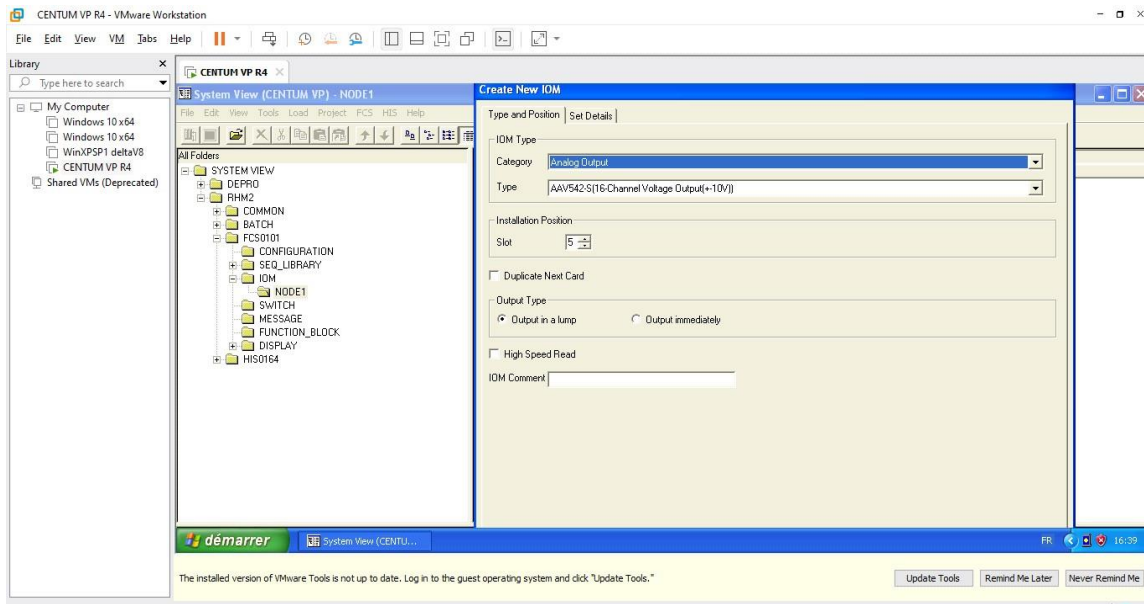


Figure IV.12 : Création d'analog sortie

➤ Création d'iom status (output/input)

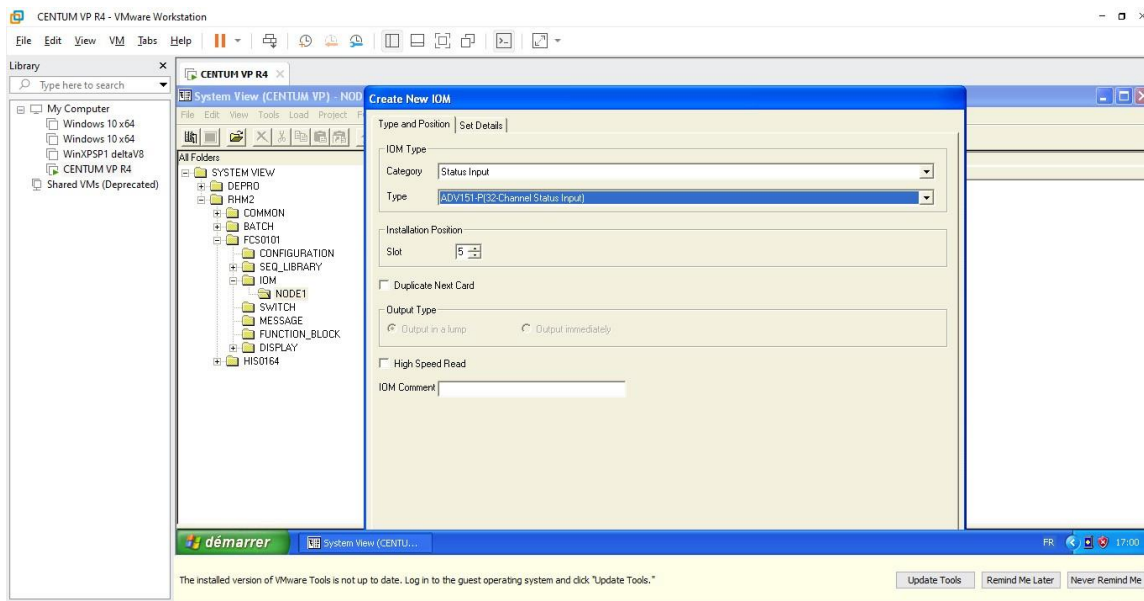


Figure IV.13 : Création d'iom entrée

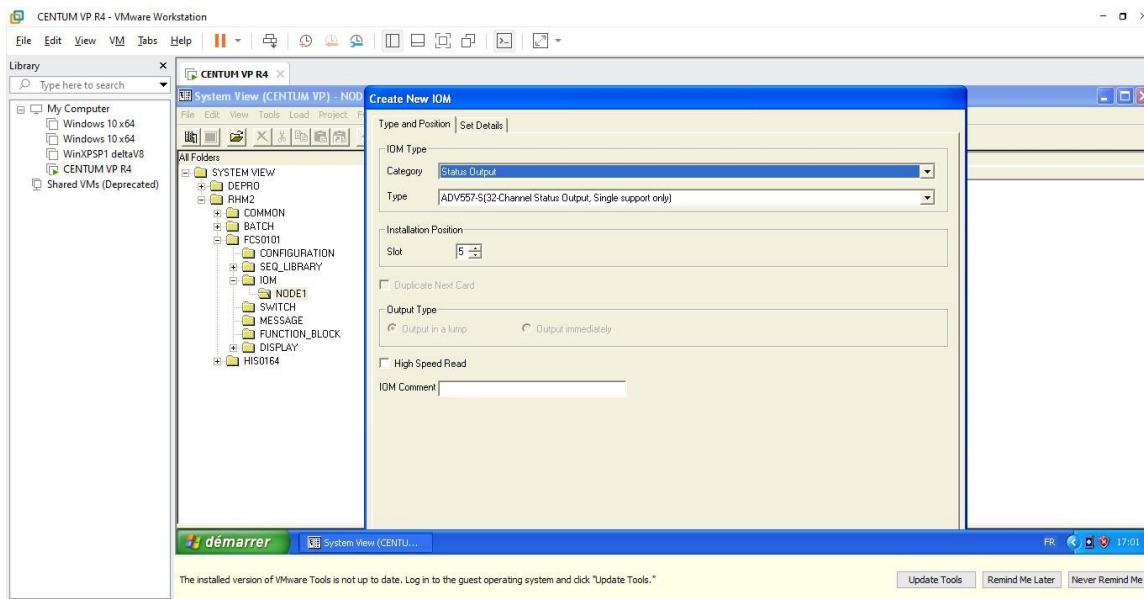


Figure IV.14 : Création d'iom sortie (output)

f) Création un bloc de fonction

Un drawing est une fenêtre dans laquelle nous allons créer des blocs pouvant être:

1. PID (bloc de régulation), PVI, MLD, CALCU, etc.
2. STO16, LC64 (les blocs de schéma logique), etc.

Pour cela, nous procédons comme suit

- Cliquer sur le fichier « FUNCTION BLOCK »
- Aller dans le drawing par exemple : DR0001, DR0002 ...[34]

