



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



Faculté de Technologie
Département de
Pétrochimie

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière: Industries Pétrochimiques

Spécialité: Génie Pétrochimique

Thème:

**Etude Mathématique du Rendement thermique les
trois Fours de RA2K avec et sans marche
le Préchauffeur d'air APH**

Réalisé par:

- ❖ CHIKH AISSA Hassan
- ❖ BOUZIANI Mohamed

Encadré par: Pr. CHAFIA Sobhi

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Tout d'abord, nous exprimons notre gratitude à notre DIEU, notre Créateur pour nous avoir donné la force nécessaire pour accomplir ce travail.

Nous tenons aussi à notifier un remerciement spécial à notre encadreur professeur CHAFIA Sobhi, maitre à l'Université de SKIKDA qui nous a beaucoup aidé à réaliser ce travail.

Nous désirons également exprimer nos remerciements essentiels à tous les travailleurs de RA2K, en particulier l'ingénieur de technique Bouaroua Omare et l'ingénieur d'exploitation Noureddine, ainsi qu'à tous les travailleurs de RA1k. Enfin, nos remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Arrivé au terme de mes études, j'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :

A mon très cher père.

A ma très chère mère.

A mon très cher frère et ma soeur.

A toute ma famille.

A tous mes amis que j'ai connus de toute ma vie.

A toute personne ayant contribué de près ou de loin la réalisation de ce travail.

MOHAMED

Dédicace

Je souhaite dédier ce mémoire à mes chers parents qui ont toujours été

présents à mes côtés et m'ont soutenu tout au long de mes nombreuses années d'études.

En signe de profonde gratitude pour tous les efforts et les sacrifices qu'ils ont consentis pour

me voir réussir, je leur exprime ma reconnaissance sincère.

Je tiens également à remercier toute ma famille sur tout Aicha et mustapha , ainsi que mes

amies Ihabe, Abderhmane, Rostome et Bahadi.

J'adresse mes remerciements spéciaux à toutes les personnes qui me connaissent, en particulier

Bayoube boudjnah , Mon oncle Salah Eddine, Kraoua.S. Enfin, mes remerciements vont à tous

ceux qui apprécient le travail acharné et qui ne reculent pas face aux obstacles de la vie.

HASSANE

Liste des abréviations

RA2K:	Complexe topping condensât Skikda.
GPL :	Gaz de Pétrole Liquéfié.
OPEP :	Organisation des pays exportateurs de pétrole.
Z :	Profondeur.
Ppm :	Partie par million.
KOH :	L'Hydroxyde de potassium.
ASTM:	American Society for Testing and Materials.
API:	American Petroleum Institute.
OB#1 :	Nom d'un champ du condensât dans le désert Algérien.
ALRAR :	Nom d'un champ du condensât dans le désert Algérien.
BEJAIA :	Nom d'un champ du condensât en Algérie.
LGO:	Light Gas Oil (Gasoil Léger).
HGO:	Heavy gas oil (Gasoil lourd).
Ppb :	Partie par milliard.
Max :	Maximum.
Min :	Minimum.
CSt :	Centistokes $1cSt = 1mm^2$.
PS/m :	Picosiémens par mètre.
U :	Unité
RHOUD NOUSS :	Nom d'un champ de condensât dans le désert Algérien.
NEW OB1 :	Nom d'un champ de condensât dans le désert Algérien.

Jet A1:	Carburant pour aviation (Kérosène).
R :	Le taux de reflux.
APH:	Air prehaiter (préchauffeurs d'air).
PCI :	Pouvoir calorifique inférieur.
PCS :	Pouvoir calorifique supérieur.
η :	Rendement Thermique.
F101 :	Four F-101 rebouilleur de la colonne de préfractionnement.
F102 :	Four F-102 préchauffeur de la colonne de distillation atmosphérique F-103.
F103 :	Four F-103 : rebouilleur de la colonne de distillation atmosphérique F-103.
Q :	Quantité de chaleur.
T :	Température.
y_i :	Fraction volumique.
β:	Volume d'excès d'air.
n :	Débit molaire.
DA :	Dinar Algérien.
NOx :	Oxyde d'azote.

Résumé

L'objectif de cette étude consistait à comparer les rendements et les pertes de chaleur des fumées entre les trois fours 100-F-101, 100-F-102 et 100-F-103 de l'unité 100, avec et sans l'utilisation d'un préchauffeur d'air. Ce dispositif permet de récupérer la chaleur perdue par les fumées, améliorant ainsi la combustion et réduisant la pollution environnementale. Les résultats obtenus ont démontré que le préchauffeur d'air était opérationnel. Par conséquent, les rendements des trois fours ont été améliorés grâce au système de préchauffage d'air, validant ainsi l'objectif initial.

Mots clés: Rendement, Fours, Préchauffeur d'air, Chaleur, Fumées, Combustion Environnement.

Summary

The objective of this study was to compare the yields and heat losses from flue gases among the three furnaces 100-F-101, 100-F-102, and 100-F-103 of unit 100, with and without the air preheater. The air preheater is used to recover the heat lost by the flue gases, thereby improving combustion and reducing environmental pollution. According to the obtained results, it was found that the air preheater was in operation. Therefore, the yields of the three furnaces were improved through the air preheater system. Thus, the objective was verified.

Key words: efficiency, furnaces, Air preheater, Heat, fumes, Combustion, environment.

الملخص

كان الهدف من هذه الدراسة هو مقارنة فعالية وفقدان الحرارة لغازات المداخل بين الأفران الثلاثة 100-F-101 و 100-F-102 و 100-F-103 للوحدة 100 ، مع وبدون استخدام تسخين الهواء. يتيح هذا الجهاز إمكانية استعادة الحرارة المفقودة من الأبخرة ، وبالتالي تحسين الاحتراق وتقليل التلوث البيئي. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن سخان الهواء كان يعمل لتحسين إنتاجية الأفران الثلاثة بفضل نظام التسخين المسبق للهواء ، وبالتالي التحقق من صحة الهدف الأولي.

الكلمات المفتاحية: فعالية ، الأفران ، تسخين الهواء ، الحرارة ، الأبخرة ، الاحتراق ، البيئة.

Liste des tableaux

Tableau	Pages
Tableau.I.1:Consommation de services envisagée pour l'unité 100	04
Tableau.II.1:Caractéristiques du Naphta	17
Tableau.II.2:Caractéristiques du kérosène	18
Tableau.II.3:Caractéristiques du LGO	19
Tableau.II.4:Caractéristiques du HGO	20
Tableau.IV.1:Les pourcentages volumiques des constituants du gaz de combustion	40
Tableau.IV.2: <i>PCI des constituants du gaz de combustion</i>	41
Tableau.IV.3:Four F-101 rebouilleur de la colonne de préfractionnement T101	41
Tableau.IV.4:FourF-102préchauffeur de la colonnededistillationatmosphériqueT103	42
Tableau.IV.5:FourF-103:rebouilleur de la colonne de distillation atmosphérique T103	42
Tableau.IV.6:Quantité d'oxygène nécessaire pour la combustion pour les trois fours avec et sans APH	44
Tableau.IV.7:Quantité gaz d'azote dans les fumées pour les trois fours avec et sans APH	45
Tableau.IV.8:Quantité de la vapeur d'eau dans les fumées pour les trois fours avec et sans APH	46
Tableau.IV.9:Les quantités des constituants des fumées à base 100 Nm ³ de gaz combustible	46
Tableau.IV.10:Les pourcentages des constituants des fumées pour les trois fours avec et sans APH	47
Tableau.IV.11:Débit molaire des fumées des trois fours avec et sans APH	49
Tableau.IV.12:La Chaleur spécifique moyenne des fumées Avec APH	52
Tableau.IV.13:La Chaleur spécifique moyenne des fumées Sans APH	52
Tableau.IV.14:La quantité de chaleur perdue par les fumées	53
Tableau.IV.15:Quantité de chaleur perdue par les parois dans les trois fours avec et sans APH	56
Tableau.IV.16:Rendement thermique des trois fours avec et sans APH	58

Liste des figures

Figures	Pages
Figure I.1: Plan générale du projet	01
Figure I.2: Complexe Topping de Condensât	02
Figure I.3: Schéma de la Colonne de préfractionnement (100-T-101) de l'unité 100.	05
Figure. I.4: Schéma de la Colonne de distillation atmosphérique (100- T-103) de l'unité 100	06
Figure. I.5: Schéma de la Colonne de distillation sous vide (100-T-401) de l'unité 100	07
Figure I.6: Schéma explicatif de Plateau à courants croisés	08
Figure I.7: Schéma de la section de dépropanisuer de l'unité 100	09
Figure I.8: Schéma de la section de stabilisation des essences	10
Figure I.9: Schéma de la section de séchage du butane dryer package	11
Figure I.10: Schéma de la section de préchauffe	12
Figure I.11: Plan de circulation des deux fluides dans l'APH	17
Figure I.12: Image à gauche montre les ailettes des tubes cotés fumées de l'APH	17
Figure I.13: Image à droite montre les tubes de l'APH coté air	20
Figure II.1 : structure chimique de quelques composés organosulfurés.	15
Figure III.1: Four cylindrique Vertical	25
Figure III.2: Schéma montre les modes de transmission de la chaleur	25
Figure III.3: Four cabine à tubes horizontaux	26

Figure.III.4:Garnissage isolant et réfractaire	27
Figure.III.5:Un exemple d'un beton réfractaire	28
Figure.III.6: Un exemple d'un fibre céramique.	29
Figure.III.7:(a) Laine de verre, (b) Fibres minérales.	29
Figure.III.8: Images montrent des brûleurs	30

Figure.III.9: .(a) Brûleur du gaz à flamme de diffusion (Simple), (b) Brûleur du gaz à pré-mélange (Prémix)	31
Figure.III.10: Schéma de régulation d'un four	34
Figure.III.11: SchémamontreLes Fours du Topping condensat de skikda.	36
Figure.III.12: Plan de circulation des deux fluides dans l'APH	37
Figure.III.13: (a) les ailettes des tubes cotés fumées de l'APH, (b) les tubes de l'APH coté air	38
Figure.IV.1. Diagramme représentatif du bilan thermique	39
Figure.IV.2:Quantité de chaleur perdue par les fumées dans les trois fours avec et sans APH (kcal/h)	55
Figure.IV.3:Quantité de chaleur perdue par les parois dans les trois fours avec et sans APH	58
Figure.IV.4:Les rendements thermiques de chaque four avec et sans APH	59

Sommaire

Introduction générale

Partie théorique

Chapitre I: Présentation du complexe RA2K raffinerie de condensât à skikda.

I.1.Topping la raffinerie du condensât.	1
I.2.Situation géographique du complexe.....	1
I.3.Bases de construction de complex RA2K.....	1
I.3.1.Unité de traitement du condensât (U100)	2
I.3.2.Unité de traitement du kérosène (U200)	3
I.3.3.Installations de stackage et transfert des produits finis (U300)	3
I.3.4.Système torche (U400)	4
I.3.5. Unité de services (utilités) (U500)	4
I.4.Types de colonnes de distillation fractionnée de la raffinerie de condesat	4
I.4.1.Colonne de préfractionnement (100-T-101)	4
I.4.2.Colonne de distillation atmosphérique (100- T-103)	5
I.4.3.Colonne de distillation sous vide (100-T-401)	6
I.5.Les différents types de plateaux.....	7
I.6.Les principales sections du procédé.....	9
I.6.1.Section de dépropaniseur (100-T-301)	9
I.6.2.Section de stabilisation des essences (débutaniseur) (100-T -201)	9
I.6.3.Section de séchage de butane.....	10
I.6.4.Train de préchauffe.....	11
I.6.5.Section d'injection de l'amine de neutralisation.....	12
I.6.6.Section injection d'inhibiter de corrosion.....	13
I.6.7.Section injection d'eau.....	13

Chapitre II :Généralité sur le condensât

II.1.Origine de condesât.....	14
II.1.1.Gaz humide.....	14
II.1.2.Gaz sec.....	14
II.2.Usage du condensât.....	14

II.3.La composition chimique du condensât.....	15
II.3.1.Hydrocarbures paraffiniques.....	15
II.3.2.Hydrocarbures cyclo paraffiniques (naphtène)....	15
II.3.3.Hydrocarbures aromatiques.....	15
II.3.4.Composés sulfurés.....	15
II.3.5.Composés azotés.....	15
II.3.6.Composés oxygénés.....	15
II.3.7.Les métaux.....	16
II.3.8.L'eau.....	16
II.3.8.1.Théorie sur les émulsions.....	16
II.3.8.2.Types d'emulsion.....	16
II.4. Produits trouvés issu le raffinage du condensât de RA2K	17
II.4.1.Le naphta.....	17
II.4.1.1. Caractéristiques du naphta RA2K	17
II.4.1.2.Utilisations du naphta.....	17
II.4.2.Le butane.....	18
II.4.2.1.Utilisations du butane.....	18
II.4.3.Le Kérosène.....	18
II.4.3.1.Caractéristiques kérosène de RA2K.....	18
II.4.3.2.Point d'éclaire du kérosène.....	19
II.4.3.3.Utilisation de kérosène.....	19
II.4.4.LGO.....	19
II.4.4.1.Caractéristiques LGO de RA2K.....	19
II.4.4.2.Utilisations de LGO.....	19
II.4.5.HGO.....	20
II.4.5.1.Caractéristiques HGO du RA2K.....	20
II.4.5.2.Utilisations de HGO.....	20
II.5.Qualite de condensât algérien.....	20

Chapitre III :Les fours tubulaires et le concept de combustion

III.1.La combustion dans un four.....	22
III.2.Conditions nécessaires à la combustion.....	22
III.3.Chaleur de la réaction de combustion.....	23
III.4. Réaction de combustion.....	24
III.5.Les différents types de fours.....	24
III.5.1.Les fours dits (boîtes) à tubes verticaux.....	24
III.5.2.Les fours à chauffage par murs radiants.....	24
III.5.3.Les fours cylindriques verticaux.....	24
III.5.4.Les fours dits (cabines) à tubes horizontaux.....	25
III.5.5.Les fours à double chauffe.....	26
III.6. Eléments d'un four tubulaire.....	27
III.6.1.Garnissage des parois du four (Enveloppe).....	27
III.6.2.Faisceaux tubulaires.....	30
III.6.3.Les brûleurs.....	30
III.6. 3.1.Définition du bruleur.....	30
III.6.3.2.Importance du brûleur	30
III.6.3.3.Type des brûleurs.....	31
III.7.Procédure de démarrage d'un four.....	31
III.7.1.Préparation du four pour le démarrage.....	31
III.7.2.Purge du four.....	32
III.7.3.Mise en service des pilotes.....	32
III.7.4.Mise en service des bruleurs.....	32
III.8.Rendement du four.....	33
III.9.Instruments de contrôle	33
III.9.1.Thermocouples de peau	33
III.9.2.Thermocouples de fluide (ordinaires)	33
III.9.3.Déprimomètres.....	33
III.9.4.Divers.....	33
III.10.Précautions concernant la sécurité du personnel	34

III.11. Les fours et l'environnement	34
III.12. Les Fours du Topping condensat de skikda.....	35
III.13. Préchauffeur d'air APH.....	36
III.13.1. Rôle de l'APH.....	36
III.13.2. L'APH de complexe RA2K.....	37

Partie pratique

Chapitre IV : calcul du rendement thermique des fours avec et sans préchauffeur d'air

IV.1. But de l'étude.....	39
IV.2. La relation du Rendement thermique	40
IV.3. Données du calcul	41
IV.4. Réactions de la combustion	43
IV.5. Quantité d'air nécessaire pour la combustion	44
IV.6. Calcul la Quantité des fumées	45
IV.7. Quantité de Chaleur perdue par les fumées (Q fumées)... ..	49
IV.8. Quantité de Chaleur fournie par la combustion (Q entrée)	55
IV.9. Quantité de Chaleur perdue par les parois.....	56
IV.10. Rendement thermique	58
IV.11. l'énergie récupérée par le système APH.....	60
IV.12. Calcul du gain d'argent.....	61
IV.13. Interprétation Des Résultats	62
IV.14. Côté envirenement	62
IV.15. Maintenance de préchauffeur d'air.....	62

Conclusion Générale

Références Bibliographiques.

Annexes

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Le pétrole brut et condensât, mélanges de carbone et d'hydrogène, ou hydrocarbures, ont pour origine des micro-organismes végétaux et animaux accumulés au fond des mers et fond de terre, qui par suite de bouleversements géologiques ont été transformés en boues progressivement filtrées par des roches sédimentaires poreuses et déplacées jusqu'à ce que bloquées par des couches de terrain imperméables elles forment des gisements.

Les gisements sont constitués d'étendues de dimensions très variables à des profondeurs allant d'affleurements à la surface jusqu'à près de 5 000 m. Leur composition géologique correspond à des roches poreuses dans lesquelles les hydrocarbures sont emprisonnés, la porosité (et donc la concentration en pétrole) étant au mieux égale à 25 %. Ces roches sont appelées roches-réservoirs ou roches-magasins, par opposition aux roches-mères où les hydrocarbures se sont formés à l'origine.

Le raffinage est une industrie lourde qui transforme un mélange d'hydrocarbures appelé pétrole brut ou condensât en produits énergétiques, tels que carburant et combustibles, et en produits non énergétiques, tels que matières premières pétrochimiques, lubrifiants, paraffines et bitumes. Les produits sont ensuite acheminés vers le consommateur final, soit directement, soit à travers un réseau de distribution comprenant notamment des dépôts et des stations-service. La transformation des pétroles bruts s'effectue dans les raffineries, usines à feux continus et très automatisées, qui sont plus ou moins complexes selon la gamme des produits fabriqués et selon la qualité des pétroles bruts comparée aux exigences du marché. La complexité d'une raffinerie se traduit par le nombre d'unités de fabrication. Ces unités utilisent des procédés physiques ou chimiques que l'on peut classer en trois catégories : les procédés de séparation, les procédés de conversion et les procédés d'épuration.

Le projet du complexe de Topping Condensât de Skikda, dénommé RA2K, est venu compléter une série de contrats de réalisation dans le pôle industriel de cette ville. Le travail qui a été présenté dans ce mémoire a pour objet d'étudier les trois fours de complexe avec et sans préchauffeur d'air (APH) qui est installé à une cheminée commune.

Le contrat a été signé en 2005 et sa mise en exploitation en 2009. Le pétrole et le condensât jouent un rôle dominant sur la scène énergétique. L'industrie pétrolière est un secteur extrêmement concurrentiel où la rentabilité est une obligation. C'est ainsi que l'évolution

technologique importante se traduisant par des raffineries de plus en plus complexes et qui nécessitent :

- Une meilleure connaissance des marchés, des mécanismes de formation des coûts et des outils d'optimisation.
- Une maîtrise des procédés, de leur performance, de leur souplesse d'utilisation et de leur potentiel d'exploitation.
- Une bonne connaissance des produits, de leur caractéristiques, et de leurs contraintes de mise en œuvre pour la faire en toute sécurité en préservant l'environnement.

Ce manuscrit est divisé en deux parties principales :

Une partie théorique, composée de trois chapitres, et une partie pratique, à travers lesquels, Nous décrivons nos diverses activités et les expériences réalisées au niveau de la raffinerie.

Dans le premier chapitre, on va présenter la raffinerie de condensât de Skikda et exploration de ce niveau. Le deuxième chapitre de la partie théorique, contient des généralités sur le condensât, ensuite le concept de combustion et les fours tubulaires seront présentés au troisième chapitre.

Une partie pratique est consacré à l'étude du rendement thermique des fours avec et sans APH au même de côté environnement.

