

N° Ordre/FHC/UMBB/2024

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES

Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Génie des Procédés Chimiques et Pharmaceutiques

Mémoire de Master

Présenté par

ZIDELMAL Yamina

Filière : Hydrocarbures

Spécialité : Génie des procédés - Raffinage

Analyse de l'efficacité thermique des fours de la raffinerie RA2/K avec l'implémentation d'un préchauffeur d'air de combustion

Devant le jury :

Mr. SAOUED Abdessalam	MCA	UMBB	President
Mme. BEDDA Kahina	MCA	UMBB	Examineur
Mr. KADDOUR Omar	Prof	UMBB	Encadrant

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à mon professeur encadrant Mr. Kaddour, pour sa patience, ses conseils et son suivi constant durant la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier chaleureusement tous mes professeurs, pour leur enseignement enrichissant, leur patience et leur encouragement tout au long de mes études.

Je voudrais aussi exprimer ma reconnaissance envers le personnel de la RA2/K pour leur professionnalisme et leur gentillesse, en particulier Mr.Bouhala, Mr.Adjeroud,

Mr.Baour et Mme. Bouchemal.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à mon développement personnel et académique, je vous adresse mes plus sincères remerciements.

Dédicace

Dédie à la réalisation d'un rêve longtemps chéri, celui de devenir Ingénieur en Raffinage. Un parcours parsemé d'obstacles, mais aujourd'hui, grâce à Dieu, concrétisé.

Chaque pas a été éclairé par le soutien inestimable de personnes exceptionnelles, sans eux cette réussite aurait été hors de portée.

A mon père, mon pilier de force, pour ses encouragements constants et ses sacrifices infinies, qui ont été la source de ma motivation.

A ma mère, pour son amour et son soutien inconditionnels, sans elle, les défis auraient été plus ardues à affronter.

A mon frère Arezki, compagnon de route fidèle. Sans lui je n'aurais pas trouvé la force nécessaire pour surmonter les obstacles.

A mes deux sœurs Ikram et Imane, qui m'ont toujours souhaité le meilleur.

A mes cousins : Atmane, Rabeh et Hakim, témoins de mes luttes et mes succès, leurs soutien inconditionnel a été un baume pour l'âme. Sans eux, la victoire aurait eu un goût moins doux.

A mes précieuses amies Raouia et Nossia, je suis éternellement reconnaissante pour chaque instant partagé à vos côtés.

Comme je dédie ce travail pour toute la famille Zidelmal, Oudni, Rabhi et Nachef.

Sans votre présence, je ne serai pas arrivé là où je suis aujourd'hui.

Yamina

Résumé

Le transfert de chaleur joue un rôle essentiel dans l'industrie du raffinage de pétrole afin d'améliorer l'efficacité énergétique des procédés industriels. Il est crucial d'assurer une gestion optimale de la chaleur afin de diminuer les dépenses d'exploitation et de réduire au minimum l'empreinte écologique.

L'installation d'un préchauffeur d'air est l'une des technologies les plus avancées utilisées pour exploiter l'énergie des fumées provenant des fours pétroliers. Ce système capte la chaleur des fumées produites par les fours afin de préchauffer l'air de combustion. Le préchauffeur d'air, en diminuant la quantité de combustible requise pour atteindre les températures de fonctionnement requises, permet d'améliorer considérablement le rendement thermique des fours. Une analyse approfondie de l'efficacité thermique de trois fours tubulaires avec deux configurations différentes avant et après la mise en marche du préchauffeur d'air est présentée dans cette étude. Elle évalue les économies de combustible, les bénéfices financiers et les conséquences environnementales.

Les résultats montrent qu'il est possible d'obtenir une amélioration significative de la performance énergétique et la durabilité industrielle en utilisant des préchauffeurs d'air

Abstract

Heat transfer plays a crucial role in the petroleum refining industry to improve the energy efficiency of industrial processes. Optimal heat management is essential to reduce operational costs and minimize the environmental footprint.

The installation of an air preheater is one of the most advanced technologies used to exploit the energy from the flue gases of petroleum furnaces. This system captures the heat from the flue gases produced by the furnaces to preheat the combustion air. By reducing the amount of fuel required to reach the necessary operating temperatures, the air preheater significantly improves the thermal efficiency of the furnaces. This study presents an in-depth analysis of the thermal efficiency of three tubular furnaces with two different configurations before and after the implementation of the air preheater. It evaluates fuel savings, financial benefits, and environmental impacts.

The results show that significant improvements in energy performance and industrial sustainability can be achieved by using air preheaters.

نُبذة مختصرة

يلعب نقل الحرارة دوراً أساسياً في تكرير النفط لتحسين الكفاءة الطاقية للعمليات الصناعية. تعد الإدارة المثلى للحرارة ضرورية لتقليل تكاليف التشغيل والحد من التلوث.

يُعد تركيب مسخن الهواء إحدى أكثر التقنيات تقدماً المستخدمة للاستغلال الطاقة من غازات المداخن الناتجة عن أفران النفط. يلتقط هذا النظام الحرارة من غازات المداخن التي تنتجها الأفران لتسخين هواء الاحتراق. من خلال تقليل كمية الوقود المطلوبة للوصول إلى درجات الحرارة اللازمة، يحسن مسخن الهواء بشكل كبير الكفاءة الحرارية للأفران. تقدم هذه الدراسة تحليلاً متعمقاً

للكفاءة الحرارية لثلاثة أفران في تكوينين مختلفين قبل وبعد تشغيل مسخن الهواء. كما تقوم بتوفير الوقود والفوائد المالية والتأثيرات البيئية. تظهر النتائج أنه يمكن تحقيق تحسينات كبيرة في الأداء والاستدامة الصناعية باستخدام مسخنات الهواء.

Table de matière

Liste d'abréviations.....	i
Listes de tableaux	v
Liste de figures.....	vi
Liste de graphes.....	vii
Liste d'annexes.....	viii
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Généralités sur le condensat

Introduction.....	4
1 Un contexte historique du condensat algérien.....	4
2 Origine de condensat	5
3 L'exploration des champs gaziers au sud algérien.....	5
4 Description du procédé de traitement de gaz.....	5
4.1 Séparation primaire	6
4.2 Section de boosting	6
4.3 Section de traitement.....	6
4.3.1 Section séparation haute pression.....	6
4.3.2 Section fractionnement et stabilisation.....	7
5 Définition du condensat	9
6 Types du condensat	9
7 Caractérisation du condensat algérien.....	10
7.1 Composition chimique	10
7.2 La différence entre un condensat stable et instable.....	10
7.3 Composition massique de condensat	10
7.4 Propriétés physiques.....	12
7.4.1 Densité (d_4^{15}).....	12
7.4.2 La masse volumique (ρ).....	12
7.4.3 La specific gravity SpGr.....	12
7.4.4 Le degré API° :.....	12
7.4.5 La tension de vapeur Reid	12
7.4.6 Le teneur en eau	13
7.4.7 Teneur en sels.....	13

Table de matière

7.4.8	Teneur en mercure.....	13
7.4.9	Teneur des éléments métalliques	13
7.4.10	Distillation ASTM.....	14
8	La valeur du condensat et son impact économique.....	14
9	Aperçu descriptif sur le traitement du condensat au niveau de la raffinerie de Skikda RA2/K	15
	Conclusion.....	16

Chapitre II : Description de la raffinerie RA2/K

	Introduction	18
1	Situation géographique de la raffinerie RA2/K	18
2	Les différentes unités du complexe RA2/K.....	19
3	Constitution de l'unité 100.....	19
3.1	Train de préchauffage.....	19
3.2	Le préfractionnement	20
3.3	Le fractionnement.....	21
3.3.1	La distillation atmosphérique	21
3.3.2	La distillation sous vide.....	21
3.4	Section de stabilisation des essences	22
3.5	Section de récupération de butane.....	23
3.6	Section de séchage de butane	23
4	Utilités	24
5	Le schéma synoptique de la raffinerie RA2/K.....	24
	Conclusion.....	24

Chapitre III : Généralités sur la distillation

	Introduction	27
1	La cinétique de transfert de matière	27
1.1	Les mécanismes de transfert de matière	27
1.1.1	La diffusion moléculaire.....	27
1.1.2	Transfert convectif.....	28
1.2	Le rôle de la cinétique de transfert de matière	29
2	Notion d'équilibre thermodynamique.....	29
2.1	Critères d'un équilibre thermodynamique	29
2.2	Equilibre thermodynamique Liquide-Vapeur	29
2.3	Les lois d'équilibre thermodynamique	29

Table de matière

2.3.1	La loi de Raoult	29
2.3.2	La loi de Dalton.....	30
2.3.3	La loi de Henry.....	30
3	Introduction à la distillation.....	30
3.1	Définition d'une opération de distillation / rectification	30
3.1.1	La distillation.....	30
3.1.2	La rectification.....	30
3.1.3	Définition d'une colonne de distillation	30
3.2	La conception d'une colonne de distillation	31
3.3	Les constituants d'une colonne de distillation	31
3.4	Les différentes sections d'une colonne de distillation.....	32
3.5	Les modes de contact des phases.....	32
3.6	Principe de fonctionnement d'une colonne de distillation.....	32
3.7	Interne de colonne.....	33
3.7.1	Colonne a garnissage	33
3.7.2	Colonne a plateaux.....	35
3.8	Les types de distillation dans l'industrie du raffinage	37
3.8.1	La distillation primaire TOPPING.....	37
3.8.2	Distillation secondaire sous vide.....	38
4	Les reflux intermédiaires circulaires	38
5	Le stripping	38
6	Le domaine du fonctionnement d'une colonne	39
7	Le contrôle des colonnes de distillation	40
8	Facteurs d'influence sur l'équilibre thermodynamique dans la distillation	40
9	Qualité de fractionnement dépend de certains paramètres.....	40
	Conclusion.....	40

Chapitre IV : Théorie de transfert de chaleur dans l'industrie de raffinage

Introduction...	43
1 Introduction au transfert de chaleur	43
1.1 Définition	43
1.2 Les différents modes de transfert de chaleur	43
1.2.1 Conduction thermique	43
1.2.2 Convection thermique.....	44
1.2.3 Rayonnement thermique	44

Table de matière

2	Exploration des fours d'une raffinerie	45
2.1	Définition d'un four industriel	45
2.2	Les fonctions d'un four industriel	45
2.3	Classification des fours.....	45
2.4	Les spécifications d'un four industriel	45
3	Etude théorique d'un four tubulaire.....	46
3.1	Définition d'un four tubulaire.....	46
3.2	Echange thermique à l'intérieur d'un four tubulaire	46
3.3	Constitution d'un four tubulaire	46
3.3.1	Le casing.....	46
3.3.2	L'isolation et la réfraction thermique	47
3.3.3	Les faisceaux tubulaires	48
3.3.4	Les bruleurs	49
3.3.5	La voute et le registre	50
3.3.6	Souffleurs de suie.....	50
3.4	Les compartiments d'un four tubulaire.....	51
3.4.1	Zone de radiation (foyer).....	51
3.4.2	Zone de convection	52
3.4.3	La cheminée (stack).....	53
3.5	Le tirage d'un four tubulaire	53
3.6	Conception d'un système de tirage	54
3.7	Les facteurs influençant sur le tirage.....	54
3.8	Types du tirage d'un four tubulaire	54
3.8.1	Tirage naturel.....	54
3.8.2	Tirage force	55
3.8.3	Tirage induit.....	55
3.8.4	Tirage équilibré.....	55
3.9	Les types des fours tubulaires	55
3.10	Les facteurs déterminants dans le choix d'un four tubulaire.....	57
3.11	Les paramètres d'exploitation d'un four tubulaire	58
3.12	Incidents et problèmes d'un four tubulaire	58
3.13	Inspection d'un four tubulaire	59
4	Etude énergétique du four tubulaire	60
4.1	La combustion.....	60
4.1.1	Définition.....	60

Table de matière

4.1.2	La flamme	60	
4.1.3	Les conditions nécessaires à la combustion	61	
4.1.4	Terminologie de la combustion	62	
4.1.5	La caractérisation de la combustion	63	
4.1.6	Les types de combustion	63	
4.1.7	Le contrôle de la combustion.....	64	
4.2	Le facteur d'excès d'air	66	
4.2.1	Les marges de fonctionnement.....	66	
4.2.2	L'intérêt de la maîtrise de l'excès d'air	66	
4.3	Le rendement thermique d'un four	67	
4.3.1	Les facteurs déterminants du rendement d'un four tubulaire.....	68	
4.4	Précautions de sécurité de personnel à l'arrêt.....	70	
4.5	Les fours et l'environnement	70	
5	Description des fours de la raffinerie RA2/K.....	71	
6	Système d'arrêt d'urgence Emergency Shut Down ESD.....	71	
6.1	Définition	71	
6.2	Le mécanisme de fonctionnement d'ESD dans un four.....	72	
7	La technologie des préchauffeurs d'air.....	72	
7.1	Valorisation énergétique des fumées	72	
7.2	Définition d'un préchauffeur d'air	72	
7.3	Principe de fonctionnement.....	73	
7.4	Différents types des préchauffeurs d'air	73	
7.5	Avantages et inconvénients d'installer un préchauffeur d'air	74	
7.5.1	Avantages.....	74	
7.5.2	Inconvénients	74	
7.6	Description de préchauffeur d'air de la raffinerie de condensat	74	
Chapitre V : Analyse de l'efficacité thermique des fours de la raffinerie RA2/K			
Introduction.....			77
Problématique.....			77
Etude Energétique.....			78
1	Calcul de l'efficacité thermique des fours de la raffinerie RA2/K	78	
2	Paramètres opératoires et données.....	78	
3	La composition de gaz combustible.....	79	
4	Calcul des performances des fours de la raffinerie	80	

Table de matière

4.1	<i>Le calcul de la combustion.....</i>	80
4.1.1	<i>Les réactions de combustion.....</i>	80
4.1.2	<i>Le calcul de pouvoir calorifique inférieur de gaz combustible</i>	80
4.1.3	<i>Le calcul de la quantité d'énergie fournie.....</i>	82
4.1.4	<i>Calcul de la composition des fumées.....</i>	82
4.1.5	<i>La composition de l'air de combustion</i>	83
4.1.6	<i>Composition réelle des fumées pour.....</i>	85
4.1.7	<i>Le calcul de débit de l'air nécessaire pour la quantité totale de combustible :</i>	86
4.1.8	<i>La composition réelle des fumées.....</i>	86
4.1.9	<i>Le débit molaire des fumées</i>	87
4.2	<i>Le calcul de la quantité de chaleur perdue par fumées</i>	88
4.2.1	<i>Le calcul des fractions volumiques de chaque constituant de fumées.....</i>	88
4.2.2	<i>Le calcul de la chaleur spécifique moyenne standard de la fumée</i>	88
4.2.3	<i>La quantité de chaleur perdue par fumées</i>	89
4.2.4	<i>Le taux des fumées par rapport à la chaleur fournie</i>	89
5	<i>Estimation de la chaleur perdue par paroi</i>	90
6	<i>Calcul de la chaleur totale perdue</i>	90
7	<i>La quantité de chaleur absorbée</i>	91
8	<i>Le calcul de l'efficacité thermique des fours.....</i>	91
9	<i>Calcul de performance de préchauffeur d'air.....</i>	92
9.1	<i>Le calcul de la quantité de chaleur entrante au préchauffeur d'air</i>	92
9.2	<i>Le calcul de la quantité de chaleur sortante du préchauffeur d'air</i>	93
9.3	<i>Le calcul de la quantité de chaleur absorbée par l'air de combustion.....</i>	93
9.4	<i>Le calcul de débit molaire et volumique de l'air de combustion</i>	93
10	<i>Le calcul de la quantité de combustible économisée.....</i>	94
11	<i>Le calcul de la chaleur perdue par fumées.....</i>	94
11.1	<i>Le calcul de débit volumique des fumées.....</i>	94
11.2	<i>Le calcul de débit molaire des fumées</i>	94
11.3	<i>Le calcul de la composition des fumées de la combustion.....</i>	94
11.4	<i>Le calcul de la quantité de chaleur perdue par fumées</i>	95
12	<i>Le calcul de la quantité de chaleur fournie</i>	95
13	<i>Estimation de taux des fumées.....</i>	95
14	<i>Estimation de la chaleur perdue par paroi</i>	95
15	<i>La quantité de chaleur totale perdue.....</i>	95
16	<i>La quantité de chaleur absorbée</i>	95

Table de matière

17	<i>L'efficacité thermique globale</i>	96
	Discussion	96
	<i>Etude économique</i>	101
1	<i>La quantité de combustible économisée par an</i>	101
2	<i>L'énergie thermique récupérée par an</i>	101
3	<i>Le gain financier</i>	101
4	<i>Le gain financier pur</i>	101
	Discussion	102
	<i>Etude environnementale</i>	103
	<i>Estimation de la contribution des émissions de CO₂ dans l'atmosphère</i>	104
	Discussion	106
	Conclusion générale	108
	Références bibliographiques	110

Liste d'abréviations

TFT : Tin Fouye Tabankort.

RA2/K : la deuxième raffinerie de Skikda.

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié.

HP : haute pression.

TVR : tension de vapeur Reid.

BSW: Basic Sediment and Water.

Off spec: hors spécifications.

On spec : conforme aux spécifications.

CNDG : Centre National de Dispatching de Gaz.

d_4^{15} : la densité.

μ : facteur d'excès d'oxygène.