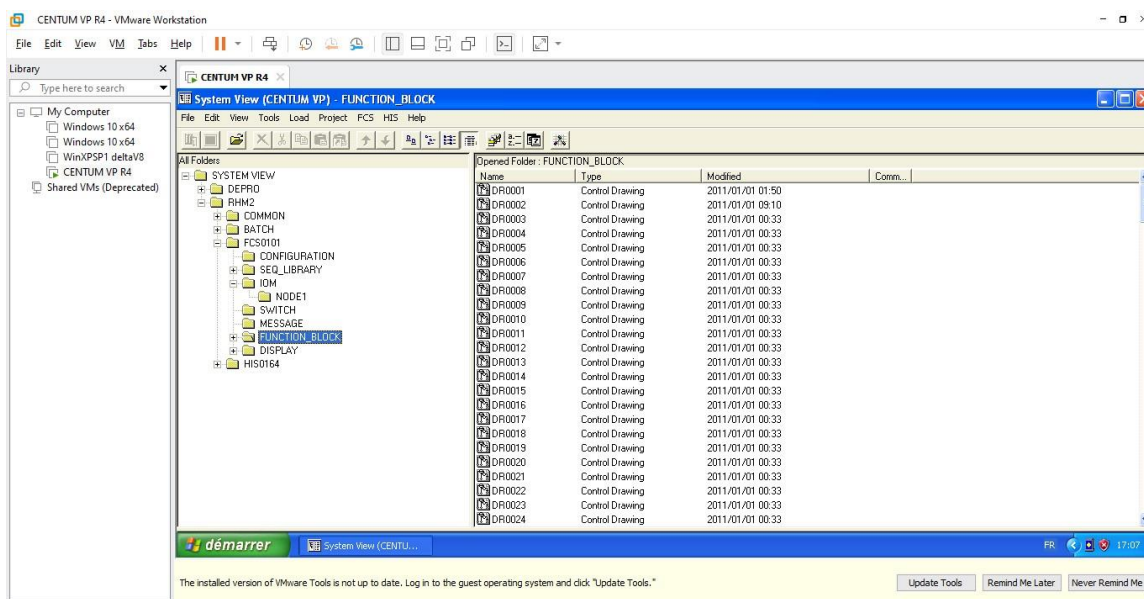


Figure IV.15 : Création d'un bloc de fonction

g) Schéma de bloc fonctionnel

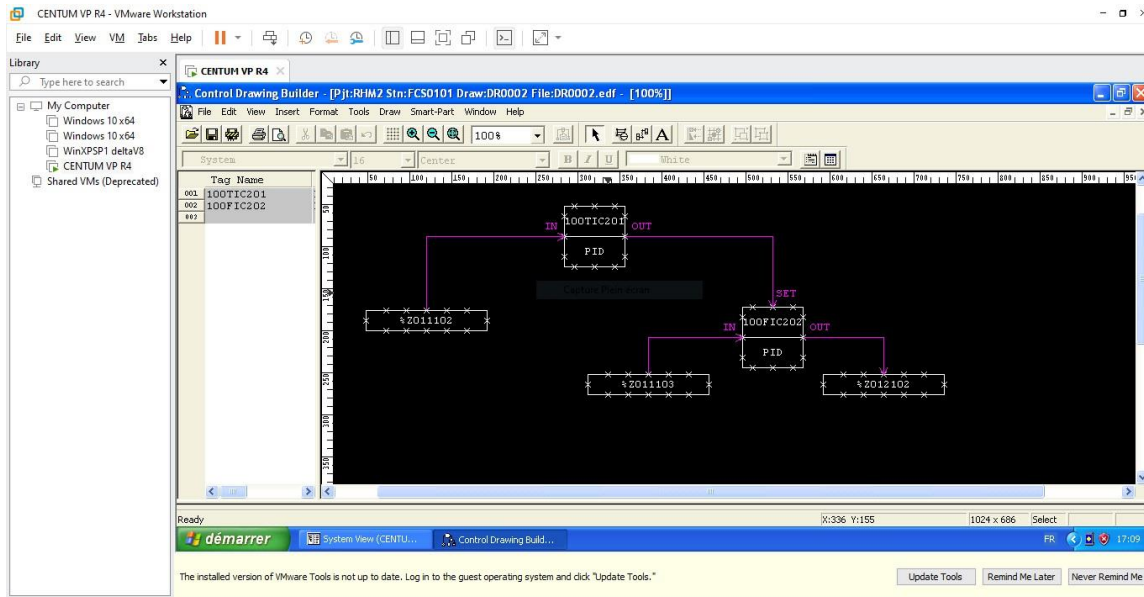
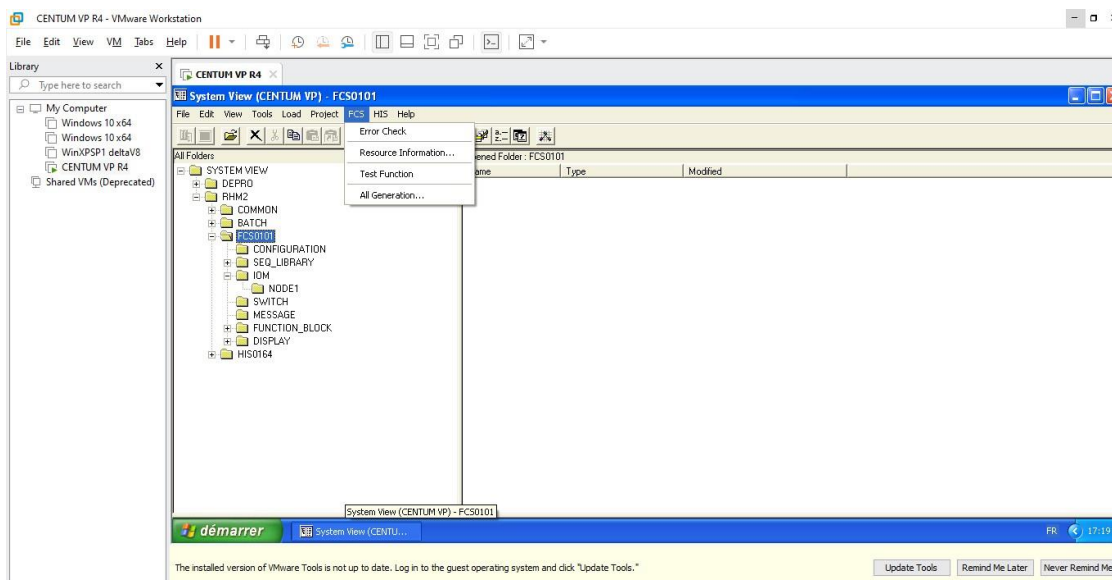


Figure IV.16 : Schema de bloc fonctionnel

h) Test fonction

C'est un groupe d'outils pour une vérification efficace de la partie logicielle de la FCS ainsi du graphique créé par l'utilisateur. Après le lancement de la fonction du test en cliquant sur « test fonction ».



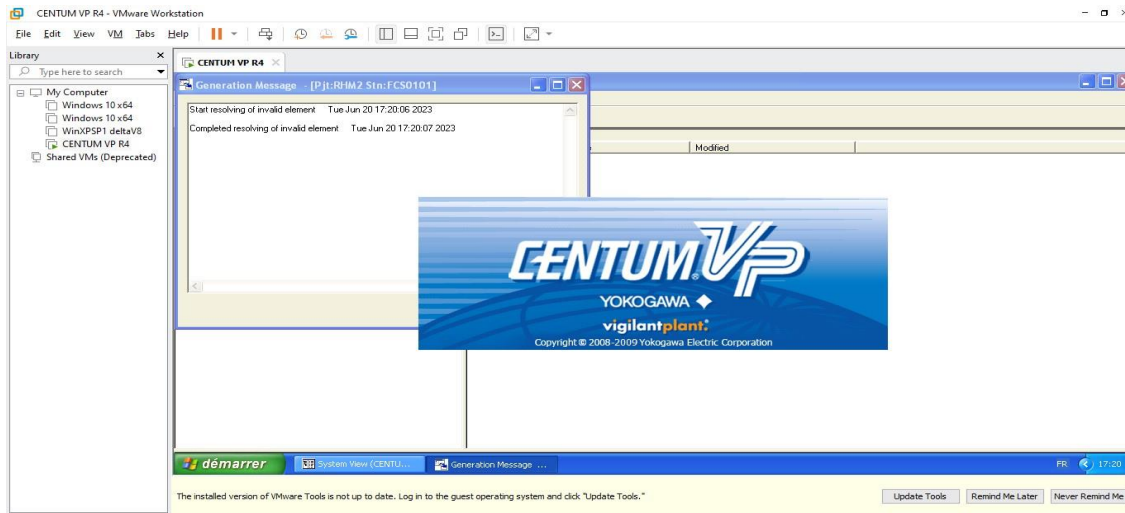


Figure IV.17 : Test fonction

i) Construction graphique

Les vues graphiques sont des vues créés par l'utilisateur et sont au nombre maximum 2500 pour le CENTUM VP.

Elles peuvent être de type:

- Synoptique
 - 200 variables procédés
 - 100 zones sensibles
 - 200 animations graphiques.
- Vue générale :
 - Possède 32 boutons permettant d'appeler n'importe quel type de vue
 - Elles permettent de hiérarchiser l'imagerie de l'application
- Vue de groupe :
 - Affichage de 8 faces-avants instrument (sont expliqués dans la page suivante)
 - Jusqu'à 16 en utilisant les réduites [36]

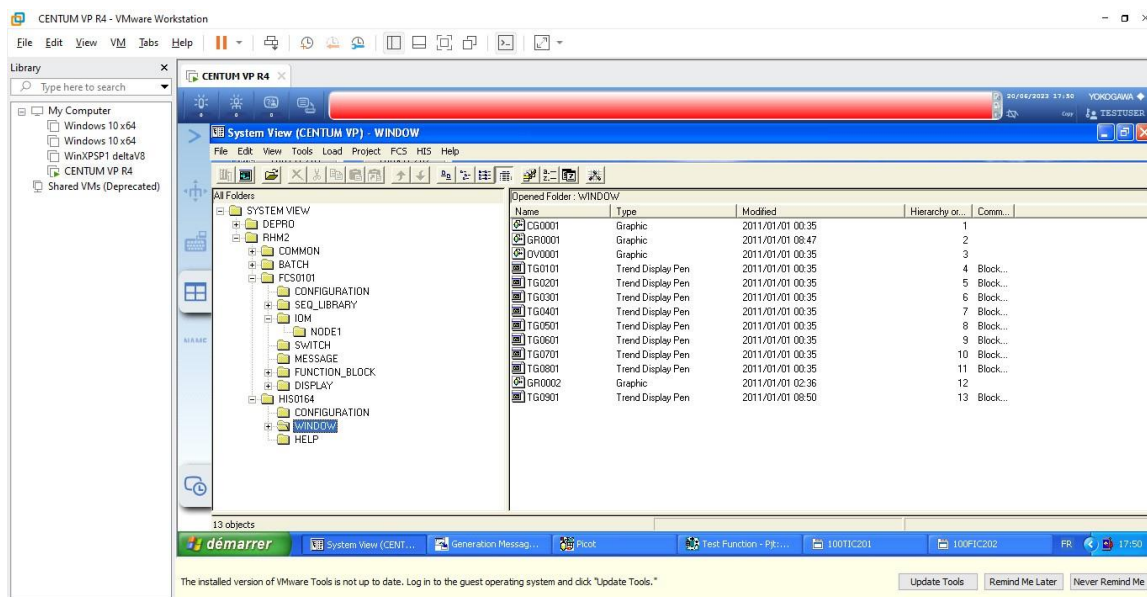


Figure IV.18 : Construction graphique 1

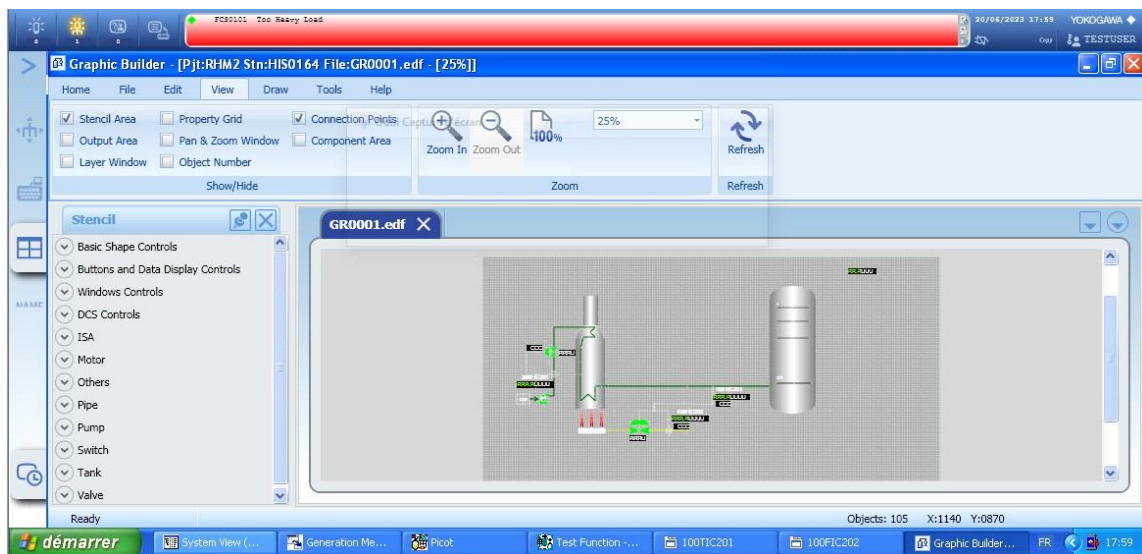


Figure IV.19 : Construction graphique 2

IV3 Partie Pratique

IV31. Problématique

Nous avons modernisé notre raffinerie en remplaçant le système pneumatique par un système électrique pour la régulation de la colonne de distillation du pétrole brut, et avons mis en place des boucles de régulation pour contrôler le débit de pétrole brut et la température, améliorant ainsi notre efficacité et notre production de produits raffinés de haute qualité.