A la fin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale.^[1]

CHAPITRE I

Présentation Du Complexe

RA2k

China Petroleum Engineering and Construction Corporation (CPECC) c'est une société chinoise à génie de construction pétrolière, en tant que de contrat avec Sonatrach, met en place un projet d'écristement de condensat de 5 millions de tonnes par an (MMTPA) dans la zone industrielle GL1K à la ville de Skikda Algérie.[1]

I.1.Topping la raffinerie du condensât

Ce projet prévoit la mise en place une usine de base pour le traitement de condensât des champs pétroliers algériens afin de produire du butane, naphta, kérosène, gazole léger et du gazole lourd. Par ailleurs, des installations sont mises en place pour le stockage, la manipulation et le transfert des condensats et de leurs produits, contenu :

- SC1 :Usine de Topping Condensât,
- SC2: Stockage et Transport des produits finis.[2]

I.2.Situation géographique du complexe



Figure I.1. Plan générale du projet.[2]

I.3.Bases de construction de complexe RA2K

Complexe RA2K de traitement du condensât à multi sources de charge transportés par canalisation parmi lesquelles L'OB1, ALRAR, BEJAIA, RHOUD NOUSS, NEW OB1 et comprend plusieurs unités et installations de traitement comme suit .[3]

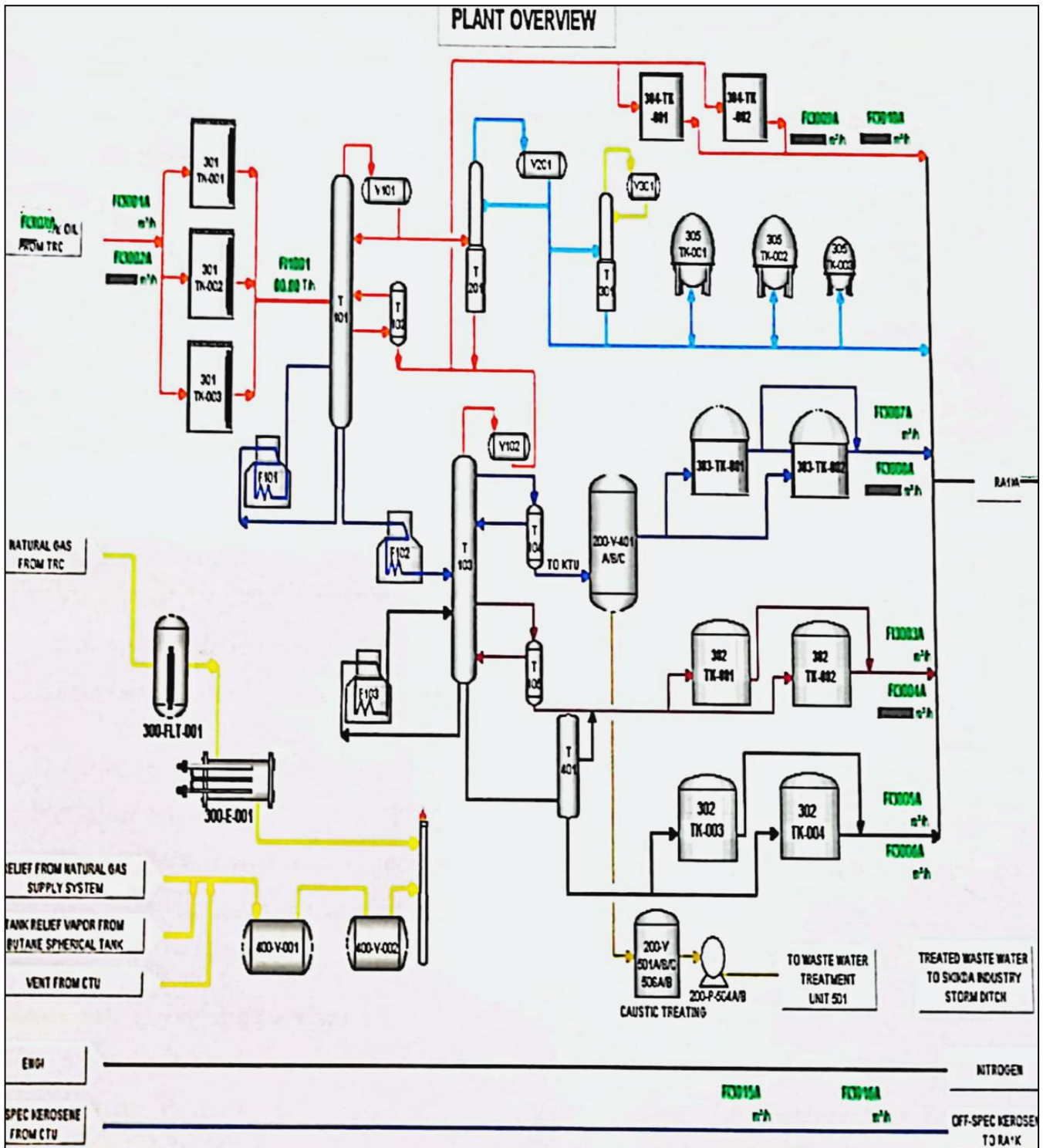


Figure I.2 : Complexe Topping de Condensât [2]

I.3.1. Unité de traitement du condensât (U100)

Distiller le condensat en naphta léger non stabilisé, naphta lourd, kérosène, gasoil léger et gasoil lourd. Le naphta léger non stabilisé est acheminé vers la section de stabilisation du naphta pour séparer le propane/butane et le naphta léger. Le naphta léger et le naphta lourd

sont mélangés pour former le naphta composite, qui est acheminé vers la zone de stockage. Le kérosène provenant de l'unité d'écrêtement est traité dans une unité de traitement du kérosène située en aval, afin d'éliminer les acides naphthéniques et d'améliorer d'autres propriétés. Le gasoil léger et le gasoil lourd sont envoyés dans leurs zones de stockage respectives en tant que produits respectifs.

Les principaux équipements de cette unité sont les suivants : Préfractionneur, four de rebouillage du préfractionneur, four atmosphérique, tour de distillation atmosphérique, four de rebouillage atmosphérique, débutaniseur, dépropaniseur, sécheur de butane, colonne sous vide, échangeurs de chaleur, récipients, pompes et tuyauterie associée, etc.[3]

I.3.2. Unité de traitement du kérosène (U200)

Le kérosène provenant de la distillation du condensât est traité pour en faire du Jet A1.

Le traitement du kérosène se fait comme suit :

- Mélange avec de la soude caustique,
- Elimination des acides naphthéniques (précipitation par électro finage) élimination de l'eau et des impuretés à l'aide de filtres et de coalesceur,
- Elimination des impuretés et des particules à l'aide de filtres et d'argile.

Après traitement, le Jet A1 est acheminé au stockage sur site.

Sur l'aire de l'unité de traitement du kérosène, il y a un stockage de la soude caustique et d'acide sulfurique.[4]

I.3.3. Installation de stockage et de transfert des produits finis (U300)

Est situé au sein de stocker et de pomper le condensat et les produits finis sur des bacs toit fixe, toit flottant et sphères, équipés d'instruments adéquats et de systèmes de contrôle DCS, ont été installés.

Les réservoirs LGO/HGO sont recouverts d'azote et tous les réservoirs atmosphériques sont équipés de systèmes de décompression, rupture de vide, tandis que les sphères de stockage à haute pression sont dotées de systèmes de décompression. L'unité est équipée d'installations de lutte contre l'incendie telles qu'un réseau d'eau d'extinction, des bouches d'incendie et des détecteurs de gaz et d'incendie, des systèmes à mousse, des vannes motorisées (MOV) et des vannes télécommandées (ROV) ont été installés partout où cela était nécessaire pour éviter tout risque pour l'usine et le personnel.[1]

I.3.4. Système torche (U400)

Ce type de système a été conçu dans le complexe pour écarter en toute sécurité les rejets d'urgence des unités de traitement de la charge et stocker ses produits finis. La torche sans fumée supportée par vapeur est équipée d'un collecteur de torche, d'un tambour d'arrêt de torche, d'un tambour d'étanchéité à l'eau et d'une rampe de torche d'une hauteur 120 mètres environ.[1]

I.3.5. Unité de services (utilités) (U500)

Installations de réception, de production, traitement, stockage et de distribution de différents services tels que l'eau de production, l'eau d'incendie, l'eau de refroidissement, la vapeur, l'air comprimé, l'azote, le gaz naturel, le traitement des eaux usées et les installations de décharge.[1]

Tableau I.1 : Consommation de services envisagée pour l'unité 100.

Utilité	Unité	Données
Électricité, max	KW	4778
Gaz combustible	Nm ³ /hr	8040
Eau de refroidissement	Nm ³ /hr	756
Air comprimé	Nm ³ /hr	480

I.4. Types de colonnes de distillation fractionnée de la raffinerie de condensat

I.4.1. Colonne de préfractionnement (100-T-101)

La colonne 100-T-101 ou préfractionneur a le rôle de préfractionner la charge du Condensat en trois produits:

- Coupe de tête (gaz etnaphta).
- Coupe latérale (naphtastable.)
- Coupe de fond (condensatstable).[5]

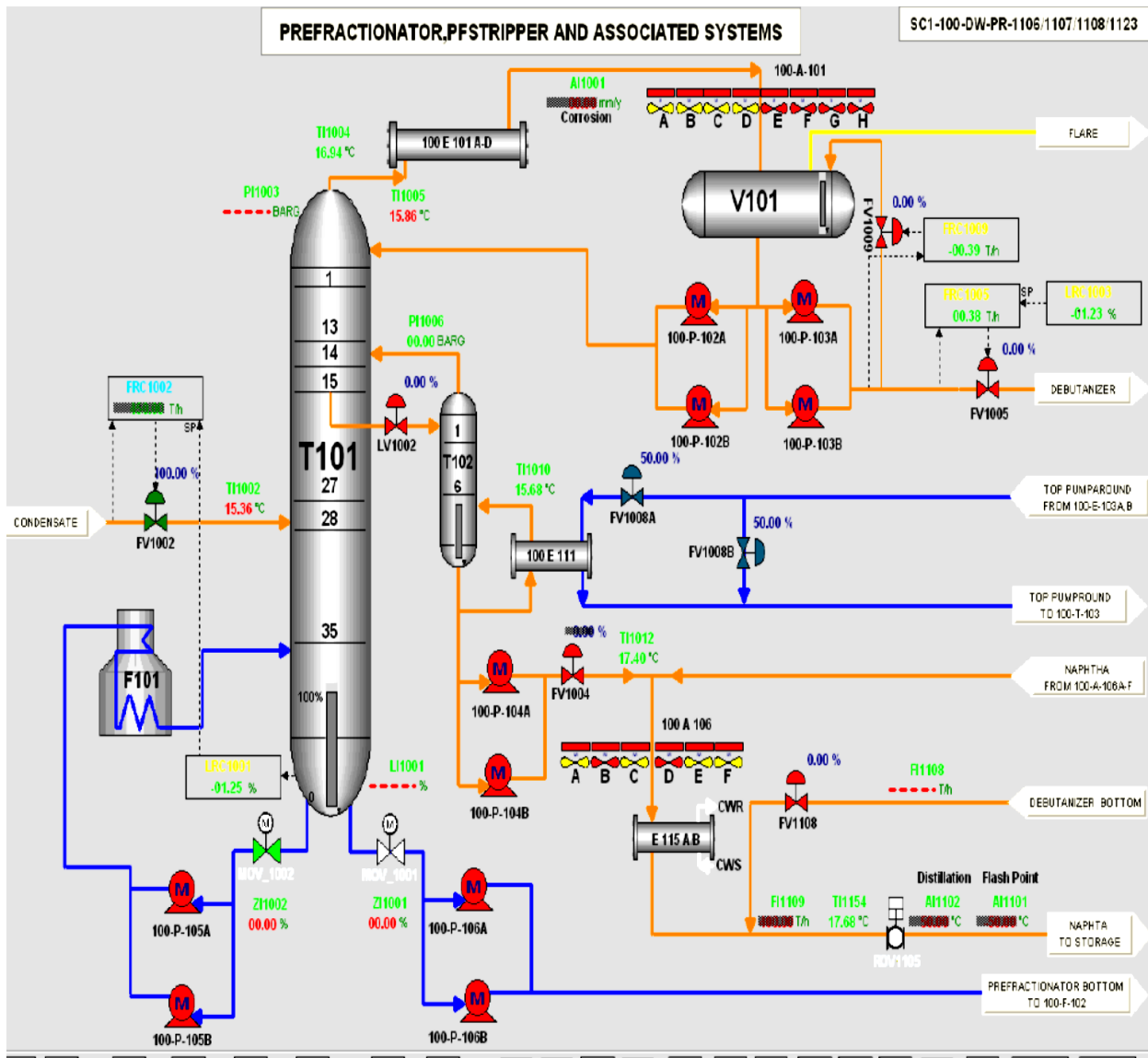


Figure I.3 : Schéma de la Colonne de préfractionnement (100-T-101) de l'unité 100

I.4.2. Colonne de distillation atmosphérique (100- T-103)

C'est un procédé de distillation qui consiste à séparer les constituants d'hydrocarbures contenues dans le condensât à des fractions libres. Une étape principale au raffinage du pétrole d'après le préfractionnement et son fonctionnement est établi à base des températures d'ébullition différentes de chacun des produits purs contenus dans le pétrole.

Du haut en bas de la colonne, on soutire ainsi : La tête de colonne de laquelle on sépare le gaz du liquide (essence légère) par refroidissement. L'essence lourde, Le Kérosène, Le gasoil léger, Le gasoil lourd (Le résidu atmosphérique au fond de colonne). [6]

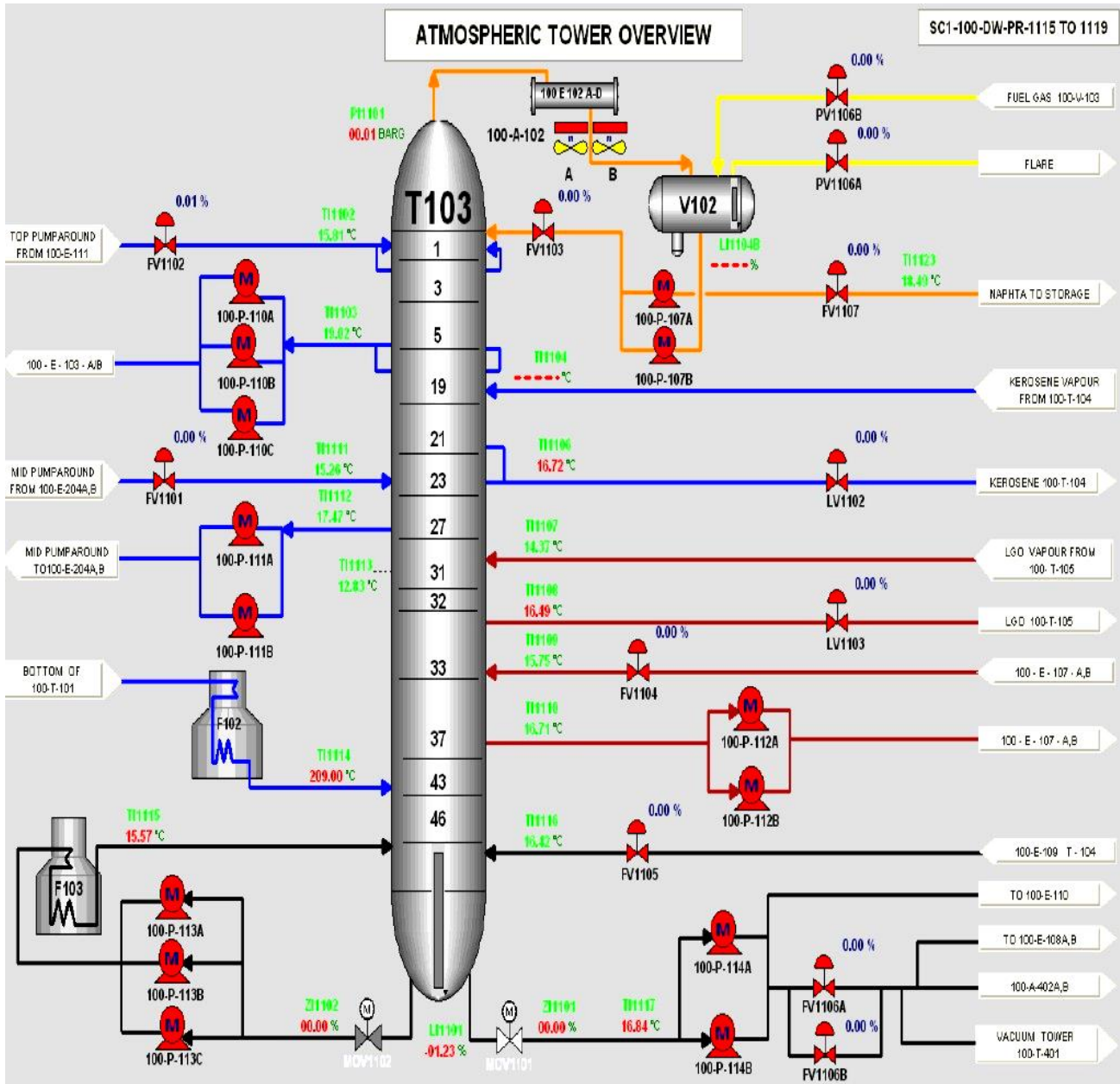


Figure I.4 : Schéma de la Colonne de distillation atmosphérique (100- T-103) de l'unité 100.

I.4.3. Colonne de distillation sous vide (100-T-401)

La température élevée requise pour distiller un composé présentant un point d'ébullition élevé à la pression atmosphérique (LGO) aura souvent un effet néfaste sur le composé. Dans ces cas-là, le processus de distillation sous vide est préférable pour récupérer et séparer le reste de LGO.

La distillation sous vide sépare les composés présentant un point d'ébullition élevé en jouant sur la relation entre la pression et la température. Une baisse de la pression signifie une

baisse de la température requise, d'où une distillation plus douce, le processus de distillation est habituellement réalisé avec un équipement de distillation sous vide d'une pompe à vide adaptée. Le choix de la pompe dépend d'un certain nombre de facteurs, dont la profondeur de vide souhaitée, le volume total du système et la température désirée. [7]

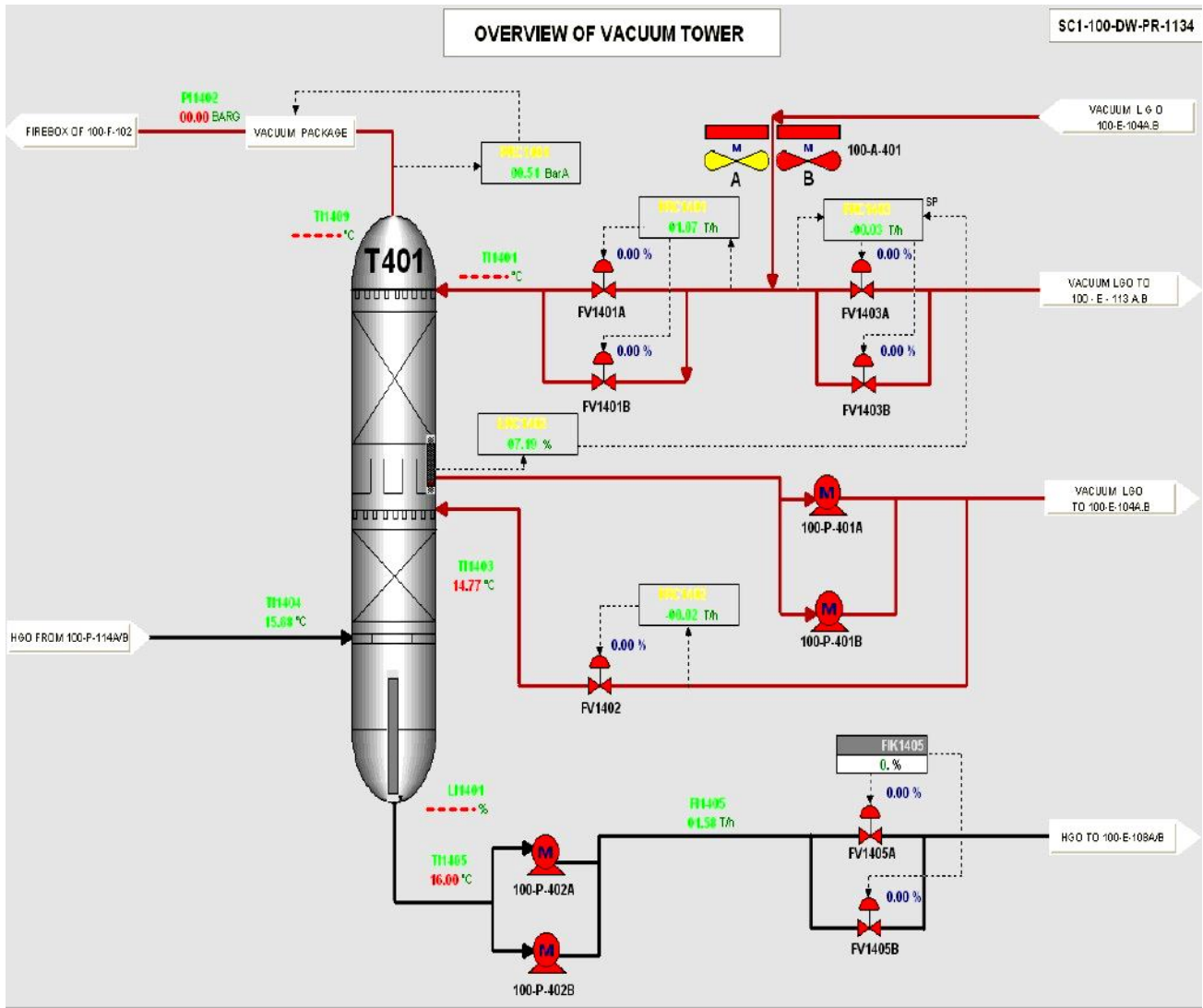


Figure I.5 : Schéma de la Colonne de distillation sous vide (100-T-401) de l'unité 100.

I.5. Les différents types de plateaux

Les plateaux de distillation sont des éléments occupants la totalité de la section de la colonne, et disposés à intervalles réguliers, destinés à retenir en partie le liquide s'écoulant du haut vers le bas de la colonne et à permettre un barbotage de la vapeur ou du gaz cheminant à contre-courant du bas vers le haut.

Les plateaux peuvent être :

- "à courants croisés": le liquide s'écoule horizontalement sur chaque plateau et donc perpendiculairement au gaz. Le liquide passe d'un plateau vers l'autre par des descentes.
- "A contre-courant" ou "dual flow": Ce sont des plateaux perforés, dont les trous sont suffisamment gros pour permettre le passage simultané du liquide vers le bas et la vapeur vers le haut.

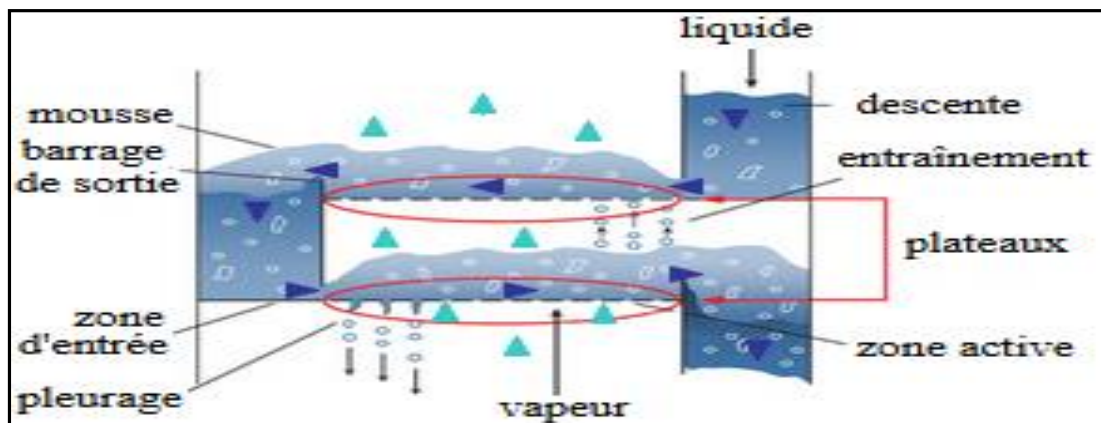


Figure I.6 : Schéma explicatif de Plateau à courants croisés.

Les plateaux sont tous constitués de:

- Une sole horizontale permettant de retenir le liquide
- Un dispositif permettant le barbotage de la vapeur ascendante

Les plateaux à courants croisés possèdent en plus :

- Un déversoir et descente pour faire transiter le liquide d'un plateau vers le plateau immédiatement inférieur.
- Des barrages en sortie pour maintenir un niveau liquide suffisant sur le plateau, et parfois en entrée pour empêcher le passage à contre-courant de gaz par les descentes.