$\beta^{volumique}$: le débit volumique.

$\beta^{molaire}$: le débit molaire.

ρ : la masse volumique.

η : l'efficacité thermique.

API° : degré API.

ppm: partie par million.

ppb: partie par billion.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

SpGr : la spécifie gravite.

GL1/K : Liquéfaction de gaz Skikda.

CPI/K : Complexe pétrochimique Skikda.

Liste d'abréviations

RAI/K : la première raffinerie de Skikda.

FV: Flow Valve.

LGO : Light Gasoil Oil.

HGO : Heavy Gasoil Oil.

C_A : la concentration du constituant A.

C_{eq}: la concentration d'équilibre.

J_i : le flux de masse.

α : la surface spécifique.*

ω : la force externe appliquée.

D_{ij} : la diffusivité de i dans j.

PI : le point initial.

PF : le point final.

PC : le pouvoir calorifique.

PCS : le pouvoir calorifique supérieur.

PCI : le pouvoir calorifique inférieur.

Q_{recue} : la quantité de chaleur reçue par le système.

Q_{cedee} : la quantité de chaleur cédée par le système.

Q_{parois} : la quantité de chaleur reçue par le système.

Q_{rad} : la quantité de chaleur produite dans la zone de radiation.

Q_{con} : la quantité de chaleur dans la zone de convection.

Q_{fournie} : la quantité de chaleur fournie par le système.

Q_{fumees} : la quantité de chaleur perdue par fumées.

Q_{absorbee} : la quantité de chaleur absorbée par le système.

Liste d'abréviations

EPI : équipements de protection individuels.

GES : gaz à effet de serre.

$H_{combustion}$: la chaleur produite par combustion.

$H^{\circ}_{formation}$: l'enthalpie standard de formation.

CNTP : conditions normales de température et de pression.

Nm^3 : Normal mètre cube.

V_{tot} : le volume total.

Y_i : la fraction volumique.

x_i : le coefficient stœchiométrique.

λ : le facteur d'excès d'air.

L_T : le volume théorique de l'air de combustion.

L_P : le volume pratique de l'air de combustion.

V_{CO_2} : le volume de CO_2 .

V_{N_2} : le volume de N_2 .

V_{H_2O} : le volume de H_2O .

V_{O_2} : le volume de O_2 .

P : la pression.

P_i^L : la pression de constituant i dans le mélange liquide.

P_i^0 : la pression de constituant i à l'état pur.

σ : Coefficient de conduction thermique.

S : la section d'échange.

T : température.

L : l'épaisseur du matériau.

Liste d'abréviations

h : coefficient d'échange thermique.

S : surfaces d'échange.

$\square T$: différences de température entre la surface et le fluide.

P_i^V : la pression de constituant i dans la phase vapeur.

P_{tot} : la pression totale de système.

E_i : le coefficient de Henry.

D_{ij} : la diffusivité de i dans j .

C_i : la fraction massique.

\square : L'émissivité sans dimensions.

\square : La constante de Stefan-Boltzmann.

T : température absolue du corps.

A : la surface du corps.

C_P : la chaleur spécifique.

$\square Q_{air}$: la quantité de chaleur absorbée par l'air.

Liste de tableaux

Tableau 1: Composition massique de condensat (Bulletin Analyse TBP CRD).....	10
Tableau 3: Teneur des éléments métalliques contenant dans le condensat Bulletin Analyse TBP CRD.....	13
Tableau 4 : Distillation ASTM Bulletin Analyse CRD.....	14
Tableau 5 : Graphique de qualité de flamme pour un bruleur à gaz (Calcul de la combustion IAP).....	65
Tableau 6 : Tableau des paramètres opératoires des fours de la RA2/K.....	78
Tableau 7: Composition de fuel gaz.....	79
Tableau 8 : Tableau récapitulatif de calcul de PCI.....	81
Tableau 9 : Les quantités de chaleur fournies.....	82
Tableau 10 : Composition théorique des fumées.....	83
Tableau 11 : La composition théorique des fumées et la composition théorique et réelle de l'air de combustion.....	85
Tableau 12 : La teneur d'oxygène, son volume dans les fumées et le volume des fumées pour 100 Nm ³	86
Tableau 13 : Le débit volumique total des fumées.....	86
Tableau 14 : Le débit élémentaire d'émission de chaque constituant et le débit volumique réel des fumées.....	87
Tableau 15 : Les débits molaires des fumées.....	87
Tableau 16 : La composition par fractions volumiques de fumées.....	88
Tableau 17 : Les chaleurs spécifiques moyennes.....	88
Tableau 18 : Calcul de la chaleur totale perdue par fumées.....	89
Tableau 19 : Le taux total des fumees.....	90
Tableau 20 : Estimation de la chaleur perdue par parois.....	90
Tableau 21 : La quantité de chaleur totale perdue.....	90
Tableau 22 : La quantité totale de chaleur absorbée.....	91
Tableau 23 : L'efficacité globale de transfert.....	91
Tableau 24 : Le calcul de la chaleur spécifique moyenne des fumees.....	92
Tableau 25 : Le calcul de la chaleur spécifique moyenne a la sortie du préchauffeur d'air.....	93
Tableau 26 : la chaleur spécifique moyenne à 167 °C.....	95
Tableau 27 : Tableau récapitulatif des deux configurations.....	96
Tableau 28 : Estimation de la contribution des émissions de CO ₂	105

Liste de figures

Figure I-3-1 : Le premier puit de gaz en Algérie	5
Figure I-4-1: Section de fractionnement et stabilisation Module 4 Hassi-Rmel	7
Figure I-4-2 : Bacs de stockage de condensat au niveau du module 4 Hassi-Rmel	8
Figure I-4-3 : Sphère de stockage de GPL	8
Figure I-1-1 : Plan de la situation géographique de la raffinerie RA2/K	18
Figure II-3-1 Le train de préchauffage de l'unité 100	19
Figure II-3-2 : Schéma de la section de préfractionnement de l'unité 100	20
Figure II-3-3 : Schéma de la section atmosphérique de l'unité 100	21
Figure II-4 : Schéma de la section sous vide de l'unité 100	22
Figure II-3-5: Schéma de la section stabilisation d'essence de l'unité 100	22
Figure II-3-6 : Schéma de dépropaniseur de l'unité 100	23
Figure II-3-7 Schéma de séchage de butane de l'unité 100	24
Figure II-5-1: le schéma synoptique de raffinerie	25
Figure III-3-1: Garnissage dispose en vrac (Wikipédia Interne de colonne)	34
Figure III-3-2 : Garnissage ordonnées	34
Figure III-3-3 : Garnissage superposes (Interne de colonne)	35
Figure III-3-4 : Avantages et inconvénients de garnissage	35
Figure III-3-5 : Plateaux à cloches (Interne de colonne)	36
Figure III-3-6: Plateaux perforés (Interne de colonne)	36
Figure III-3-7 : Plateaux à cascades (Interne de colonne)	36
Figure III-3-8 : Aperçu d'un plateau de la colonne préfractionnement Four RA2/K	37
Figure III-3-9 Avantages et inconvénients des plateaux	37
Figure III-6-1 Domaine de fonctionnement d'une colonne (Le raffinage de pétrole Tome 4)	40
Figure IV-3-1: Constitution d'un four tubulaire (Réchauffeurs et Fours –Total Energies)	46
Figure IV-3-2: La couche réfractaire Laine de verre Four RA2/K	47
Figure IV-3-3 : La couche de briques réfractaires Four RA2/K	47
Figure IV-3-4 : Un faisceau tubulaire dans la zone de radiation Four RA2/K	48
Figure IV-3-5 : Coude à 180° (Réchauffeurs et Fours –Total Energies)	48
Figure IV-3-6 : Aperçu des supports de tubes dans la zone de radiation Four RA2/K	49
Figure IV-3-7 : Bruleurs de four du module 4 Hassi-Rmel	49
Figure IV-3-8 : Bruleur à double étages Four RA2/K	50
Figure IV-3-9 : Le registre Four RA2/K	50
Figure IV-3-10 : Tubes verticaux de la zone de radiation Four RA2/K	51
Figure IV-3-11 : Rampe de décharge Four RA2/K	52
Figure IV-3-12 : Les tubes nus de la rampe de décharge Four RA2/K	52
Figure IV-3-13 : Tubes ailletés de la zone de convection RA2/K	53
Figure IV-3-14: Différents systèmes de tirage (Réchauffeurs et Fours –Total Energies)	55
Figure IV-3-15 Four à tubes horizontaux (Réchauffeurs et Fours –Total Energies)	56
Figure IV-3-16 : Four cylindrique Oued-Noumer Gherdaia	56
Figure IV-3-17 : Four à chauffage par murs radiants (Réchauffeurs et Fours –Total Energies)	57
Figure IV-3-18 : Thermocouple de peau sur un tube de la zone de radiation Four RA2/K	59
Figure IV-4-1: Représentation d'une combustion neutre de deux fossiles (fioul et gaz)	64
Figure IV-4-2: Représentation d'une combustion incomplète de deux fossiles (fioul et gaz)	64
Figure IV-4-3 Représentation d'une combustion complète oxydante de deux fossiles (fioul et gaz)	64
Figure IV-4-4 : Schéma représentatif de la distribution des flux de chaleur	68
Figure IV-7-1 : Image réelle des fours et du préchauffeur d'air de l'unité 100	75

Liste de graphes

Graphe 1 représentant la différence de l'efficacité thermique	97
Graphe 2 représentant la différence de l'énergie thermique fournie	97
Graphe 3 représentant la différence de débit d'air nécessaire a la combustion	98
Graphe 4 représentant la différence d'alimentation en combustible	98
Graphe 5 représentant la différence de la quantité d'oxygène résiduel dans les fumées	99
Graphe 6 représentant la différence de taux de deux des deux configurations	99
Graphe 7 représentant la différence de la teneur en CO ₂	99
Graphe 8 représentant la différence de l'énergie thermique perdue	100
Graphe 9 représentant les debit de CO ₂ rejete dans l'atmosphere avec les deux configurations	105
Graphe 10 représentant les fractions massiques de CO ₂ émises dans l'atmosphère avec les deux configurations	106

Liste d'annexes

<i>Annexe 1 : Les enthalpies standards de quelques constituants</i>	112
<i>Annexe 2 : Fiche technique F101</i>	113
<i>Annexe 3 : Fiche technique F102</i>	114
<i>Annexe 4 : Fiche technique F103</i>	115
<i>Annexe 5 : Fiche technique Prechauffeur d'air</i>	116
<i>Annexe 6 : Couplage four de l'unité 100 et le préchauffeur d'air</i>	117
<i>Annexe 7 : Journal officiel de la République et les conventions internationales signées par l'ALGERIE</i>	118
<i>Annexe 8 : Schema de l'unité 100</i>	125

INTRODUCTION GENERALE

En Afrique et dans le monde, l'Algérie est considérée comme l'un des principaux producteurs d'hydrocarbures. L'industrie des hydrocarbures, grâce à ses immenses réserves de pétrole et de gaz naturel, occupe une place essentielle dans l'économie nationale du pays. Le processus de raffinage est au cœur de cette industrie, une étape cruciale qui transforme les premières matières brutes en produits pétroliers raffinés prêts à être commercialisés à l'échelle mondiale, comme l'essence, le diesel, le kérosène et le fioul.

Au fil des décennies, ce processus a évolué pour répondre aux besoins grandissants en énergie et en produits dérivés du pétrole. Il s'appuie sur une connaissance approfondie des caractéristiques des hydrocarbures, des méthodes de raffinage et des opérations unitaires impliquées dans la production et le traitement des produits pétroliers.

Le condensat est un mélange d'hydrocarbures légers, que l'on obtient lors de la production de gaz naturel et qui peut servir à la production de divers produits pétroliers. Le rôle stratégique de la raffinerie de Skikda RA2K dans le paysage énergétique algérien réside dans le fait qu'elle est la seule raffinerie qui traite le condensat au niveau national.

Le premier volet de notre exploration sera consacré à une description de la raffinerie de condensat - SKIKDA, en analysant ses différentes parties et sa structure. Nous examinons les diverses étapes du traitement du condensat, en mettant en valeur les technologies employées afin d'optimiser l'efficacité et la rentabilité de ces installations indispensables.

Ensuite, nous examinerons en détail la récupération et l'utilisation du condensat, un sous-produit important du traitement du gaz naturel. Nous étudierons les techniques de récupération du condensat, ses propriétés et son de traitement.

Puis, nous plongerons dans la cinétique de transfert de matière, en explorant les principes fondamentaux de ce module dans le traitement de condensat et d'autres industries connexes. Nous examinerons les mécanismes de transfert de matière.

Notre étude portera également sur la distillation, l'une des opérations unitaires les plus essentielles et utiles employées dans le processus de raffinage des hydrocarbures. Les principes fondamentaux de la distillation seront examinés, tels que les lois de l'équilibre de phase et les colonnes de distillation.

Introduction générale

La théorie de l'échange thermique qui sera examinée au cours de chapitre quatre, est un domaine fondamental du raffinage et d'autres secteurs où le transfert de chaleur joue un rôle crucial dans les opérations unitaires. Nous examinons les différents mécanismes de transfert de chaleur, tels que la conduction, la convection et le rayonnement.

Ce mémoire se concentre sur l'étude des fours tubulaires qui se trouvent au niveau de la raffinerie de condensat à Skikda. Ces fours ont la particularité d'avoir une seule cheminée et avec incorporation d'un préchauffeur d'air.

Ce mémoire a donc pour objectif de faire un calcul vérificatif du rendement thermique des trois fours, en tenant compte de l'installation d'un préchauffeur d'air. Nous étudions les éléments clés qui ont un impact sur la performance thermique d'un four. Les méthodes de calcul et les modèles thermiques seront employés afin d'évaluer l'efficacité énergétique du système. La dernière partie du chapitre vise à évaluer l'impact économique et environnemental de l'installation d'un préchauffeur d'air. Cette évaluation prend en considération les résultats des calculs précédents.

***CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE
CONDENSAT***

Introduction :

L'industrie pétrolière algérienne, c'est le pilier de l'économie nationale, elle joue un rôle vital dans la dynamique économique du pays. Le condensat, un sous-produit essentiel de l'exploitation des hydrocarbures. Du fait de sa nature complexe, composée d'hydrocarbures légers, il occupe une position stratégique dans la chaîne de valeur des hydrocarbures, proposant ainsi une gamme étendue d'utilisations et de produits dérivés de haute qualité.

Dans ce chapitre, nous explorerons le processus de valorisation du condensat, en mettant en lumière sur son rôle crucial dans l'industrie pétrolière et ses implications pour l'économie nationale.

Tout d'abord, nous discuterons de la découverte du condensat en Algérie. Nous examinerons également c'est quoi le condensat puis sa composition et ses propriétés.

Nous traitons également les différentes étapes de la récupération du condensat, en examinant brièvement le processus utilisé pour transformer cette matière première en produits finis de haute valeur ajoutée.

1 Un contexte historique du condensat algérien :

La découverte et l'exploitation du condensat en Algérie remontent aux premières explorations pétrolières menées à la fin du XIXe et au début du XXe siècle. Néanmoins, le secteur pétrolier algérien a connu une véritable révolution dans les années 1950 et 1960, avec la découverte de vastes réserves de pétrole et de gaz naturel, y compris des gisements de condensat. Le gisement de Hassi R'Mel situé dans le bassin de Berkine a été la découverte la plus importante de l'exploration des hydrocarbures algériens. La mise en service de ce gisement a révélé la présence de grandes quantités de condensat liées au gaz naturel extrait. Suite de cette découverte, où une attention accrue a été accordée à la valorisation et à l'utilisation du condensat dans diverses applications.

Au cours des années, l'Algérie a continué à étudier et à améliorer ses ressources en condensat, avec de nouvelles découvertes et des avancées technologiques qui ont permis une exploitation plus rentable et plus efficace de cette ressource. Le rôle du condensat dans le paysage énergétique algérien a été renforcé par des gisements tels que ceux de Tin Fouye Tabankort (TFT) et de Reggane.

2 Origine de condensat :

Les champs gaziers de Hassi R'mel, situés au cœur du Sahara algérien, sont l'origine principale du condensat algérien. Ces champs sont renommés pour leur production abondante de gaz naturel riche en liquide. Compte tenu de la composition chimique particulière de ces gisements, l'extraction produit une quantité importante de condensat. [1]

3 L'exploration des champs gaziers au sud algérien :

Après l'étude des formations rocheuses et structures souterraines susceptibles de contenir des hydrocarbures on passe au forage exploratoire pour tester la présence effective de gaz. On utilise des tours de forage pour creuser jusqu'à la roche réservoir puis évaluer le volume et la qualité du gaz.



Figure 3-1 : Le premier puit de gaz en Algérie

Si l'exploration est positive on passe à la phase de développement du champ et de production en utilisant des installations infrastructures.

4 Description du procédé de traitement de gaz :

Une fois que le gaz est extrait du puits, il est collecté à la surface et transporté vers des installations de traitement. La chaîne de traitement du gaz naturel comporte plusieurs étapes successives qui vont dépendre de la nature du gaz (composition H₂S, CO₂, COS, mercaptans, hydrocarbures lourds, aromatiques...), des conditions de disponibilité (température, pression,

débit), de l'application visée et des spécifications imposées. Le traitement sert à enlever certains constituants tels que l'eau (décantation) et les hydrocarbures lourds (dégazolinage) pour amener le gaz à des spécifications bien déterminées.