IV32 Principe de fonctionnement

a) Boucle simple

Cette boucle simple se compose de :

transmetteur de débit, vanne automatique et un régulateur de débit.

Le transmetteur FT201 capte un débit de charge brut et transmet cette mesure vers un régulateur de débit FIC201, dont on fixe la consigne. Le rôle de régulateur est de comparer la mesure (PV) avec la consigne (SP), il va transmettre un signal de commande vers la vanne automatique FICV201 afin d'obtenir un écart entre consigne et mesure est égale à zéro.

b) Boucle de régulation cascade

Dans un four BA201 alimenté en Fuel Gaz combustible, on chauffe une charge de pétrole brut que l'on recueille à une température fixée T.

Une température T est captée par l'élément primaire de température TE201, et est transmise par le

transmetteur de température (thermocouple) TT201 au régulateur TIC201 dans la salle de contrôle. Elle constitue la mesure ou **PV** (Process variable) de ce régulateur TIC201 qui possédant une consigne ou **SP** (Set Point) fixé peut agir en conséquence sur la vanne de régulation du combustible FICV202.

Mais il n'agira pas directement sur cette vanne, sa commande Out% constitue le SP d'un deuxième régulateur FIC202, qui lui agira sur la vanne automatique .

Lorsque le système est en régime permanent; une fois une perturbation a lieu comme un changement de température T dans le four; cette perturbation passe par TIC201 à FIC202 qui régularise le système en envoyant une action sur la vanne Automatique.

Dans ce type de cascade, la boucle interne régule une grandeur intermédiaire de même nature que la grandeur réglée et en partie soumise aux mêmes perturbations. La position de la grandeur intermédiaire est telle qu'elle subit les perturbations avant la grandeur réglée. L'intérêt de la cascade sur la grandeur intermédiaire, par rapport à celle sur la grandeur réglante, est le fait qu'elle corrige un plus grand nombre de perturbations.

VI.3.3. Les entrees et les sorties de boucle cascade :

Tableau IV.1 : Les entrees et les sorties de boucle cascade

Symbole (TAG)	Type de fonction	Commentaire
100TI201	Entrée analogique	Température
100TIC201	PID (action inverse)	Régulateure température
100FT202	Entrée analogique	Débit
100FIC202	PID (action inverse)	Régulateure débit
100FV01	sortie analogique	La vanne 100FV01

IV.3.4. Configuration du système DCS :

La conception du système de supervision est réalisée en 3 principales étapes :

- Programation Régulation
- simulation
- Amélioration du système DCS (la page graphique)

IV.3.4.1. Programation et Régulation :

Une régulation cascade est composée de deux boucles imbriquées qui sont : boucle principale (maître) et boucle secondaire (esclave).

Une régulation cascade est une technique utilisée pour permettre aux procédé qui ont une dynamique lente d avoir une réponse rapide face aux perturbations extérieurs

a) La boucle principale (température)

➤ Indicateur d'entrée MLD_PVI

Le MLD-PVI est un bloc utilisé pour modifier la valeur de mesure du transmetteur en l'absence de connexion virtuelle, c'est-à-dire sans câblage (pas de rétroaction) entre le site et le système du cabinet de jonction.

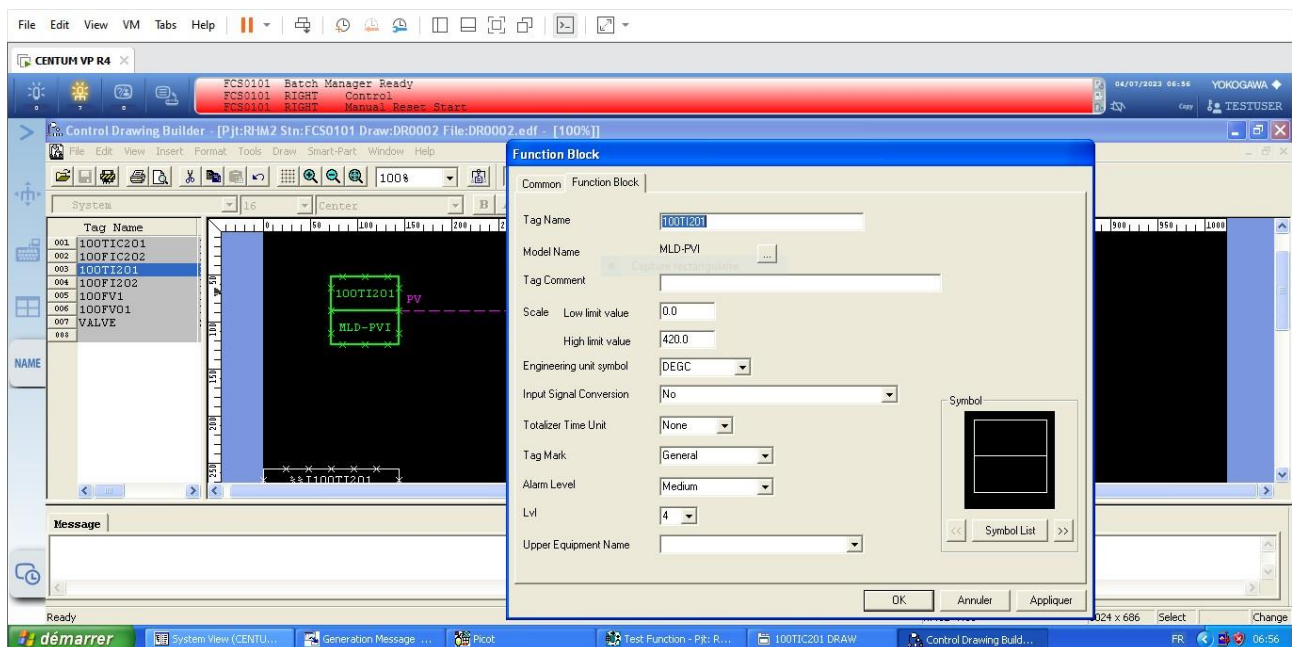


Figure IV.20 : bloc MLD_PVI 100TI201

➤ Régulateur PID :

Le bloc PID est utilisé pour ajuster les paramètres de régulation P, I et D dans la boucle de température. Régulateur PID

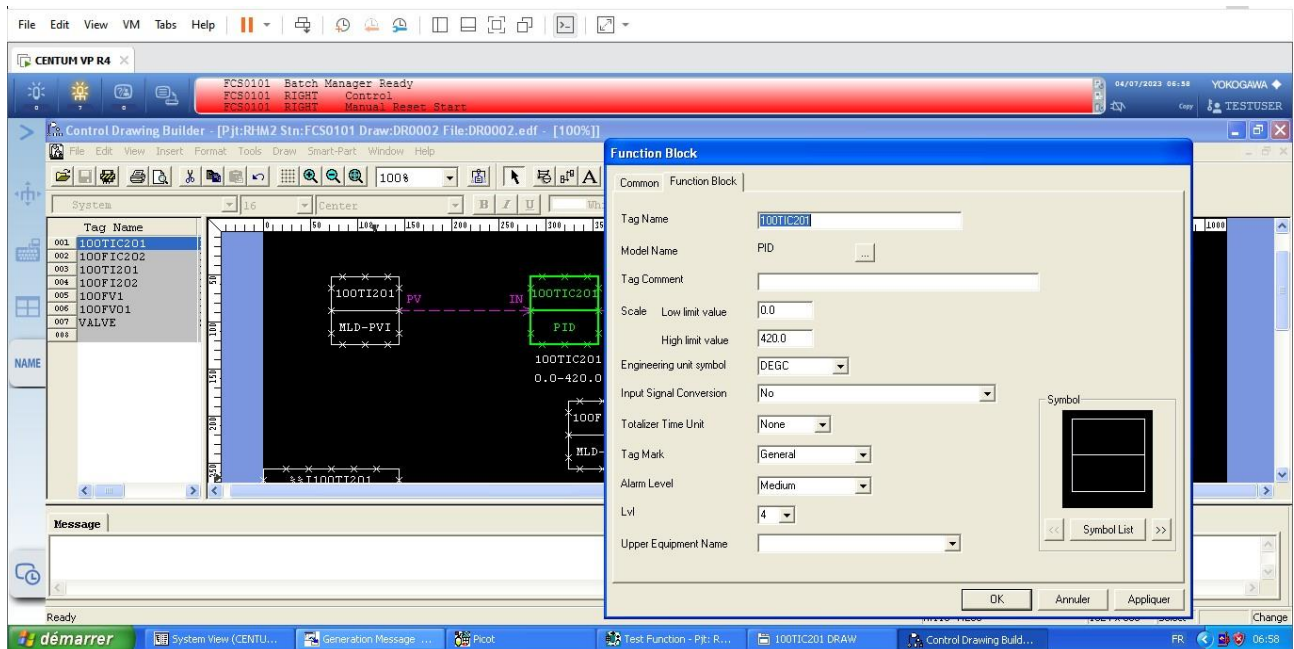


Figure IV.21: Régulateur Température 100TIC201

a) Boucle secondaire (débit)