Outre le type de cheminement du liquide, le dispositif pour faire barboter la vapeur est la caractéristique principale pour différencier les types de plateaux ; les plus classiques sont :

- Les plateaux à cloches
- Les plateaux perforés
- Les plateaux à clapets flottants (ou mobiles)
- Les plateaux à clapets fixes [8]

I.6. Les principales sections du procédé

I.6.1. Section de dépropaniseur (100-T-301)

La coupe gaz est fractionnée dans le dépropaniseur, cette étape permet d'obtenir en tête une coupe propane et en fond une coupe butane, ensuite entre dans l'unité PKG-301 suivie d'un traitement de séchage, et sort comme le produit fini vers le stockage, et la coupe propane est récupérée comme combustible pour l'alimentation des fours. [9]

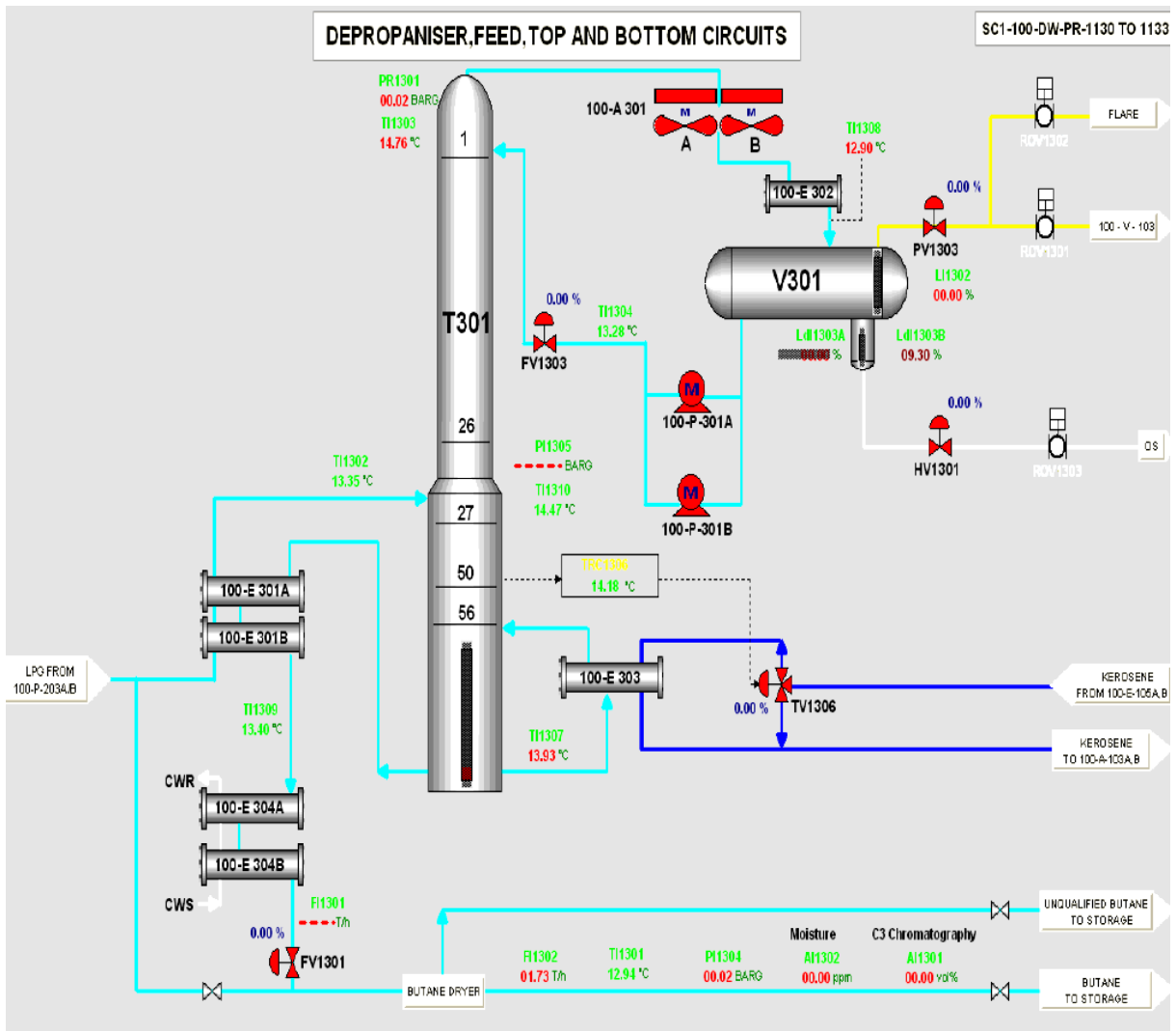


Figure I.7: Schéma de la section de dépropaniseur de l'unité 100.

I.6.2. Section de stabilisation des essences (100-T-201)

La colonne 100-T-201 ou débutaniseur qui nous donne deux produits : En tête, la coupe Gaz de Pétrole Liquéfiés (GPL), au fond la coupe essence stabilisée. [5]

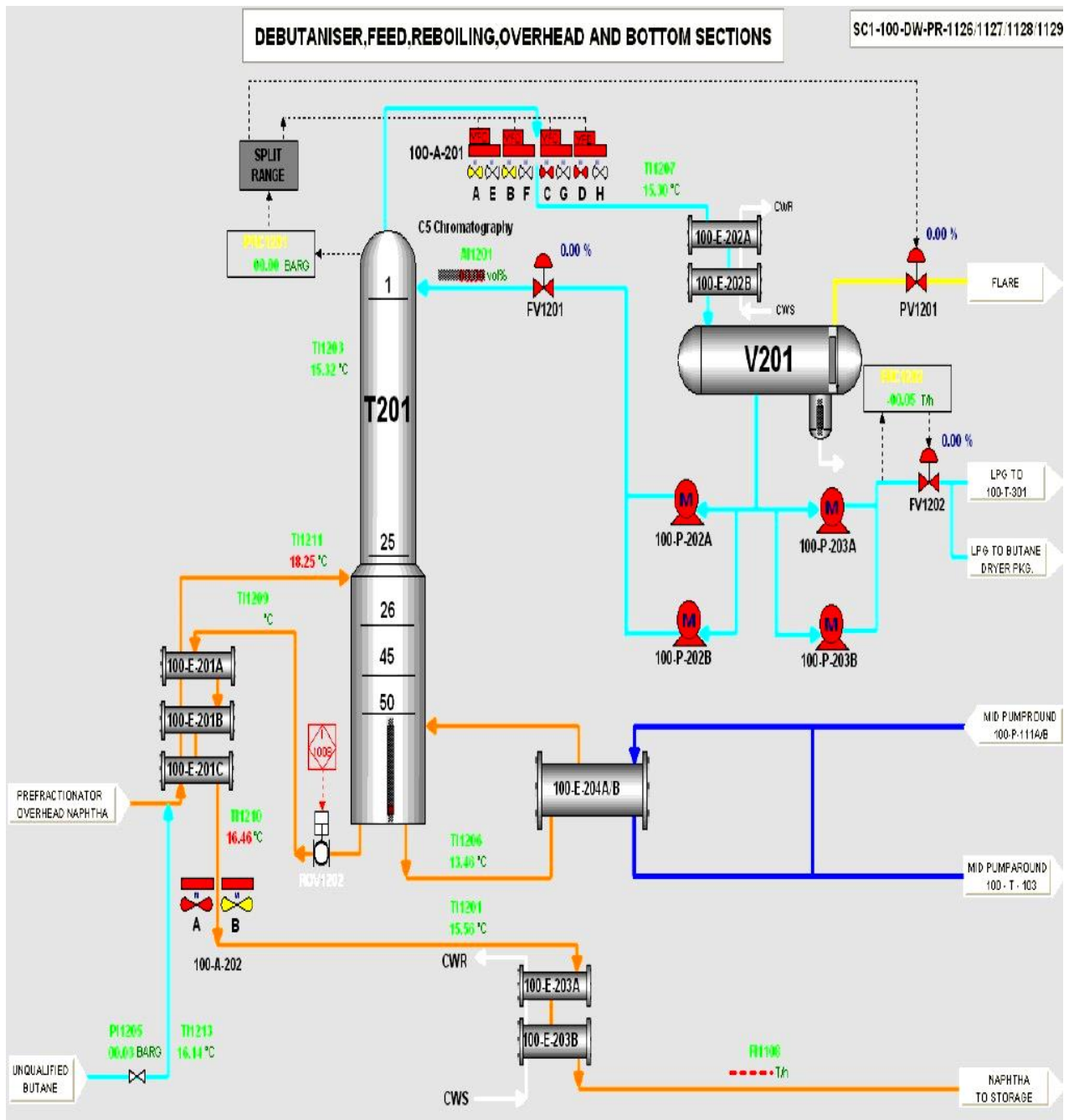


Figure I.8 : Schéma de la section de stabilisation des essences.

I.6.3. Section du séchage de butane

Ce type de système a été conçu au but de sécher le butane jusqu'à 20 ppm, le séchage du butane consiste de deux colonnes à base de tamis moléculaire l'une est utilisée pour le séchage et l'autre pour la régénération, le butane humide séché par un phénomène d'adsorption. [10]

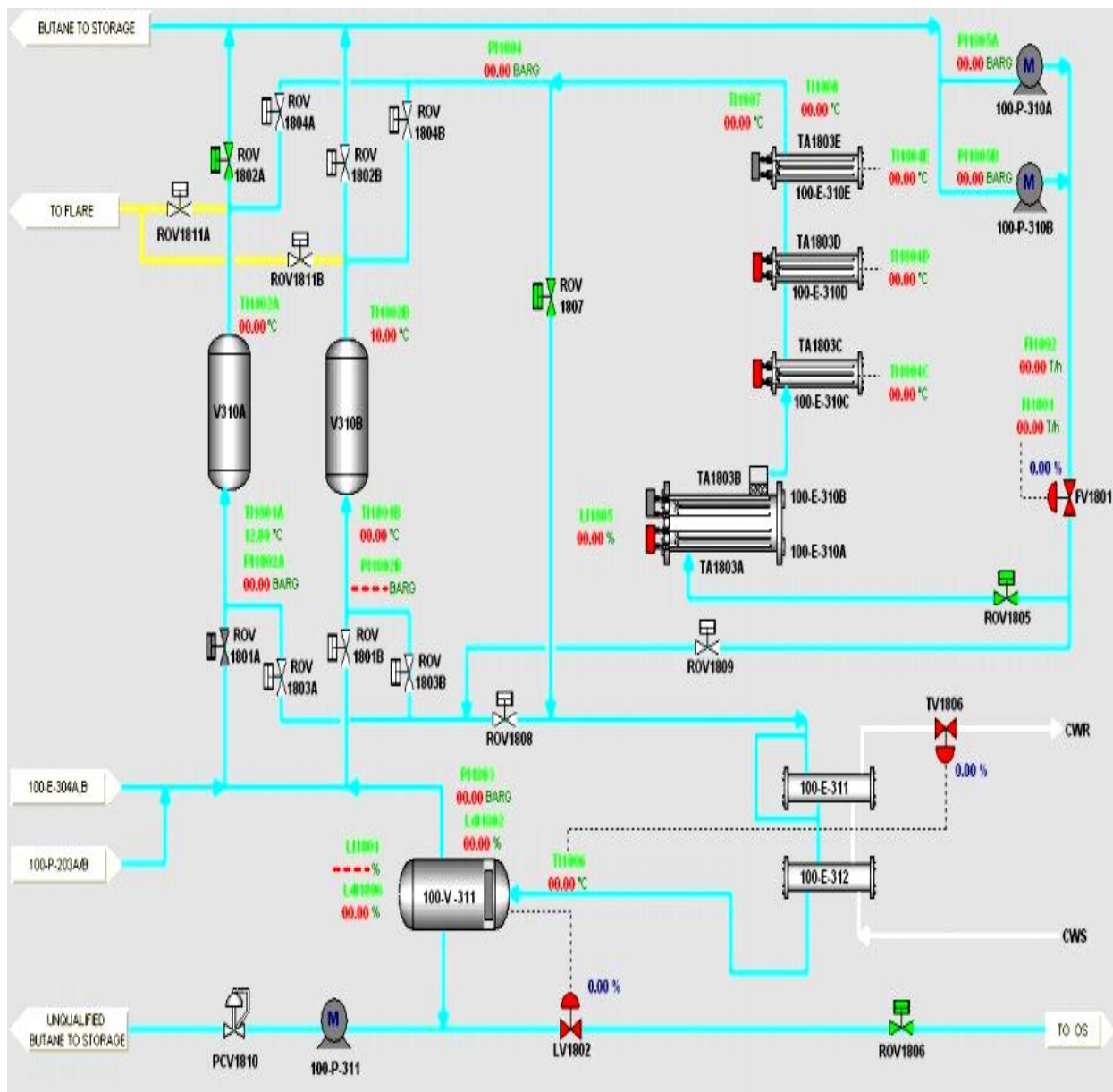


Figure.I.9 : Schéma de la section de séchage du butane dryer package

I.6.4. Train de préchauffe

Le stock d'alimentation en condensât à partir des bacs de stockages est pompé aux installations de l'unité topping avec une pression de limite batrie de 1.9Mpa et une température de 30°C. L'objectif de cette étape est de chauffer la charge de condensât dans un train d'échangeurs de préchauffage avant d'entrer au préfractionneur (colonne de pré-distillation T101) au but de préparer la charge à séparation dans ce dernier.

Le train d'échangeurs de préchauffage est divisé en 2 branches parallèles en vue de faciliter le fonctionnement à 50% du débit.[11,2]

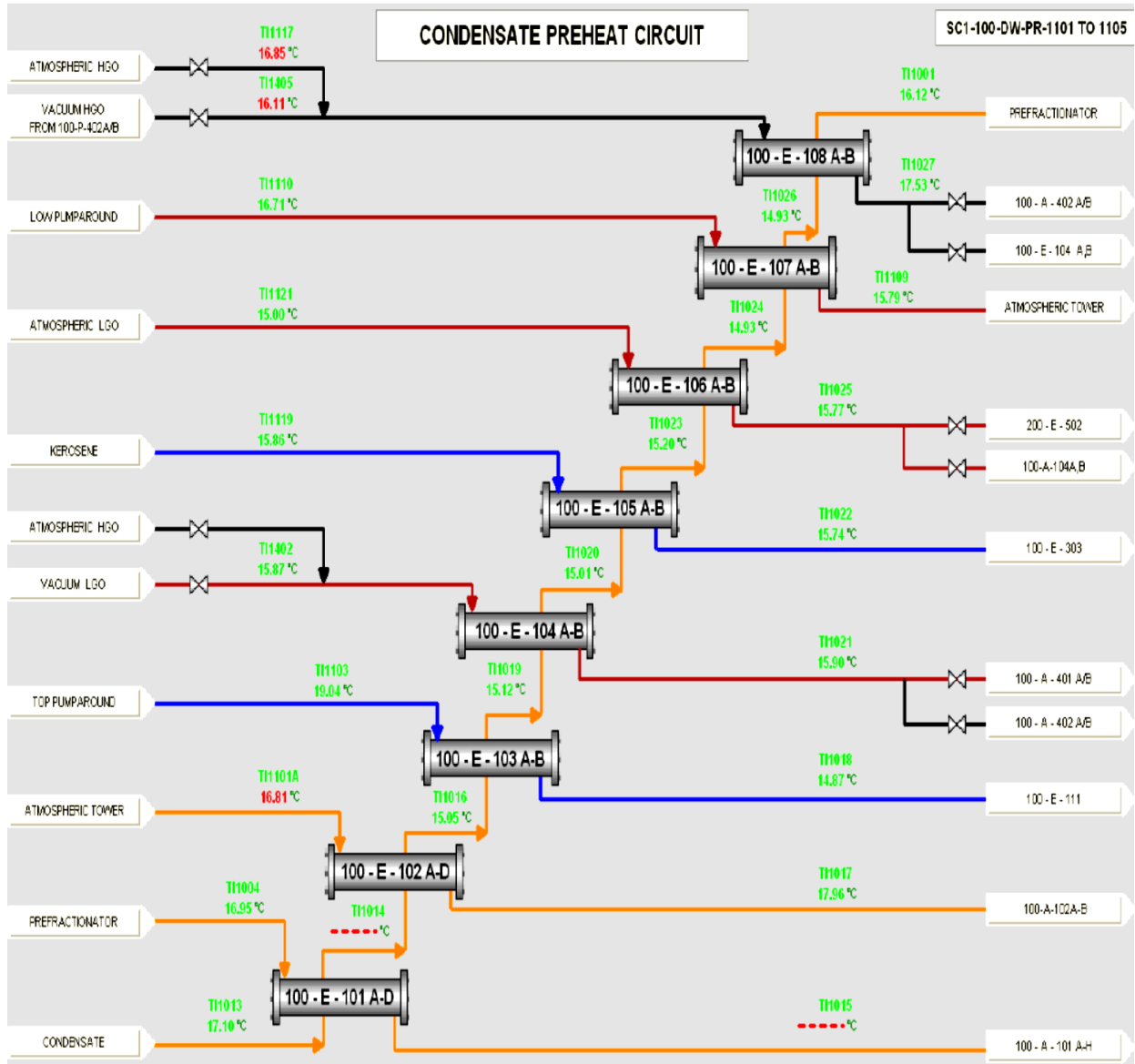


Figure I.10 : Schéma de la section de préchauffe.

I.6.5. Section d’injection de l’amine de neutralisation

Le système d'injection est spécifiquement utilisé pour la tête de la colonne de préfractionnement. L'amine de neutralisation est introduite dans la tuyauterie de vapeur de la colonne (100-T-101) afin de :

- a. Éliminer l'acide chlorhydrique résiduel. L'amine réagira avec l'acide chlorhydrique pour former du chlorure d'ammonium.
- b. Maintenir le pH de l'eau du ballon de reflux du préfractionneur (100-v-101) dans la plage de 6 à 6,5.[9]

I.6.6. Section d'injection inhibiteur de corrosion

L'inhibiteur de corrosion est utilisé pour empêcher le métal d'entrer en contact direct avec des substances corrosives. Il est dosé à raison de 5 ppm dans la tuyauterie de vapeur de la colonne (100-T-101), en fonction de la production du produit principal.[25, 9]

I.6.7. Section injection d'eau

On injecte de l'eau dans la ligne de vapeur de la colonne du préfractinneur pour dissoudre les sels d'amine. Le dosage est effectué dans la ligne de vapeur de la colonne (100-T-101) et varie de 1% à 3% de la production du produit principal, en fonction de la concentration des sels présents dans la charge d'alimentation et de la teneur en sel des produits obtenus.

L'eau utilisée provient du système de production d'eau et est récupérée dans le réservoir d'eau de production (100-T-104). Elle est injectée dans la ligne de vapeur de la colonne (100-T-101) à l'aide de la pompe d'eau de production (100-P-118A/B).[9]

CHAPITRE II
Généralités Sur Le
Condensat

Chapitre II. Généralité sur le condensât

Le terme "condensât" est un terme général qui englobe divers liquides pétroliers de différentes natures. En règle générale, le terme "liquide de gaz naturel" est utilisé pour désigner tout mélange d'hydrocarbures contenant des composés à partir de C1 jusqu'à C5 parfois ou plus, et peut être considéré comme un liquide obtenu par condensation à partir du gaz naturel. Ainsi, tout gaz naturel liquéfié ayant une densité supérieure à celle du butane est qualifié de condensât.

II.1. Origine du condensât

Les hydrocarbures provenant des gisements pétroliers et gaziers sont fréquemment extraits sous forme de mélange liquide. Ces mélanges sont acheminés via des pipelines vers un centre de traitement. La séparation des gaz est principalement réalisée par détente après le traitement, ce qui conduit à la distinction de deux types de gaz nécessitant des traitements distincts. [12]

II.1.1. Gaz humide

Le gaz en question contient des fractions condensables importantes. Dans cette situation, le traitement implique l'utilisation combinée de techniques de séparation par détente et de fractionnement par distillation. Grâce à une série de détentes, le gaz est refroidi jusqu'à atteindre une température aussi basse que -60°C , ce qui permet une récupération optimale des hydrocarbures liquides tels que les GPL (gaz de pétrole liquéfiés) et les condensats.

II.1.2. Gaz Sec

Le gaz en question présente une faible quantité de fractions condensables. Il est principalement composé de méthane. Le traitement sera donc axé sur l'élimination des éventuelles impuretés.

II.2. Usages du condensât

Le condensât est considéré comme un pétrole brut léger. Il peut être utilisé comme matière première dans le processus de raffinage pour obtenir différentes fractions pétrolières, ainsi que dans l'industrie pétrochimique pour produire des oléfines telles que l'éthylène, le propylène, le butadiène et des composés aromatiques, grâce à la technique de « vapocraquage ».

Dans certains cas où son prix est très bas, le condensât peut également être utilisé comme combustible. Cependant, il convient de noter que l'utilisation de carburants à forte teneur en soufre est interdite par la législation. [13]

II.3. Compositions chimiques du condensât

II.3.1. Hydrocarbures paraffinique

Ces composés sont des hydrocarbures saturés, et leur formule générale est C_nH_{2n+2} . [14]

II.3.2. Hydrocarbures cycliques saturés ou naphène

Ces composés sont des hydrocarbures saturés dont la formule générale est C_nH_{2n} . [15]

II.3.3. Hydrocarbures aromatiques

Il s'agit d'hydrocarbures insaturés dont la formule générale est C_nH_{2n} . [14]

II.3.4. Composés sulfurés

Parmi ces composés, on trouve les mercaptans tels que le méthane thiol et le cyclohexanethiol, qui sont stables à des températures élevées. [16]

II.3.5. Composés azotés

Ces composés se trouvent dans le pétrole et le condensat à des concentrations de deux à dix fois inférieures à celles des composés sulfurés. Ils sont principalement présents dans les fractions lourdes, se manifestant sous différentes formes :

- D'amides saturées, ou aromatiques.
- D'amide $R-NH_2$, $R-NH-R$, ou $(R)_3-N$.
- De carbazoles.
- De pyridines.

II.3.6. Composés oxygénés

En général, le condensat et le pétrole brut contiennent moins d'oxygène que de soufre. L'oxygène se présente principalement sous forme d'acides carboxyliques ($R-COOH$) et d'esters ($R-CO-R$) (Figure.1).