4.1 Séparation primaire :

Le gaz brut est dirigé vers des collecteurs, puis envoyé vers des séparateurs triphasiques de type slug-catcher, pour séparer l'eau, les hydrocarbures liquides et le gaz.

4.2 Section de boosting :

Suite à la chute de pression des gisements de gaz au sud algérien, des unités de boosting sont installées pour augmenter la pression d'entrée des modules de traitement de gaz. Cette élévation de pression sert à récupérer le maximum de GPL et d'hydrocarbures liquides.

Le gaz passe à travers des ballons d'aspiration puis alimente des compresseurs centrifuges. Il est refoulé à une pression de 115-121 kg/cm² et une T= 78°c, refroidi dans des aéro-refrédérants jusqu'à une T=60-65 °c. Le gaz refroidi alimente les modules de traitement, et en utilisant un ballon diffuseur la charge est dispatchée en trois flux, chaque flux alimente un train. [1]

4.3 Section de traitement :

Le train est composé de trois sections :

4.3.1 Section séparation haute pression :

Le gaz est refroidi dans une batterie d'aéro-refrédérants au niveau de chaque train. Puis il subit un flash dans un ballon séparateur haute pression HP, dans lequel on obtient trois phases :

- Eau
- Hydrocarbures liquides chauds
- Gaz

De manière générale l'eau récupérée à partir des séparateurs ne doit pas être rejetée dans la nature, elle est acheminée vers les stations de traitement des eaux usées pour minimiser la concentration en hydrocarbures jusqu'à une valeur inférieure de 10 mg/l.

Les hydrocarbures liquides chauds sont refroidis, envoyés vers des ballons tampons de stockage pour décanter l'eau entraînée puis envoyés vers la section de stockage. Son exportation vers raffinerie doit être conforme aux normes exigées ($TVR_{maximale} = 7$ psia à 100°F, $BSW_{maximale} = 0.5\%$ vol). [1]

4.3.2 Section fractionnement et stabilisation :



Figure 4-1: Section de fractionnement et stabilisation Module 4 Hassi-Rmel

Les principaux produits issus de gaz naturel sont de gaz de vente (C1, C2), GPL (C3, C4) et de condensat C5⁺. L'extraction de GPL en Algérie est basée sur les procédés de condensation des hydrocarbures lourds C3⁺. Ce processus est réalisé suivant un refroidissement par détente selon un mode de réfrigération spécifique à chaque procédé. Il existe deux procédés :

4.3.2.1 Procédé PRITCHARD :

Le gaz sortant de la section HP est refroidi jusqu'à une T= -3°C en utilisant une série d'échangeurs et des chillers au propane (boucle de propane), puis détendu jusqu'à une pression 80 bars et T = -18°C par une vanne Joule Thomson. La détente est isenthalpique qui permet de récupérer un gaz (C1, C2) et une quantité de liquide C3⁺. Le liquide passe à travers un deethaniseur puis un debutaniseur, où on récupère respectivement GPL et condensat. [1]

4.3.2.2 Procédé HUDSON :

Le gaz est refroidi à une température de l'ordre de -7°C à l'aide d'une batterie d'aéro-refrigérants (jusqu'à 40°C) puis des échangeurs de chaleur. L'injection de la solution Monoéthylène-glycol se fait à l'entrée des échangeurs de chaleurs, car les conditions opératoires favorisent la formation des hydrates à l'intérieur des échangeurs, due à la présence des traces d'eau. Une fois l'eau est absorbée, la solution de glycol hydratée est séparée de gaz dans un ballon puis elle dirigée vers section régénération glycol. [1]

Le flux de gaz provenant de ballon est dirigé vers un deuxième refroidissement par la vanne Joule Thomson jusqu'à une pression de 100 bars et une T=-15°C. Puis il subit une détente isentropique à l'aide d'un turbo-expander jusqu'à une pression égale à 64 bars et T= -35°C. [1]

Le mélange liquide est fractionné dans une colonne deethaniseur puis une autre tour debutaniseur, pour récupérer de GPL et de condensat.

4.4 Section stockage et transfert :

4.4.1.1 Stockage de condensat :

Le condensat est acheminé vers la section de stockage et de transfert, qui a pour objectif de stocker et d'expédier du condensat on spec, vers des trains de retraitement contenant des ballons tampons de stockage, pour éliminer les gaz résiduels (empêcher la formation de mousse pendant le transport) et retirer le maximum d'impuretés qui se déposent par gravité. Le produit est dirigé vers les bacs de stockage, selon un mouvement Remplissage/Vidange. Le condensat est spécifié par une tension de vapeur maximale qui est égale à 10 PSI.



Figure 4-2 : Bacs de stockage de condensat au niveau du module 4 Hassi-Rmel

Le condensat instable c'est à dire off spec, qui ne conforme pas aux spécifications est expédié vers un bac, puis vers la colonne debutaniseur pour extraire les fractions légères.

4.4.1.2 Stockage de GPL :

Les GPL sont recueillis dans une canalisation, puis envoyés vers les sphères. Un GPL off spec est retraité au niveau de debutaniseur.



Figure 4-3 : Sphère de stockage de GPL

4.4.1.3 Le gaz sec :

Le gaz sec issu après le processus de refroidissement alimente la section de recompression, pour atteindre une pression minimale opératoire de l'ordre de 70 barg. Puis il est acheminé vers Centre National de Dispatching du Gaz CNDG comme un gaz de vente. [1]

5 Définition du condensat :

Le condensat, dans le contexte de l'industrie pétrolière et gazière, appelé aussi le liquide du puits de gaz naturel, est un mélange d'hydrocarbures légers qui existe sous forme liquide à la température ambiante et à la pression atmosphérique. Le condensat est un fossile utile assimilé à une forme de pétrole léger de haute valeur, extrait du gaz naturel pendant la production dans les champs de gaz.

Sa formation est le résultat d'un processus de migration et de séparation des hydrocarbures dans le réservoir. Au début, le mélange de gaz naturel et de liquide reste à flot dans le réservoir serré sous une pression élevée, ce qui maintient les éléments dans un état de gaz. Pendant l'opération d'extraction, les chutes de pression et de température en dessous de point de rosée des hydrocarbures lourds, ces derniers commencent à se condenser et former des liquides, ce sont les condensats de gaz naturel. [2]

La quantité de condensat dans le gaz naturel dépend de la température et de la pression avant que la condensation ne débute. Plus ils sont gros, plus il y a d'hydrocarbures dissous dans le gaz naturel produit ce qui se traduit par une concentration plus élevée de condensat de gaz.

Le condensat de gaz est un, liquide incolore. À cause de ça, il était appelé "huile blanche". Parfois, le condensat de gaz devient de couleur faible, du jaune paille au jaune-brun, en raison de la présence d'impuretés.

6 Types du condensat :

Le type du condensat varie considérablement en fonction du gisement d'où il est extrait, ses propriétés et sa composition dépendent de la nature des roches de réservoir, et les conditions de pression et de température.

Les deux types de condensat de gaz naturel :

- Les condensats de type C5 à C10 (de 5 à 10 atomes de carbone par molécule), les pays producteurs de ce type de condensat sont : Algérie, Qatar, Arabie saoudite et Norvège.

- Les condensats jusqu'à C15 (15 atomes de carbone par molécule), les pays producteurs de ce type de condensat sont : Canada (région d'Alberta), Mexique et Russie (région d'Oural).

7 Caractérisation du condensat algérien :

7.1 Composition chimique :

Le condensat de gaz est toujours présent dans les dépôts de gaz naturel. Le condensat de gaz est un mélange d'hydrocarbures lourds allant du pentane C₅H₁₂ et plus.

7.2 La différence entre un condensat stable et instable :

Un condensat instable comprend également la fraction légère des hydrocarbures, en parlant des C₄H₁₀. Ces gaz se dissolvent dans le gaz condensat. Si un condensat de gaz instable est soumis à la purification, séparation et éliminer ces hydrocarbures légers), nous obtenons un condensat stable. Donc, il contient du pentane C₅H₁₂, C₆H₁₄, C₇ H₁₆, C₈H₁₈, C₉H₂₀...etc.

7.3 Composition massique de condensat :

Les résultats d'analyse sont insérés dans le tableau suivant :

Tableau 1: Composition massique de condensat (Bulletin Analyse TBP CRD)

Constituants	%massique
Méthane	0.000
Ethane	0.000
Propane	0.013
Iso-butane	0.208
n-butane	1.511
Neopentane	0.108
Iso-pentane	10.345
n-pentane	11.418
Hexanes	16.653
Benzène	0.880
Heptanes	15.471
Toluène	1.231
Octanes	13.196
Éthyl benzène	0.104
Meta et para-xylene	0.871

Généralités sur le condensat

Orthoxylene	0.309
Nonanes	7.294
Decanes	6.248
Undecanes	3.836
Dodecanes	2.550
Tridecanes	1.921
Tetradecanes	1.337
Pentadecanes	1.131
Hexadecanes	0.660
Heptadecanes	0.571
Octadecanes	0.478
Nonadecanes	0.320
Eicosanes	0.253
Heneicosanes	0.241
Dodacodanes	0.180
Tricosanes	0.142
Tetracosanes	0.118
Pentacosanes	0.097
Hexacosanes	0.085
Heptacosanes	0.074
Octacosanes	0.052
Nonacosanes	0.040
Triacotanes	0.023
Hentriacotanes	0.020
Totriacotanes	0.009
Tritracotanes	0.000
TOTAL	100.000

7.4 Propriétés physiques :

7.4.1 Densité (d_4^{15}) :

C'est une caractéristique physique qui exprime le poids d'un volume du produit à une température donnée par rapport au poids d'un même volume d'eau à une 4° c. La connaissance de la densité d'un produit pétrolier revêt une importance cruciale car elle détermine les paramètres de transport, elle décrit le schéma du raffinage et elle affecte sa valeur dans le marché. [3]

La d_4^{15} du condensat est égale à 0.7003.

7.4.2 La masse volumique (ρ) :

C'est une grandeur physique qui mesure la quantité de masse contenue dans une unité de volume d'une substance donnée.

La masse volumique du condensat ρ à 15 C est égale à 0.7004 g/cm³

La masse volumique du condensat à 20C est égale à 0.6957 g/cm³

7.4.3 La specific gravity SpGr :

C'est le poids du produit par rapport à celui de l'eau à 60 °F (15.5°C). [3]

$$SpGR_{condensat} = 0.7011$$

7.4.4 Le degré API° :

C'est une unité de caractérisation des mélanges d'hydrocarbures qui permet de classer le produit par sa densité relative. [3]

$$API = \frac{141.5}{\square\square\square\square} - 131.5$$

API du condensat est égale à 70.3

7.4.5 La tension de vapeur Reid :

C'est la pression pour laquelle s'établit l'équilibre liquide vapeur, elle mesure la tendance du produit à s'évaporer à une T donnée. Elle peut indiquer les pertes en volume de produit.

$$TVR_{condensat} = 0.68 \text{ kg/cm}^2$$

7.4.6 Le teneur en eau :

La présence de l'eau dans le condensat conduit à la diminution du pouvoir calorifique de produit, et des conséquences néfastes sur les équipements de transport et de production telle que la corrosion.

Teneur en eau du condensat est égale à 37.5 ppm

7.4.7 Teneur en sels :

C'est la concentration des sels dans le condensat qui provoque les dépôts et la corrosion.

Teneur en sels dans le condensat est égale à 8.8 ppm

7.4.8 Teneur en mercure :

Le mercure est un métal lourd toxique qui peut avoir des effets dangereux sur la santé humaine, même à de faibles concentrations. La présence de mercure influe sur la performance des produits finaux.

Teneur en mercure dans le condensat est égale à 1.2 ppb

7.4.9 Teneur des éléments métalliques :

Certains métaux peuvent altérer la qualité du produit final et favoriser le processus de corrosion des équipements et des pipelines. Le tableau suivant détermine la teneur des éléments métalliques :

Tableau 2: Teneur des éléments métalliques contenant dans le condensat Bulletin Analyse TBP CRD

Métal	Teneur (ppm)
Fer	0.3
Chrome	0.0
Plomb	3.8
Cuivre	0.0
Etain	0.0
Aluminium	0.0
Nickel	0.2
Argent	0.0
Molybdène	0.0
Titane	0.0
Vanadium	0.8

Bore	0.0
Magnésium	0.1
Calcium	0.0
Zinc	0.0
Silicium	0.3
Sodium	0.0

7.4.10 Distillation ASTM :

C'est une technique de séparation qui suit les normes établies par l'**American Society for Testing and Materials** (ASTM), pour garantir la cohérence et la fiabilité des résultats. Elle implique le chauffage du pétrole brut ou du condensat dans un appareil de distillation et la collecte des différentes fractions en fonction de leur point d'ébullition. [3]

Tableau 3 : Distillation ASTM Bulletin Analyse CRD

Volume %	Température correspondante (°c)
PI	37
5%	48
10%	51
30%	63
50%	89
65%	/
85%	/
90%	191
95%	242
PF	267

- Le volume du résidu 1.1 % volumique
- Le volume des pertes 0.9 % volumique

8 La valeur du condensat et son impact économique :

La valeur marchande des condensats de gaz naturel est très élevée. Certains gisements sont même exploités uniquement pour extraire les condensats. Le méthane est souvent injecté dans le gisement pour freiner la baisse de pression et récupérer une grande quantité du condensat.

En raison de sa composition, le condensat est communément perçu comme un excellent produit pétrolier qui a d'excellentes perspectives dans de nombreuses industries, y compris la fabrication de carburant et d'autres produits chimiques. Cependant, il faut souligner que le condensat est un produit pétrolier très polyvalent.

Le condensat de gaz naturel porte des caractéristiques physico-chimiques proche du naphta, c'est pour cette raison il est principalement utilisés comme matière de base pour la production d'essence commerciale (les composants de l'essence représentent plus de la moitié du condensat de gaz). Mais on peut obtenir d'autres types de carburant tels que kérosène et diesel (si le réservoir est à grande profondeur, il est dominé par les composants du kérosène et du gazole).

Le condensat peut servir aussi l'industrie pétrochimique (la production de plastiques, caoutchoucs synthétiques, fibres et résines).

9 Aperçu descriptif sur le traitement du condensat au niveau de la raffinerie de Skikda RA2/K :

Le condensat provenant de TRC Skikda, alimente les bacs de stockage au niveau de la RA2/K. Cette section contient trois bacs (en charge, en repos, et en drainage). Une fois un bac est rempli, il doit rester en repos 24-48 heures pour faire décanter l'eau. Le condensat est aspiré du bac vers un train de préchauffage avec une pression de 16 bars. A la sortie du train, le condensat est chauffé à une température d'environ 166°C et avec une pression entre 11-12 bars. Puis on effectue une dépression jusqu'à 3.35 bars donc une chute de température jusqu'à 136°C. Cette charge est dirigée directement vers une colonne de préfractionnement là où on récupère du GPL et naphta A en haut de la colonne avec T soutirage qui est égale à 87°C, du naphta stable B avec T_{soutirage} de 119°C. La température du fond du préfractionneur est maintenue 180-191°C grâce à un four tubulaire à 6 passes.

Le GPL et N_A sont dirigés vers une colonne debutaniseur pour stabiliser le naphta c'est à dire éliminer le C₃ et C₄. Le GPL est envoyé vers un depropaniseur pour séparer les deux, le butane récupéré au fond est dirigé vers séchage puis stockage. Le propane est utilisé comme gaz combustible qui alimente les fours de la raffinerie.

Le mélange issu au fond du préfractionneur est envoyé vers un 2^{ème} four avec 4 passes pour objectif de le vaporiser et récupérer du Naphta C en tête avec une T_{soutirage} 155°C, kérosène Ts 194°C, gasoil léger 251°C et du gasoil lourd 355. La température du fond 355°C est maintenue grâce à un 3^{ème} four rebouilleur avec 8 passes.

Le kérosène est acheminé vers une unité de purification pour maintenir une acidité inférieure à 0.0015 mg KOH /g. [4]

Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné les aspects généraux du condensat, y compris sa composition, ses caractéristiques physiques et chimiques. Il est crucial de saisir les propriétés du condensat afin de comprendre les différentes étapes de séparation auxquelles il peut être soumis. La distillation est l'un de ces processus fondamentaux. Le troisième chapitre portera sur la distillation, une méthode essentielle pour séparer les éléments d'un mélange de condensat. Nous étudions les principes fondamentaux de la distillation, l'outil utilisé et l'étude d'influence des paramètres opératoires. Le chapitre suivant est une présentation de la raffinerie RA2/K, particulièrement l'unité 100.

***CHAPITRE II : DESCRIPTION DE LA
RAFFINERIE RA2/K***

Introduction :

La deuxième raffinerie de Skikda, également connue sous le nom de RA2K, est l'une des plus grandes et avancées installations industrielles de pétrole en Algérie. Cette raffinerie, située sur la côte méditerranéenne, dans la ville de Skikda, joue un rôle essentiel dans le secteur énergétique du pays et apporte une contribution importante à l'économie du pays. La technologie de pointe utilisée par la RA2K est connue pour sa capacité de traitement. Il s'agit de la seule raffinerie en Algérie spécialement conçue pour le traitement du condensat.