➤ Indicateur d'entrée MLD_PVI

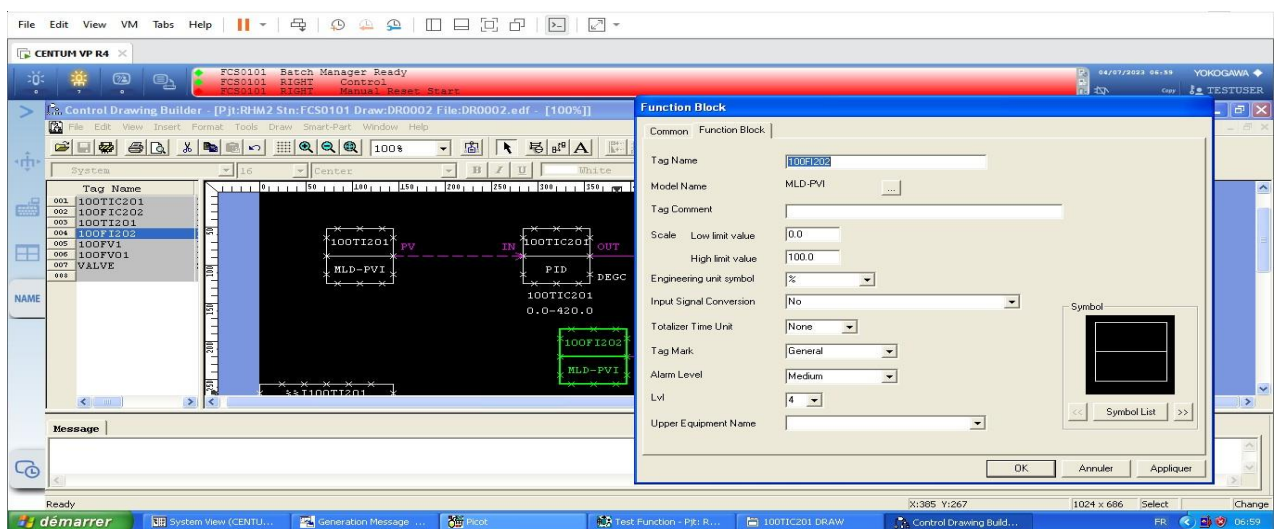


Figure IV.22 : Indicateur d'entrée MLD_PVI

➤ Régulateur PID :

Le bloc PID est utilisé pour ajuster les paramètres de régulation P, I et D dans la boucle de débit .Régulateur PID

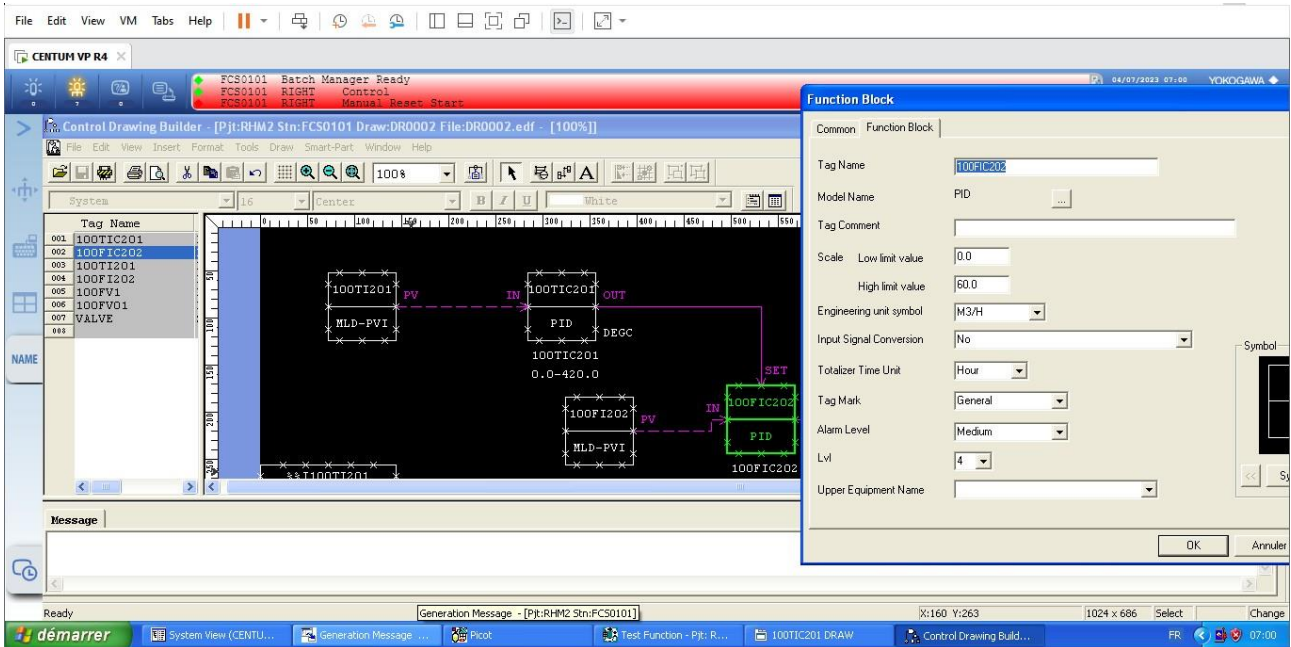


Figure IV.23 : Régulateur PID

C) La vanne

➤ Indicateur d'entrée MLD_ PVI (la vanne)

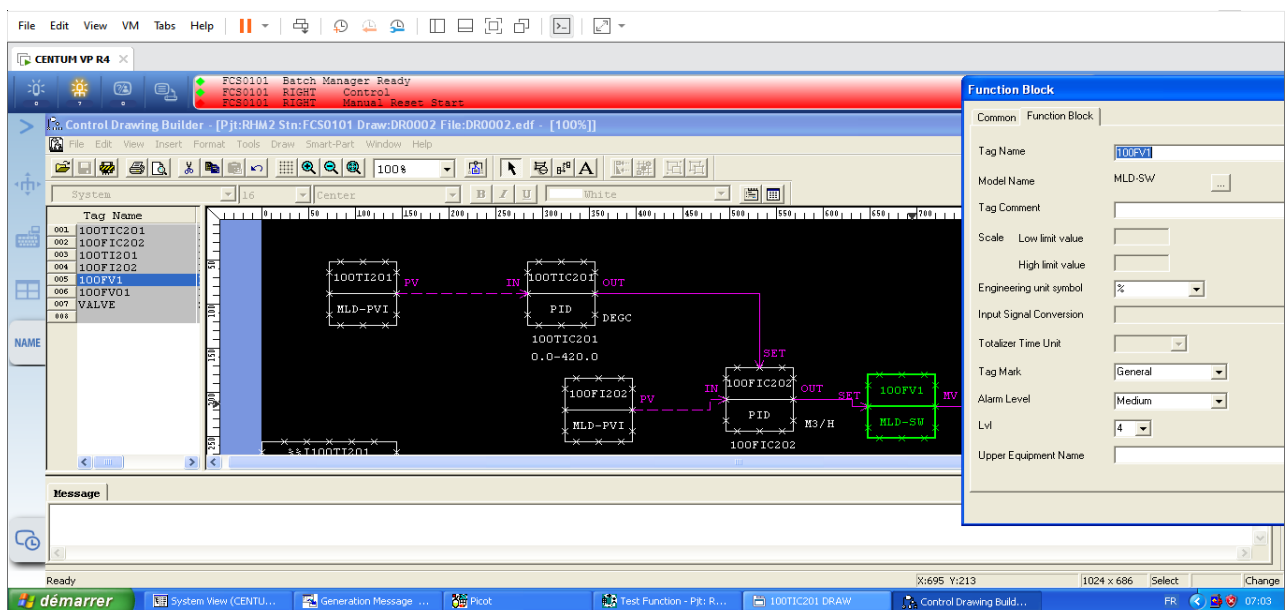


Figure IV.24 : Indicateur d'entrée MLD_ PVI (la vanne)

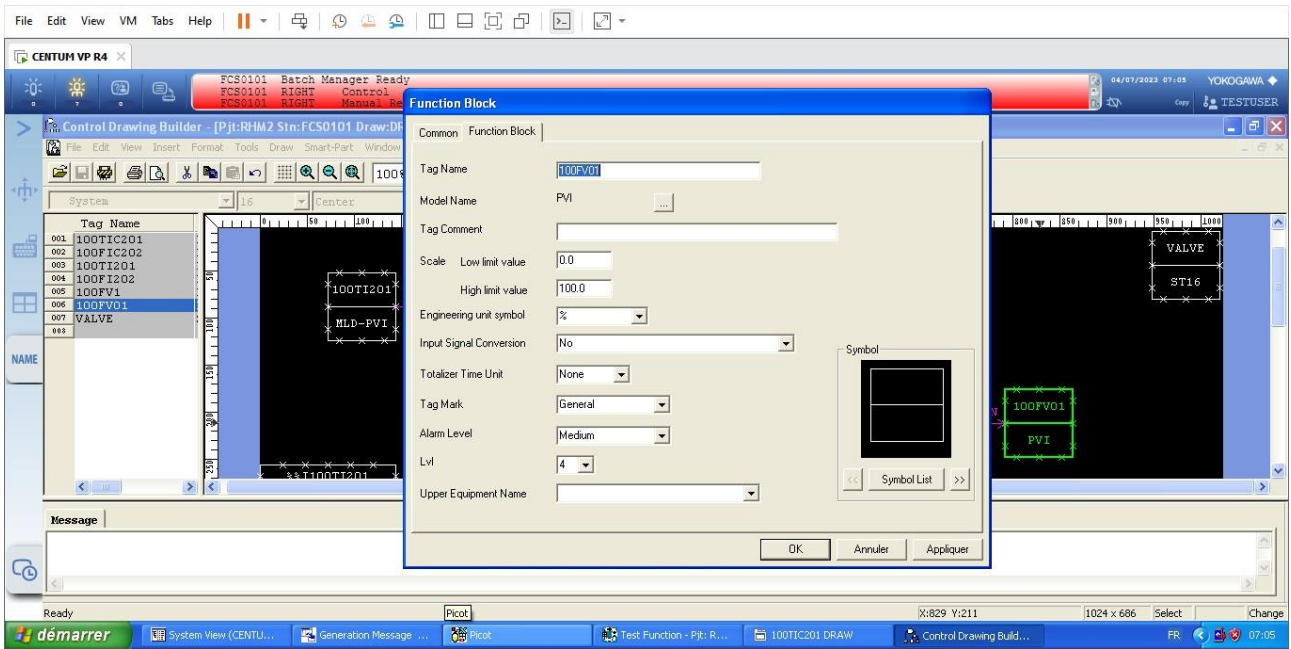


Figure IV.25 : Régulation de la vanne

d) Bloce sp16

Selon ce bloc, il est possible de forcer les vannes à fonctionner en mode automatique et en cascade