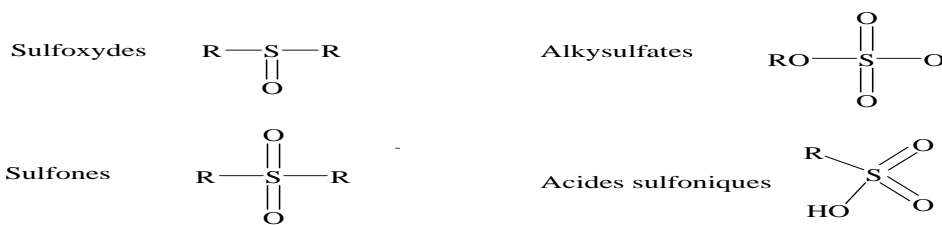


Figure II.1 : structure chimique de quelques composés organosulfurés.

II.3.7. Les métaux

Les fractions les plus lourdes, telles que les résines et les asphaltènes, renferment des éléments métalliques tels que le nickel et le vanadium, présents sous forme de porphyrines où le métal occupe le centre de cette structure sous forme de Ni^{2+} ou V^{5+} . On y trouve également des traces de fer, de zinc, de chrome, de manganèse et de cobalt. La présence de ces métaux entraîne des problèmes de pollution, d'empoisonnement des catalyseurs et de corrosion. [17]

II.3.8. L'eau

Dans le pétrole brut, une partie de l'eau est dissoute tandis qu'une autre partie se présente sous forme d'émulsion, plus ou moins stable. La stabilité de cette émulsion est attribuée à la présence d'asphaltènes ou de certains agents tensioactifs, tels que les mercaptans ou les acides naphthéniques..

II.3.8.1. Théorie sur les émulsions

Une émulsion est un système liquide-liquide où un liquide est dispersé sous forme de petites gouttelettes dans un autre liquide. Les deux liquides impliqués dans l'émulsion sont insolubles ou peu solubles l'un dans l'autre. [18]

II.3.8.2. Types d'émulsion

Dans la plupart des cas, l'une des deux phases est l'eau. On peut distinguer deux types d'émulsion:

- L'émulsion eau dans l'huile : celle pour laquelle la phase dispersée est l'eau.
- L'émulsion huile dans eau : celle pour laquelle le milieu dispersant est l'eau.

L'émulsion d'eau dans l'huile présente une grande stabilité grâce à la formation d'un film protecteur à la surface des gouttelettes d'eau. Ce film protecteur stabilise l'émulsion et empêche leur coalescence.

Dans le cas de l'émulsion d'eau dans le condensat, on distingue des composés qui stabilisent cette émulsion, tels que:

- Les acides naphthéniques.
- Les amines.

II.4. Produits trouvés issu le raffinage du condensât de RA2K

II.4.1. Le Naphta

Le naphta est une coupe pétrolière extraite par distillation directe :

- le naphta léger de point final 80 °C ou 100 °C (point final= température finale de distillation, PF)
- le naphta lourd de point initial 80 °C ou 100 °C et de point final 150 °C ou 180 °C,
- la naphta total qui est la somme des deux premiers.

Le naphta léger est utilisé comme composant de base pour la fabrication des essences. Le naphta lourd est employé comme charge dans le processus de reformage catalytique. Quant au naphta total, il peut être utilisé comme charge dans le procédé de vapocraquage.[19]

II.4.1.1. Caractéristiques du naphta RA2K

Tableau II.1: Caractéristiques du Naphta[1].

Analyses	Unité	Bornes	Norme
TeneurenPlomb	Ppb	≤ 50	ASTMD5863
TeneurenMercure	Ppb	≤ 5	ASTMD5863
TeneurenSoufre	ppm	≤ 50	ASTMD5453
Densitéà15°C	Kg/m ³	680,0 – 720,0	ASTMD4052
Paraffines	% vol	≥ 70	ASTMD6293
Oléfines	% vol	Un quantitative	ASTMD6293

II.4.1.2. Utilisations du naphta

- Le naphta léger sert de base dans la composition des essences ; il est aussi utilisé comme carburant dans certaines centrales thermiques à turbines à gaz en Inde.
- Le naphta lourd est utilisé comme charge de reformage catalytique.
- Le naphta total peut servir de charge pour le vapocraquage. ^[20]

II.4.2. Le butane

Le butane est un hydrocarbure saturé de la famille des alcanes et de formule brute C_4H_{10} . Il existe sous deux formes isomères, le *n*-butane et l'isobutane ou 2-méthylpropane et son point d'ébullition à $-0.5^\circ C$. [20]

II.4.2.1. Utilisation du butane

Le butane est un gaz largement employé comme combustible domestique, notamment pour les appareils de cuisson tels que les gazinières et les chauffe-eau. Il est également utilisé comme source de chaleur d'appoint, notamment pour le chauffage des espaces intérieurs tels que les habitations, les commerces et les ateliers, ainsi que pour une utilisation en extérieur. Le butane est généralement conditionné en bouteilles de 13 kg. Il est également utilisé comme carburant dans les briquets à gaz. [20]

II.4.3. Le Kérosène

Le kérosène est un mélange d'hydrocarbures contenant des alcanes (C_nH_{2n+2}) de formule chimique allant de $C_{10}H_{22}$ à $C_{14}H_{30}$. Issu du raffinage du pétrole, il résulte du soutirage pendant la distillation d'une coupe avec un point initial (PI) de distillation compris entre $150^\circ C$ et $180^\circ C$, et un point final (PF) de distillation entre $225^\circ C$ et $275^\circ C$. Il doit être exempt de soufre. [21]

II.4.3.1. caractéristiques du kérosène de RA2K

Tableau II.2: Caractéristiques du kérosène [1].

Analyses	Unité	Bornes	Norme
Point d'éclair	$^\circ C$		ASTMD56
Densité à $15^\circ C$	Kg/m^3	775– 840	ASTMD4052
Conductivité	Ps/m	50-600	/
Acidité Totale	mgKOH/g	0,015 max	ASTMD3242
Soufre total	% masse	0,30 max	ASTMD5453

II.4.3.2. Point d'éclair du kérosène

Le point d'éclair c'est la température à laquelle une substance s'enflamme à la pression atmosphérique en présence d'une source d'énergie, par rapport du kérosène est de 149 degrés Fahrenheit, Au phénomène d'auto-inflammation la température du kérosène atteint de 444 degrés Fahrenheit.[22]

II.4.3.3. Utilisations de kérosène

Il est utilisé essentiellement dans la fabrication de carburant pour l'aviation (turboréacteurs et turbopropulseurs), notamment du Jet A1, le principal d'entre eux. C'est le composant principal des additifs pour automobiles (nettoyage injecteurs, etc).[21]

II.4.4. LGO

C'est un extrait de pétrole d'après la distillation à la nature légère et liquide converti à partir de pétrole brut dans une raffinerie de pétrole ou de pétrole lourd de coupes C13-C17 et son intervalle d'ébullition entre ($E_b=230^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$).[20,34]

II.4.4.1. Caractéristiques LGO du RA2K

Tableau II.3: Caractéristiques du LGO [1].

Analyses	Unité	Bornes	Norme
Point d'éclair	$^{\circ}\text{C}$	55-120 $^{\circ}\text{C}$	ASTMD56
Conductivité	PS/m	$\geq 150\text{PS/m}$ à 20 $^{\circ}\text{C}$	NFENISO3170
Viscosité à 40 $^{\circ}\text{C}$	$\text{mm}^2/\text{s}(\text{cSt})$	2-4,5	ASTMD445
Densité à 15 $^{\circ}\text{C}$	Kg/m^3	820-845	ASTMD4052
Soufre Total	mg/Kg	≤ 10	ASTMD5453

II.4.4.2. Utilisations de LGO

Le gazole, gasoil, diesel est un carburant pour moteur à allumage par compression (moteur Diesel). Physiquement, c'est un fioul léger et, réglementairement, un carburant (norme fiscale) issu du raffinage du pétrole.[20]

II.4.5.HGO

Les fiouls lourds ou mazouts lourds sont des combustibles à haute viscosité. Ce sont un mélange complexes d'hydrocarbures pétroliers : produits intermédiaires de distillats au pétrole brut et de résidus de distillation en raffinerie de condensât ou d'une unité de craquage. [20]

II.4.5.1.Caractéristiques HGO du RA2k

Tableau II.4. Caractéristiques du HGO[1].

Analyse	Unité	Bornes	Norme
Viscositéà 40°C	mm ² /s(cSt)	Report	ASTMD445
Densitéà15°C	Kg/m ³	820-860	ASTMD4052
Point d'éclair	°C	≥ 75°C	ASTMD56
SoufreTotal	%masse	≤ 0,1	ASTMD5453

II.4.5.2.Utilisation de HGO

Le mazout lourd mis sur le marché comme « carburant final » est habituellement un mélange de mazouts lourds et d'hydrocarbures de meilleure qualité employés comme diluants.Ils sont souvent utilisés par les gros moteurs Diesel industriels, ou installés à bord de péniches ou navires ou pour alimenter les centrales à flamme.[20]

II.5.Qualité de condensât algérien

Le condensât est un mélange d'hydrocarbures ayant un point final de distillation proche de 300°C. Il peut être considéré comme un pétrole brut très léger (densité=0.720) et paraffinique. Sa teneur en soufre est très faible, environ 40 à 50 fois moins sulfuré que le mélange Saharie, et il est non acide.

En raison de sa haute qualité, le condensât constitue un mélange d'excellente qualité pour les raffineurs, ne nécessitant aucun prétraitement spécifique. Un traitement de séparation par distillation classique permet d'obtenir du GPL, des essences, du naphta, du kérosène, du gasoil et du fioul de très bonne qualité. Il peut être directement utilisé comme charge pour le vapocraquage, avec 53,9% du condensât algérien étant utilisé à cette fin. Il peut également être mélangé aux bruts pour améliorer le rendement en naphta.

Le condensât algérien, en raison de ses excellentes caractéristiques paraffiniques, peut être utilisé comme matière première en pétrochimie. Cependant, son seul inconvénient est qu'il nécessite une amélioration avant d'être utilisé comme matière première pour les procédés de craquage (crackers).[2]

CHAPITRE III

Fours Tubulaires Et Concept De Combustion

Chapitre III. Les fours tubulaires et concept de combustion

Dans la plupart des utilisations des usines de raffinage ou de pétrochimie, l'apport de chaleur nécessaire aux procédés mis en œuvre se fait par l'intermédiaire d'un four, dans lequel les calories produites par la combustion sont transmises par les mécanismes : de la radiation, de la conduction et de la convection au fluide à réchauffer qui circule dans un serpentin tubulaire ou un faisceau de tubes ; les usages de ces fours sont multiples , mais chaque cas nécessite une étude particulière dans le but de concevoir le four le plus économique et le mieux adapté aux conditions imposées.

III.1. la combustion dans un four

Dans les fours pétroliers et pétrochimiques, la combustion se déroule dans une zone appelée chambre de rayonnement, où un faisceau absorbant en radiation est disposé le long des parois réfractaires. Ce faisceau est exposé directement au rayonnement de la flamme, qui se développe souvent entièrement à l'intérieur de la chambre. La combustion est réalisée à l'aide de brûleurs à pulvérisation de vapeur, capables de brûler des combustibles liquides ou gazeux ayant des caractéristiques variables et très différentes.[9]

III.2. Conditions nécessaires à la combustion

La combustion nécessite la présence simultanée d'un combustible, d'un comburant et d'une source d'inflammation. C'est ce que représente le triangle de feu, un concept largement utilisé dans le domaine de la sécurité. Une combustion incomplète et la présence de produits non brûlés entraînent une perte d'efficacité, des dépôts dans la zone de convection et une possibilité de ré-allumage des fumées, ce qui peut causer des problèmes de sécurité.

Les conditions requises pour obtenir une combustion de qualité sur un brûleur sont résumées par la règle des "T", où chaque condition est représentée par un mot commençant par la lettre "T". Il s'agit de :

-Turbulence , Teneur en oxygène , Temps ,Température.

Dans le cas d'un combustible liquide, il faut ajouter Ténuité exprimant la finesse de la pulvérisation. La Turbulence : cela implique la création d'un mélange intime entre le combustible et l'air, qui est réalisé par la distribution de ces fluides dans le brûleur.[23]

❖ La Température

Le terme "énergie d'inflammation" fait référence principalement à l'énergie nécessaire pour allumer le mélange. Cette énergie est initialement fournie par un dispositif d'allumage, puis régulièrement apportée pendant le fonctionnement par la recirculation de gaz chauds au niveau du brûleur ou par le rayonnement des pièces réfractaires.

❖ La Teneur en oxygène

Ce la souligne l'importance de réaliser une combustion avec un excès d'air afin de garantir sa complétude. Cependant, l'excès d'air a pour inconvénient de réduire le rendement du four. Une turbulence plus élevée permet de réduire la quantité d'excès d'air nécessaire.

❖ Le Temps

La combustion, qui détermine la longueur de la flamme, est influencée par les conditions dans lesquelles elle se déroule. Si la combustion se produit de manière très rapide à l'échelle moléculaire, la durée est principalement contrôlée par le processus de mélange entre l'air et le combustible. Sur un brûleur donné, la combustion est plus rapide et la flamme est plus courte lorsque de l'air préchauffé est utilisé ou lorsque l'excès d'air est plus important.^[23]

III.3. Chaleur de la réaction de combustion

La chaleur de réaction représente la quantité de chaleur libérée lors de la combustion d'une mole de combustible à 1,013 bars et 0 °C. Une autre source de chaleur est ajoutée grâce au refroidissement des fumées (produits de combustion), qui correspond à la chaleur de condensation de l'eau. Le pouvoir calorifique est l'expression industrielle de la chaleur de réaction. Il est défini comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion d'un kilogramme de combustible solide ou liquide, ou d'un Nm³ (mètre cube normal) de combustible gazeux, à une température de référence de 0 °C et à la pression atmosphérique. Il est important de faire la distinction suivante :

- Pouvoir calorifique inférieur pour lequel l'eau formée est à l'état vapeur.
- Pouvoir calorifique supérieur pour lequel l'eau formée est à l'état liquide.

Le Pouvoir Calorifique Supérieur (P.C.S) est donc plus élevé que le Pouvoir Calorifique Inférieur (P.C.I) en raison de la chaleur de condensation à 0°C de l'eau formée par la combustion de l'hydrogène présent dans le combustible.^[23]

III.4.Réaction de combustion

En connaissant la composition des combustibles, l'excès d'air appliqué et le taux de vaporisation de la pulvérisation des brûleurs, nous pouvons résoudre l'équation de réaction afin de déterminer la composition du gaz résultant de la combustion. Il est important de connaître cette composition pour dimensionner le four, et par conséquent :

- Dimensionner les carneaux et la cheminée.
- Evaluer la quantité des produits agressifs libérés.[24]

III.5.Les différents types de fours:

Il existe de nombreuses configurations de tubes dans les zones de rayonnement et de convection, ainsi que des différences entre les différentes zones. Cela donne lieu à de nombreux types de fours. Cependant, on peut tout de même distinguer les catégories suivantes :

III.5.1.Les fours dits (boîtes) à tubes verticaux

Dans ces types de fours, la zone de rayonnement présente généralement une forme parallélépipédique. Les brûleurs sont positionnés au niveau du plancher, tandis que la surface d'échange thermique recouvre les parois verticales latérales. Il arrive parfois que la chambre de combustion soit divisée en plusieurs cellules par des rangées de tubes parallèles à l'une des faces des parois latérales.

III.5.2.Les fours à chauffage par murs radiants

La surface d'échange thermique est positionnée dans le plan central de la chambre de combustion. Les brûleurs sont répartis le long des parois.

III.5.3.Les fours cylindriques verticaux

La zone de rayonnement adopte la forme d'un cylindre vertical. Les brûleurs sont positionnés sur le plancher à la base du cylindre. La surface d'échange thermique recouvre les parois verticales et présente ainsi une symétrie circulaire par rapport au groupe de chauffage.

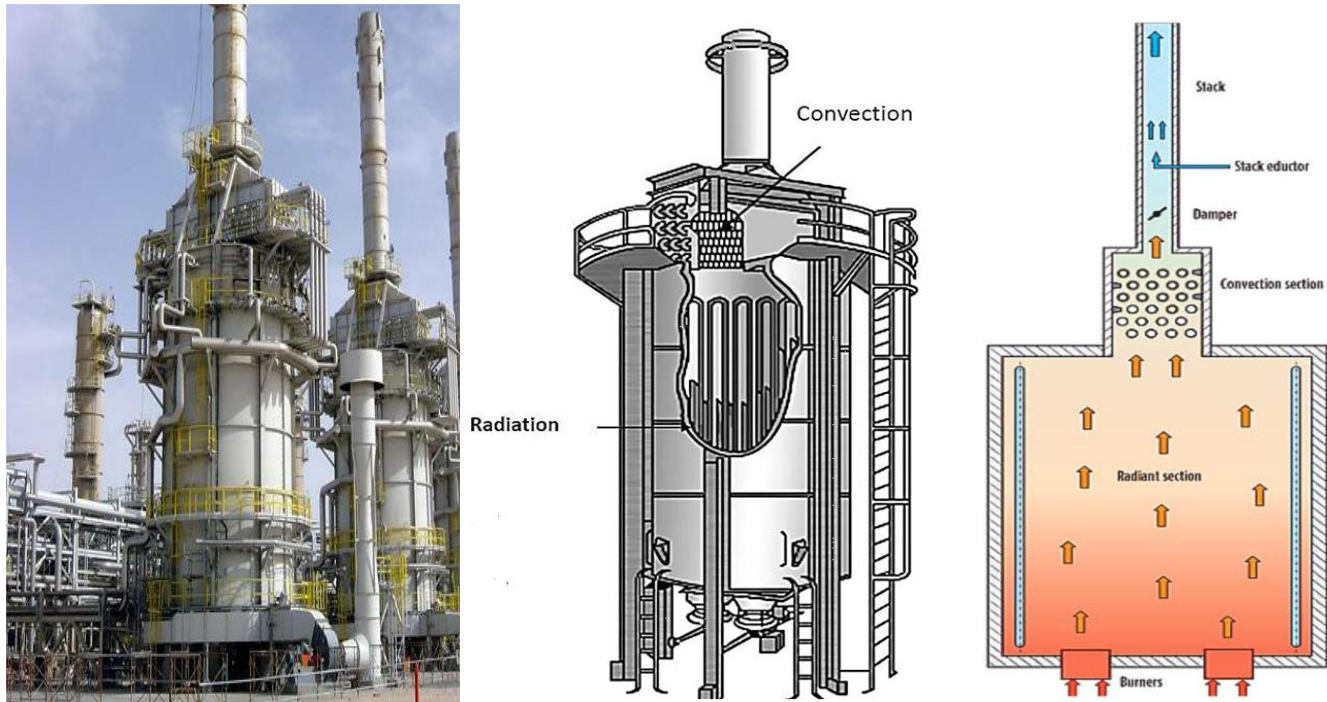


Figure III.1 :Four cylindrique verticale. [32]

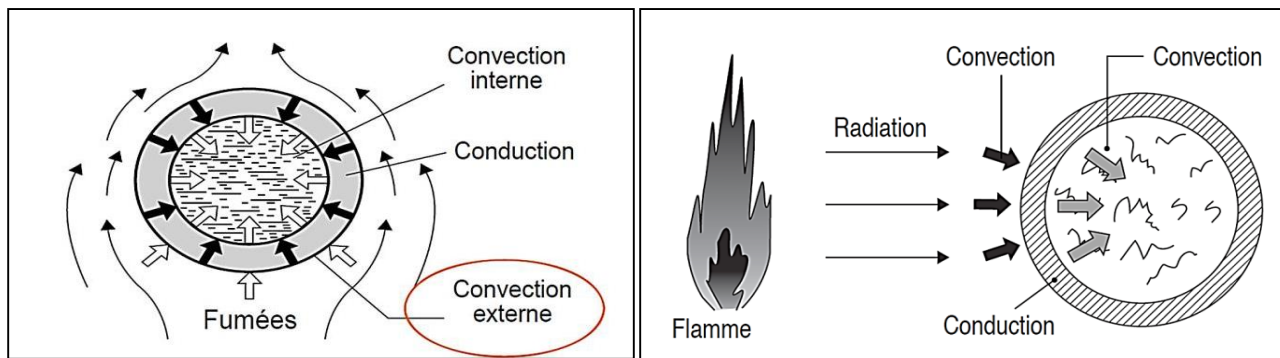


Figure III.2:Schéma montre les modes de transmission de la chaleur. [32]

III.5.4. Les fours dits (cabines) à tubes horizontaux

Dans ces fours, la forme générale de la zone de radiation est celle d'un parallélépipède, dans le plus grand longueur est horizontale. Les tubes sont placés horizontalement le long des parois latérales les plus longues. sur la sole, la surface d'échange couvre les parois verticales latérales. Les brûleurs sont situés sur la sole, ou sur la partie inférieure des murs latéraux les plus longs, ou encore sur les murs d'extrémités ne recevant pas les tubes.