1 Situation géographique de la raffinerie RA2/K :

Le Complexe Topping de Condensat RA2/K est situé dans l'enceinte Zone Industrielle de Skikda, à l'Est de la ville de Skikda, en dehors du tissu urbain, dans le périmètre de l'ancien aéroport. Les principaux sites industriels localisés dans les environs sont :

- Le Complexe de liquéfaction du gaz naturel GL1K au nord ;
- Le Complexe des matières plastiques CP1K au nord-est ;
- POLYMED au nord-est ;
- La Raffinerie de pétrole RA1K à l'ouest ;
- Le Terminal de stockage du pétrole brut et du Condensat RTE au sud.

Il s'étend sur une superficie d'environ 45 hectares et comprend les unités de production, les différentes utilités, les zones de réception de la matière première, de stockage et de transfert des produits finis.

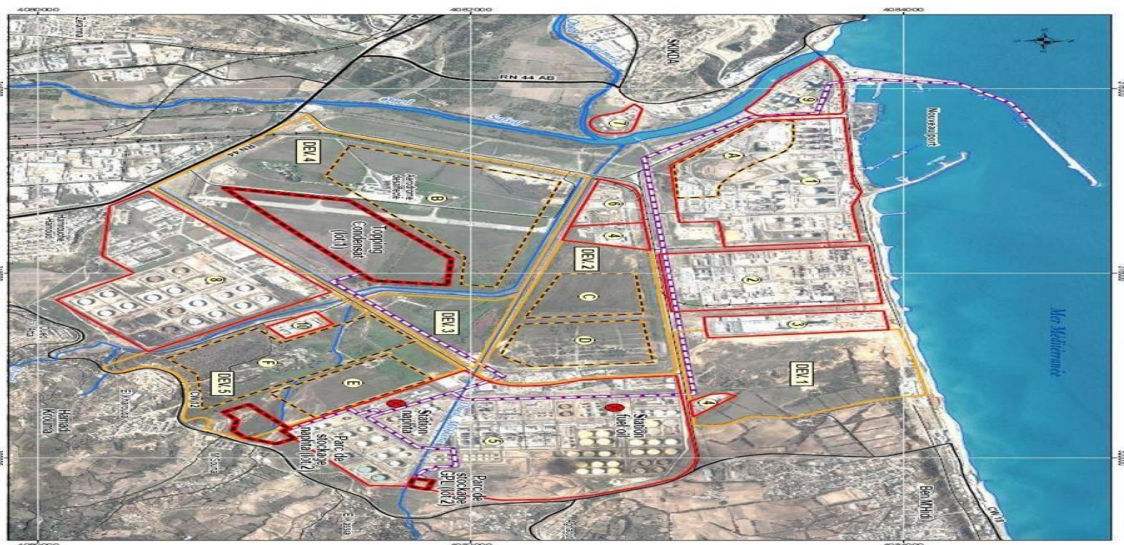


Figure 1-1 : Plan de la situation géographique de la raffinerie RA2/K

2 Les différentes unités du complexe RA2/K :

Le complexe RA2/K comporte principalement :

- ❖ Unité de distillation du condensat (U100) ;
- ❖ Unité de purification et traitement du kérosène (U200) ;
- ❖ Installation de stockage et transfert des produits (U300) ;
- ❖ Système torche (U400) ;
- ❖ Unités de production des utilités et de traitement des eaux (U500) ;
- ❖ Laboratoire de contrôle qualité des produits ;
- ❖ Atelier de Maintenance ;
- ❖ Installations de sécurité et de lutte anti incendie.

3 Constitution de l'unité 100 :

Cette section est constituée de différentes installations :

- ❖ Train d'échangeurs (E101 à E108) ;
- ❖ Colonne de préfractionnement : T-101 ;
- ❖ Colonne de distillation atmosphérique : T-103 ;
- ❖ Colonne de distillation sous vide : T-401 ;
- ❖ Colonne de stabilisation des essences : T-201 ;
- ❖ Fours : F-101, F-102, F-103 ;
- ❖ Système d'injection : amine neutralisante, agent inhibiteur de corrosion, eau de lavage.

3.1 Train de préchauffage :

La figure ci-dessous montre le train déchargeurs de l'unité 100 :

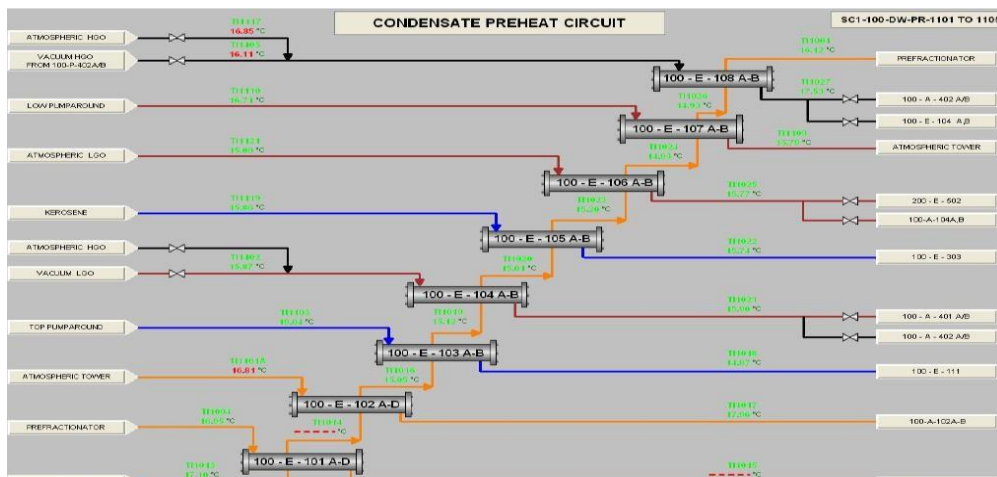


Figure 3-1 Le train de préchauffage de l'unité 100

Le but principal de cette étape est le chauffage progressif du condensat, afin de le préparer au préfractionnement tout en évitant son vapocraquage, et gagner une énergie considérable mais aussi de transformer la charge de condensat liquide en une charge biphasique, sous l'effet de la détente après son passage par la FV (flow valve) ce qui facilite son fractionnement.

Les installations de l'unité Topping de condensat sont chargées à une pression de 20 bars à la limite des batteries et à une température de 30°C.

Ensuite, le condensat est chauffé dans un train d'échangeurs de préchauffage, avant d'être introduit dans le préfractionneur (colonne de pré-distillation T101). La division du train d'Echangeur de Préchauffage en deux branches parallèles permet de simplifier le fonctionnement à 50 % du débit. [4]

3.2 Le préfractionnement :

La figure ci-dessous montre la section de préfractionnement de l'unité 100 :

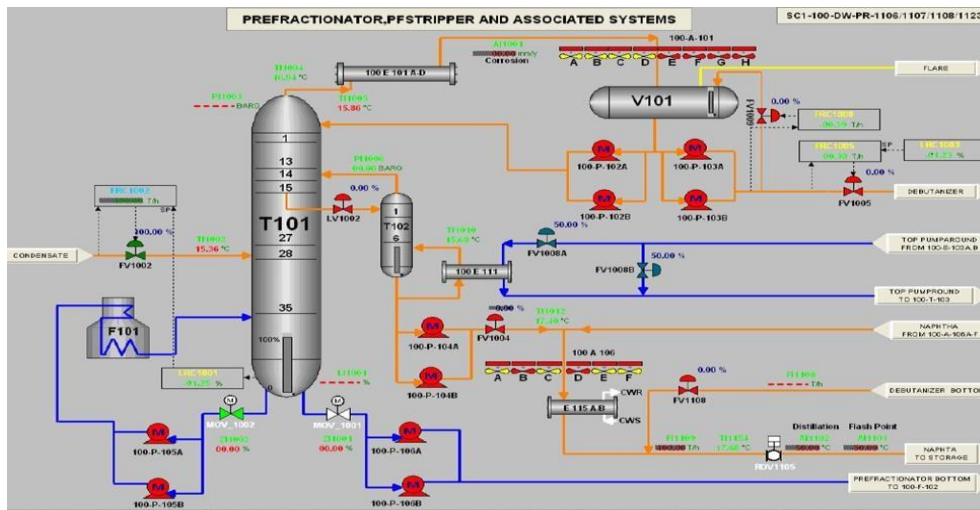


Figure 3-2 : Schéma de la section de préfractionnement de l'unité 100

La colonne 100-T-101 (préfractionneur) a pour but de préfractionner le Condensat en trois produits :

- Coupe de tête (gaz et naphta) ;
- Coupe latérale (naphta stable.) ;
- Coupe de fond (condensat stable).

La colonne est conçue avec un ensemble de 35 plateaux, et reçoit le Condensat partiellement vaporisé au plateau n° 28. [4]

3.3 Le fractionnement :

3.3.1 La distillation atmosphérique :

La figure ci-dessous montre la section atmosphérique de l'unité 100 :

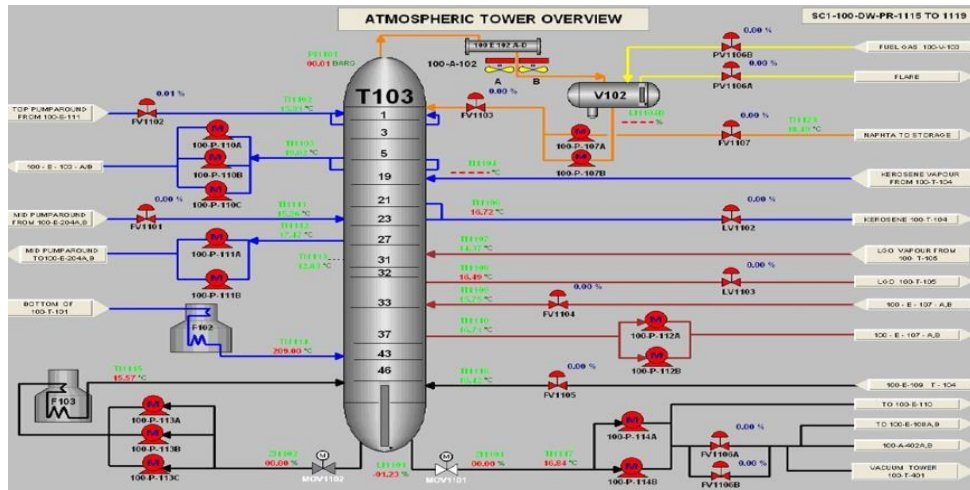


Figure 3-3 : Schéma de la section atmosphérique de l'unité 100

Cette section représente le cœur de l'unité de fabrication. C'est là où se déroule la grande majorité de la séparation et des soutirages de ces divers produits (coupes).

Le condensat stable issu du préfractionneur T-101 est acheminé vers la colonne atmosphérique T-103 après avoir été préchauffé dans le four F-102 pour donner les quatre produits suivants :

- Coupe de tête (naphta) ;
- Coupe latérale (gasoil léger) ;
- Coupe latérale (kérosène) ;
- Coupe latérale (gasoil lourd).

Le rebouilleur de la colonne atmosphérique (T-103) est le four à tirage forcé (F-103).

La pression opératoire de la colonne (T-103) varie entre 1.5 et 3 bars, la température en fond de colonne peu atteindre les 356°C. La colonne contient 46 plateaux, elle a deux soutirages latéraux et trois reflux circulants. La colonne reçoit la charge au 46^{ème} plateau. [4]

3.3.2 La distillation sous vide :

La figure ci-dessous montre la section sous vide de l'unité 100 :

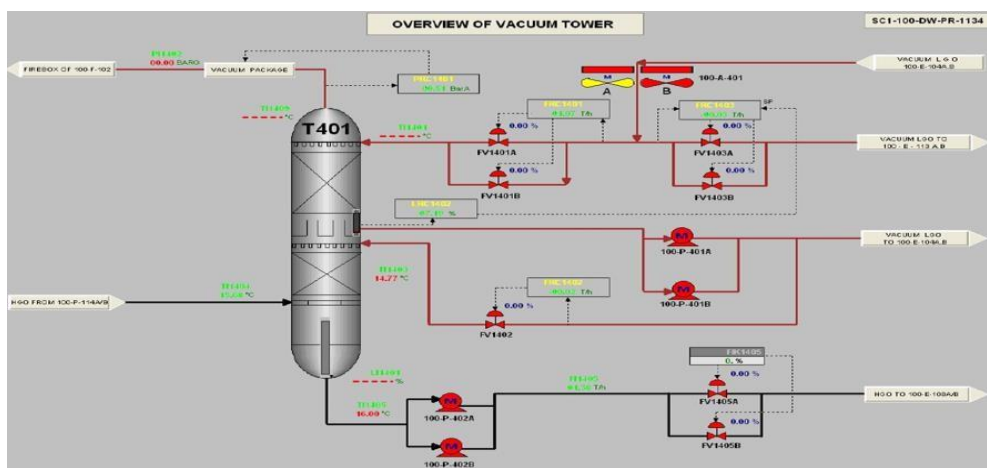


Figure 3-4 : Schéma de la section sous vide de l'unité 100

Le but de la tour sous vide 100-T-401 est de récupérer une partie du gasoil léger contenu dans le résidu atmosphérique issue du fond de la tour atmosphérique. Le LGO sous vide est mélangé avec le LGO atmosphérique, et le HGO du fond de la tour sous vide est envoyé vers stockage. Le fractionnement est effectué au moyen de deux zones de garnissages assurant le contact liquide-vapeur et séparé en deux coupes :

- Coupe latérale (Gasoil léger) ;
- Coupe de fond (Gasoil lourd).

Actuellement, le fonctionnement de cette unité est suspendu.

3.4 Section de stabilisation des essences

La figure ci-dessous montre la section de stabilisation des essences :

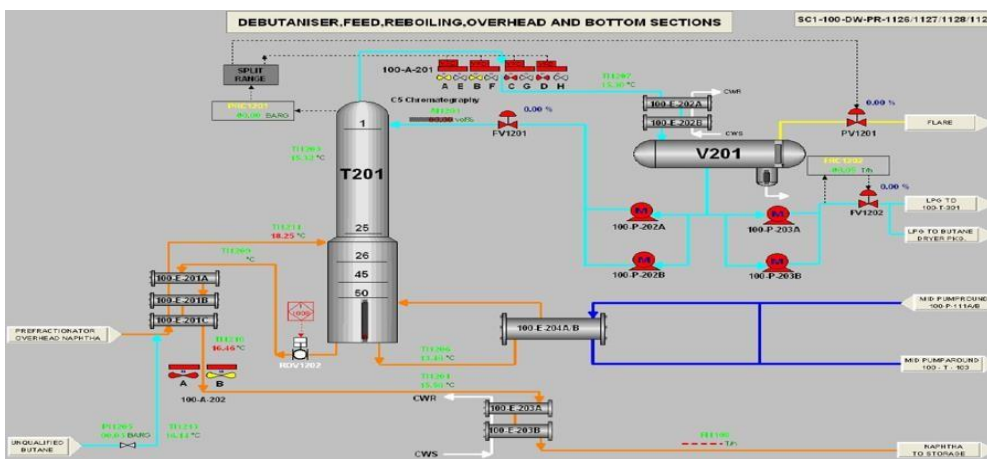


Figure 3-5: Schéma de la section stabilisation d'essence de l'unité 100

Cette étape est assurée par la colonne 100-T-201 appelée débutaniseur ou colonne de stabilisation, qui nous donne deux produits :

- En tête, la coupe Gaz de Pétrole Liquéfiés (GPL) ;
- Au fond, la coupe essence stabilisée.

La colonne est équipée de 50 plateaux, l'alimentation est effectuée au plateau n° 26.

3.5 Section de récupération de butane :

La figure ci-dessous montre la section de dépropaniseur :

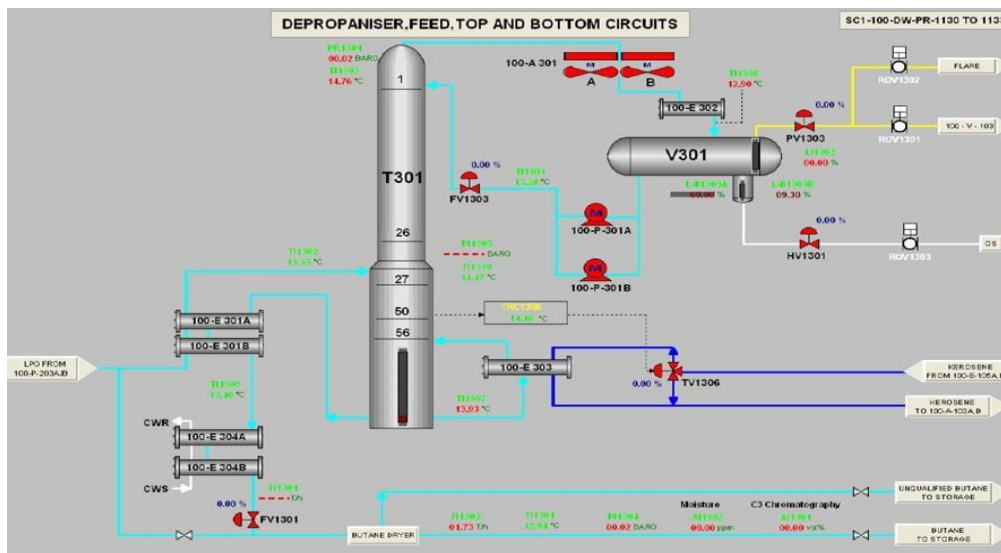


Figure 3-6 : Schéma de dépropaniseur de l'unité 100

La coupe GPL de la tête de colonne 100-T-201 est ensuite fractionnée dans le dépropaniseur 100-T-301. Cette étape permet d'obtenir en tête une coupe Propane et au fond une coupe Butane.