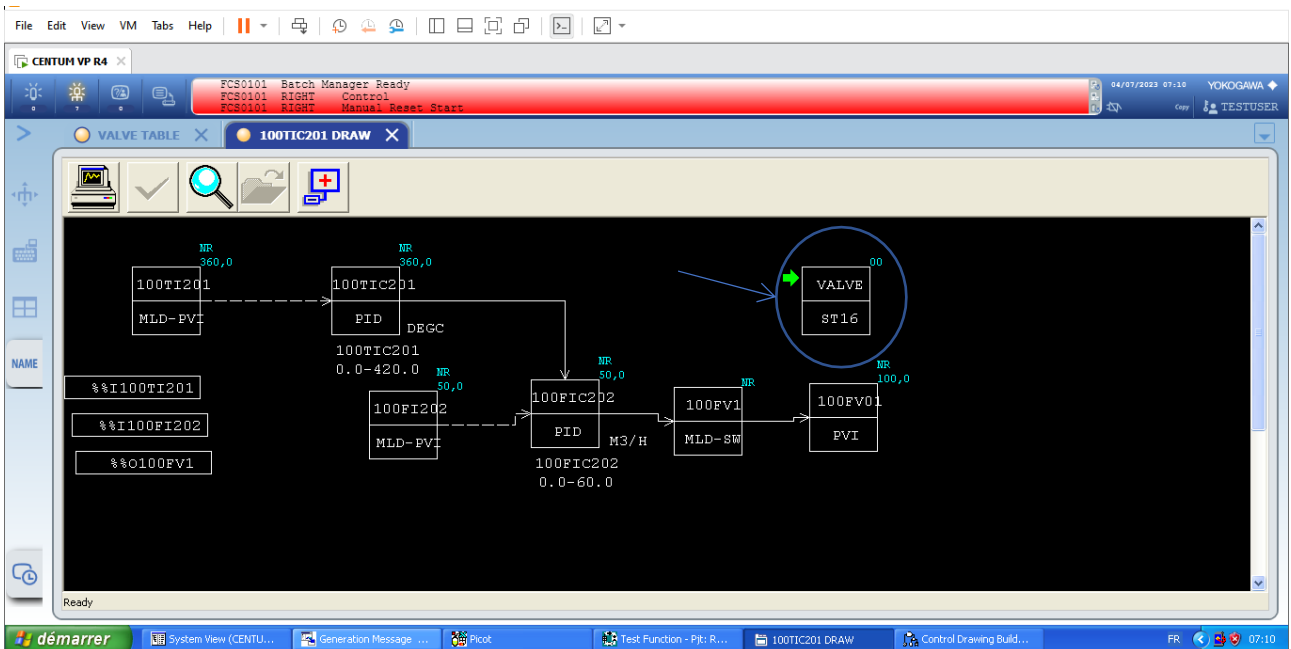


Figure IV.26 : Bloc sp16

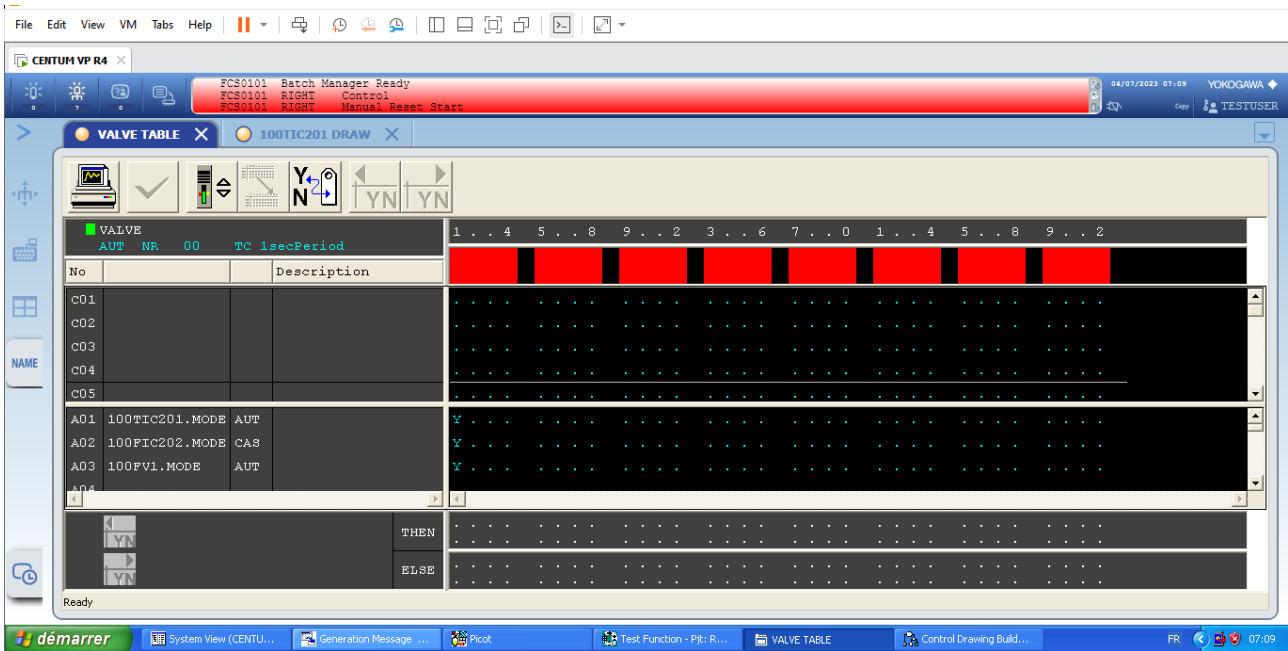


Figure IV.27 : Bloc SP16 pour force les vannes

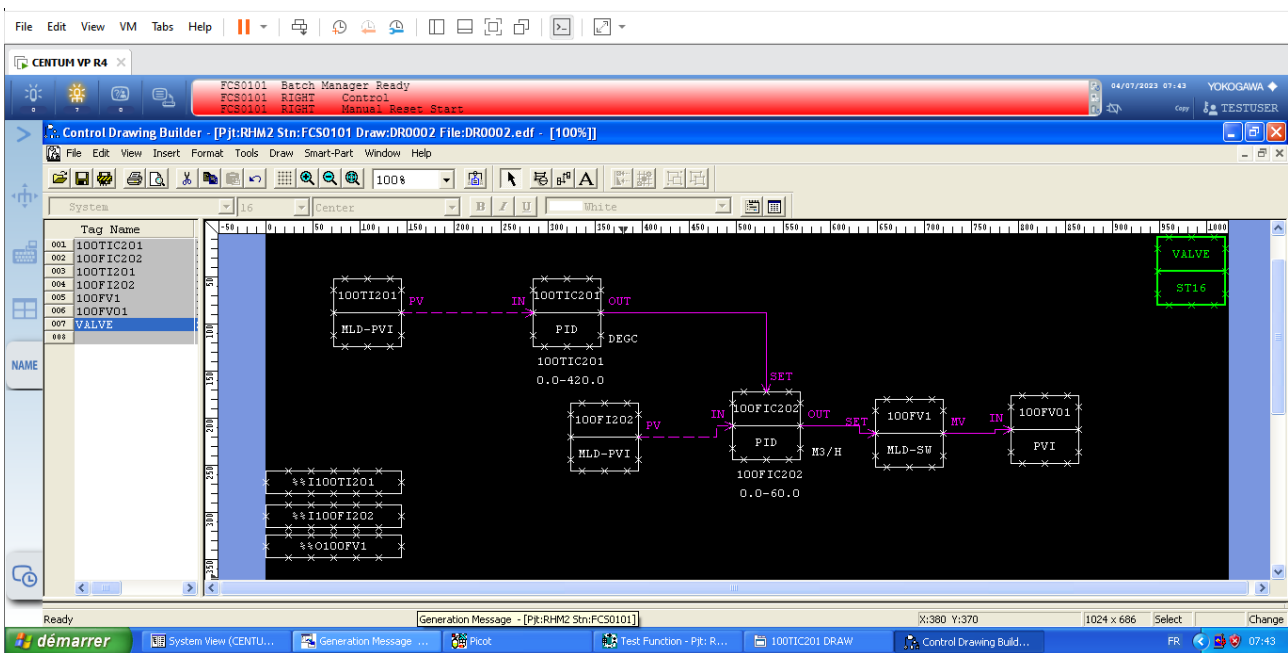


Figure IV.28: Partie régulation du DR0001

e) Programmation des boucles de régulation

Dans le cadre de cette étude et afin d’améliorer la précision et la stabilité du système, nous avons choisi un (PID). Pour des raisons de simulations, les paramètres sont déterminés de façon expérimentale.