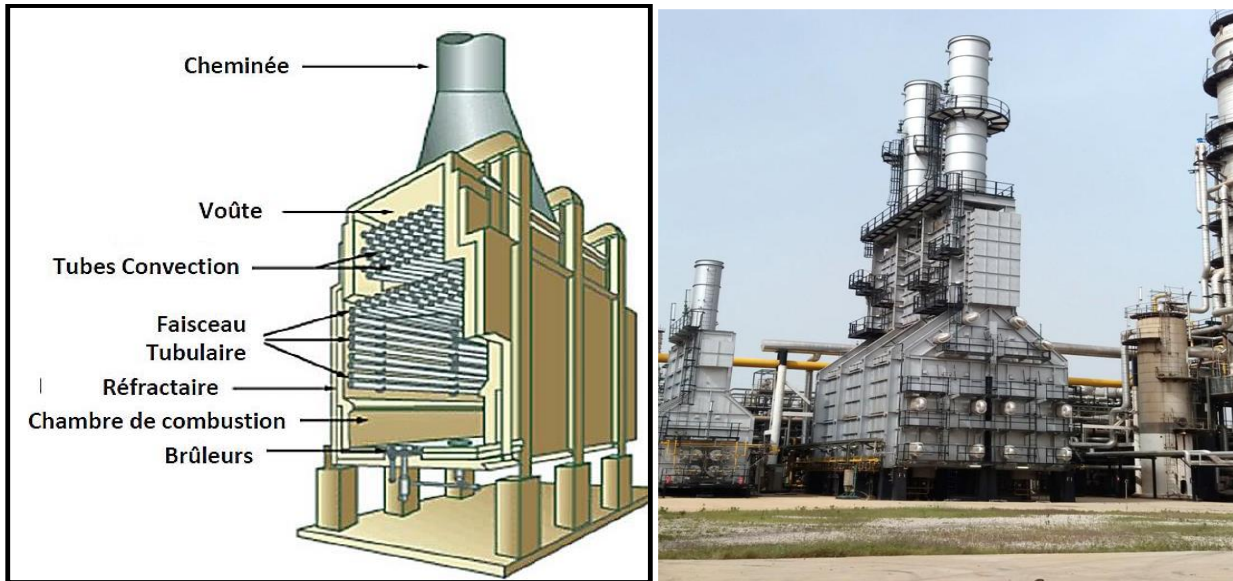


Figure III.3. Four cabine à tubes horizontaux.[32]

III.5.5. Les fours à double chauffe

Dans ces derniers, le plan des tubes constituant la surface d'échange, est le plan médian des rangs brûleurs. Pour tous les types de fours cités ci-dessous, à l'exception des cas où les brûleurs sont en voûte, la zone de convection peut être située au dessus du four. La zone de convection peut également être placée le côté de la zone de radiation. Dans ce dernier cas des carneaux de fumée très chaudes assurent la liaison entre les deux zones :

Les tubes constituant la surface d'échange de la zone de radiation sont placés devant le garnissage réfractaire isolant de l'enveloppe. Un espace égal à environ un diamètre de tube est maintenu entre les tubes et cette paroi réfractaire. La chauffe du tube, bien qu'inégalement répartie, se fait sur toute la périphérie.

L'enveloppe du four n'est pas parfaitement étanche, notamment suite au vieillissement et au nombreux passages de tubes. Pour des raisons de sécurité (four placé dans une atmosphère confinée) ou pour sauvegarde du matériel, l'intérieur du four est maintenu en dépression par rapport à l'air extérieur.

L'air de combustion est introduit dans les brûleurs, soit par la dépression régnant dans la chambre de combustion (brûleur à tirage naturel), soit à l'aide d'un ventilateur (tirage soufflé ou forcé). Pour assurer la combustion complète du combustible, un excès d'air, par rapport à la

valeurs stœchiométrique, doit être ajouté. Cet excès d'air dépend du brûleur, de la température de l'air de combustion et principalement du combustible. Les valeurs d'excès d'air les plus couramment admises sont, en pour-cent de l'air stœchiométrique. [9]

III.6. Eléments d'un four tubulaire

III.6.1. Garnissage des parois du four (Enveloppe)

L'enveloppe des fours (chambre de combustion, zone de convection, cheminée) est constituée d'une paroi métallique revêtue intérieurement d'un garnissage isolant et réfractaire (Figure III.3).

Les propriétés requises pour un garnissage isolant réfractaire sont variées :

- Conductivité thermique faible ;
- Température pyroscopique élevée ;
- Résistance mécanique élevée ;
- Bonne résistance aux variations de température ;
- Facilité de mise en œuvre ;

La sélection d'un matériau pour une application particulière est le résultat d'un compromis, dans certain cas, c'est un garnissage multicouche qui permettra d'allier les propriétés opposées de plusieurs matériaux [25].

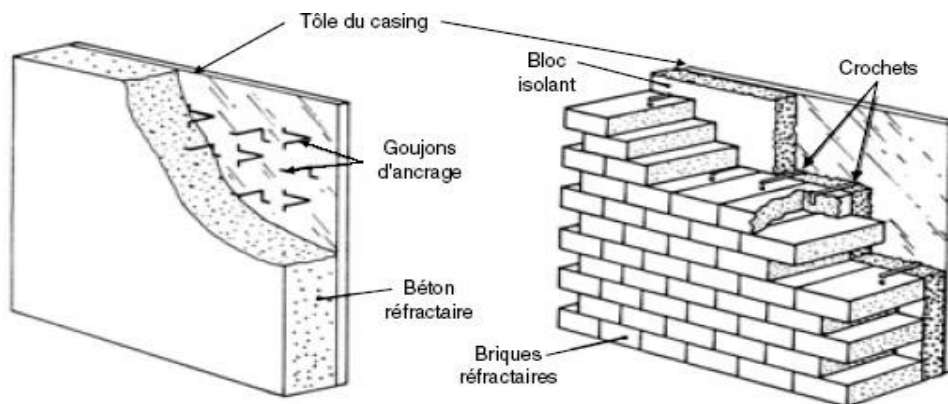


Figure III.4 : Garnissage isolant et réfractaire.

❖ Béton réfractaire

Les bétons isolants sont constitués d'un liant hydraulique (ciment fondu) mélangé à des agrégats isolants tels que la vermiculite ou des granulés de diatomée. Ils sont coulés ou projetés sur les surfaces à protéger et maintenus en place par des goujons en forme de V ou de Y soudés sur le casing. Plus la température de service des bétons est élevée, plus ceux-ci doivent être denses aux dépens de leurs propriétés isolantes. Ce la peut conduire à la mise en place de double-couches de bétons: béton de haute densité pour la face exposée à la flamme exposée à la flamme, et béton moins dense et plus isolant en sous-couche.^[26]



Figure III.5: Un exemple d'un beton réfractaire.

❖ Fibres céramiques

Les revêtements isolants en fibres céramiques se présentent sous la forme de nappes que l'on empale sur des goujons soudés au casing et fixées par des rondelles de blocage. Elles offrent les avantages d'une grande légèreté et d'une faible conductibilité thermique mais n'ont pas l'étanchéité des réfractaires classiques. Ce la conduit à viter leur emploi dans le cas de combustibles soufrés.[26]



Figureur III.6 :Un exemple d'un fibre céramique.

❖ Matériaux utilisables en deuxième couche

L'amélioration de l'isolation peut être obtenue en disposant entre les briques et le casing une épaisseur de laine de verre ou fibres minérale.[26]



(b)



(a)

Figure III.7 : (a) Laine de verre, (b) Fibres minérales.

III.6.2.Faisceaux tubulaires

Les faisceaux tubulaires sont habituellement composés de tubes droits et sans soudure, qui sont reliés les uns aux autres. La sélection du matériau pour les faisceaux de tubes est basée sur les critères suivants:[25]

- Résistance à la corrosion par le fluide chauffé ;
- Résistance à l'oxydation par les fumées chaudes ;
- Résistance mécanique en température :
 - à la pression intérieure du fluide chauffé,
 - aux contraintes mécaniques dues au poids du faisceau tubulaire et du fluide qu'il contient.

III.6.3.Les brûleurs

III.6. 3.1.Définition du bruleur

Les brûleurs sont des dispositifs industriels distincts utilisant la combustion, mais leur objectif n'est pas de propulser un véhicule quelconque. Ils sont principalement utilisés dans les fours pour fournir de la chaleur, ou pour détruire ou transformer certains produits.

Ils sont utilisés dans l'industrie, ou dans les centrales thermiques.[27]

III.6.3.2.Importance du brûleur

Le brûleur a un rôle primordial dans la conception, la construction et le fonctionnement des fours :

- Il fournit l'énergie thermique au four et à la charge ;
- Il prépare la mise en contact du combustible et du comburant ;
- Il provoque la circulation des gaz brûlés favorisant l'égalisation des températures dans l'enceinte ;

Il crée une liaison entre le casing extérieur du four et les parois en réfractaire qu'il traverse, et entraîne de ce fait, un point délicat dans la construction [28].

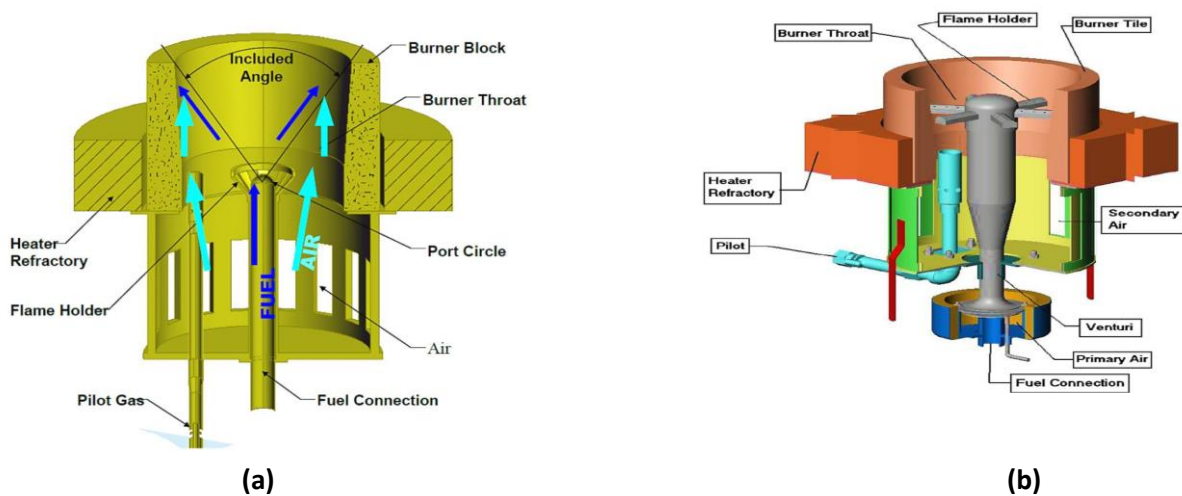


Figure III.8: Images montrent des brûleurs .[32]

III.6.3.3.Types des brûleurs

Il existe de nombreux types de brûleurs, certains pour un type de four et / ou pour un combustible, et d'autres pour un usage plus large. Nous nous limiterons à essayer de mentionner les plus importants:^[28]

- ❖ Brûleurs à air induit ;
- ❖ Brûleurs à air soufflé ;
- ❖ Brûleurs auto-récupérateurs ;
- ❖ Les brûleurs à prémélange(figure (a));
- ❖ Les brûleurs à flamme de diffusion (figure (b));



Figureur III.9.(a) Brûleur du gaz à flamme de diffusion (Simple), (b) Brûleur du gaz à prémélange (Prémix). [32]

III.7.Procédure de démarrage d'un four

III.7.1.Préparation du four pour le démarrage

Avant toute opération, l'opérateur doit s'assurer que :

- S'assurer que le four et la zone l'entourant sont propres. Dégager les plates-formes, les échelles et les passerelles.
- Retirer les débris, les outils ou les chiffons imbibés de pétrole présents dans le four ou autour.
- Retirer les matériaux inflammables de la chambre de combustion avant d'allumer les brûleurs.
- Fermer les regards et les trappes de la boîte de retour afin que l'air ne puisse pas entrer.

Vérifier les soupapes des réseaux de gaz de carneau et de combustible et les soupapes du brûleur a fin de voir si elles ont été correctement entretenues et bien réglées.

III.7.2.Purge du four

Avec toutes les conditions précédentes remplies:

- Appuyer sur le bouton "PurgeStart"
- Le BMS va commander la mise en service du ventilateur pour une durée de 20 minutes et le voyant "purge en cours "vas' allumer.
- Une fois ce délais écoulé le BMS va commander l'arrêt du ventilateur.
- Si toutes les conditions de purge sont maintenues le voyant "purgeterminée" vas'allumer et rendra possible l'exécution de la procédure d'allumage des pilotes

III.7.3.Mise en service des pilotes

- Appuyer sur le bouton poussoir "Openfueltopilot" pour ouvrir le gaz vers les allumeurs. Ce ci fermera l'évent et ouvrira la vanne des ectionnement gaz sur le collecteur gaz pilotes.
- Un voyant indiquera la réussite de l'opération.
- Ouvrir la vanne manuel le gaz du premier pilote et appuyer sur son bouton poussoir de mise en service (ouverture vanne de sectionnement et étincel les pendant10s).
- Ce ci ne se rapermis qu'après 10 secondes ,temps nécessaire au système pour vérifier que la pression gaz est dans les bonnes limites.

III.7.4.Mise en service des bruleurs:

- Note: La logique n'autorisera pas l'ouverture de la vanne gaz d'un brûleur dont la flamme de l'allumeur n'est pas détectée.
- Ouvrir la vanne manuelle gaz et vérifier visuellement l'allumage du brûleur.
- Procéder à l'allumage des autres Brûleurs disponibles.[26]

III.8. Rendement du four

Le rendement d'un four est défini comme étant le rapport du débit de chaleur absorbée ($Q_{\text{absorbée}}$) par le fluide procédé au débit de chaleur fourni ($Q_{\text{entrée}}$) au four par la combustion.

On constate en effet des pertes thermiques qui ont essentiellement deux origines :

- ❖ Les pertes par les parois du four (Q_{parois}) sont dues aux imperfections de l'isolation thermique par les matériaux réfractaires estimée de 1 à 3%..
- ❖ Les pertes par les fumées ($Q_{\text{fumées}}$) entre 5 et 20%.

$$Q_{\text{entrée}} = Q_{\text{absorbée}} + Q_{\text{fumées}} + Q_{\text{parois}}$$

Le pourcentage de pertes par les fumées dépend de deux paramètres :

- ❖ L'excès d'air de combustion qui accroît le débit de fumées et diminue le rendement du four : % de pertes au fumées = (teneur en O_2 des fumées%)/2.
- ❖ Pertes due à la température de rejet (fumées): % de pertes au fumées = (température des fumées $^{\circ}C$)/20.

III.9. Instruments de contrôle

III.9.1. Thermocouples de peau

Les thermocouples sont utilisés pour indiquer la température de la paroi extérieure du tube. Ils sont appelés également thermocouples de contact. La température indiquée peut être enregistrée et portée en salle de contrôle.

III.9.2. Thermocouples de fluide (ordinaires)

Ils sont concernés à mesurer la température des fumées aux différents endroits du parcours de celles-ci. Certaines de ces mesures sont enregistrées en salle de contrôle à fin de contrôler la bonne marche du four.

III.9.3 Déprimomètres

Les déprimomètres sont utilisés dans les fours. Des nombreuses prises sont prévues pour mesurer la dépression ou les pertes de charge dans le circuit des fumées.

III.9.4 Divers

Un ensemble d'appareillages divers tels que : les thermomètres, les pressostats, les dispositifs de décokage, de purge et d'injection de vapeur y compris la vapeur d'étouffement. Ces appareils sont prévus et disposés en fonction du service et du type de four. Ils doivent également répondre aux critères de fiabilité et leur choix tiendra compte de cet impératif

Les polluants les plus courants émit par un four industrielle sont :

- Les oxydes de soufre (SO_2 & SO_3) formés à partir du soufre contenu dans certains combustibles (fuels, gaz de cokerie, etc.) ;
- Les oxydes d'azote (NO , NO_3 , N_2O) formés au cours de la combustion soit à partir des composés azotés contenus dans le combustible, soit par combinaison à haute température de l'azote et de l'oxygène de l'air ;
- Les poussières en provenance du combustible, ou de particules solides en provenance des produits chauffés, entraînées par les fumées ;
- Le mono-oxyde de carbone (CO) dans les fours ou la combustion s'effectue avec in défaut d'air.

On peut trouver également, dans des installations plus spécifiques :

- Des composés de fluor et de chlore, des COV (composés organique volatils) ;
- Des HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) ;
- Du dioxyde de carbone (CO_2) qui bien que n'étant pas un polluant au sens strict du terme, a un impact important sur le climat par l'effet de serre qu'il entraîne.[23]

III.12. Les Fours du Topping condensat de skikda

La raffinerie de condensat RA2K comporte trois fours 100-F-101, 100-F-102 et 100-F-103 dont les caractéristiques principales. Les trois fours ont la particularité d'être conçus avec un préchauffeur d'air commun et une cheminée commune. Chaque four peut fonctionner tout seul avec le préchauffeur d'air enservice.

Les fumées, à la sortie de la zone de convection de chaque four, sont mélangées et refroidies dans le préchauffeur d'air avant d'être évacuées par la cheminée vers l'atmosphère à l'aide de ventilateurs extracteurs (les deux doivent être en service). L'air de combustion est refoulé par deux ventilateurs (l'un en service et l'autre en réserve) dans le préchauffeur d'air puis envoyé aux brûleurs. Un ventilateur doit être toujours en service car les trois fours sont conçus pour un tirage forcé seulement.

Les fours sont équipés d'instruments de mesure, de contrôle et de sécurité pour surveiller la chambre de combustion (gaz combustible, air de combustion, flamme, température de la chambre de combustion, températures de peau des tubes, etc...). Des systèmes de sécurité appropriés peuvent arrêter les fours si les conditions de fonctionnement ne répondent pas à celle prescrites par les normes d'exploitation afin d'éviter les risques d'incidents.

Le principe de fonctionnement des trois fours avec préchauffeur, circuits gaz combustible, air de combustion et fumées, est représenté par le schéma suivant.[5]

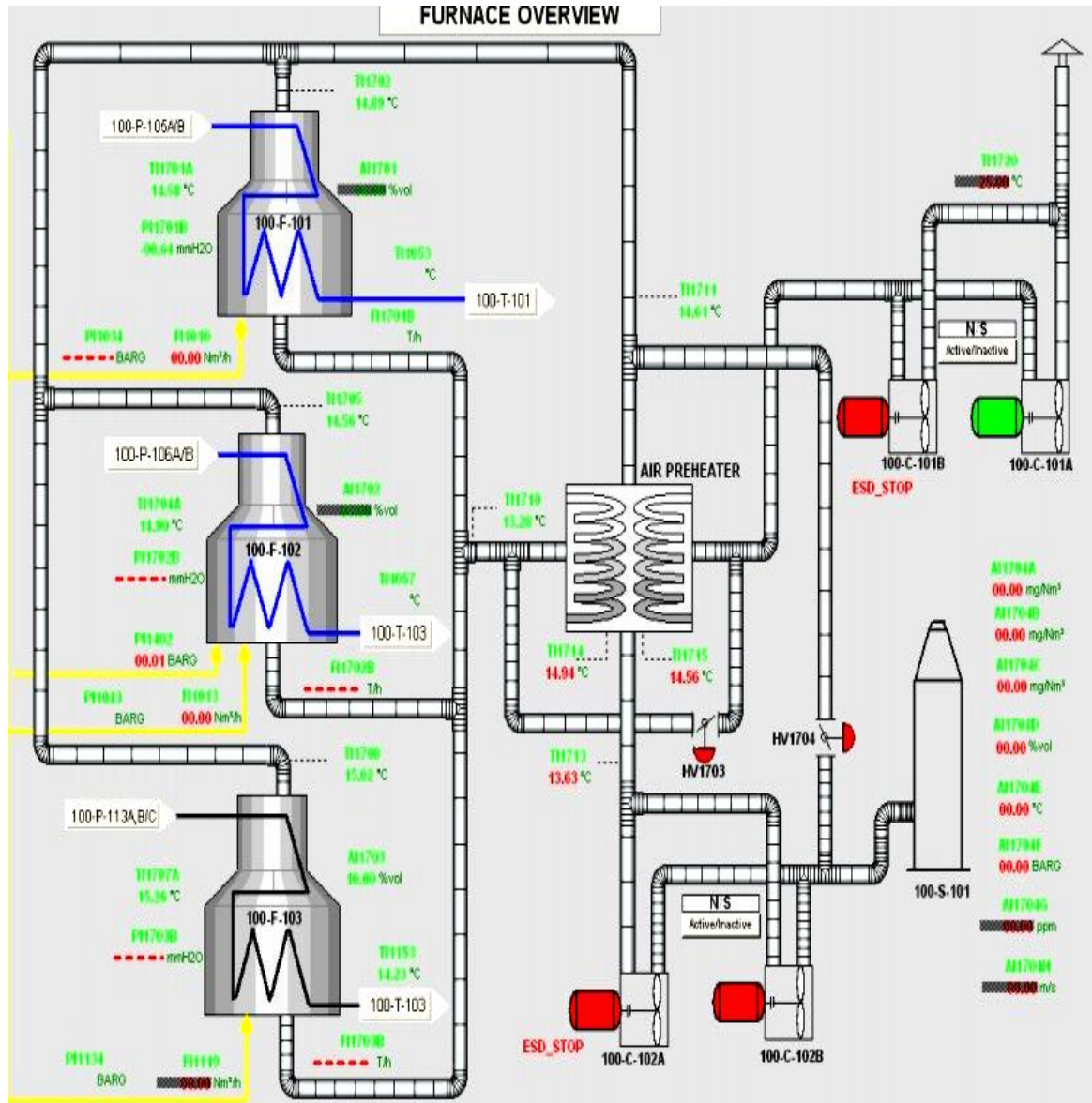


Figure III.11: Schéma montre Les Fours du Topping condensat de skikda.

III.13. Préchauffeur d'air APH

III.13.1. Rôle de l'APH

Le terme général utilisé pour désigner les équipements échangeurs de chaleur qui préchauffent une autre partie d'un procédé industriel est le préchauffeur d'air, également connu en anglais sous l'acronyme APH (Air Preheater). Grâce aux modèles conçus et fabriqués par Geurts, votre installation sera en mesure de récupérer la chaleur qui serait



(a)



(b)

Figure III.13 : (a) les ailettes des tubes cotés fumées de l'APH, (b) les tubes de l'APH coté air.[1]

CHAPITRE IV

Calcul Du Rendement Thermique Des Fours

La notion de rendement d'un four apparait par le fait que le débit de chaleur libérée aux brûleurs par la combustion n'est pas intégralement transmis au fluide procédé. On constate en effet des pertes thermiques qui ont essentiellement deux origines :

Les pertes par les parois du four (Q_{parois}) sont dues aux imperfections de l'isolation thermique par les matériaux réfractaires. Dans le cas des fours récents de grande puissance thermique elles représentent 1 à 2% de chaleur libérée aux brûleurs ($Q_{\text{entrée}}$).

Les pertes par les fumées ($Q_{\text{fumées}}$) qui évacuent à l'atmosphère un débit de chaleur relativement important pour ce la dans ce notre modeste travail on va calculer le rendement les trois fours de complexe RA2K F101, F102, F103 avec et sans APH étude comparative au but d'estimation le rôle du préchauffeur d'air parmi les meilleurs systèmes modernes en exploitation et récupération d'énergie.