Le Butane rentre ensuite dans le package PKG-301 pour suivre un traitement de séchage, et sort comme produit fini vers stockage.

Le Propane est récupéré comme gaz combustible pour l'alimentation des fours. La colonne est équipée de 56 plateaux, et l'alimentation s'effectue au-dessus du 27^{ème} plateau.

3.6 Section de séchage de butane :

Le système de séchage de butane contient deux colonnes à tamis moléculaire, une est utilisée pour le séchage et l'autre pour la régénération, le butane humide est dirigé en une direction vers le haut par la tour de séchage, où le tamis moléculaire absorbe de l'eau existante dans le butane. L'objectif de cette section est de sécher le butane jusqu'à 20 ppm.

La figure ci-dessous montre la section de séchage du butane :

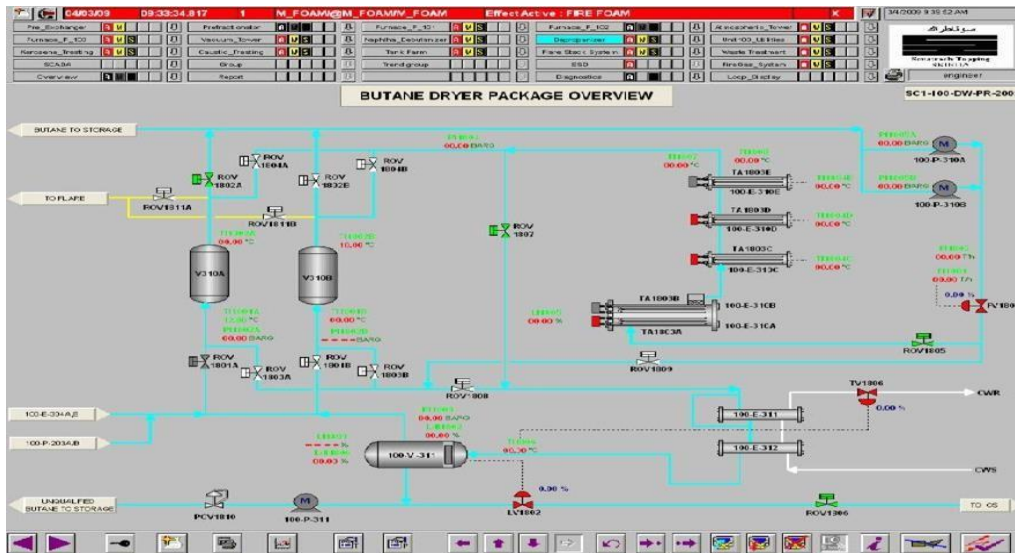


Figure 3-7 Schéma de séchage de butane de l'unité 100

4 Utilités

A l'exception de l'air instrument et l'air service qui sont produits par les moyens propres du complexe, les utilités sont fournies par les structures suivantes :

- Le gaz naturel : SONATRACH - RTE/TRC.
- L'azote : Entreprise ENGI. MESSER.
- L'électricité : Entreprise SONELGAZ.
- L'eau industrielle : Entreprise EPDEMIA.
- La vapeur d'eau : Raffinerie RA1K.

5 Le schéma synoptique de la raffinerie RA2/K :

La figure suivante montre le schéma synoptique du complexe :

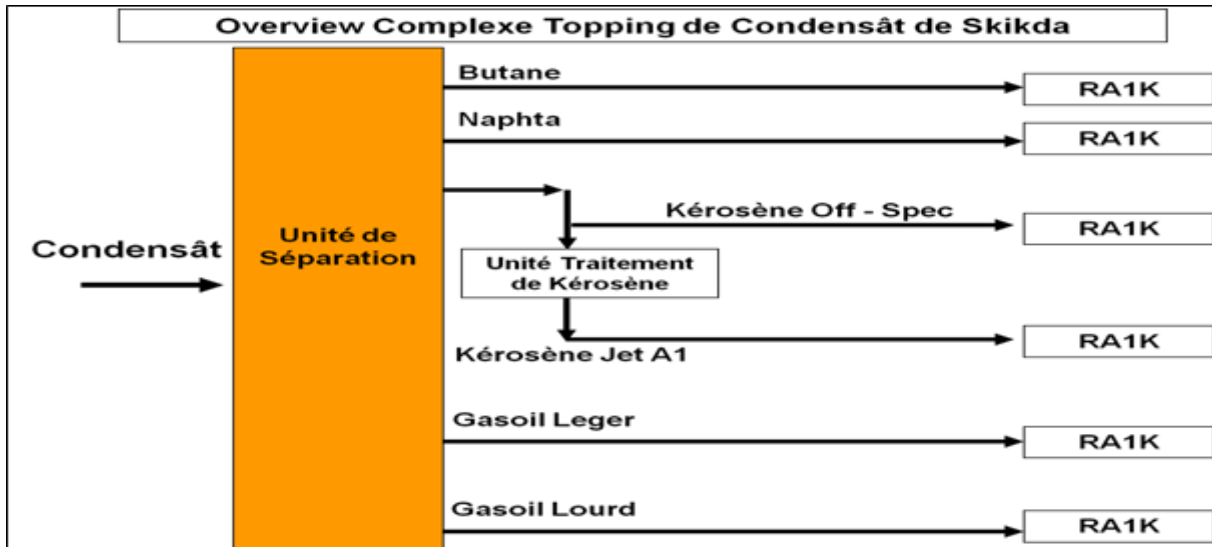


Figure 5-1: le schéma synoptique de raffinerie

Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons décrit la raffinerie RA2/K, cette unité de traitement est la seule au niveau national qui est conçue pour le topping de condensat .Il est crucial de saisir les propriétés du condensat afin de comprendre les différentes étapes de séparation auxquelles il peut être soumis. La distillation est l'un de ces processus fondamentaux. Dans cette situation, le troisième chapitre portera sur la distillation, une méthode essentielle pour séparer les éléments d'un mélange de condensat. Nous étudions les principes fondamentaux de la distillation, l'outil utilisé et l'étude d'influence des paramètres opératoires. Donc, une fois que nous avons acquis une solide compréhension des principes généraux du condensat, nous sommes prêts à examiner en profondeur le processus de distillation.

***CHAPITRE III : GENERALITES SUR LA
DISTILLATION***

Introduction :

La transformation des matières premières brutes en produits finis de grande valeur est essentielle dans le processus industriel complexe du raffinage. Le raffinage est une succession d'opérations complexes de séparation, de conversion et de purification, chacune ayant pour objectif d'isoler et d'améliorer les différentes fractions du brut en fonction de leurs caractéristiques chimiques et physiques. Le but principal du processus de raffinage est d'optimiser la production de produits de qualité supérieure tout en réduisant au minimum les déchets et les produits indésirables.

Le fractionnement est une étape essentielle du processus de raffinage, car il permet de diviser le un mélange d'hydrocarbures brut en différents éléments en fonction de leur point d'ébullition. Il sert à chauffer le mélange à des températures précises dans des colonnes verticales, où les divers composants volatils se divisent en fractions liquides et gazeuses. L'apport énergétique qui implique d'effectuer une vaporisation partielle est assuré par un four industriel.

Les fours industriels sont indispensables pour la distillation du brut lors du processus de raffinage. Ils peuvent également être utilisés pour d'autres étapes du raffinage, telles que le préchauffage du pétrole brut avant la distillation ou le chauffage des réacteurs dans les procédés de conversion.

1 La cinétique de transfert de matière :

Le principe fondamental de toute opération unitaire est la mise en contact des phases en présence. L'efficacité de séparation est fondée sur la qualité de transfert de matière, ce phénomène complexe décrit le mouvement des espèces chimiques en exploitant les propriétés des milieux multiphasiques .Il s'effectue entre phases si elles ne sont pas en équilibre thermodynamique. [5]

1.1 Les mécanismes de transfert de matière :

Les principes fondamentaux du transfert de matière sont basés sur deux mécanismes principaux :

1.1.1 La diffusion moléculaire :

C'est un mécanisme qui décrit le mouvement aléatoire des molécules d'un constituant de forte concentration à faible concentration sous l'effet de l'agitation thermique.

Pour qu'un constituant puisse se passer d'une phase A vers une phase B, il faut que la concentration du constituant dans la A soit supérieure à la concentration d'équilibre avec la concentration de même constituant dans B. [6]

La force motrice de transfert est représentée par la différence entre la concentration du constituant dans A et la concentration d'équilibre.

$$\text{Force motrice de transfert} = C_A - C_{eq}$$

- L'équation de Fick :

L'équation de Fick est une loi fondamentale de modélisation des procédés de séparation, elle établit une relation entre le flux de matière et le gradient de concentration. [7]

$$J_i = -\rho \cdot D_{ij} \cdot \nabla C_i$$

J_i : le flux de masse ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$).

ρ : la masse volumique (kg/m^3).

D_{ij} : la diffusivité de i dans j (m^2/s).

C_i : la fraction massique (sans unité).

Le signe (−) est dû au sens décroissant e déplacement des concentrations.

1.1.2 Transfert convectif :

Il correspond au transport de matière par différence de densité ou de température dans le milieu, ce qui favorise le mélange des constituants. Il caractérise le transport de matière d'un fluide en mouvement. [5]

- L'équation de Navier-Stokes

Elle décrit le transport de fluide en mouvement en tenant compte des interactions entre le fluide et les surfaces solides, cela est essentiel pour intervenir les écoulements de fluide.

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \mathbf{v} = \mathbf{0} \text{ (condition de non-glissement)} \\ \rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -\nabla P + \eta \nabla^2 \mathbf{v} + \beta \end{array} \right.$$

ρ : la masse volumique de fluide kg/m^3 .

\mathbf{v} : champ de vitesse du fluide, m/s .

dv/dt : la dérivée temporelle du champ de vitesse de fluide.

P : pression, exprimée en N/m^2 .

η : viscosité dynamique en $N \cdot s/m^2$.

ω : force externe appliquée en N , généralement elle représente la force de gravité (ρg).

1.2 Le rôle de la cinétique de transfert de matière

Les mécanismes de transfert servent à modéliser d'une manière combinée les flux de masse et les écoulements d'un système. La conception d'un procédé de séparation nécessite la compréhension approfondie des phénomènes de transfert, car ils permettent de dimensionner les appareils de séparation et visualiser le comportement des mélanges.

2 Notion d'équilibre thermodynamique

L'équilibre thermodynamique représente l'état d'un système qui n'évolue pas à l'échelle macroscopique, c'est adire quelques propriétés telles que la température, la pression et la composition ne varient plus au cours du temps.

2.1 Critères d'un équilibre thermodynamique

Un équilibre thermodynamique s'établit entre deux phases a T et P fixées, soit par :

- Une égalité de fugacité : est la capacité d'une espèce chimique à se détacher d'un mélange, ce qui garantit la stabilité de la composition chimique des phases en contact.
- Une égalité de potentiel : chimique c'est un indicateur clé de l'équilibre, elle décrit l'énergie libre de Gibbs d'une substance a. une température et une pression spécifiques. Elle calcule la quantité d'énergie nécessaire pour accomplir un travail pratique.

2.2 Equilibre thermodynamique Liquide-Vapeur :

C'est la base fondamentale de processus de distillation, il dépend des conditions de T et P et les propriétés thermodynamiques des constituants (volatilité relative et interactions moléculaires). Il est décrit par la loi de Raoult, Henry et Dalton. Il peut être représenté par un diagramme d'équilibre qui désigne la composition du mélange.

2.3 Les lois d'équilibre thermodynamique :

2.3.1 La loi de Raoult

Elle caractérise une relation entre la pression de vapeur d'un constituant i à l'état pur et sa fraction molaire dans le mélange liquide. [8]

$$P_i^L = P_i^0 \cdot x_i'$$

2.3.2 La loi de Dalton

Elle désigne que la pression d'un constituant i est égale au produit de la pression totale par la fraction molaire de i dans la phase vapeur. [8]

$$P_i^V = P_{tot} \cdot y_i'$$

2.3.3 La loi de Henry

Elle dit que la pression partielle d'un constituant " i " à une température constante est proportionnelle à la fraction molaire de i dissout dans la phase liquide. [8]

E_i : le coefficient d'Henry.

$$P_i^L = E_i \cdot x'_i$$

3 Introduction à la distillation

3.1 Définition d'une opération de distillation / rectification

3.1.1 La distillation :

C'est une opération unitaire qui sert à séparer les mélanges liquides ou gazeux en plusieurs fractions tout en exploitant la différence de volatilité entre ses constituants, en utilisant un mécanisme de chauffage et de condensation sélective. En chauffant le mélange, les composants s'évaporent à des températures précises et sont ensuite séparés pour être récupérés sous forme de liquides distincts. Elle est contrôlée par les phénomènes de transfert de matière et les lois d'équilibre thermodynamique.

3.1.2 La rectification :

C'est méthode de séparation par fractionnement, qui implique un échange simultané de matière chaleur et de entre une phase vapeur ascendante et une phase liquide descendante tout au long d'une colonne. On utilise des dispositifs appropriés pour établir un contact intime entre les deux phases, afin de maximiser le taux de séparation. En général, elle fonctionne en continu. [5]

3.1.3 Définition d'une colonne de distillation :

Une colonne est un dispositif de séparation physico-chimique circulaire placé verticalement, au-dessus de son diamètre. Grâce à elle, il est possible de distinguer efficacement les composants du mélange liquide miscible. Elle joue un rôle important dans l'industrie en

favorisant les échanges de matière et de chaleur entre une phase vapeur et un reflux liquide, ce qui accroît le pouvoir séparateur de la colonne. Elles sont généralement fabriquées en acier inoxydable, mais on peut également trouver des versions en verre pour les substances corrosives.

3.2 La conception d'une colonne de distillation

Dans le but d'optimiser la performance de séparation dans une tour de distillation, il est nécessaire de modéliser soigneusement une géométrie convenable, notamment le diamètre, la hauteur et le type de contact à réaliser.

Le choix de matériau de construction est assez un paramètre essentiel pour garantir la résistance et la durabilité face aux conditions de pression et de température élevées et à l'agressivité des mélanges à traiter. Des revêtements de protection peuvent être appliqués pour augmenter la résistance à la corrosion.

La colonne de distillation s'accompagne de nombreux équipements annexes tels que les échangeurs de chaleur, les pompes et les systèmes de contrôle-commande qui ont pour objectif d'assurer le bon fonctionnement global du procédé. L'emplacement de l'entrée de la charge et la sortie des fractions est calculé.

Le fonctionnement de la section de raffinage (des échangeurs, fours, conduite pompes colonne ...) est conditionné directement par l'efficacité de dessalage.

La capacité du fractionnement signifie le débit maximal qui peut être traité sans perte de charge notable, sans engorgement et avec une bonne efficacité de séparation (stabilité du fractionnement).

Au cours de marche, la surveillance en ligne des paramètres opératoires T, P et débits, permet de détecter rapidement les anomalies.

3.3 Les constituants d'une colonne de distillation

Une colonne de distillation est constituée principalement de trois systèmes :

- Un dispositif de vaporisation (bouilleur du fond) ;
- Un système de condensation (condenseur de tête) ;
- Un système de contact (colonne de fractionnement).

3.4 Les différentes sections d'une colonne de distillation

La colonne de distillation est divisée en 03 sections principales :

- Section d'alimentation (zone de flash) :

Le mélange à fractionner doit être prétraité et préchauffé. Selon des conditions opératoires bien déterminées (T, P et débit), le flux est introduit dans la colonne par le point d'entrée principal de type tangentielle pour favoriser le désengagement de la vapeur. La colonne est souvent équipée d'un déflecteur qui favorise le flash. [6]

- Section de rectification :

Elle se situe au-dessus de la zone de flash, elle a pour rôle de concentrer les constituants les plus volatils. Pour favoriser la montée des vapeurs, la section comporte des plateaux ou de garnissages. [6]

- Section d'épuisement :

Elle se situe au-dessous de la zone de flash, elle a pour rôle de retirer les constituants lourds considérés comme un résidu. Elle comporte aussi des plateaux ou un de garnissage. [6]

3.5 Les modes de contact des phases :

Le contact entre les phases du mélange sert à améliorer la séparation des constituants en augmentant en jouant sur les phénomènes de transfert de matière. Ce contact réalisé à l'intérieur de la colonne est scindé en deux modes

- Un contact à co-courant : les deux phases sont introduites en tête de colonne et descendent ensemble.
- Un contact à contre-courant : le gaz à traiter entre par le bas de la colonne, et sort en tête de colonne.

Industriellement, la colonne de fractionnement de brut fonctionne à contre-courant, car ce mode permet d'atteindre un échange maximal de masse ou de chaleur entre les deux flux, en créant un gradient de concentration ou de température le long de système de séparation, ce qui favorise la séparation.

3.6 Principe de fonctionnement d'une colonne de distillation :

A l'intérieur de fractionneur atmosphérique qui comporte soit un garnissage (un lit) soit des plateaux (de 30 à 50 plateaux), le mélange est vaporisé partiellement, grâce à l'apport

énergétique du chauffage, ce qui conduit à la création de deux phases une phase gazeuse montante et une phase liquide descendante, ce qui permet d'avoir un mouvement contre-courant de L-V. Ce contact intime réalise un échange de matière, le moins volatil passe en phase liquide et extrait du fond, le plus volatil s'accumule dans la phase vapeur puis soutiré au sommet. Pour assurer une bonne séparation du mélange on doit avoir un gradient de température entre la tête et le fond de la colonne c'est le cas où on utilise un ballon de reflux froid et un four rebouilleur.