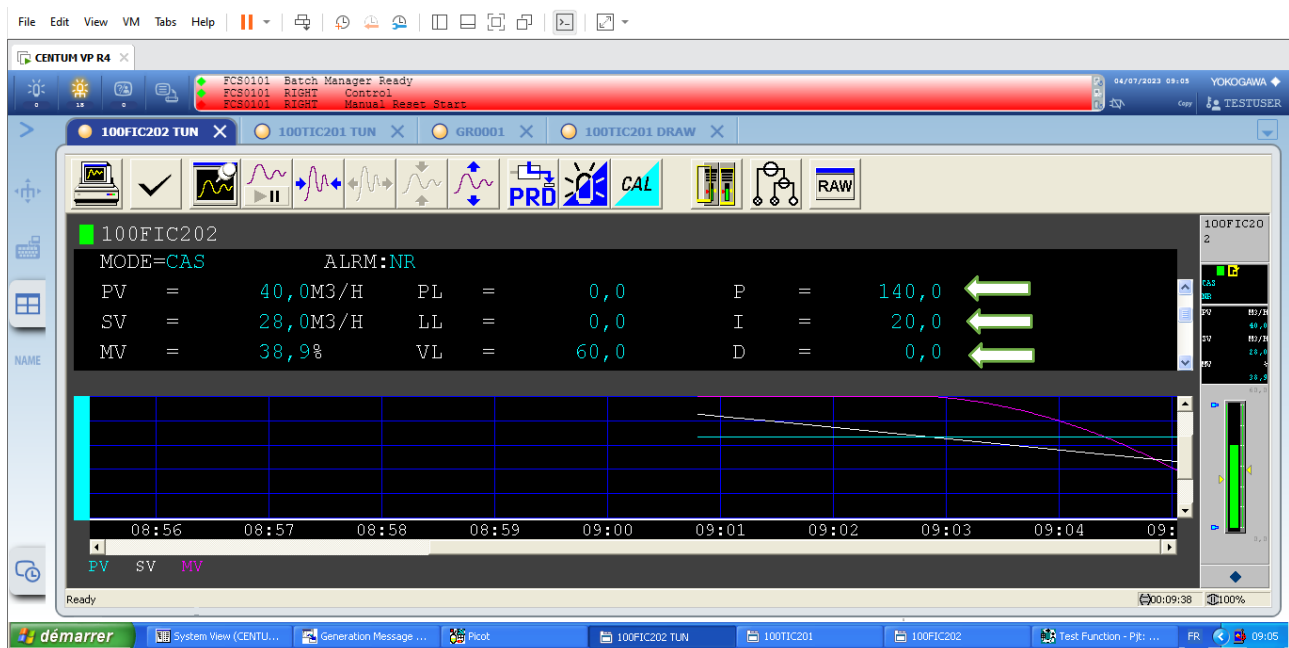


Figure IV.29 : Programmation des boucles de régulation

IV.3.4.2 Simulation :

Il existe deux types d'actions de régulateur PID :

l'action reverse (inversée) et l'action directe. Nous avons utilisé l'action reverse dans notre mémoire.

IV.3.4.2.1. L'action reverse dans les régulateurs de température et de débit (Impact de la consigne sur la commande) :

➤ Première application

Dans le cas d'une action reverse, lorsque la consigne (SV) est inférieure à la mesure (PV), la commande (MV) diminue. Cette situation est illustrée par deux exemples : un régulateur de température et un régulateur de débit.

Dans le régulateur de température, prenons l'exemple où la mesure de température (PV) est de 380°C, tandis que la consigne (SV) est de 342°C. Étant donné que SV est supérieur à PV, l'action reverse entraîne une diminution de la commande (MV).

D'autre part, dans le régulateur de débit, supposons que la mesure de débit (PV) est de 50 m³/h, tandis que la consigne (SV) est de 41 m³/h. Dans ce cas, étant donné que SV est inférieur à PV, l'action reverse entraîne une diminution de la commande (MV), ce qui conduit à une fermeture progressive de la vanne.

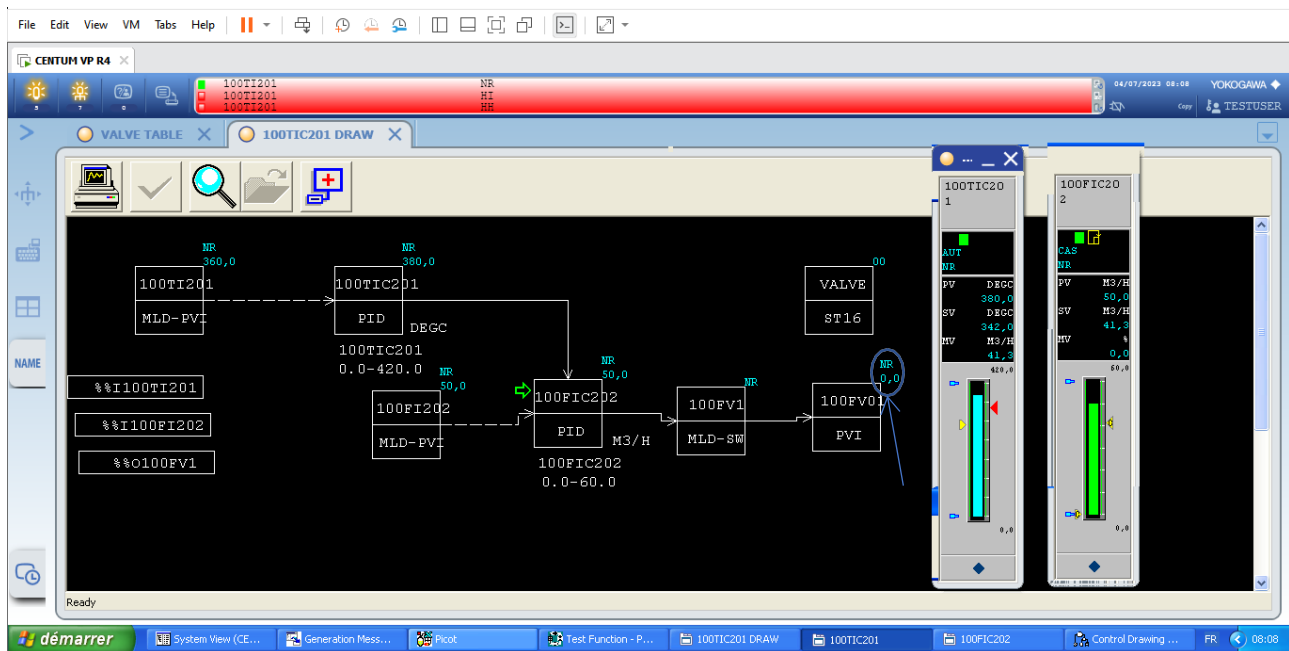


Figure IV.30 : Première application

➤ Deuxième application

Dans le cas d'une action reverse, où la consigne (SV) est supérieure à la mesure (PV), la commande (MV) augmente. Cela peut être illustré par deux exemples: un régulateur de température et un régulateur de débit.

Dans le régulateur de température, supposons que la mesure de température (PV) soit de 280°C, tandis que la consigne (SV) est de 342°C. Étant donné que SV est plus élevé que PV, l'action reverse entraîne une augmentation de la commande (MV) pour augmenter la puissance de chauffe et atteindre la température souhaitée.

D'autre part, dans le régulateur de débit, supposons que la mesure de débit (PV) soit de 38 m³/h, tandis que la consigne (SV) est de 41 m³/h. Dans ce cas, étant donné que SV est supérieur à PV, l'action reverse entraîne une augmentation de la commande (MV), ce qui conduit à une ouverture plus importante de la vanne pour augmenter le débit et se rapprocher de la valeur de consigne.

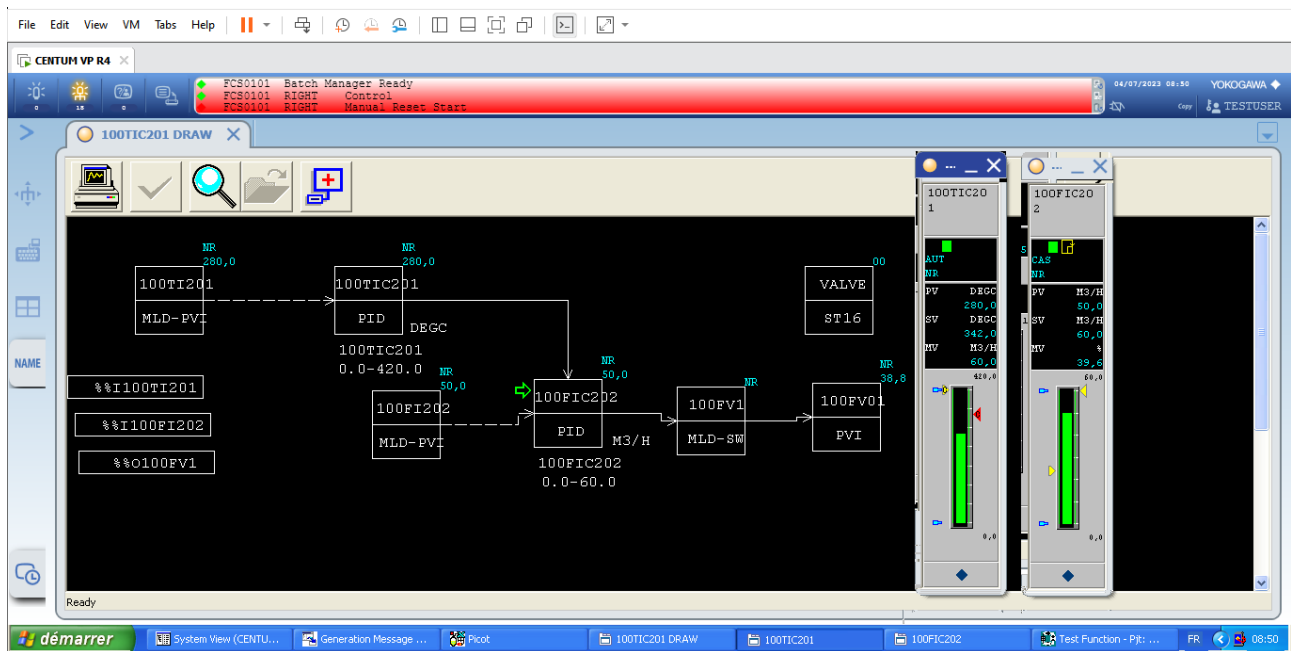


Figure IV.31 : Deuxième application

➤ **Troisième application**

Dans le cas d'une action reverse, lorsque la consigne (SV) est égale à la mesure (PV), cela peut être illustré par deux exemples : un régulateur de température et un régulateur de débit.

Dans le régulateur de température, prenons l'exemple où la mesure de température (PV) est de 342°C, tandis que la consigne (SV) est également de 342°C. Étant donné que SV est égal à PV, aucune correction n'est nécessaire et la commande reste stable.

D'autre part, dans le régulateur de débit, supposons que la mesure de débit (PV) est de 41 m³/h, tandis que la consigne (SV) est également de 41 m³/h. Dans ce cas, étant donné que SV est égal à PV, la vanne reste ouverte à un certain pourcentage et la commande reste stable pour maintenir le débit souhaité.