Le bilan thermique du four s'écrit :

$$Q_{\text{entrée}} = Q_{\text{absorbée}} + Q_{\text{fumées}} + Q_{\text{parois}}$$

Le diagramme ci-dessous donne une représentation graphique du bilan thermique :

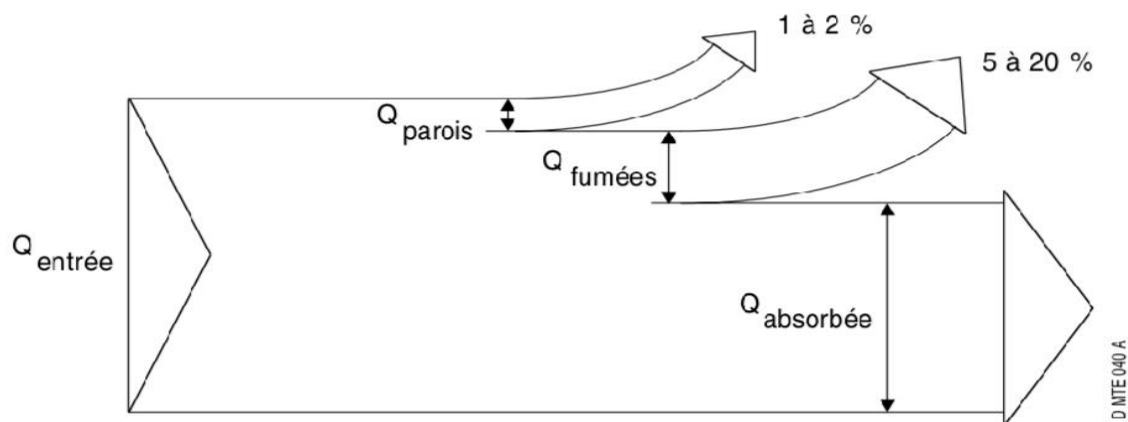


Figure IV.1 : Diagramme représentatif du bilan thermique

IV.1. But de l'étude

L'objectif principal de notre étude est de calculer et déterminer le rendement thermique des trois fours, en utilisant les données de Sonatrach, tant avec qu'à l'absence de l'APH. Nous cherchons également à évaluer les économies d'énergie réalisées grâce à l'utilisation de l'APH. L'amélioration de l'efficacité énergétique en réduisant la consommation de gaz naturel est essentielle pour réduire les coûts d'exploitation du complexe topping de Skikda tout en préservant l'environnement.

IV.2.La relation du Rendement thermique

Il existe plusieurs méthodes pour calculer le rendement de four parmi ces méthodes la méthode indirecte de référence 2005 ENSPM Formation Industrie - IFP Training institut.fr.[30]

Le rendement d'un four η (eta) est défini comme le rapport du débit de chaleur absorbé par le fluide procédé au débit de chaleur fournie au four par la combustion ($Q_{\text{entrée}}$).

$$\eta(\%) = \frac{Q_{\text{absorbée}}}{Q_{\text{entrée}}} * 100$$

En utilisant le bilan thermique du four, le débit de chaleur absorbé peut encore s'exprimer :

$$Q_{\text{absorbée}} = Q_{\text{entrée}} - Q_{\text{fumées}} - Q_{\text{pertes}}$$

L'expression du rendement devient :

$$\eta(\%) = \frac{Q_{\text{entrée}} - Q_{\text{fumées}} - Q_{\text{perte}}}{Q_{\text{entrée}}} * 100$$

$Q_{\text{entrée}}$: La quantité de chaleur fournie par la combustion.

$Q_{\text{fumées}}$: La chaleur perdue par les fumées.

Q_{pertes} : la chaleur perdue par les parois.

Autre méthode de calcul du rendement :

Méthode 01

$$\eta(\%) = \frac{H_c - H_f - H_{\text{perte}}}{Q_{\text{entrée}}} * 100$$

H_f l'enthalpie des fumées, calculée d'après leurs compositions à la température de sortie de la cheminée.

H_c l'enthalpie de combustion = pouvoir calorifique du gaz combustible + chaleur sensible de la combustion + chaleur sensible de l'air de combustion.

H_{perte} = la quantité de chaleur perdue par les parois du four + la quantité de chaleur

absorbée dans le four.[31]

Méthode 02

La formule de calcul du rendement du four est exprimée comme suit:

$$\eta \text{ (four)} = [Q_{\text{abs}} \text{ (BRA)} + Q_{\text{abs}} \text{ (Vap.inj)} + Q_{\text{abs}} \text{ (Vap.stip)}] / [Q \text{ dégagée (fuel gaz)}]$$

Calcul de la quantité de chaleur dégagée :

$$Q \text{ dégagée} = \text{PCI (fg)} * M \text{ (fg)}$$

Calcul de la quantité de chaleur absorbée :

$$Q_{\text{vsc}} = M_{\text{vsc}} (\text{Hs} - \text{He})$$

He et Hs : enthalpie de vapeur d'eau déterminées par Diagramme de Mollie.

La quantité de chaleur absorbée par la vapeur d'eau injectée :

$$Q_{\text{inj}} = M_{\text{inj}} \text{Hs} - \text{He}$$

La quantité de chaleur absorbée par le BRA :

$$Q \text{ (BRA entrée)} = M * C_p * T_e$$

$$Q \text{ (BRA sortie)} = Q \text{ BRA(L)} + Q \text{ BRA(V)}$$

- La phase liquide : $Q \text{ BRA(L)} = M * H_L * (1 - e)$

La phase vapeur : $Q \text{ BRA(V)} = M * (H_v + F) * e$ [32]

IV.3.Données du calcul

a.Composition du gaz de combustion

Tableau.IV.1: Les pourcentages volumiques des constituants du gaz de combustion.

composants	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀	iC ₅ H ₁₂	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	CO ₂	N ₂	He
Pourcentage volumique	83.08	8.08	1.8	0.25	0.35	0.06	0.06	0.05	0.21	5.93	0.13

b.Pouvoir calorifique inférieur (PCI) des constituants du gaz combustible

Tableau IV.2:PCI des constituants du gaz de combustion.

compositions	PCI (kcal/Nm ³)
Méthane	8570
Ethane	15323,66
Propane	25500
iso butane	28294,64
n- butane	28268,30
isopentane	34893,30
n-pentane	34776,79
Hexane	38403,5
Dioxydedecarbone	0
Azote	0
Hélium	0

.c.Données du calcul

Tableau.IV.3: Four F-101 rebouilleur de la colonne de préfractionnement T101.

Four (101)							
Température du fluide(°C)		Température des fumées (°C)		Température de l'air de combustion(°C)		Débit	
Entré	Sortie	Entré	Sortie	Entré	Sortie	Combustibe (Nm3/h)	fluide (t/h)
180	213	Entré	Sortie	Entré	Sortie	3480	402
Teneur O ₂ dans les fumées (%)	3.38	Rebouilleur				3480	402
		/	390	24	375,2		
	3.00	Préchauffeur d'air				2600	
		375,2	160	24	250		

Tableau.IV.4: Four F-102 préchauffeur de la colonne de distillation atmosphérique T103.

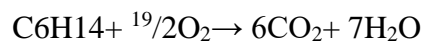
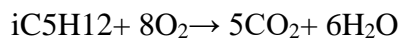
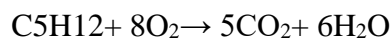
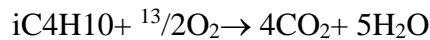
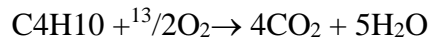
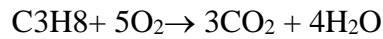
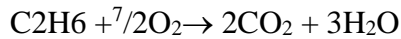
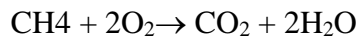
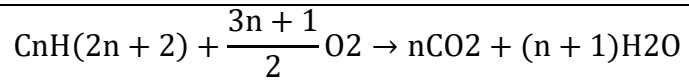
Four (102)							
Température du fluide(°C)		Température des fumées (°C)		Température de l'air de combustion(°C)		Débit	
Entré	Sortie	Entré	Sortie	Entré	Sortie	Combustibe (Nm3/h)	fluide (t/h)
180	197	Entré	Sortie	Entré	Sortie	3000	286
Teneur O ₂ dans les fumées (%)	3.20	Rebouilleur					
		/	392.5	24	392.5		
	3.08	Préchauffeur d'air				2560	
		377	160	24	255		

Tableau.IV.5: FourF-103:rebouilleur de la colonne de distillation atmosphérique T103.

Four (103)							
Température du fluide(°C)		Température des fumées (°C)		Température de l'air de combustion(°C)		Débit	
Entré	Sortie	Entré	Sortie	Entré	Sortie	Combustibe (Nm3/h)	fluide (t/h)
351	360	Entré	Sortie	Entré	Sortie	2075.1	1184
Teneur O ₂ dans les fumées (%)	4.2	Rebouilleur					
		/	368.5	24	368.5		
	3.2	Préchauffeur d'air				1795.3	
		360.5	160	24	253.6		

IV.4.Réactionsdelacombustion

La combustion dans les fours pétroliers et pétrochimiques se fait dans une chambreappeléezone de rayonnement. On présente l'équation de réaction afin de déterminer la compositiondes gaz provenant de la combustion. En effet, il sera utile de connaître cette composition pour déterminer la quantité d'air nécessaire aux brûleurs ainsi que la composition et la quantité des fumées sèches et humides produites A partir d'un combustible.



On détermine d'après ces équations la quantité d'oxygène nécessaire à la combustion et la quantité des fumées obtenues à base de 100 Nm³ de gaz combustible.

IV.5. Quantité d'air nécessaire pour la combustion

D'après les équations précédentes de la combustion on va déterminer le volume théorique d'oxygène brûlé à base de notre calcul 100 Nm³ de gaz combustible .

$$V_{O_2}(\text{théorique}) = (\sum_i (\alpha_i * Y_i)) * V_{\text{gaz}}$$

α_i : Stochéométrie d'oxygène pour chaque constituants .

Y_i :Fraction volumique de constituant.

V_{gaz} :Volume de gaz combustible supposé est égale à 100 Nm³.

$$V_{O_2} = (2Y_1 + 7/2Y_2 + 5Y_3 + 13/2Y_4 + 13/2Y_5 + 8Y_6 + 8Y_7 + 19/2Y_8) * 100$$

$$V_{O_2}(\text{théorique}) = 208,775 \text{ Nm}^3$$

Quantité d'oxygène réel pour les trois fours de RA2K avec et sans APH (avec l'excès d'air) :

le volume d'O₂ dans les fumées ou bien l'excès d'air en Nm³ sous expression

$$V_{O_2}(\text{théorique}) \times \text{teneur en } O_2 \text{ dans les fumées}$$

alors : $V_{O_2}(\text{réel}) = V_{O_2}(\text{théorique}) + V_{O_2}(\text{théorique}) \times \text{teneur en } O_2 \text{ dans les fumées}$

$$V_{O_2}(\text{réel}) = V_{O_2}(\text{théorique}) [1 + \text{teneur en } O_2 \text{ dans les fumées}]$$

Exemple :

$$V_{O_2}(\text{réel}) = 208.775 (1 + 0.03) = 215.038 \text{ Nm}^3$$

Tableau IV.6: Quantité d'oxygène nécessaire pour la combustion pour les trois fours avec et sans APH.

Fours	Four(101)	Four(102)	Four(103)
Quantité d'oxygène nécessaire Avec APH (Nm ³)	215.038	215.205	215.456
Quantité d'oxygène nécessaire Sans APH (Nm ³)	215.832	215.456	217.544

IV.6. Calcul la Quantité des fumées

La base de notre étude comme même de 100 Nm³ de gaz combustible on va calculer les volumes de constituants des fumées toutefois, distinguer en V_{CO2}, V_{H2O}, V_{N2} et V_{O2} par excé d'air .

$$V(\text{air}) = \sum (V_{N_2} + V_{O_2}(\text{réel}))$$

On a : $V_{N_2} \rightarrow 79\%$, $V_{O_2} \rightarrow 21\%$

alors :
$$V_{N_2} = V_{O_2} \frac{79}{21} = 3,76 V_{O_2}$$

$$V_{N_2}(\text{fumées}) = 3.76 V_{O_2}(\text{réel}) + V_{N_2}(\text{combustible})$$

$$V_{N_2}(\text{combustible}) = Y_{N_2} * V_{\text{gaz}}$$

$$V_{N_2}(\text{fumées}) = 3.76 * V_{O_2}(\text{réel}) + 0.0593 * 100$$

Exemple :

$$V_{N_2}(\text{fumées}) = 3.76 * 215.038 + 0.0593 * 100$$

Tableau IV.7 :Quantité gaz d'azote dans les fumées pour les trois fours avec et sans APH.

Fours	Four (101)	Four (102)	Four (103)
Quantité gaz d'azote dans les fumées Avec APH (Nm ³)	814.47	815.10	816.04
Quantité gaz d'azote dans les fumées Sans APH (Nm ³)	817.45	816.04	823.89

La relation de CO₂ dans les fumées sous forme de :

$$V_{CO_2}(\text{fumées})=V_{CO_2}(\text{génééré par la combustion}) +V_{CO_2}(\text{dans le gaz de combustible})$$

$$V_{CO_2}(\text{génééré par la combustion}) =(\sum_i(\alpha_i * Y_i)) * V_{\text{gaz}}$$

$$V_{CO_2}(\text{génééré par la combustion})=(Y_1+2Y_2+3Y_3+4Y_4+4Y_5+5Y_6+5Y_7+6Y_8)\times 100$$

$$V_{CO_2}(\text{génééré par la combustion})=107,94 \text{ Nm}^3$$

$$V_{CO_2}(\text{combustible})= Y_{CO_2} * V_{\text{gaz}}$$

$$V_{CO_2}(\text{combustible})= 0.21 \text{ Nm}^3$$

$$V_{CO_2}(\text{fumées})= 108.15 \text{ Nm}^3$$

La relation de H₂O dans les fumées sous forme de :

$$V_{H_2O}(\text{fumées})=V_{H_2O}(\text{génééré par la combustion})+V_{H_2O}(\text{air de combustion})$$

$$V_{H_2O}(\text{généérée par la combustion})= (\sum_i(\alpha_i * Y_i)) * V_{\text{gaz}}$$

$$V_{H_2O}(\text{généérée par la combustion})= V_{H_2O}=(2Y_1+3Y_2+4Y_3+5Y_4+5Y_5+6Y_6+6Y_7+7Y_8)\times 100$$

$$V_{H_2O}(\text{généérée par la combustion})= 201.67 \text{ Nm}^3$$

- $V_{O_2}=21\% V_{\text{air}} \rightarrow V_{\text{air}}= 1/0.21 V_{O_2} = 4.76 V_{O_2}$

Prendre la quantité de vapeur d'eau dans l'air de combustion Humidité relative :80% (météo Skikda, le jour 09/05/2023 à 14h:15 minutes) Tension de vapeur de l'eau à 20°C :17,4mmHg

[37]

$$\text{Quantité d'eau dans l'air} = \frac{P^\circ \times H\%}{P_t - P^\circ} * V(\text{air}) = \frac{17.4 \times 0.8}{760 - 17.4} * 4.76 \text{ VO}_2$$

H : Humidité relative.

P°: Tension de vapeur de l'eau.

Pt: Pression totale.

$$V_{\text{H}_2\text{O}}(\text{air de combustion}) = 0,0187449502 * 4.76 * \text{VO}_2$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}(\text{fumées}) = 201.67 + 0,0187449502 * 4.76 * \text{VO}_2$$

Tableau IV.8 : Quantité de la vapeur d'eau dans les fumées pour les trois fours avec et sans APH.

Fours	F101	F102	F103
Quantité de la vapeur d'eau dans les fumées Avec APH (Nm ³)	220.85	220.87	220.89
Quantité de la vapeur d'eau dans les fumées Sans APH (Nm ³)	220.92	220.89	221.08

Tableau IV.9 : Les quantités des constituants des fumées à base 100 Nm³ de gaz combustible.

Fours	F101		F102		F103	
	Avec APH	Sans APH	Avec APH	Sans APH	Avec APH	Sans APH
V _{CO2}	108.15					
V _{H2O}	220.85	220.92	220.87	220.89	220.89	221.08
V _{N2}	814.47	817.45	815.1	816.04	816.04	823.89
V _{O2}	6.26	7.056	6.43	6.68	6.68	8.76
Totale (Nm ³)	1149.73	1153.58	1150.55	1151.76	1151.76	1161.89

Nous remarquons dans le tableau précédent c'est que la quantité de gaz d'azote est plus élevée dans les fumées par rapport d'outre constituants pour les trois fours avec et sans APH à environ de 70%.

Tableau IV.10 : Les pourcentages des constituants des fumées pour les trois fours avec et sans APH.

Les pourcentages des constituants des fumées						
Fours	F101		F102		F103	
Constituants	Avec APH	Sans APH	Avec APH	Sans APH	Avec APH	Sans APH
CO2	9,43	9,36	9,39	9,38	9,38	9,85
H2O	19,20	19,16	19,19	19,17	19,17	18,31
O2	0,53	0,61153	0,55888	0,58	0,58	0,602
N2	70,84	70,859	70,84	70,85	70,85	71,22
Totale	100 %					

Pour cet étape On va adapter la quantité des fumées avec débit de combustible réel des trois fours Avec et Sans APH, d'après la relation suivante :

$$100 \text{ Nm}^3 \rightarrow V_F$$

$$\Omega \rightarrow V_f$$

V_F : Quantité des fumées global des canstituants:(Nm³).

Ω : Débit de combustible (Nm³/h).

V_f : Débit volumique des fumées actual (Nm³/h).

Four 100-F-101

❖ Calcul V_f avec APH

$$100 \text{ Nm}^3 \rightarrow 1149.73, V_f = \frac{\Omega * V_F}{100} = \frac{1149.73 * 2600}{100} = 29892.98 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

❖ Calcul V_f sans APH

$$100 \text{ Nm}^3 \rightarrow 1153.58, V_f = \frac{\Omega * V_F}{100} = \frac{1153.58 * 3480}{100} = 40144.58 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Four 100-F-102

❖ Calcul V_x avec APH

$$100 \text{ Nm}^3 \rightarrow 1150.55, V_f = \frac{\Omega * V_F}{100} = \frac{1150.55 * 2560}{100} = 29454.08 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

❖ Calcul V_x sans APH

$$100 \text{ Nm}^3 \rightarrow 1151.76, V_f = \frac{\Omega \cdot VF}{100} = \frac{1151.76 \cdot 3000}{100} = 34552.8 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Four 100-F-103

❖ Calcul V_x avec APH

$$100 \text{ Nm}^3 \rightarrow 1151.76, V_f = \frac{\Omega \cdot VF}{100} = \frac{1151.76 \cdot 1795.3}{100} = 20677.54 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

❖ Calcul V_f sans APH

$$100 \text{ Nm}^3 \rightarrow 1161.89, V_f = \frac{\Omega \cdot VF}{100} = \frac{1161.89 \cdot 2075.1}{100} = 24110.37 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

IV.7. Quantité de Chaleur perdue par les fumées (Q fumées)

L'expression de calcul la quantité de chaleur perdue par les fumées comme suite :

$$Q_{\text{fumées}} = n C_{p\text{moy}}(T_f - 0)$$

n : débit molaire des fumées (Nm^3/h).

$C_{p\text{moy}}$: chaleur spécifique moyenne des fumées.

T_f : température de rejet des fumées.

On considère la température de référence 0°C .

Application numérique:

a. Débit molaire des fumées.

On a la relation de débit molaire sous forme de : $n = \frac{V_f}{22.4}$.

V_f : Débit volumique des fumées actual (Nm^3/h)

Tableau IV.11: Débit molaire des fumées des trois fours avec et sans APH.

Fours	F101	F102	F103
Débit molaire des fumées actual Avec APH en (m ³ /h)	1334.5	1314.91	923.1
Débit molaire des fumées actual Sans APH en (m ³ /h)	1792.16	1542.53	1076.35

b. La chaleur spécifique de chaque constituant .

Pour calculer la chaleur spécifique de chaque élément il faut traverser à théorème d'interpolation supporté par un tableau des donné (annexe 1) et la relation comme suivant :

$$Me = b_{inf} + (b_{sup} - b_{inf}) \times \frac{(n - nc_{inf})}{n_{Me}}$$

b_{inf} : borné inférieure de la classe médiane.

b_{sup} : borné supérieur de la classe médiane.

$n/2$: effectif cumulé croissant de la classe médiane.

nc_{inf} : effectif cumulé croissant inférieur à celui de la valeur médiane.

nc_{sup} : effectif cumulé croissant supérieur à celui de la valeur médiane.

Par rapport à la Température des fumées sorties du four F101 est de 390 °C.

Pour CO₂:

T°C → Cp

300 → 10,06 Interpolation → x = 10,366 kcal/kmole.

390 °C → x

400 → 10,40

Pour H₂O:

T°C → Cp

400 → 8,22 Interpolation → x = 8,328 kcal/kmole.

390°C → x

500→8,34

Pour O₂:

T°C→C_p

400→7,26 Interpolation→ x=7,368 kcal/kmole.

390°C → x

500→7,38

Pour N₂:

T°C→C_p

400→7,04 Interpolation→ x=7,085 kcal/kmole.

390 °C → x

500→7,09

Par rapport à la Température des fumées sorties du four F102 est de 392,5 °C.

Pour CO₂:

T°C→C_p

300→10,06 Interpolation→ x=10,3745 kcal/kmole.

392,5°C→ x

400→10,40

Pour H₂O:

T°C→C_p

300→8,22 Interpolation→ x=8,331 kcal/kmole.

392,5°C → x

400→8,34

Pour O₂:

T°C→C_p

300→7,26 Interpolation→x=7,371 kcal/kmole.

392,5°C → x

400→7,38

Pour N₂:

T°C→C_p

300→7,04 Interpolation→ x=7,08625 kcal/kmole.

392,5°C→ x

400→7,09

Par rapport à la Température des fumées sorties du Four F103 est de 368,5°C.