3.7 Interne de colonne :

Les colonnes de rectification sont devisées en deux catégories principales selon le dispositif inséré à l'intérieur :

3.7.1 Colonne a garnissage :

3.7.1.1 Définition :

C'est une unité qui maintient un contact entre les deux phases gaz et liquide en faisant couler cette dernière sur un empilage de corps solides. La phase gazeuse suit un chemin ascendant en traversant les interstices. Le bon fonctionnement d'une colonne à garnissage est conditionné par la surface et le temps de contact entre les deux phases. [6]

3.7.1.2 Fonctionnement :

Il est probable que la colonne à garnissage soit le contacteur gaz-liquide le plus simple et le plus classique. Il s'agit généralement d'une colonne équipée d'un plateau de support et remplie de garnissages de différents types. Après avoir été distribué à l'aide d'un plateau situé au sommet de la colonne, le liquide ruisselle par gravité le long de ce garnissage. En règle générale, le gaz se déplace en contre-courant du liquide, bien que des réalisations à co-courant soient effectuées.

3.7.1.3 Divers types de colonnes garnies :

Au cours des années, les différents types de garnissage proposés par les fabricants ont connu une évolution considérable et il existe aujourd'hui une grande diversité. Trois grandes catégories sont identifiées.

- Les garnissages disposés en vrac :

Ce sont des pièces régulières en métal, céramique, verre, graphite ou matière plastique. Différents types de garnissage en vrac sont disponibles, tels que les anneaux Pall, les anneaux Rasching, les selles de Berl...

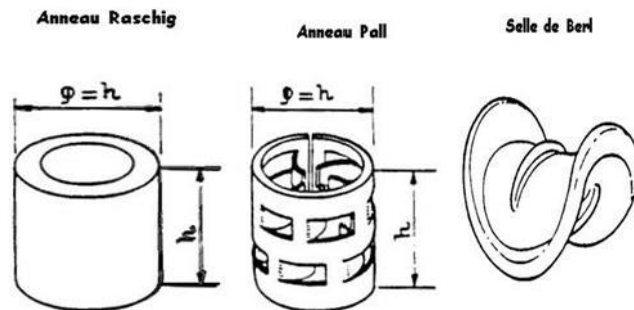


Figure 3-1: Garnissage dispose en vrac (Wikipédia Interne de colonne)

- Les garnissages ordonnés :

Ils sont des colonnes bien organisées avec un garnissage systématique, à l'instar des gros anneaux de Raschig et Pall. [9]



Figure 3-2 : Garnissage ordonnées

- Les grilles superposées

C'est un type de support supplémentaire utilisé généralement pour éviter le déplacement du lit en cas ou d'un problème d'exploitation majeur.



Figure 3-3 : Garnissage superposés (Interne de colonne)

3.7.1.4 Avantages et inconvénients de garnissage

Le tableau suivant résume les avantages et les inconvénients de garnissage [6] :

Figure 3-4 : Avantages et inconvénients de garnissage

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- La faible rétention du liquide- Faible perte de charge par rapport à celui de plateaux.- Elles sont moins chères et plus efficace (surface spécifique α^*).- Construction facile et le pouvoir de rectifier des liquides acides et corrosifs (la résistance à la corrosion)	<ul style="list-style-type: none">-La possibilité de bloquer l'écoulement du fluide par les corps solides.-Si le débit du liquide diminue, la surface de contact effective diminuera.

3.7.2 Colonne a plateaux :

3.7.2.1 Définition et fonctionnement :

Ils sont utilisés pour établir un contact intime entre la phase gazeuse et liquide, ce type est développé pour le procédé de distillation dans laquelle il semble délicat de séparer la vapeur. Plus la turbulence et la surface de contact deviennent plus grandes, plus le transfert est maximal.

[6]

3.7.2.2 Types de plateaux :

On trouve quatre types principaux :

- Les plateaux à cloches :

Ils supportent de grandes variations de débit tout en maintenant une efficacité élevée, ce qui les rend adaptés au traitement des liquides chargés d'un peu de solides.



Figure 3-5 : Plateaux à cloches (Interne de colonne)

- Les plateaux perforés :

Leur conception est très simple, moins chers que les autres types à cause de leur flexibilité réduite.

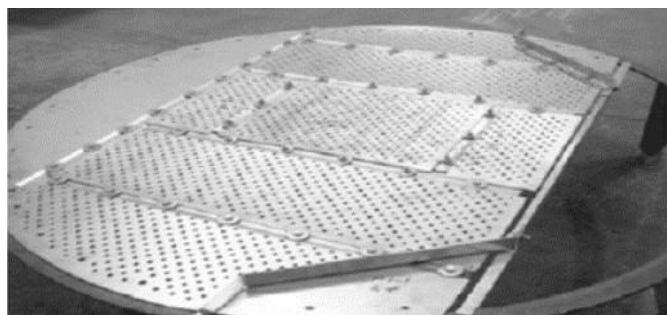


Figure 3-6: Plateaux perforés (Interne de colonne)

- Les plateaux à cascade :

Les plateaux à cascades permettent un contact beaucoup plus intime avec les fluides que les plateaux à calottes. Leur taux d'engorgement est considérablement plus élevé.



Figure 3-7 : Plateaux à cascades (Interne de colonne)



Figure 3-8 : Aperçu d'un plateau de la colonne préfractionnement Four RA2/K

- Les plateaux à grilles :

Ils sont utilisés de manière relativement récente. Ils conviennent parfaitement au traitement de débits de fluide élevé et leur construction est extrêmement simple car ils sont de simples barreaux.

3.7.2.3 Avantages et inconvénients des plateaux :

Le tableau au-dessous englobe les avantages et les inconvénients des plateaux : [6]

Figure 3-9 Avantages et inconvénients des plateaux

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">-La construction simple des plateaux a grilles-Traitement des grands débits de fluide-Une efficacité élevée	<ul style="list-style-type: none">-La nécessité de ne traiter que les liquides absolument propres-La construction couteuse-La nécessité de ne traiter que les liquides absolument propres.

3.8 Les types de distillation dans l'industrie du raffinage :

3.8.1 La distillation primaire TOPPING :

La distillation atmosphérique est l'unité de base du raffinage des bruts, elle a un rôle crucial dans la bonne marche d'une raffinerie. C'est une opération unitaire principale de l'industrie pétrolière qui consiste en un échange simultané de matière et de chaleur entre une phase vapeur ascendante et une phase liquide descendante. Elle est destinée à séparer une charge (souvent

liquide) complexe homogène en diverses coupes (soutirage est effectué latéralement à l'intermédiaire des strippeurs), tout en exploitant la différence de volatilité des constituants du mélange c'est à dire les températures d'ébullition. Une tour de fractionnement opère à une pression inférieure de 0,3 bars (car une augmentation de température provoque une diminution de la volatilité relative donc le débit volumique des vapeurs décroît, cela rend la séparation délicate avec une augmentation de la consommation énergétique). [10]

3.8.2 Distillation secondaire sous vide :

Elle a pour but d'extraire à partir du résidu atmosphérique des coupes de distillats qui alimentent plus tard les unités de conversion. Ce processus sous vide peut se dérouler dans une ou plusieurs colonnes. Elle opère à une pression supérieure à la pression atmosphérique, pour éviter toute sorte de craquage des molécules lourdes présentes dans la charge (qui entraîne une perte de charge et encrassement de l'équipement). Elle est destinée aux produits beaucoup moins volatils. La colonne sous vide a un diamètre beaucoup plus grand que celui de la colonne atmosphérique pour maintenir une vitesse de vapeur comparable à la pression réduite. La conception interne d'une colonne sous vide se diffère de la colonne atmosphérique, elle est équipée d'un garnissage. [10]

4 Les reflux intermédiaires circulaires :

L'installation des reflux intermédiaires circulaires consiste à soutirer une quantité de la charge entre les soutirages latéraux puis la refroidir en utilisant échangeurs de chaleur, dans l'objectif de maintenir une température constante entre les lits de soutirage, et de créer une barrière froide et empêcher les lourds à entraîner avec la vapeur montante. [11]

5 Le stripping :

Les coupes obtenues sont soumises à un stripping (revaporisation légère) (colonne de 04 à 10 plateaux), qui sert à éliminer les légers dissous entraînés, pour corriger les points de coupes (PI, PF). La réinjection de la fraction légère obtenue se fait au-dessus de plateau de soutirage. [11]

6 Le domaine du fonctionnement d'une colonne :

La connaissance de domaine de fonctionnement d'une colonne de distillation est essentielle afin d'assurer une séparation efficace et d'éviter le dysfonctionnement de système. Les limites de fonctionnement d'une colonne sont citées au-dessous : [12]

- Assèchement :

Dans une colonne de distillation, l'assèchement peut se manifester lorsque la température ou la pression n'est pas correctement contrôlée, entraînant une évaporation excessive du liquide et une diminution de la quantité de produit récupéré, donc la colonne se remplit de vapeur.

- Entraînement :

Cela survient lorsque les vapeurs entraînent des gouttelettes de liquide avec elles, ce qui peut avoir une augmentation de débit de vapeur, ce qui affecte l'efficacité de la séparation des composants.

- Engorgement ou noyage :

Il survient lorsque la colonne de distillation est trop chargée de matière à traiter et que le gaz ne peut pas circuler dans les plateaux de manière adéquate. Cela entraîne une réaction de retour d'une partie du liquide vers le plateau de haut. Il désigne la limite maximale de fonctionnement de la colonne. la colonne se remplit du liquide.

- Pleurage

Le pleurage est un phénomène caractérisé par l'écoulement du liquide vers le bas, d'un plateau à un autre par ses orifices. Il est souvent dû à la conception inadéquate de la colonne c'est-à-dire les trous sont trop grands ou au débit de vapeur inapproprié. Le pleurage peut entraîner des problèmes de qualité des produits, des pertes de rendement et des coûts d'exploitation plus élevés, ce qui en fait un problème important à résoudre dans les opérations de distillation.

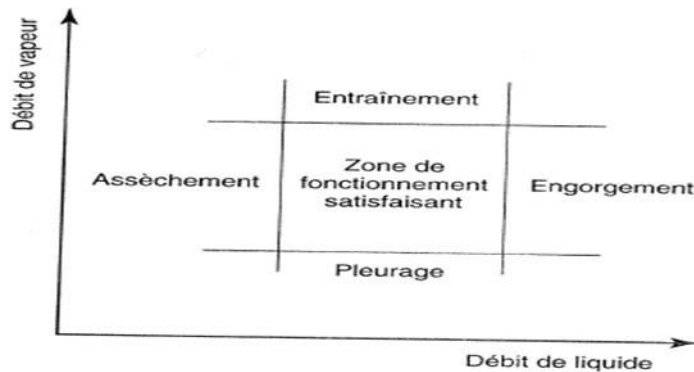


Figure 6-1 Domaine de fonctionnement d'une colonne (Le raffinage de pétrole Tome 4)

7 Le contrôle des colonnes de distillation

La régulation et l'instrumentation à un rôle majeur dans la bonne marche des opérations industrielles, pour assurer le bon déroulement d'une distillation on doit contrôler ces paramètres :

- La pression
- Les débits de soutirages
- La température du fond
- Le niveau de liquide dans le ballon de tête
- Le débit de charge.

8 Facteurs d'influence sur l'équilibre thermodynamique dans la distillation

L'équilibre thermodynamique à l'intérieur d'une colonne est en fonction de :

- Les effets de T et P
- La volatilité relative
- Les interactions moléculaires
- La conception de l'équipement de distillation

9 Qualité de fractionnement dépend de certains paramètres

Le fractionnement dépend de certains paramètres qui décrivent son efficacité :

- Etat de la colonne et la qualité des plateaux

- Le gradient de T et de P entre le sommet et le fond
- Nature de régime hydrodynamique
- Le stripping
- Le reflux circulaire intermédiaire

Conclusion :

Au cours de cette section, nous avons examiné les principes essentiels de la distillation. Nous avons observé comment cette méthode permet de dissocier les éléments d'un mélange en exploitant la notion de volatilité. La distillation utilise principalement de la chaleur pour vaporiser les éléments d'un mélange. Ce processus souligne l'importance de l'efficacité du transfert thermique afin d'assurer une séparation optimale. Afin de mieux appréhender les mécanismes de chauffage dans les environnements industriels, le prochain chapitre portera sur les principes du transfert thermique et l'utilisation des quatre tubulaires pour chauffer les mélanges d'hydrocarbures. Nous étudions la conception de ces fours afin de garantir un chauffage homogène et efficace, indispensable pour des opérations telles que la distillation.

***CHAPITRE IV : THEORIE DE
TRANSFERT DE CHALEUR DANS
L'INDUSTRIE DE RAFFINAGE***

Introduction :

Les différentes opérations de l'industrie pétrolière nécessitent un apport énergétique comme condition principale du fonctionnement. L'énergie fournie peut être un refroidissement ou un chauffage, sans ou avec changement de phases. Le transfert thermique est un module impératif pour la conception et la régulation d'une unité du raffinage, afin d'assurer sa bonne marche.

L'ajustement des niveaux de température convenables à chaque procédé est réalisé en intégrant deux types distincts d'équipements de transfert de chaleur :

- Les fours, les producteurs de chaleur par combustion
- Les échangeurs, récupérateur de l'énergie thermique des flux de raffinerie.

La première partie de ce chapitre est conçue pour l'étude de phénomène de transfert thermique.

La deuxième partie traite un équipement fondamental d'une raffinerie qui est le producteur de chaleur le four industriel, en mettant l'accent sur les fours tubulaires.

La troisième partie est consacrée pour l'exploration es préchauffeurs d'air de combustion.

1 Introduction au transfert de chaleur :

1.1 Définition :

C'est un concept fondamental en ingénierie qui signifie la propagation de l'énergie thermique de manière microscopique désordonnée (sans structure). Le déplacement de cette énergie s'effectue d'une zone de température élevée vers une zone de température plus basse.

1.2 Les différents modes de transfert de chaleur :

La chaleur peut être transférée suivant trois modes :

1.2.1 Conduction thermique :

C'est le transfert de chaleur par contact, elle se produit lorsque la chaleur se propage de molécule en molécule sans déplacement de matière. Il s'effectue suivant une collision des particules plus chaudes et plus froides sous l'effet de la différence de température, sans déplacement de la matière. Elle est expliquée par la loi de Fourier. [13]

Loi de Fourier :

$$q = -k \cdot \frac{dT}{dx}$$

σ : Coefficient de conduction thermique (W/m.K).

S : la section d'échange en (m²).

T : température en (K).

L : l'épaisseur du matériau (m).

1.2.2 Convection thermique :

Ce mode est un transfert de chaleur par le mouvement des fluides. On peut expliquer ce mouvement du fluide par des variations de densité liées aux variations de température. la différences de température, les propriétés du fluide et la géométrie de l'équipement affectent la qualité de convection. Le flux de chaleur est exprimé par la loi de Newton (W/m²). [13]

Loi de Newton :

$$Q = h \cdot S \cdot \Delta T$$

h : coefficient d'échange thermique (W/m².K).

S : surfaces d'échange m² .

ΔT : différences de température entre la surface et le fluide $T_S - T_F$.

1.2.3 Rayonnement thermique

C'est transfert de chaleur sous forme d'ondes électromagnétiques. À la différence de la conduction et de la convection, la propagation du rayonnement ne nécessite pas un milieu matériel. Tout corps chauffé émet cet élément et se propage à la vitesse de la lumière.

Il peut être influencé par la nature et l'état de la surface du matériau, sa température et l'environnement où se trouve. La bonne compréhension du rayonnement permet d'améliorer la qualité de transfert de chaleur. [13]

Loi de Stefan-Boltzmann :

$$Q = \epsilon \cdot S \cdot \sigma \cdot T^4$$

ϵ : L'émissivité sans dimensions.

σ : La constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma \approx 5.670374419 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$).

T : température absolue du corps (K).

A : la surface du corps.

2 Exploration des fours d'une raffinerie :

2.1 Définition d'un four industriel :

Un four est un équipement statique de surface, conçu pour créer de grande quantité de chaleur, dans un environnement contrôlé. Il se trouve en amont des unités de traitement, il est caractérisé par la quantité de chaleur produite. [13]

2.2 Les fonctions d'un four industriel :

Un four industriel peut jouer le rôle :

- Un préchauffeur d'un fluide sans changement d'état physique : la charge ne reçoit que la chaleur sensible (les fours de l'unité d'hydrotraitement.) ;
- Un évaporateur partiel : la charge reçoit la chaleur latente pour atteindre la vaporisation voulue (les fours de rebouillage) ;
- Un réchauffeur avec réaction chimique : le four tubulaire est assimilé à un réacteur chimique (comme les fours des unités de craquage thermique).

2.3 Classification des fours :

On peut classer les fours selon la technologie exploitée dans le chauffage, c'est à dire le mode de chauffage utilisé :

- Un four à chauffage indirecte :

L'énergie thermique est transférée à l'intermédiaire d'un fluide caloporteur spécifique, généralement d'huile chaude ou de la vapeur d'eau. Le fluide à réchauffer circule dans un faisceau tubulaire baignant dans le fluide chaud.