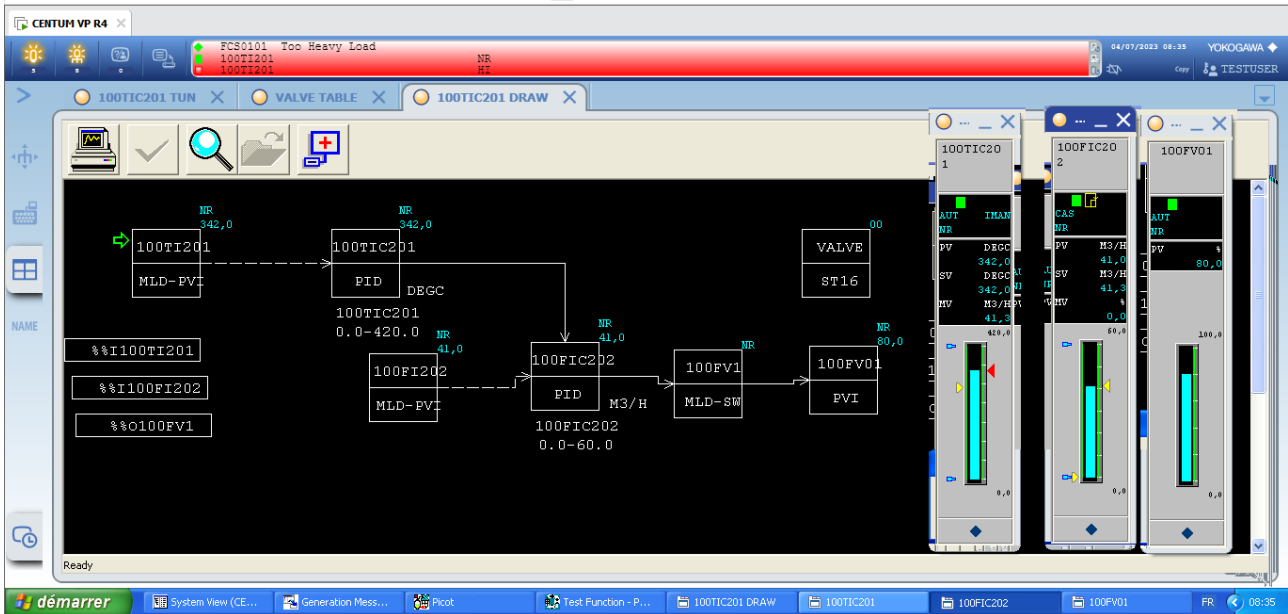


Figure IV.32 : Troisième application

IV.3.4.3. Amélioration du système DCS (la page graphique):

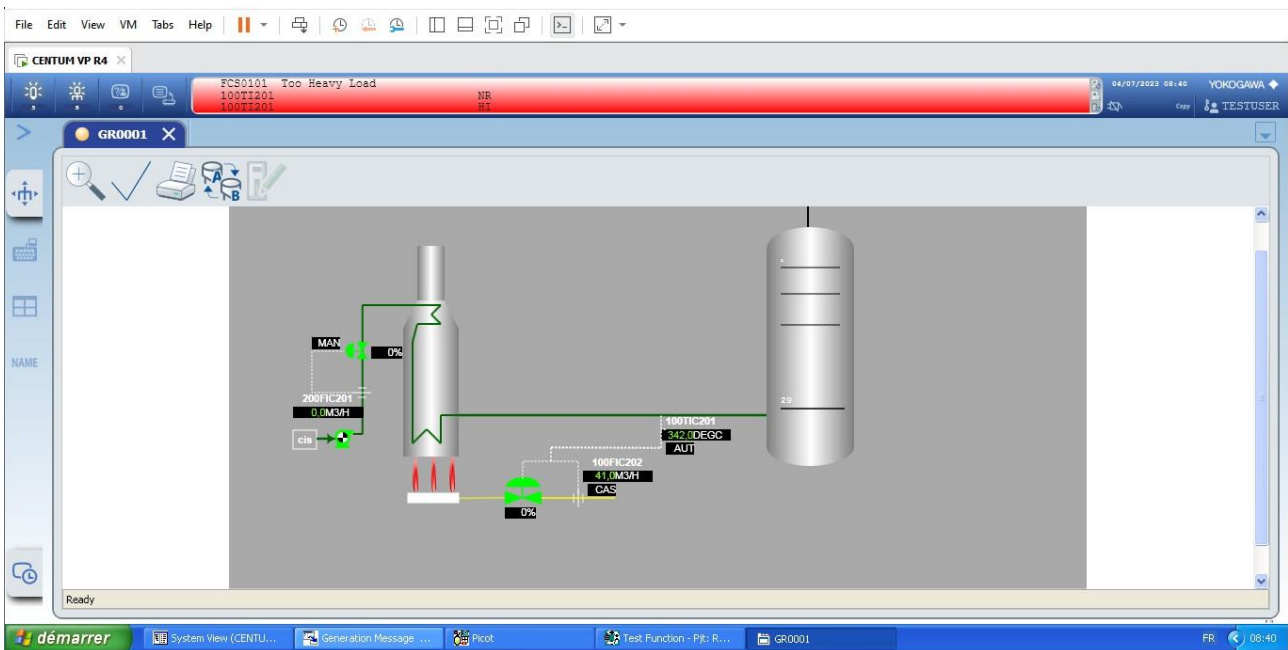


Figure IV.33 : Schéma synoptique

IV.4.Conclusion :

L'action reverse a été étudiée dans le contexte des régulateurs de température et de débit. Lorsque la consigne est supérieure à la mesure, cette action entraîne une augmentation de la commande pour atteindre la valeur de consigne souhaitée. Cela permet de maintenir des conditions optimales de température et de débit. Comprendre cette interaction entre la consigne et la commande est crucial pour une régulation précise et efficace. L'action reverse offre une approche adaptée pour ajuster les paramètres en fonction des besoins. En conclusion, l'action reverse joue un rôle clé dans la régulation des systèmes de température et de débit pour atteindre les objectifs de consigne avec efficacité.

Conclusion générale

Ce mémoire de projet de fin d'études résume la transformation réussie d'un système pneumatique en un système électrique pour la régulation du débit et de la température dans une colonne de distillation de pétrole brut. L'objectif principal était d'améliorer les performances du processus de distillation et d'optimiser la production de produits pétroliers raffinés.

L'étude détaillée du fonctionnement de la colonne de distillation et des exigences spécifiques de régulation a été effectuée. Les principes de la régulation en cascade ont été explorés pour optimiser le contrôle des variables interdépendantes.

La mise en œuvre pratique s'est faite en utilisant un système de contrôle électrique et en programmant les boucles de régulation en cascade et simple. Le logiciel de programmation DCS YOKOGAWA Centum VP r4 a été utilisé pour la configuration et la simulation du système de contrôle.

Les résultats obtenus ont démontré l'efficacité du système de contrôle électrique dans la régulation du débit et de la température de la colonne de distillation. La transformation du système pneumatique en système électrique a permis d'améliorer la précision, la stabilité et l'efficacité du processus de production.

En conclusion, ce projet de fin d'études a abouti à la transformation réussie du système de contrôle d'une colonne de distillation de pétrole brut, en passant d'un système pneumatique à un système électrique. Les résultats obtenus sont une contribution précieuse pour l'industrie pétrolière, offrant une meilleure optimisation des processus et une augmentation de la production de produits pétroliers raffinés.

Références bibliographiques

- [1] -Rapport de stage, service Boosting, Unité traitement du brut,2019.
- [2] -Laafala k, Guemini H, Zemmal H, Activation du puits par la pompe électrique Immerge (ESP) Dans le Champs HMD, Département de Production Des Hydrocarbures, MEMOIRE DE FIN D'ETUDES En vue de l'obtention du diplôme de MASTER, Université Kasdi Merbah Ouargla ,2021.
- [3] -Mouhamed M S H, Bounezra H, Qaboua F H M, Étude Faisabilité D'augmentation De La Production En Gasoil A LA Raffinerie De HMD2,, Raffinage Et Pétrochimie, Mémoire Fin D'études, Université Echahid Hamma Lakhdar-EL-Oued,2017.
- [4] -Rapport d'activité au niveau de la Nouvelle Raffinerie Hassi Messaoud description des procédés.
- [5] -Sonatrach Division de Production HMD, présentation de la nouvelle raffinerie RHM2,2007.
- [6] -Dokkar S, kasmouri S, Djahra H S, Augmentation De La Production De Gasoil-RHM2/HMD, Spécialité Génie du Raffinage, MEMOIRE DE FIN D'ETUDES En vue de l'obtention du diplôme de MASTER, Université Kasdi Merbah Ouargla ,2022.
- [7] -Dou F, Dou M, Retâte S, Changement du Ballon de Flash par une Colonne de Pré distillation avec une Augmentation de 16% de la Capacité de l'Unité de Distillation Atmosphérique, Raffinage Et Pétrochimie, Mémoire Fin D'études, Université Echahid Hamma Lakhdar-EL-Oued,2017.
- [8] -AGAL Y, GUENINECHE O, Simulation d'une colonne de distillation atmosphérique du pétrole brut au niveau de la raffinerie d'Alger, MEMOIRE DE FIN D'ETUDES En vue de l'obtention du diplôme de MASTER EN GENIE DES PROCEDES Spécialité Génie Chimique, UNIVERSITE BLIDA -1-,2021.
- [9] -MEKKI, I.K., Modélisation et commande robuste d'une colonne de distillation, Thèse de Doctorat LMD en Automatique, USTO_MB, 2014.
- [10] -BOUCHERIT A, Synthèse et caractérisation de molécules pharmacologiques à partir de dérivés pétroliers « cyclohexanone », Filière Industrie pétrochimie Spécialité, Génie du raffinage, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme De master académique, Université de Tissemsilt,2022
- [11] -M^{me} HARCHE, Cours Introduction au Raffinage et à la Pétrochimie, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene,2017.
- [12] - Dr C. SOBHI, Cours Chimie minérale organique industrielle, Université 20 aout 1955 Skikda ,2021
- [13] -Medjram S, Cours Les Industries du raffinage et de la pétrochimie, Université 20 aout 1955 skikda,2022.
- [14] -BOUCHAMA F, HASSOUN M, Commande non linéaire et diagnostic d'une colonne de distillation en vue d'une application en pétrochimie, Mémoire de Projet de Fin d'Étude pour

l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état et de Master en Automatique, ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE,2018.

[15] -Aouati R, Kismoune R, Analyse des interactions dans les systèmes à grand échelle. Application colonne de distillation binaire, Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de Master Filière Industrie pétrochimique, Spécialité Automatisation en industrie pétrochimique, Université 20 Aout 1955 Skikda ,2022.