Pour CO₂:

$$T^{\circ}\text{C} \rightarrow C_p$$

$$300 \rightarrow 10,06 \quad \text{Interpolation} \rightarrow x = 10,2929 \text{ kcal/kmole.}$$

$$368,5^{\circ}\text{C} \rightarrow x$$

$$400 \rightarrow 10,40$$

Pour H₂O:

$$T^{\circ}\text{C} \rightarrow C_p$$

$$300 \rightarrow 8,22 \quad \text{Interpolation} \rightarrow x = 8,3022 \text{ kcal/kmole.}$$

$$368,5^{\circ}\text{C} \rightarrow x$$

$$400 \rightarrow 8,34$$

Pour O₂:

$$T^{\circ}\text{C} \rightarrow C_p$$

$$300 \rightarrow 7,26 \quad \text{Interpolation} \rightarrow x = 7,3422 \text{ kcal/kmole.}$$

$$368,5^{\circ}\text{C} \rightarrow x$$

$$400 \rightarrow 7,38$$

Pour N₂ :

$$T^{\circ}\text{C} \rightarrow C_p$$

$$300 \rightarrow 7,04 \quad \text{Interpolation} \rightarrow x = 7,07425 \text{ kcal/kmole.}$$

$$368,5^{\circ}\text{C} \rightarrow x$$

$$400 \rightarrow 7,09$$

Par rapport à la Température des fumées sorties du préchauffeur d'air est de 160 °C.

Pour CO₂:

$$T^{\circ}\text{C} \rightarrow C_p$$

$$100 \rightarrow 9,17 \quad \text{Interpolation} \rightarrow x = 9,458 \text{ kcal/kmole.}$$

$$160^{\circ}\text{C} \rightarrow x$$

$$200 \rightarrow 9,65$$

Pour H₂O:

$$T^{\circ}\text{C} \rightarrow C_p$$

$$100 \rightarrow 8,03 \quad \text{Interpolation} \rightarrow x = 8,084 \text{ kcal/kmole.}$$

$$160^{\circ}\text{C} \rightarrow x$$

$$200 \rightarrow 8,12$$

Pour O₂:

T°C → Cp

100 → 7,07

160°C → x

200 → 7,15

Interpolation → x = 7,118 kcal/kmole.

Pour N₂ :

T°C → Cp

100 → 6,97

160°C → x

200 → 7,00

Interpolation → x = 6,988 kcal/kmole.

$$Cp_{moyen} = \sum Cpi \cdot Yi \quad (\text{kcal/kmol} \cdot ^\circ\text{C})$$

Tableau IV.12: La Chaleur spécifique moyenne des fumées Avec APH.

Fours	F101		F102		F103		Cpi(kcal/kmole.°C)
Constituants	Fraction Yi	Cpi. Yi	Fraction Yi	Cpi. Yi	Fraction Yi	Cpi. Yi	
CO2	9,43	0,8918894	0,0939	0,8881062	0,0938	0,8871604	9,458
H2O	19,20	1,552128	0,1919	1,5513196	0,1917	1,5497028	8,084
O2	0,53	0,0377254	0,005588	0,0397810	0,0058	0,0412844	7,118
N2	70,84	4,9502992	0,7084	4,9502992	0,7085	4,950998	6,988
Cp _{moy}	7,432042		7,429506		7,429506		

Tableau IV.13: La Chaleur spécifique moyenne des fumées Sans APH.

Constituants	F101		F102		F103	
	Cpi (kcal/kmole.°C)	FractionYi	Cpi (kcal/kmole.°C)	FractionYi	Cpi (kcal/kmole.°C)	FractionYi
CO2	10,366	0,0936	10,3745	0,0938	10,2929	0,0985
H2O	8,328	0,1916	8,331	0,1917	8,3022	0,1831
O2	7,368	0,0061153	7,371	0,0058	7,3422	0,00602
N2	7,085	0,70859	7,08625	0,7085	7,07425	0,7122
Cp _{moyen}	7,63132005		7,6335407		7,616465	

Alors On peut calculer la quantité de chaleur perdue par les fumées pour les trois fours avec et sans APH juste par adaptation les valeurs calculés précédement dans la relation mathématique .

F101 avec APH

$$Q_{\text{fumées}} = 1334,508 * 7,432042 *(160-0)$$

$$Q_{\text{fumées}} = 1586899,1208 \text{ kcal/h}$$

F101 sans APH

$$Q_{\text{fumées}} = 1792,168*7,63132005 *(390-0)$$

$$Q_{\text{fumées}} = 5333876,961 \text{ kcal/h}$$

F102 avec APH

$$Q_{\text{fumées}} = 1314,91*7,429506*(160-0)$$

$$Q_{\text{fumées}} = 1563061,078 \text{ kcal/h}$$

F102 sans APH

$$Q_{\text{fumées}} = 1542,53 *7,6335407 *(392,5-0)$$

$$Q_{\text{fumées}} = 4621673,973 \text{ kcal/h}$$

F103 avec APH

$$Q_{\text{fumées}} = 923,10 *7,4291456*(160-0)$$

$$Q_{\text{fumées}} = 1097255,089 \text{ kcal/h}$$

F102 sans APH

$$Q_{\text{fumées}} = 1076,35 *7,616465*(368,5-0)$$

$$Q_{\text{fumées}} = 3020956,405 \text{ kcal/h}$$

Tableau IV.14: la quantité de chaleur perdue par les fumées.

Fours	Q _{fumées} (kcal/h)	
	Avec APH	Sans APH
F101	1586899,1208	5333876,961
F102	1563061,078	4621673,973
F103	1097255,089	3020956,405

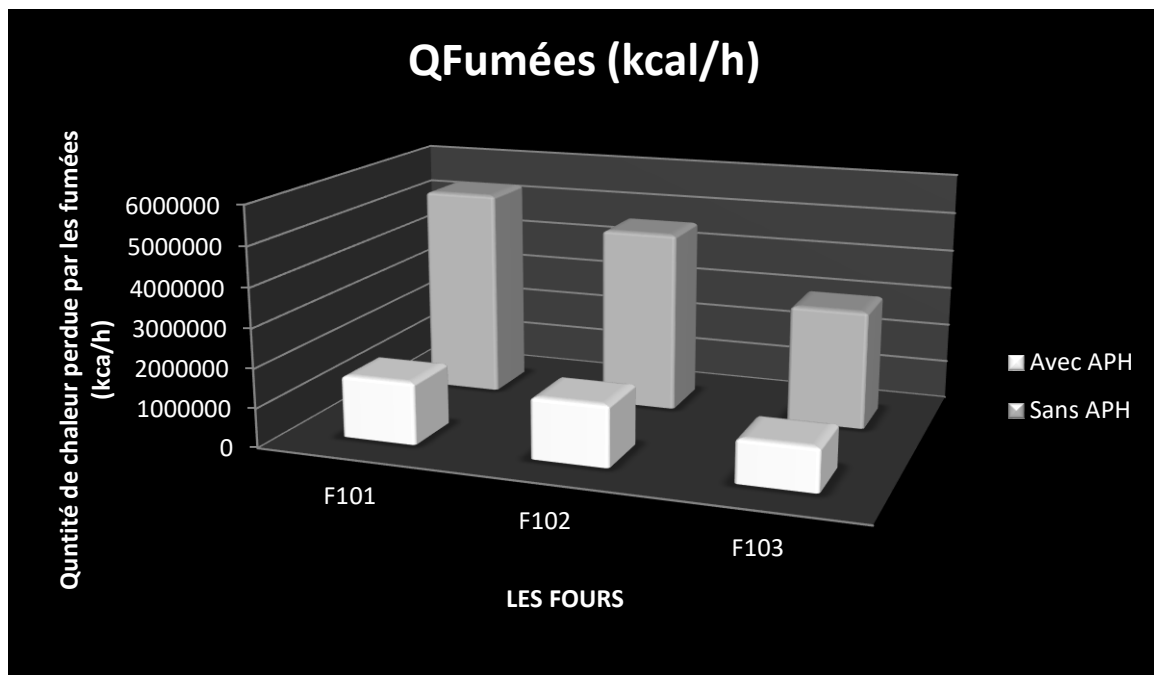


Figure IV.2: Quantité de chaleur perdue par les fumées dans les trois fours avec et sans APH (kcal/h).

Après avoir représenté graphiquement ces résultats (figure IV.2), nous pouvons conclure que l'appareil APH réduit la quantité de chaleur perdue par la fumée, ce qui suggère que la technologie APH maintient la chaleur générée par la combustion.

IV.8. Quantité de Chaleur fournie par la combustion (Q entrée)

La quantité de chaleur fournie par la combustion sous forme c'est dessous, sachant que les débits de gaz combustible ils sont différents pour chaque four avec et sans APH.

$$Q_{(entrée)} = \Omega \times PCI \text{ (kcal/h)}$$

Ω : débit du gaz combustible en (Nm³/h)

PCI : Pouvoir calorifique infirieur du gaz combustible en (Kcal/Nm³)

Application numérique:

$$PCI_{moyen} = \sum_i PCI_i * Y_i$$

$$PCI_{moyen} = 8570*0.8308+15323,66*0.0808+25500*0.018+28294,64*0.0025+ 28268,30 *0.0035+ 34893,30 *0.0006+34776,79*0.0006+38403,5*0.0005= \mathbf{9047.787182Kcal/Nm^3}.$$

Four 100-F-101

- ❖ Calcul
- Q_e
- avec APH

$$Q_{\text{entrée}} = 2600 * 9047.787182 = 23524246.673 \text{ Kcal/h}$$

- ❖ Calcul
- Q_e
- sans APH

$$Q_{\text{entrée}} = 3480 * 9047.787182 = 31486299.393 \text{ Kcal/h}$$

Four 100-F-102

- ❖ Calcul
- Q_e
- avec APH

$$Q_{\text{entrée}} = 2560 \times 9047.787182 = 23162335.185 \text{ Kcal/h}$$

- ❖ Calcul
- Q_e
- sans APH

$$Q_{\text{entrée}} = 3000 \times 9047.787182 = 27143361.546 \text{ Kcal/h}$$

Four 100-F-103

- ❖ Calcul
- Q_e
- avec APH

$$Q_{\text{entrée}} = 1795.3 * 9047.787182 = 16243492.327 \text{ Kcal/h}$$

- ❖ Calcul
- Q_e
- sans APH

$$Q_{\text{entrée}} = 2075.1 * 9047.787182 = 18775063.181 \text{ Kcal/h}$$

IV.9. Quantité de Chaleur perdue par les parois

Par rapport aux fours du complexe topping condensât sont récemment installés, les matériaux d'isolation thermique tels que les briques réfractaires sont en bon état. Une estimation indique que seulement 2% de la quantité de chaleur libérée par la combustion est perdue à travers les parois, comme mentionné précédemment. Pour calculer cette perte de chaleur par les parois, la formule suivante a été utilisée :

$$Q_{\text{parois}} = 2\% Q_{\text{fournie}} \text{ (kcal/h)}$$

Application numérique:

F101 avec APH

$$Q_{\text{parois}} = 0,02 * 23524246,673$$

$$Q_{\text{parois}} = 470484,9334 \text{ kcal/h}$$

F101 sans APH

$$Q_{\text{parois}} = 0,02 * 31486299,393$$

$$Q_{\text{parois}} = 629725,9878 \text{ kcal/h}$$

F102 avec APH

$$Q_{\text{parois}} = 0.02 * 23162335,185$$

$$Q_{\text{parois}} = 463246,7037 \text{ kcal/h}$$

F102 sans APH

$$Q_{\text{parois}} = 0,02 * 27143361,546$$

$$Q_{\text{parois}} = 542867,2309 \text{ kcal/h}$$

F103 avec APH

$$Q_{\text{parois}} = 0,02 * 16243492,327$$

$$Q_{\text{parois}} = 324869,8465 \text{ kcal/h}$$

F103 sans APH

$$Q_{\text{parois}} = 0,02 * 18775063,181$$

$$Q_{\text{parois}} = 375501,2636 \text{ kcal/h}$$

Tableau IV.15: Quantité de chaleur perdue par les parois dans les trois fours avec et sans APH.

Fours	Q _{parois} (kcal/h)	
	Avec APH	Sans APH
F101	470484,93346	629725,9878
F102	463246,7037	542867,2309
F103	324869,8465	375501,2636

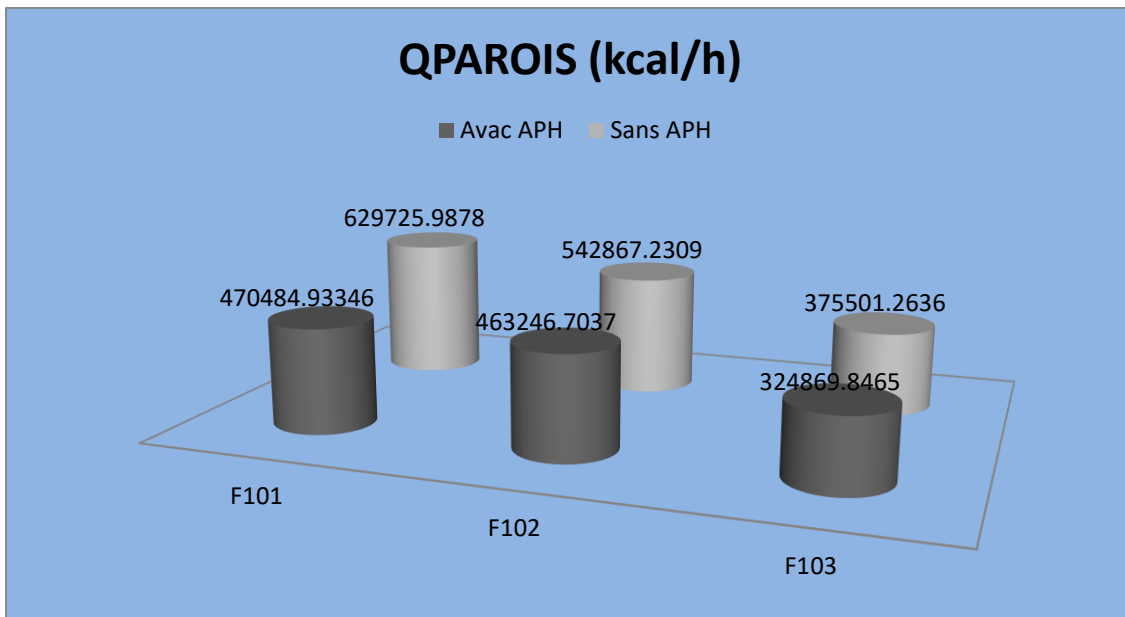


Figure IV.3 : Quantité de chaleur perdue par les parois dans les trois fours avec et sans APH.

Selon les observations de la figure IV.3, il est notable que la quantité de chaleur perdue par les parois des trois fours (F101, F102, F103) est considérablement plus élevée en l'absence de l'APH par rapport à sa présence.

IV.10. Rendement thermique

Nous arrivans au dernier étape de calcul le rendement thermique des trois fours avec et sans APH ,La relationtion mathématique de notre étude comme la suivante :

$$\eta(\%) = \frac{Q \text{ entrée} - Q_{\text{fumées}} - Q \text{ perte}}{Q \text{ entrée}} * 100$$

Application numérique:

Four 100-F-101

❖ Calcul η avec APH

$$\eta = \frac{23524246,673 - 1586899,1208 - 470484,93346}{23524246,673} * 100 = 91,25 \%$$

❖ Calcul η sans APH

$$\eta = \frac{31486299,39 - 5333876,961 - 629725,9878}{31486299,39} * 100 = 81,05 \%$$

Four 100-F-102

❖ Calcul η avec APH

$$\eta = \frac{23162335,185 - 1563061,078 - 463246,7037}{23162335,185} * 100 = 91,25 \%$$

❖ Calcul η sans APH

$$\eta = \frac{27143361,546 - 4621673,973 - 542867,2309}{27143361,546} * 100 = 80,97\%$$

Four 100-F-103

❖ Calcul η avec APH

$$\eta = \frac{16243492,327 - 1097255,089 - 324869,8465}{16243492,327} * 100 = 91,24 \%$$

❖ Calcul η sans APH

$$\eta = \frac{18775063,181 - 3020956,405 - 375501,26362309}{18775063,181} * 100 = 81,90\%$$

Tableau IV.16: Rendement thermique des trois fours avec et sans APH.

Fours	η Rendement thermique (%)	
	Avec APH	Sans APH
F101	91,25	81,05
F102	91,25	80,97
F103	91,24	81,90

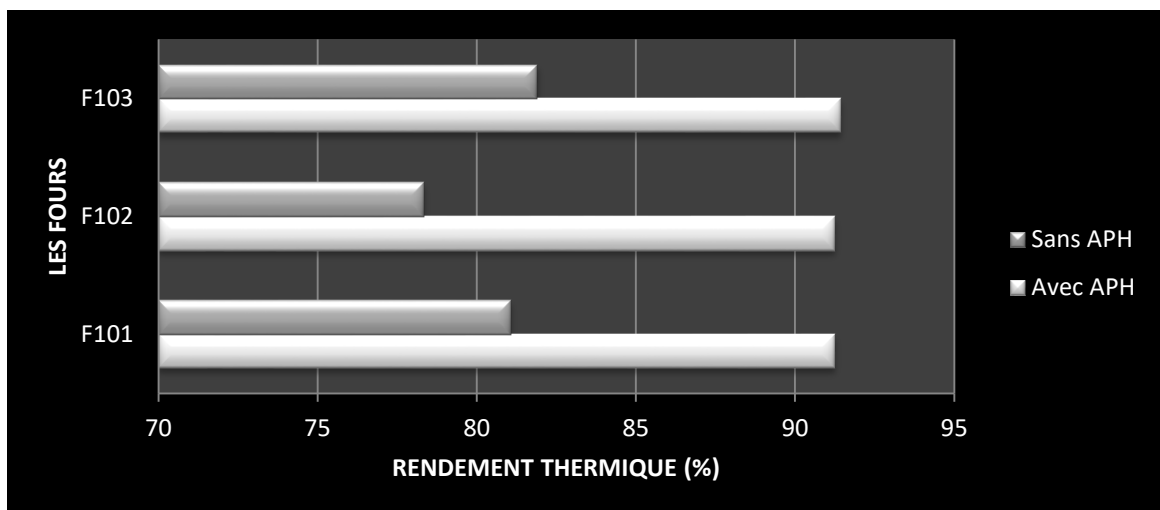


Figure IV.4 :Les rendements thermiques de chaque four avec et sans APH.

Les rendements thermiques ont été représentés graphiquement, à la fois avec et sans préchauffeur d'air, pour chaque four (figure IV.4). En observant les graphiques, nous constatons que le rendement thermique sans préchauffeur d'air dans les fours F103, F02 et F101 se situe entre 80% et 81%. En revanche, en présence d'un préchauffeur d'air, le rendement est plus élevé. En effet, d'après les graphiques, il est possible d'atteindre 91,25% dans les fours F101, F102 et 91,24% dans le four F103. Nous pouvons conclure que l'utilisation de l'appareil APH permet d'augmenter le rendement d'environ 10% en réduisant les pertes thermiques.

IV.11. l'énergie récupérée par le système APH

En prenant en compte les trois fours dans leur ensemble, les résultats du calcul révèlent une différence dans la consommation de combustible (ΔM_v) entre les configurations avec et sans préchauffeur d'air :

$$\Delta M_v = M_{vs} - M_{va}$$

M_{vs} : Le débit de combustible consommé par les trois fours fonctionnant sans l'APH.

M_{va} : Le débit de combustible consommé par les trois fours fonctionnant avec l'APH.

Nous procédons au calcul des débits de combustibles consommés par les trois fours.

- ❖ Les trois fours opérant avec l'APH.

$$M_{va} = 2600 + 2560 + 1795,3$$

$$M_{va} = 6955,3 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

- ❖ Les trois fours opérant sans l'APH.

$$M_{vs} = 3480 + 3000 + 2075,10$$

$$M_{vs} = 8555,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Alors nous concluons : $M_{va} = 6955,3 \text{ Nm}^3/\text{h}$

$$M_{vs} = 8555,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\Delta M_v = 8555,1 - 6955,3 \quad , \quad \Delta M_v = 1599,8 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Nous calculons ΔMv pour un an:

$$\Delta Mv = 1599,8 * 24 * 365 \quad , \quad \Delta Mv = \mathbf{14014248 Nm^3/an}$$

La quantité d'énergie récupérée sous forme de :

$$Q_{\text{récupérée}} = \Delta Mv \cdot PCI$$

$$Q_{\text{récupérée}} = 14014248 * 9047,787182$$

$$Q_{\text{récupérée}} = \mathbf{12,679793341976 * 10^{10} kcal/an}$$

IV.12. Calcul du gain d'argent

Le calcul du gain financier peut être réalisé de la manière suivante :

$$G = \Delta Mv \cdot P$$

G: le gain d'argent

P: le prix actuel du gaz naturel

Étant donné le prix actuel du gaz naturel, en prenant en compte cette donnée, nous pouvons calculer le gain financier.

$$IP = 5,8 \text{ DA/Nm}^3$$

Alors :

$$g = 14014248 \times 5,8$$

$$g = \mathbf{81282638,4 \text{ DA/an}}$$

Le gain d'argent pendant un an va être à 81282638,4 DA/an.

Dans notre APH, nous avons deux ventilateurs de tirage, A et B, de fumée qui fonctionnent à l'aide d'énergie électrique. Nous avons effectué un calcul pour déterminer l'économie d'énergie réalisée. Sur une période d'un mois, chaque ventilateur A ou B consomme approximativement 250 kWh d'électricité.

En utilisant la valeur ci-dessous comme prix par kilowatt pour nous effectuons les calculs.

$$1 \text{ KW} = 136,62 \text{ DA}$$

Donc :

Le coût de la puissance absorbée par un ventilateur ;

$$250 * 136,62 = \mathbf{34155,00 \text{ DA}}$$

Le coût de la puissance absorbée par un ventilateur pendant une année ;

$$34155,00 * 12 = \mathbf{409860,00 \text{ DA}}$$

Afin que l'APH puisse fonctionner, les deux ventilateurs doivent travailler ensemble.