- Un four à chauffage directe :

Les raffineries utilisent souvent les fours à chauffage directe, appelé aussi les fours à combustion. Le chauffage des fluides s'effectue par les fumées produites de la combustion d'un combustible liquide, solide ou gazeux.

2.4 Les spécifications d'un four industriel :

Un four industriel peut être caractérisé par :

- La charge thermique : c'est la quantité de chaleur produite en KW.

- La puissance de traitement : c'est le débit de la charge à chauffer.
- Le rendement : c'est l'efficacité de chauffage.

Cette partie de chapitre est conçue seulement à l'étude théorique des fours tubulaires.

3 Etude théorique d'un four tubulaire :

3.1 Définition d'un four tubulaire :

C'est un type spécifique des fours industriels qui sert à chauffer un flux d'hydrocarbures brut avant son introduction dans l'unité de séparation. L'efficacité d'un four tubulaire est produite par la combustion d'une quantité suffisante de combustible. Cette quantité de chaleur est transmise directement au fluide à réchauffer qui circule à travers un faisceau de tubes.

3.2 Echange thermique à l'intérieur d'un four tubulaire :

Lorsqu'on parle de transfert de chaleur dans un four, il faut noter l'existence des trois mécanismes d'échange thermique (rayonnement, convection et la conduction). Les produits de la combustion les fumées, à travers leurs parcours de la chambre de combustion vers la cheminée, ils cèdent leur énergie thermique au tubes de la zone de radiation par phénomène de rayonnement. Entre les surfaces solides des tubes s'effectue une conduction, entre les fumées et les tubes de la zone supérieure. Entre la surface solide et le fluide à l'intérieur de tube s'effectue une convection.

3.3 Constitution d'un four tubulaire :

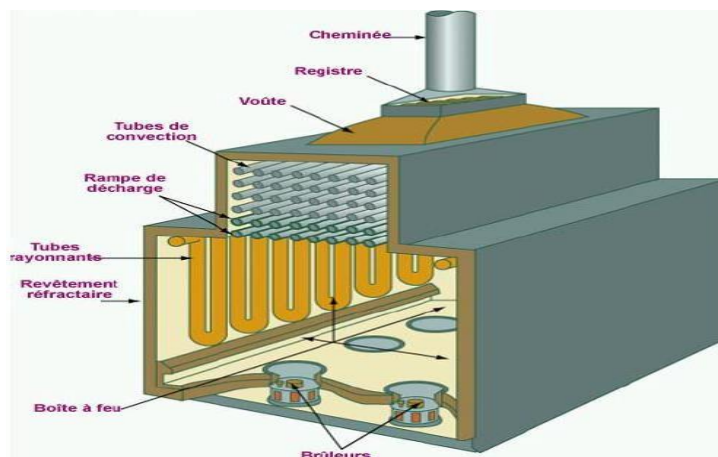


Figure 3-1: Constitution d'un four tubulaire (Réchauffeurs et Fours –Total Energies)

3.3.1 Le casing :

Le four tubulaire est formé principalement d'une enveloppe métallique, appelée casing, elle doit être étanche et renforcée avec des matériaux de construction spéciaux pour augmenter la

résistance de l'équipement contre l'action de vent et l'admission d'air parasite a l'intérieur du four. Elle est généralement fabriquée par des tôles boulonnées ou soudées. [14]

L'équipement comporte une chambre de combustion, ou le combustible (généralement de fuel gaz) est brulé pour générer de la chaleur nécessaire au procédé. Le dimensionnement de cette partie dépend de la capacité thermique nécessaire et la nature de fluide à chauffer. [13]

3.3.2 L'isolation et la réfraction thermique :

La paroi métallique est revêtue d'un garnissage isolant et réfractaire. L'isolation thermique sert à minimiser les pertes calorifiques, limiter l'échauffement du casing et réfléchir la chaleur aux tubes.

Dans la majorité des cas l'isolation se fait en deux couches une première avec des matériaux réfractaires tels que le béton, les briques réfractaires et les fibres céramiques. En deuxième couche on insère une épaisseur de laine de verre ou de fibres minérales entre le casing et la première couche. [15]



Figure 3-2: La couche réfractaire Laine de verre Four RA2/K



Figure 3-3 : La couche de briques réfractaires Four RA2/K

3.3.3 Les faisceaux tubulaires :



Figure 3-4 : Un faisceau tubulaire dans la zone de radiation Four RA2/K

Un four tubulaire est constitué d'un ensemble de tubes à travers lequel passe le fluide. Ces tubes sont à base d'acier carbone résistant et d'alliages. La disposition des tubes a pour objectif de maximiser l'exposition à la chaleur produite. Les tubes sont droits sans soudures, leurs extrémités des tubes doivent être reliées pour assurer l'écoulement continu et le passage constant de fluide à l'intérieur de four. Le moyen le plus courant pour relier l'un à l'autre est l'utilisation du collecteur cylindrique qui est enfermé dans les boîtes de retour pour éliminer les pertes de chaleur. Ces collecteurs sont normalement utilisés dans les tubes de la zone de radiation. Les fuites dans les tubes ou dans les collecteurs représentent un risque d'incendie grave, c'est pour cette raison que chaque boîte de retour est souvent connectée à un système de vapeur pour étouffer les incendies. [15] [16]

Les tubes de la zone de convection sont raccordés par des coudes 180°, car le niveau de chaleur de cette section est beaucoup plus faible que la partie inférieure du four. [16]



Figure 3-5 : Coude à 180° (Réchauffeurs et Fours –Total Energies)

La surface extérieure des tubes est garnie d'ailettes ou d'aiguilles afin d'augmenter le transfert thermique.

En parlant des supports des tubes, les tubes doivent être supportés pour éviter toute déformation sous l'effet du fluage dû à la quantité de chaleur élevée. Les supports sont soit des plaques tubulaires ou des dispositifs adéquats à chaque type de tube.



Figure 3-6 : Aperçu des supports de tubes dans la zone de radiation Four RA2/K

3.3.4 Les bruleurs :

Ces dispositifs servent à fournir une flamme stable, uniforme et suffisamment chaude pour un tel procédé. Leur rôle principal est homogénéiser le mélange air +combustible, effectuer une combustion complète, et de réduire les émissions polluantes. Généralement ils sont disposés sur la sole de four.



Figure 3-7 : Bruleurs de four du module 4 Hassi-Rmel

Le bruleur pilote est un mini bruleur qui nécessite un débit plus faible, il a pour rôle de maintenir le four chaud sans risque de cokage ou d'accumulation dans les tubes en cas de déclenchement de l'installation.

La nouvelle technologie des bruleurs consiste à installer des bruleurs à double étages (bruleurs bas NO_x) pour minimiser les émissions de NO_x . Ils proviennent de l'oxydation de l'azote moléculaire présent soit dans le combustible, soit dans l'air de combustion.



Figure 3-8 : Bruleur a double étages Four RA2/K

3.3.5 La voute et le registre :

La voute est la partie supérieure du four, elle aide à contenir la chaleur à l'intérieur du four. Elle peut avoir une forme spécifique pour diriger les gaz chauds pour un bon transfert de chaleur. [14]

Le registre des fumées est un dispositif de régulation de flux des gaz de combustion, il est situé à l'entrée de la cheminée. Son rôle principal est de réguler le tirage dans le four, puis contrôler la quantité d'air comburant aoute à la combustion. Ce dispositif optimise les conditions de combustion.



Figure 3-9 : Le registre Four RA2/K

3.3.6 Souffleurs de suie :

Ce sont des outils de nettoyage au niveau de la zone de convection, là où le mouvement des gaz chauds est plus lent en raison des ailettes la suie tend à s'accumuler sur la surface extérieure de tube. Leur rôle principal est de garder le circuit des fumées propre pour atteindre un transfert de chaleur maximal vers le a chauffer. La formation des cendres et de suie est généralement le résultat de bruler un combustible liquide. [17]

Le soufflage s'effectue lorsque le rendement de la zone de convection est réduit ou lors d'entretien du four. il est réalisé suivant

L'utilisation d'un souffleur à (air / vapeur) qui est constitué d'un nombre de tubes perforés (buse de soufflage) rotatifs, fixe ou rétractables. la distribution de l'air ou la pulvérisation de la vapeur retirent la suie. [16]

L'utilisation des souffleurs acoustiques est un dispositif qui sert à maintenir la suie en suspension et éviter son dépôt, par l'émission de la vibration infrasonore ou acoustique.

3.4 Les compartiments d'un four tubulaire :

Il est subdivisé en trois compartiments :

3.4.1 Zone de radiation (foyer) :

C'est la section où le transfert de chaleur s'effectue principalement par rayonnement. C'est la zone où la quantité de chaleur est énorme. Elle est située typiquement en bas du four où les tubes sont en contact direct avec les flammes des brûleurs. Ces tubes sont appelés des tubes radiants car leur surface extérieure reçoit directement les rayons de la flamme et absorbe aussi la chaleur des gaz chauds. Les tubes radiants disposent d'une couche réfractaire pour protéger leurs structures contre les déformations. À la sortie de cette zone la température est de l'ordre de 700-1100 °C.



Figure 3-10 : Tubes verticaux de la zone de radiation Four RA2/K

Au-dessus des brûleurs, on trouve une zone ouverte appelée des boîtes de feu (la rampe de décharge) est la section des tubes intermédiaires qui relie la zone de radiation à la zone de convection. Les tubes de cette section sont nus car ils sont toujours exposés à la flamme.



Figure 3-11 : Rampe de décharge Four RA2/K



Figure 3-12 : Les tubes nus de la rampe de décharge Four RA2/K

3.4.2 Zone de convection :

La montée des fumées a vitesse élevée à travers l'ensemble des tubes, conduit à la récupération de la chaleur par phénomène de convection. Le faisceau convectif est disposé en quinconce d'une manière parallèle ou perpendiculaire à la direction des fumées. Les tubes sont équipés de quelques dispositifs tels que les ailettes pour assurer un bon contact des fumées et la surface de tube vu que les gaz sont des mauvais conducteurs de chaleur. L'ensemble des tubes est appelé "Crossover".

L'importance de cette section est d'augmenter le rendement du four par l'absorption et la récupération de chaleur.



Figure 3-13 : Tubes ailettes de la zone de convection RA2/K

3.4.3 La cheminée (stack) :

C'est un élément crucial de la configuration du four. Son rôle est l'évacuation des fumées produites de la combustion vers l'atmosphère et la création du tirage qui permet l'admission naturelle de l'air de combustion. Sa hauteur et son diamètre sont calculés afin de gérer le volume du gaz sortant et permettre une vitesse de dispersion optimale des fumées dans l'atmosphère. Elle est équipée des capteurs pour surveiller les émissions et les températures des gaz.

3.5 Le tirage d'un four tubulaire :

La combustion du combustible à l'intérieur du four produit des gaz chauds moins denses que l'air ambiant, qui s'élèvent vers le haut. L'effet de cheminée renforce cet effet, car l'accumulation de gaz chaud provoque une dépression, ce qui entraîne une aspiration accumulée de gaz chaud à travers le four. Les gaz chauds sont également déplacés vers le haut par la convection naturelle, tandis que l'air frais entre dans le four pour prendre leur place. Afin de simplifier cette procédure, des cheminées et des événements sont placés de manière stratégique afin d'évacuer de manière efficace les fumées sortantes. Le tirage est dû à la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du four. [16]

L'adaptation des paramètres tels que la hauteur de la cheminée et l'emploi de dispositifs de régulation tels que des volets ou des registres permet de maintenir des conditions de fonctionnement optimales à l'intérieur du four par tirage. En résumé, une bonne utilisation du tirage assure une combustion complète du combustible, un transfert de chaleur efficace et des conditions de fonctionnement constantes.

3.6 Conception d'un système de tirage :

1) Disposition et dimensionnement de la cheminée :

Dans le but d'assurer l'accumulation naturelle des fumées, une hauteur suffisante permet l'élévation naturelle des gaz chauds, un diamètre adéquat assure un débit d'air suffisant pour évacuer les gaz.

2) Dispositifs de régulation :

L'intégration du système de ce genre de système tel que les registres sert à contrôler le tirage et d'ajuster le débit d'air entrant au four.

3) Isolation thermique :

L'isolation autour de la cheminée sert à minimiser les pertes calorifiques, assurer l'efficacité de tirage et prévenir le risque de condensation des produits de la combustion ou de formation des dépôts des imbrulés.

4) L'utilisation des joints appropriés :

Ce qui permet d'assurer une connexion hermétique entre la cheminée et le reste du four, dans le but d'éviter l'admission d'air parasite.

3.7 Les facteurs influençant sur le tirage :

- La température des fumées et la pression à l'intérieur du four
- Les dimensions de la cheminée
- Le réglage de registre
- La vitesse et la direction du vent
- La conception du four

3.8 Types du tirage d'un four tubulaire :

3.8.1 Tirage naturel :

Ce genre de tirage est basé sur la différence de densité entre l'air chaud à l'intérieur du four et l'air froid entrant de l'extérieur. Le mouvement ascendant de l'air chaud entraîne une aspiration qui entraîne les fumées et les gaz de combustion à travers la cheminée.

3.8.2 Tirage force :

Ce type est appliqué lorsque le tirage naturel devient insuffisant, c'est pour cette raison qu'il est nécessaire d'installer une soufflerie ou un ventilateur. Ce type a l'avantage de pouvoir réguler l'alimentation d'air.

3.8.3 Tirage induit :

Ce type est effectué par l'installation d'un ventilateur entre la section de convection et la cheminée.

3.8.4 Tirage équilibré :

Qui s'effectue suivant l'installation de deux ventilateurs, le premier facilite l'admission de l'air de combustion, le deuxième facilite l'évacuation des fumées vers la cheminée.

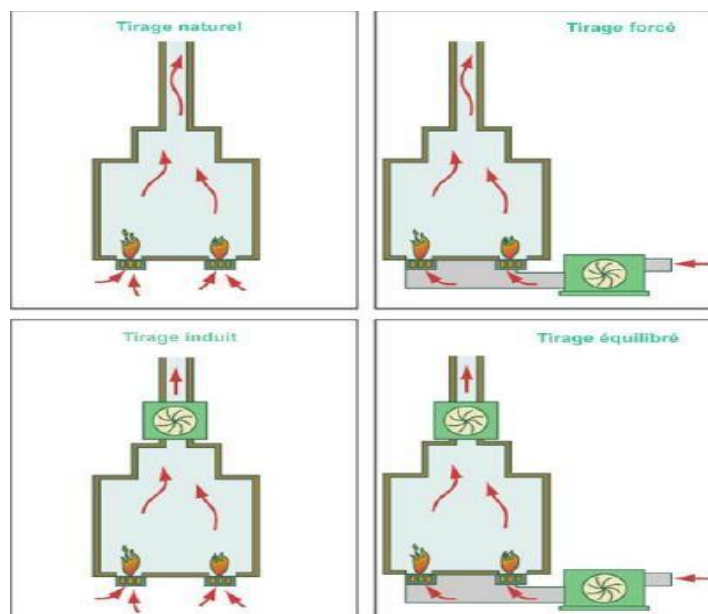


Figure 3-14: Différents systèmes de tirage (Réchauffeurs et Fours –Total Energies)

3.9 Les types des fours tubulaires :

Suivant la disposition des tubes dans la zone de radiation et convection on peut distinguer plusieurs types de fours tubulaires :

- Les cabines à tubes horizontaux :

Les tubes sont disposés d'une manière horizontale, dans une section de radiation parallépipède longueur horizontale. Ils servent à assurer un chauffage uniforme et un contrôle précis des températures. Ils sont adaptés dans les situations de l'insuffisance d'espace vertical.

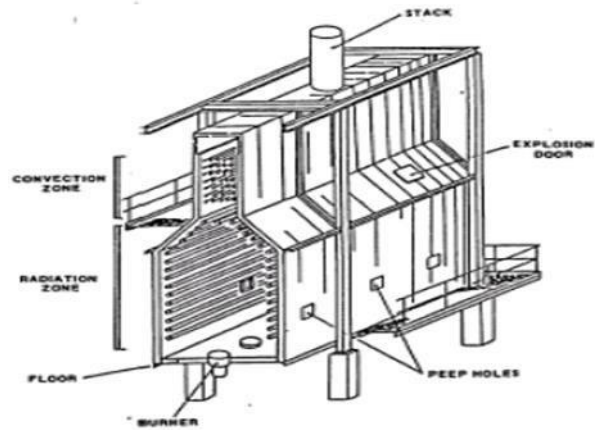


Figure 3-15 Four a tubes horizontaux (Réchauffeurs et Fours –Total Energies)

- Les boîtes à tubes verticaux :

Les tubes sont disposés verticalement dans une zone de radiation parallélépipède, ou les brûleurs sont installés au sol.

- Les fours cylindriques verticaux :

C'est une structure cylindrique et haute, La forme générale de la section de radiation est cylindriques a axe vertical .les brûleurs sont places sur le sol.