[16] -Total, Manuel de formation cours EXP-PR-EQ100 Révision 0.1. Exploration et Production Les Équipements Les Colonnes.

[17] <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/raffinage-petrolier>.

[18] -Benkrea B, Bouguern A.S, Étude de la boucle de régulation de la température du Réacteur de polymérisation du complexe CP2K, Projet professionnel de fin de formation Pour l'obtention du diplôme de technicien supérieur spécialisé En instrumentation pétrolière, INSTITUT ALGERIEN DU PETROLE,2020.

[19] - Bouassida M, Ssupport de cours pour BTS-GM1 Régulation classique en l'industrie.

[20] - Slimani S, Hachour A, Contribution à l'Implémentation d'un Régulateur Flou Simplifié sous un API S7-300, Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de Master, Filière Automatique et Informatique Industrielle,2018.

[21] - Dr Boulgamh F, Implémentation et test en temps réel d'un bloc régulateur RST sur Le procédé industriel de régulation CE177, Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de Master, Option Génie Électrique,2017.

[22] -Rhode R, Régulation analogique, Pradeau La Sède, Ensemble Scolaire.

[23] -Rapport de stage Au niveau de la Nouvelle Raffinerie RHMD2.

[24] -Ingénieurs en Sécurité Industrielle. Risques et Précautions liés au Matériel D6-1/A Instrumentation-Régulation-Automatismes : Contrôle de Procédé et Boucles de Régulation.

[25] -Othman, S. (2003). Conception d'une loi de commande robuste de la pression dans un réservoir pneumatique à l'aide d'une formulation IML. Comme exigence partielle à l'obtention de la maîtrise en technologie des systèmes. M. ING. Mémoire présenté à l'École de Technologie Supérieure Montréal, le 15 avril 2003.

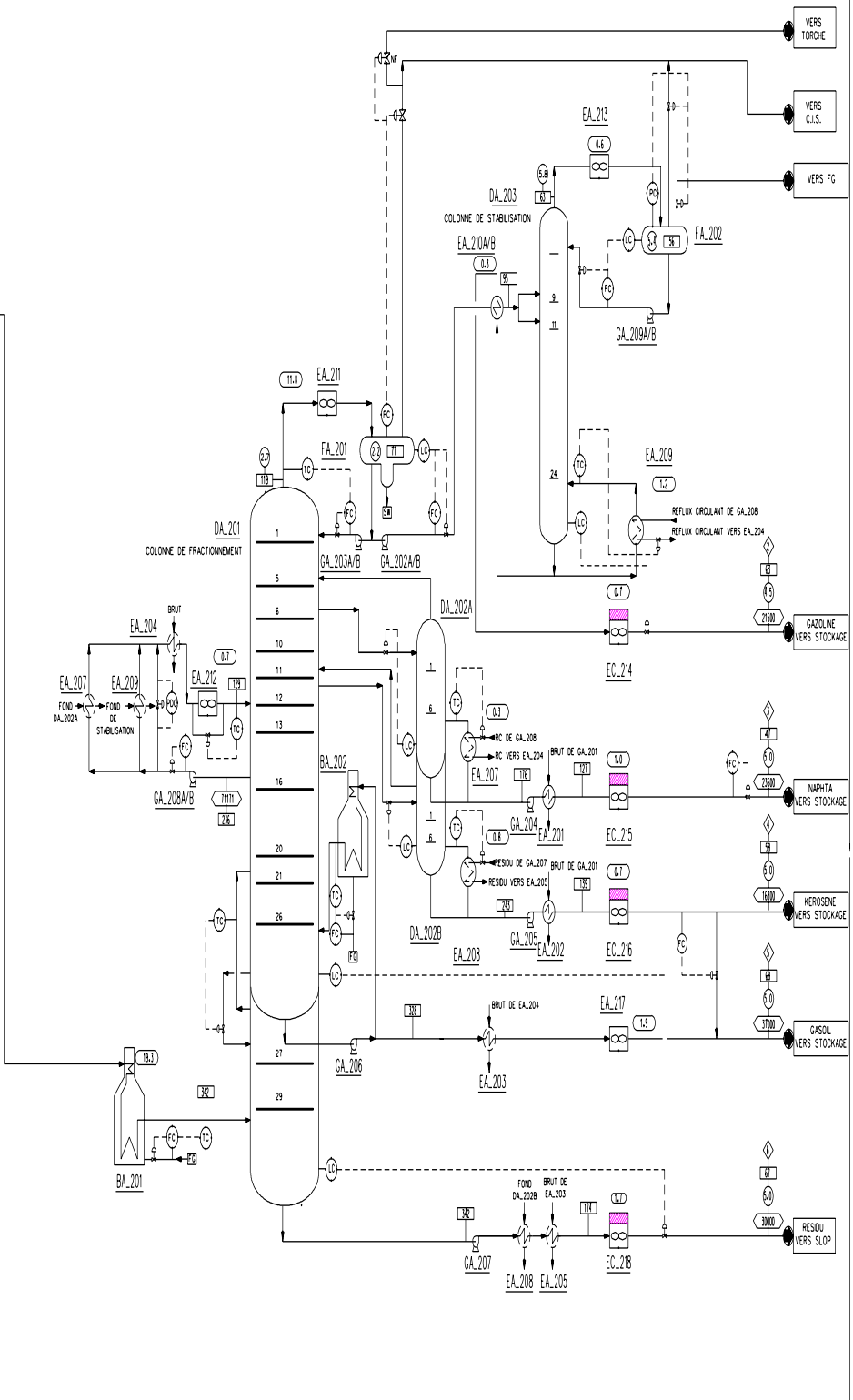
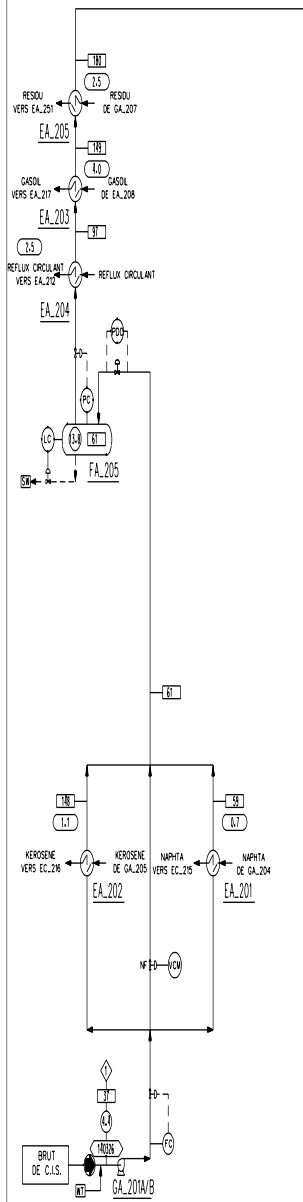
[26] -Messaoudi, Abdelhamid. Cours sur les systèmes pneumatiques et hydrauliques. Université de Biskra.

[27] -Dakoune, A and Choukai, O. "Étude et mise au point d'une boucle de régulation en cascade 'Cascade control' : Application à la régulation en cascade de niveau d'eau dans une cuve parfaitement agitée." Mémoire de fin d'études Filière génie des procédés, 2012.

- [28] -Deghfel, A. HERIZI, A. Réalisation d'un régulateur industriel PID à base d'Arduino et LABVIEW. Application à la régulation de température et de niveau." Mémoire de fin d'études (PFE) Filière Électronique. Spécialité : Électronique des systèmes embarqués, Université Med. BOUDIAF de M'Sila,2020.
- [29] -Commande des procédé, Jean-Pierre CORRIOU, génie des procédés de l'école de Nancy Lavoisier, TEC&DOC 1996, page 130.
- [30] Stage Opérateur, Training CAFC MLE, Centre de formation Evolutec International, 2017.
- [31] Vigilant Plant « ICSS Systems», <ISD-MASP-S03054> Yokogawa Electric Corporation.
- [32] <https://web-material3.yokogawa.com/BU33J01A10-01EN.pdf>
- [33] ARC WHITE PAPER « Executive Guide to Real Time Operations Profitability: Benefits Manufacturers can expect: Part 2», ARC Advisory Group, 2015.
- [34] Stage Ingénierie CENTUM VP R4.01/V1-0509, Yokogawa France SAS
- [35] Mezdoor H, Ayab M, « Étude et réalisation d'un système de supervision sous Yokogawa CS3000 Application à l'unité de production d'air de l'entreprise nationale SONATRACH », Mémoire de Master, Automatique et Informatique Industrielle, Université de Guelma, 2019.
- [36] AYAB Bilal et BAALI Mehdi, Régulation du turbo-expandre et automatisation de la vanne Joule-Thomson au niveau de SH-FCP sous YOKOGAWA Centum VP , Mémoire de Master, Automatique et Informatique Industrielle Université de Guelma 2019

Annexe

Process Flow Diagram (PFD) du système



NOTES :

- (N) NOUVEAU
- (D) DEPLACÉ
- (M) MODIFIÉ

numero du flux	1	2	3	4	5	6			
nom du courant	BRUT	GASOLINE	NAPHTA	KEROSENE	GASOL	RESIDU			
debit total kg/h	140226	21500	23600	16300	37000	30000			
debit liq sté m ³ /h	177.1	32.0	31.9	20.8	43.7	33.5			
debit gaz Nm ³ /h									
SPGR	0.7876	0.6717	0.740	0.7859	0.8470	0.8971			
NUM gaz									
Entropie kcal/h	2.417	0.729	0.530	0.422	1.020	0.780			

REV.	DATE	DESCRIPTION DES REVISIONS	DESSINEUR	VERIFIEUR	APPROUVE
4	09/13/02	SCHEMA PRELIMINAIRE	LHM	RS	

REV.	DATE	DESCRIPTION DES REVISIONS	DESSINEUR	VERIFIEUR	APPROUVE

DIVISION PROJETS INDUSTRIELS
 BUREAU D'INGENIERIE DE NASSI MESSAOUD
 DISTILLATION ATMOSPHERIQUE
 ET STABILISATION.
 TEST RUN
 IS ENVALE EST LA PROPRIETE DE NASSI-MESSAOUD
 ET NE PEUT ETRE REPRODUIT OU DISTRIBUE.