Par conséquent, nous allons calculer le coût pour les deux ventilateurs de la manière suivante :

$$409860,00 * 2 = \mathbf{819720,00 \text{ DA}}$$

Le gain d'argent actuel = $81282638,4 - 819720,00 = \mathbf{80462918,4 \text{ DA}}$

IV.13. Interprétation Des Résultats

Selon les informations de la littérature, la réduction de la température des fumées est considérée comme le moyen le plus efficace pour améliorer le rendement d'un four. Une diminution de 20°C de la température des fumées correspond à une augmentation de rendement d'environ 10%. Les valeurs du rendement thermique de chaque four, calculées avec et sans préchauffeurs d'air, démontrent que le gain obtenu grâce à l'utilisation des préchauffeurs d'air respecte cette proportionnalité.

IV.14. Côté environnement

Conformément au protocole de Kyoto et à l'engagement de l'Algérie en tant que partie de la convention des Nations Unies sur les changements climatiques, l'Algérie a soumis sa Contribution Prévues Déterminées au niveau National (CPDN) le 03 septembre 2015, s'engageant ainsi à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) de 7% d'ici 2030 par ses propres efforts. De plus, en référence au courrier n°1262/ARH/HSE/REG/14 sous réf n°1045 du 22/05/2014 et n°1075 du 04/06/2014, qui concerne la mise à jour des inventaires des émissions de GES dans le secteur de l'énergie, la raffinerie RA2K est également concernée par les gaz torchés et les GES. Dans ce contexte, la mise en service de l'APH est une des actions prévues pour réduire les émissions de GES (notamment la réduction de la consommation de fioul gaz et, par conséquent, la réduction des émissions de CO₂, N₂O, CH₄).

IV.15. Maintenance de préchauffeur d'air

Afin de maintenir des performances optimales et garantir le bon fonctionnement des réchauffeurs d'air, il est crucial de veiller à un nettoyage régulier et méticuleux des composants. En l'absence de nettoyage adéquat, le système peut rapidement s'encrasser, entraînant une augmentation des chutes de pression et une diminution du transfert de chaleur.

Le recours à un souffleur de suie efficace pour nettoyer périodiquement les composants est essentiel, car cela assure un transfert de chaleur régulier et réduit les pertes de pression dans le système opérationnel.

Il est également important de maintenir une température minimale du métal, qui doit être supérieure d'au moins 10°C à celle du point de rosée des effluents gazeux. Si la température de sortie des effluents est inférieure à 143°C, il est nécessaire d'ouvrir le bypass d'air froid afin de protéger les composants inférieurs contre la détérioration due à la corrosion.

Conclusion Générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les anciennes conceptions des fours utilisés dans l'industrie du raffinage, de la pétrochimie et du gaz ne permettaient d'atteindre que des rendements thermiques d'environ 70 à 75%, avec un rejet excessif de fumées à une température d'environ 400°C vers l'atmosphère. Cependant, l'économie d'énergie et la protection de l'environnement ont conduit à l'évolution des technologies de conception des fours modernes.

En installant un système de préchauffage de l'air de combustion à partir des fumées chaudes sortant de la zone de convection et en utilisant des brûleurs à faible excès d'air pour réduire les émissions de gaz polluants, on a pu constater une amélioration significative du rendement thermique des fours modernes, atteignant jusqu'à 90%. Cela a entraîné une réduction de la consommation de gaz combustible de l'ordre de 12 à 20%.

Dans notre étude, nous avons comparé les caractéristiques thermiques des fours de l'unité 100, avec et sans préchauffeur d'air (APH). Les résultats obtenus ont montré les avantages suivants de l'utilisation de l'APH :

- Une diminution significative de la température moyenne des fumées, passant de 400°C à 169°C.
- Une augmentation moyenne d'environ 10% du rendement des trois fours.
- Une économie de consommation de gaz combustible d'environ 1500 Nm³/h, équivalant à environ 14 millions de Nm³/an.
- Une économie financière estimée à environ 8,04 milliard centim/an.
- Une réduction des émissions de gaz à effet de serre dues à la combustion stationnaire.

Les résultats obtenus en utilisant les paramètres opérationnels réels des trois fours ont montré une cohérence avec les valeurs théoriques, tant en termes de pertes de chaleur par les fumées que d'amélioration du rendement thermique par l'abaissement de la température des fumées.

En conclusion de cette étude, nous recommandons ce qui suit :

- Assurer le fonctionnement continu du système APH en respectant les conditions d'exploitation, la maintenance et la disponibilité permanente des pièces de rechange conformément aux recommandations du fabricant des fours (Kirchner).
- Généraliser l'utilisation du système de préchauffage de l'air de combustion dans les autres raffineries en Algérie.

Bibliographie

- [1] :Manuel d'opération 100 document No :SC1-900-MU-PR-0003,SONATRACH.
- [2] :SEBBAGH Houssam Eddine << Calcul du Topping de condensat (Colonne T101) de la RA2K De Skikda >>skikda,2015.
- [3] :SOUDANI Ala Eddine,BEGHOUR Yassine,<<calcul des rendemenets thermiques des fours tubulaires avec et sans APH et du gain d'énergie>> Génie chimique,Guelma,2019/2020.
- [4] :ARRAF Marwa<<Adoucissement de la coup kérosène au niveau RA2K>>Génie chimique ,skikda ,juin 2013.
- [5] :BOUDJADI Mouhamed Amir << Etude du Rendement Thermique des Fours avec et sans la mise en service du préchauffeur d'air (Raffinrie de Condensat RA2K) >> iap,avril 2017.
- [6] :<https://www.article-distillation-Atmosphériq> 25/05/2023, 22 :47.
- [7] :<https://knf.com/fr/fr/Solutions/applications-de-Laboratoire/distillation>. 25/05/2023, 23 :18
- [8] :https://process.free.fr/Pages/version_web.php?page=3283. 27/05/2023, 11 :22
- [9] :LAGHOUITER Mohamed Abdessamad,BOUDJRADA Mohamed Lamin<< Amélioration de la température de sortie du fourBA201 par l'emplacement d'un ballon de flash au niveau de topping RHM2 >>Raffinage et Technologie des Hydrocarbures, Ouargla, Le 09/06/2015.
- [10] :Bouhala Noureddine <<Calcul verifcatif et dimensionnement de la batterie d'aéro réfrigérant A-106/F>>,Boumerdes, Avril 2017.
- [11] :Documents de Topping RA2K,Sonatrach.
- [12] ;Mémoire Simulation par Hysis,ChapitreII (généralité sur le condensat),Sonatrach.
- [13]C.Eddinechitour les corrélations sur les propriétés physiques et les fluides pétrolières séminaire ENP/CRD.SH Alger2000.
- [14] :P.Wuithier,le pétrole raffinage et génie chimiques tome 1,édition,technique Paris 1987.
- [15] :X,Normal,Artie,l'industrie de raffinage du pétrole,tome 1,édition technique paris1985.
- [16] :DJEBAILI M'HAMED ;MESSAIBoulaares ;Etude des pertes de charge dans un troncon de train de réchauffage du Topping U11 de la RA1K ;mémoire d'ingénieur d'état ;Mr.BenTahar ;génie des procédés chimique et pharmaceutique ;2004-2009.
- [17] :CHITEUR chems Eddine ;Raffinage, les propriétés physiques,tome 1,1999.
- [18] :PORE Jean,Émulsion,mico-émulsion.émulsion-multiples,les Editions Technique de l'industrie des corps gras,118 avenu Achille Peretti 92200 NEUILLY sur sein.
- [19] :<https://euro-petrole.com/re-05-details-mot.php?dMot=11>, 04/06/2023, 20 :01.

- [20] :<https://wikipedia.org/wiki/Naphta,butane,gasoil> 04/06/2023, 16 :22
- [21] :<https://www.techno-science.net>kerosen>. 22/05/2023, 19 :15
- [22] :<https://fr-scienceaq.com/Chemestry/100102068.htm/> 20/05/2023, 17 :44.
- [23] :M. A. Masri, Les fours dans l'industrie pétrolière (document Institut Algérien du Pétrole Boumerdes), Octobre 2013.
- [24] :P. Trambouze, Le Raffinage du Pétrole, Matériels et équipements, Tome 4, Institut Français du Pétrole, Edition Technip, France, Paris, 1999.
- [25] :PierreTrambouze,«LeRaffinagedupétrole-Tome4-Matérielsetéquipements »»,Édition Technip, Paris, 1999.
- [26] :http://www.azprocede.fr/Cours_GC/combustion_fours.html. 19/06/2023, 11 :42
- [27] :R.Borghini,M.Destriau,«lacombustionetlesflames»,ÉditionTechnip,Paris,1995.
- [28] :Techniquesdel'IngénieurRéf:BE8842v1.
- [29] :EdmondPerthuis,«laCombustionindustrielle»,ÉditionTechnip,Paris,1983
- [30] :Document de Sonatrach sous titre de référence 2005 ENSPM Formation Industrie - IFP Training institut.fr
- [31] :J.AyelandM. Born,Lubrifiantsetfluidesp...EditionsOPHRYS.
- [32] :B.Mounirand C.Naouil, Echangeurs de chaleur: Technologie, calcul et design. Editions TECHNIP ,2014.
- [33] :<https://geurtsheatexchangers-com/fr/products/prechauffages-dair> 25/05/2023, 22 :05
- [34] :CHAPITRE, Notion de Chimie Industriel,Dr.soltani.

ANNEXE

ANNEXE 1 : Chaleur spécifique moyenne des fumées.

CHALEUR SPÉCIFIQUE MOYENNE ENTRE 0°C ET t°C en kcal (°C)⁻¹ (k.mole)⁻¹

t°C	H ₂	N ₂	O ₂	CO	H ₂ O _v	CO ₂
100	6,92	6,97	7,05	6,97	8,03	9,17
200	6,95	7,00	7,15	7,00	8,12	9,65
300	6,97	7,04	7,26	7,06	8,22	10,06
400	6,98	7,09	7,38	7,12	8,34	10,40
500	6,99	7,15	7,49	7,19	8,47	10,75
600	7,01	7,21	7,59	7,27	8,60	11,03
700	7,03	7,27	7,68	7,34	8,74	11,28
800	7,06	7,35	7,77	7,43	8,89	11,50
900	7,09	7,42	7,85	7,50	9,04	11,70
1 000	7,12	7,49	7,92	7,57	9,18	11,88
1 100	7,15	7,56	7,98	7,64	9,32	12,05
1 200	7,20	7,62	8,04	7,70	9,45	12,19
1 300	7,24	7,67	8,11	7,76	9,58	12,32
1 400	7,28	7,73	8,16	7,81	9,72	12,45
1 500	7,32	7,78	8,20	7,85	9,84	12,56
1 600	7,36	7,82	8,24	7,90	9,96	12,66
1 700	7,40	7,86	8,28	7,94	10,09	12,75
1 800	7,45	7,91	8,33	7,98	10,20	12,84
1 900	7,49	7,94	8,38	8,02	10,30	12,92
2 000	7,53	7,98	8,42	8,05	10,41	12,99
2 100	7,57	8,01	8,45	8,09	10,52	13,06
2 200	7,62	8,05	8,48	8,12	10,61	13,13
2 300	7,66	8,08	8,52	8,15	10,71	13,19
2 400	7,70	8,10	8,56	8,18	10,79	13,24
2 500	7,74	8,14	8,59	8,21	10,87	13,30

D'après E. Justi et H. Lüder. *Forsch. Gebiete Ingenieur*, 6, 211, 1935.

ANNEXE 2 :Caracteristiques du Condensât de OB#1

Document Final
Date: 10 Mai 2005




ETUDE COMPLETE DU CONDENSAT DE OB#1

III. 1- CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU CONDENSAT DE OB#1
Tableau - I -

CARACTERISTIQUES	RESULTATS
Densité à 15°C	0.7097
°API	67.7
Indice de réfraction à 20 °C	1.4049
Chlorures , ppm	5.0
Viscosité cinématique en cSt à :	
• 20.0 °C / 68 °F	0.65
• 37.8 °C / 100 °F	0.55
Tension de vapeur Reid à 37.8 °C (100° F)	
❖ Kg / cm ²	0.799
❖ psi	11.42
Teneur en eau par extraction , % vol	nulle
Teneur en eau par Karl Fischer , ppm	35.285
Teneur en eau et sédiments , BSW , % vol	nulle
Teneur en soufre , mg/kg	12.0
Point d'éclair , Vase fermé , °C	< -5
Point d'écoulement , °C	<-46.9
Point de trouble , °C	-48.9
Indice d'acidité , mg KOH /g	0.4066
Teneur en résidu conradson sur " 10% résidu ASTM D 86" , % pds	0.05
Point d'aniline , °C	64.2
Couleur ASTM	0.5 L
Couleur SAYBOLT	-1.0
Corrosion à la lame de cuivre 3 Heures à 50 °C	1 a
Facteur de caractérisation , KUOP	12.25
Poids moléculaire , g / mole	101
Pouvoir calorifique supérieur , Kcal/ Kg	> 11200
Teneur en mercure , ppb	2.0
Teneur en cendres , % pds	0.0004
Teneur en métaux , ppb	
❖ As	22.16
❖ Ni	22.16
❖ Pb	132.98
❖ V	22.16
Teneur en carbone : (PNA) *	
- Aromatiques , % C A	13.86
- Naphténiques , % C N	14.94
- Paraffiniques , % C P	71.20

(*) La teneur en carbone a été obtenue par calcul (méthode n.d.P.A).

ANNEXE 3 :Analyse de gaz combustible

 <p> سوناطراك Complexe: GL1K Département Technique Service Laboratoire sonatrach </p>	<h2 style="color: red; margin: 0;">RELEVÉ QUOTIDIEN D'ANALYSES</h2>
--	---

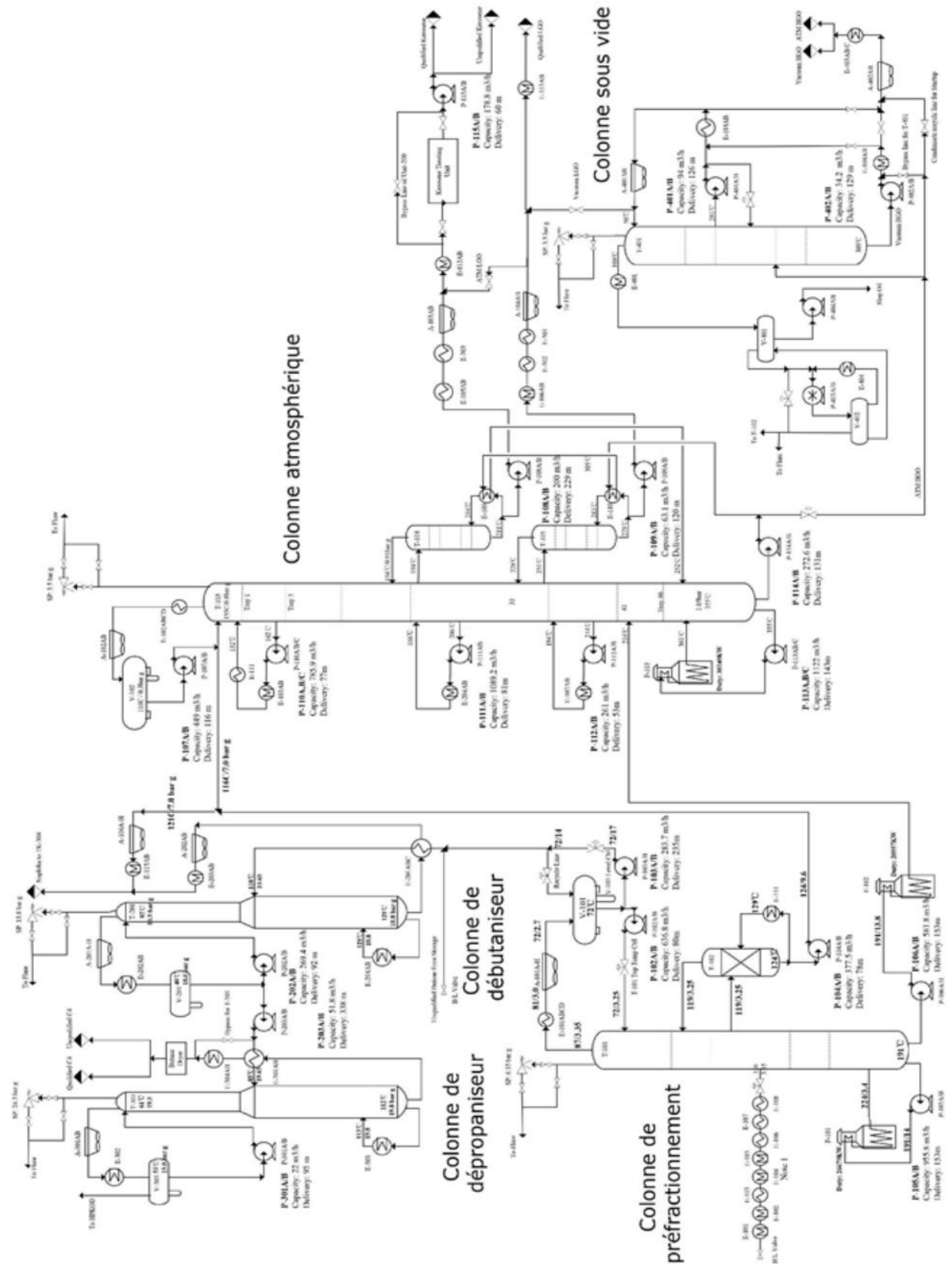
Type d'analyse : **Analyse des GAZ**

Repère d'analyse : **01AI3005**

Date	Heure	Quart	HE	N2	CH4	C2H6	C3H8	IC4H10	NC4H10	IC5H12	NC5H12	C6H14+	CO2	Total
02-04-2023	08.01	B	0.13	5.93	83.08	8.08	1.8	0.25	0.35	0.06	0.06	0.05	0.21	100
Moyenne quotidienne			0,13	5,93	83,08	8,08	1,8	0,25	0,35	0,06	0,06	0,05	0,21	
Valeurs Maximum			0,13	5,93	83,08	8,08	1,8	0,25	0,35	0,06	0,06	0,05	0,21	
Valeurs Minimum			0,13	5,93	83,08	8,08	1,8	0,25	0,35	0,06	0,06	0,05	0,21	

Date	Heure	PCS (Th/Kg)	PCS (Th/Cm3)	PM (Gr/L)	Masse Volumique (Kg/Cm3)	Masse Volumique (Kg/Nm3)
02-04-2023	02.00	12.0658	22.6434	43.8797	1.8794	2.0087
02-04-2023	02.00	11.8497	29.7723	58.1032	2.5166	2.6898
02-04-2023	02.00	12.8729	9.3179	17.3256	0.7249	0.7748
02-04-2023	02.00	5.4165	4.5965	20.3363	0.8498	0.9083
02-04-2023	02.00					
02-04-2023	02.00	11.9740	12.4956	24.8482	1.0452	1.1171
02-04-2023	08.00					
02-04-2023	08.00	12.4384	15.6385	29.8455	1.2594	1.3460
02-04-2023	08.00	12.0673	22.6015	43.7970	1.8756	2.0047
02-04-2023	08.00	11.8500	29.7862	58.1158	2.5177	2.6909
02-04-2023	08.00	11.6693	44.7497	83.7258	3.8402	4.1044
02-04-2023	08.00	11.7142	37.7648	72.3102	3.2272	3.4493
02-04-2023	08.00					

ANNEXE 4 : Schéma générale de l'unité 100

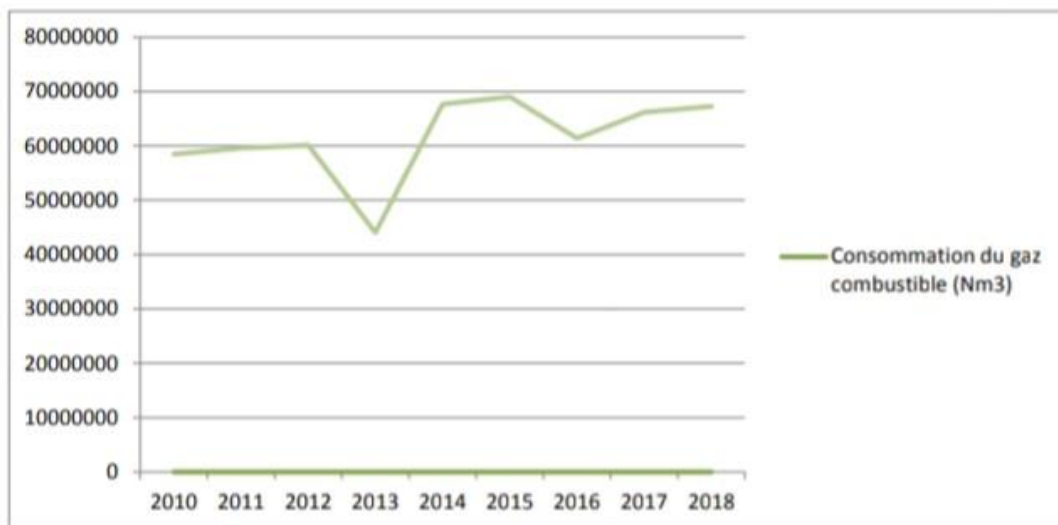


ANNEXE 5:La consommation du Gaz combustible depuis 2010.

Tableau 1.5 :Volume du combustible consommé par les trois fours depuis 2010

Année	Consommation du Gaz combustible (Nm ³)	Observations
2010	58459478	APH est en Service
2011	59580438	
2012	60101135	
2013	44065151	
2014	67663069	
2015	69028723	
2016	61410905	
2017	66201864	APH By-passé
2018	67265783,2	

Tableau 2.5 :Courbe de la consommation du Gaz combustible depuis l'année 2010.



ANNEXE 6 :Estimation des émission imputable à la combustion stationnaire.

	Emission de CO₂ (Gg de CO₂/an)	Emission de N₂O (Gg de N₂O/an)	Emission de CH₄ (Gg de CH₄/an)
2010	49445	0.030	0.150
2011	50393.23	0.031	0.154
2012	50425.22	0.030	0.154
2013	31731.20	0.019	0.097

ANNEXE 7:Consommation du Gaz combustible dans les fours pour quelque années.

Année	Consommation du Gaz combustible (NM3)	Observations
2010	58459478	APH est en Service
2011	59580438	
2012	60101135	
2013	44065151	
2014	67663069	
2015	69028723	APH By-passé
2016	61410905	