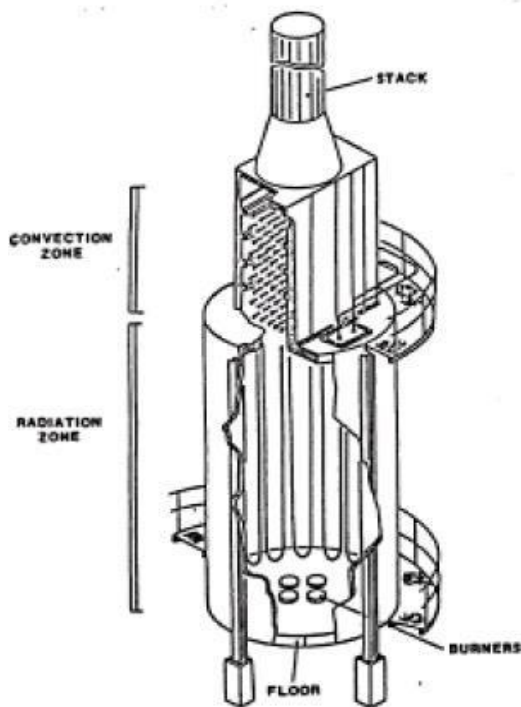


Figure 3-16 : Four cylindrique Oued-Noumer Gherdaia

- Les fours à chauffage par murs radiants :

Les tubes de la section de radiation sont repartit directement au-dessous de la zone de convection. Les brûleurs sont places latéralement.

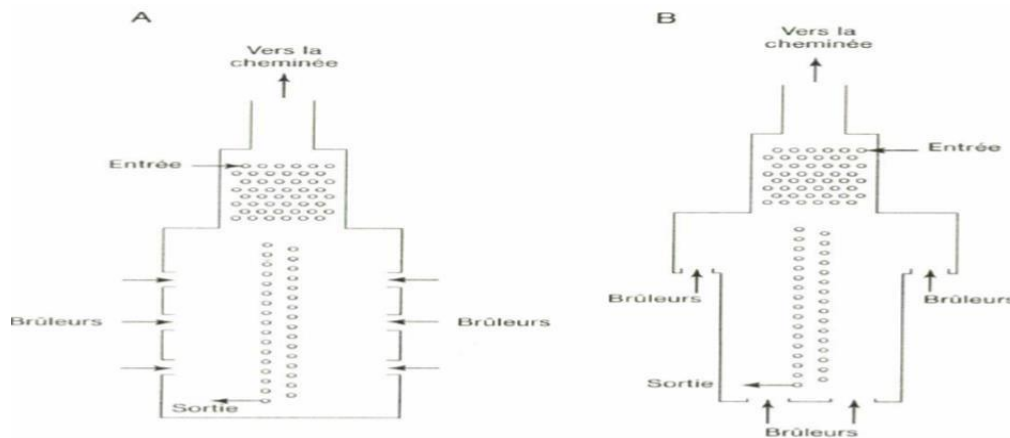


Figure 3-17 : Four à chauffage par murs radiants (Réchauffeurs et Fours –Total Energies)

- Les fours à double chauffe :

La zone de radiation du four est généralement de forme rectangulaire pour faciliter la disposition des tubes et des brûleurs. Les tubes sont places dans l'axe médian des brûleurs. [12]

3.10 Les facteurs déterminants dans le choix d'un four tubulaire :

- La nature du procédé a réalisé l'existence des réactions chimiques...
- Le type de fluide à traiter et es conditions de service température, débit et pression
- La capacité de traitement du four et sa température maximale
- Les contraintes d'espace et l'encombrement
- Le mode de chauffage, la disponibilité de combustible et la consommation énergétique
- La taille de four pour faciliter la construction et le déplacement
- La régulation, le contrôle de température et la répartition uniforme de la chaleur dans le four
- Le cout d'installation, fonctionnement, entretien et maintenance
- Cote environnemental les émissions des gaz
- La sécurité d'exploitation.

3.11 Les paramètres d'exploitation d'un four tubulaire :

Charge :

- Débit de fluide à traiter
- Vérification des températures, des pressions d'entrée et de sortie
- L'absence des fuites, pertes et odeur.

Fumées :

- La température, la couleur et la composition des fumées
- L'opacité des fumées

Combustible :

- La température, la pression et le débit de combustible
- La pression de vapeur de pulvérisation (combustible liquide)

Air :

- La pression et la température d'air
- L'humidité relative de l'air

Les solides

- La température de casing et la paroi réfractaire (thermocouples de peau)
- La dépression à l'intérieur de four
- Les thermocouples places aux tubes exposés à la chaleur (points chauds)
- La température des tubes de la zone de radiation (dilatation et fluage)
- Absence de vibrations et de bruit.

La vapeur d'étouffement :

- La pression de la vapeur d'étouffement

3.12 Incidents et problèmes d'un four tubulaire :

- Rupture des supports métalliques, provoque des fissures dans les tubes

- Défaillance des cellules et des détecteurs d'anomalie provoque la mauvaise réflexion et des perturbations de régulation
- Vibrations de l'enceinte métallique du four à cause de la pression élevée
- L'apparition des points chauds provoque par les dépôts de coke et de la suie dilatation et fissure du métal
- Rupture de la dépression à l'intérieur du four due à l'admission de l'air parasite
- Retour de la flamme dans les circuits d'alimentation
- L'encrassement interne et externe provoque par la qualité des fluides
- La corrosion du métal, les becs des brûleurs...
- Des tubes surchauffés est le résultat de manque de fluide à chauffer
- Une charge surchauffée due à un débit excessif de combustible ou une flamme malformée
- Les fuites dans les boîtes de retour conduisent à une cheminée enfumée et une augmentation de la température des fumées. [13]

3.13 Inspection d'un four tubulaire :

- ❖ Le rayonnement, l'aspect et la hauteur de la flamme
- ❖ le contrôle du support tubulaire et l'aspect externe des tubes
- ❖ l'état de faisceau tubulaires, thermocouples et le casing.



Figure 3-18 : Thermocouple de peau sur un tube de la zone de radiation Four RA2/K

- ❖ Les conduites d'eau pour l'étouffement des incendies
- ❖ La vérification des becs de brûleurs

- ❖ Les dépôts sur le sol
- ❖ L'état de registre et de la cheminée
- ❖ L'état des couches réfractaires

4 Etude énergétique du four tubulaire :

L'étude énergétique d'un four tubulaire est une liaison entre la consommation énergétique et l'efficacité de l'équipement. Elle permet de quantifier l'énergie nécessaire pour garder un taux de marche stable et constant. Elle sert aussi à ajuster les paramètres d'exploitation du four.

4.1 La combustion :

4.1.1 Définition :

La combustion est une réaction chimique complexe irréversible, qui s'effectue à la présence de trois éléments (triangle de feu) :

- Un comburant : généralement l'oxygène de l'air ;
- Un combustible : qui peut avoir plusieurs natures liquides, gazeuses ou solides ;
- Etincelle : c'est la source de la flamme (énergie d'activation)

Cette réaction est souvent accompagnée par une émission de rayonnement (dégagement de chaleur et de lumière).

4.1.2 La flamme :

4.1.2.1 Définition :

C'est le volume dans lequel les réactions de combustion se déroulent, c'est le résultat visible de la réaction exothermique entre un combustible et un comburant. La flamme se produit lorsque les conditions nécessaires à la combustion sont réunies.

4.1.2.2 Types de flamme :

- Flamme de prémélange (ou prémixte) :

Dans ce genre de flamme, le gaz combustible est souvent mélangé avec le comburant avant d'être introduit dans la chambre de combustion. L'homogénéité et le contrôle de ce mélange permettent une combustion rapide et stable. Les brûleurs à prémélange sont fréquemment employés dans les domaines où il est essentiel de surveiller de manière précise la température et les émissions.

- Flamme de diffusion (ou non prémixte) :

Le combustible et le comburant entrent progressivement en contact dans la chambre de combustion dans ce genre de flamme, sans avoir été mélangés auparavant. Lorsque le combustible se propage à travers le comburant, cela entraîne la combustion. Les flammes de diffusion peuvent être moins stables et moins performantes que les flammes de prémélange, mais elles sont fréquemment employées dans les situations où un mélange homogène n'est pas indispensable comme dans les brûleurs industriels à flamme nue.

4.1.3 Les conditions nécessaires à la combustion :

La condition principale de la combustion est la présence des deux réactifs en phase gazeuse mélangés intimement, avec les proportions convenables et en contact avec la flamme.

Les imbrulés et la combustion incomplète entraînent une diminution du rendement, des encrassements dans la zone de convection et la possibilité de ré-allumage des fumées.

La règle des **T** résume les conditions nécessaires pour obtenir une combustion de qualité sur un brûleur, où les conditions sont exprimées par un mot commençant par la lettre T :

- La **T**urbulence :

Elle représente l'obtention d'un mélange intime entre le combustible et l'air lors de la répartition de ces fluides dans le brûleur.

- La **T**empérature :

Il s'agit principalement de l'énergie requise pour l'inflammation du mélange, cette énergie initialement est fournie par un dispositif d'allumage.

- La **T**eneur en oxygène :

Elle indique que la combustion doit être effectuée avec un excès d'air pour qu'elle soit complète. L'excès d'air a pour désavantage de diminuer la performance du four. Plus la turbulence est élevée, moins l'excès d'air est nécessaire.

- Le **T**emps :

La longueur de la flamme est influencée par le temps nécessaire pour que la combustion se déroule. En raison de la rapidité de la combustion à l'échelle moléculaire, le temps est principalement régulé par le processus de mélange entre l'air et le combustible. En cas

d'utilisation d'air préchauffé ou d'un excès d'air plus important, la combustion est plus rapide et la flamme est plus courte sur un brûleur spécifique.

Pour un combustible liquide, il est nécessaire d'ajouter la Ténuité, qui représente la finesse de la pulvérisation.

4.1.4 Terminologie de la combustion :

4.1.4.1 La chaleur de combustion standard :

Ce sont les calories libérées lorsque des substances réagissent entièrement avec l'oxygène pour produire des produits de combustion. Elle est souvent utilisée pour désigner les carburants, comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel. Il est crucial d'avoir une compréhension de la chaleur de combustion d'un combustible afin de déterminer l'efficacité énergétique des systèmes de chauffage et de combustion, ainsi que de comprendre les caractéristiques énergétiques des réactions de combustion. Le pouvoir calorifique est la traduction industrielle de la chaleur de réaction

4.1.4.2 Pouvoir calorifique PC :

C'est la quantité d'énergie libérée lors de la combustion d'une quantité précise de carburant ou de combustible. Il représente la capacité d'un carburant à générer de la chaleur lors de sa combustion.

4.1.4.2.1 Le pouvoir calorifique supérieur PCS :

Ce terme correspond à la quantité totale de chaleur libérée lors de la combustion d'une unité de masse d'un combustible, et comprend la chaleur latente de vaporisation de l'eau générée par la combustion. Cela implique également la prise en compte de la chaleur libérée par la condensation de la vapeur d'eau.

4.1.4.2.2 Le pouvoir calorifique inférieur PCI :

Cela correspond à la chaleur totale émise lors de la combustion d'une unité de masse d'un combustible, sans prendre en compte la chaleur latente de vaporisation de l'eau générée par la combustion. On utilise fréquemment le PCI pour les combustibles solides tels que le charbon.

4.1.4.3 Pouvoir comburivore Va :

Est une grandeur qui détermine le rapport de la quantité de l'air consommé (Nm³ ou kg) par unité de combustible (Nm³ ou kg).

$$\frac{V_a}{V_c} = \frac{1}{\psi} \left[\frac{V_{O_2}}{V_c} + \frac{V_{CO_2}}{V_c} - \frac{V_{H_2O}}{V_c} \right]$$

ψ : C'est le pourcentage d'oxygène dans l'air.

V_{CO_2} : le volume de CO_2 produit.

V_{SO_2} : le volume de SO_2 produit.

V_{H_2O} : le volume d'eau produit.

V_{O_2} : le volume d'oxygène non réagit.

4.1.4.4 Pouvoir fumigène V_f :

C'est la quantité des fumées produites (Nm³ ou kg) par unité de combustible (Nm³ ou kg).

$$V_f(\text{Nm}^3) = V(\text{Nm}^3) + V(\text{Nm}^3) + V(\text{Nm}^3) + (\alpha - \psi)V$$

$$V_f(\text{kg}) = V(\text{kg}) + V(\text{kg}) + V(\text{kg})$$

V_{CO_2} : le volume de CO_2 produit.

V_{N_2} : le volume de N_2 produit.

V_a : le volume comburivore.

V_{SO_2} : le volume de SO_2 produit.

V_{H_2O} : le volume de H_2O produit.

V_{H_2} : le volume de H_2 produit.

4.1.5 La caractérisation de la combustion :

Une réaction de combustion est caractérisée par :

- Le pouvoir calorifique inférieur
- Le volume d'air nécessaire à la combustion
- Le volume des fumées produites

4.1.6 Les types de combustion :

4.1.6.1 La combustion stœchiométrique neutre :

C'est une réaction de combustion complète qui s'effectue avec la quantité nécessaire exacte d'oxygène. Le dégagement de chaleur est maximal. [18]

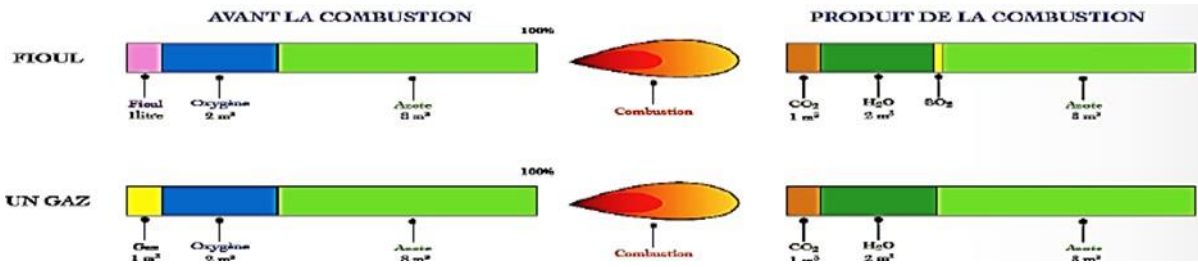


Figure 4-1: Représentation d'une combustion neutre de deux fossiles (fioul et gaz)

4.1.6.2 Combustion incomplète :

C'est le type de combustion qui se déroule dans des conditions d'insuffisance d'oxygène. Ce qui traduit la formation des imbrulés qui sont partiellement oxydés (CO, CH₄). [18]

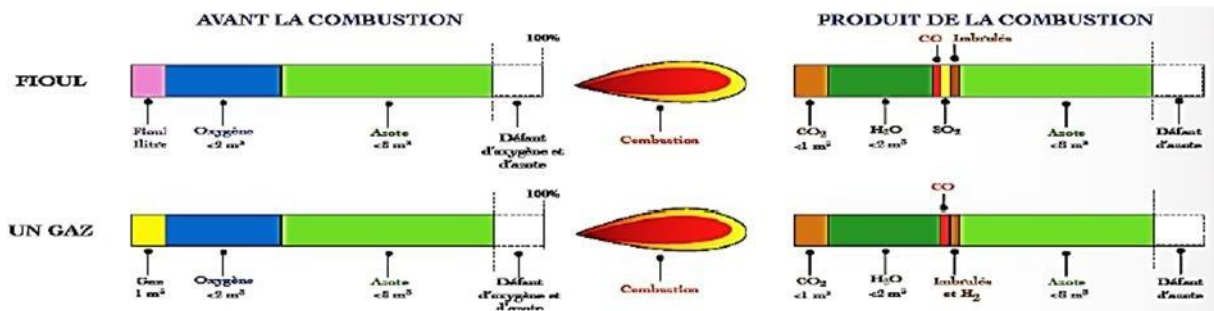


Figure 4-2: Représentation d'une combustion incomplète de deux fossiles (fioul et gaz)

4.1.6.3 Combustion complète oxydante :

Elle s'effectue dans les conditions d'excès d'oxygène, ce qui traduit une forte teneur d'oxygène et d'azote dans les produits de combustion. [18]

La combustion dans un four s'effectue avec excès d'oxygène pour assurer une bonne combustion avec un dégagement optimal de chaleur.

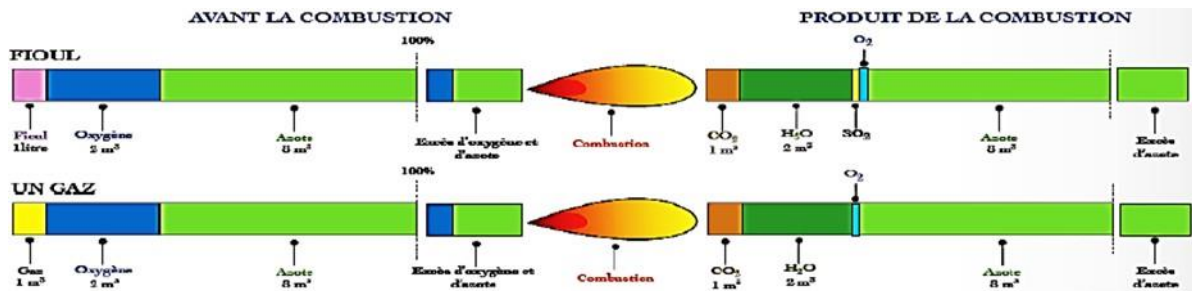


Figure 4-3 Représentation d'une combustion complète oxydante de deux fossiles (fioul et gaz)

4.1.7 Le contrôle de la combustion :

La combustion à l'intérieur d'un four tubulaire est contrôlée suivant ces paramètres :

- Le régime du four et la distribution de chaleur :

Cela s'effectue par la surveillance de débit de combustible envoyé vers les brûleurs. La température à l'intérieur du four est surveillée en continu en utilisant des capteurs qui sont installés dans la chambre de combustion.

- La qualité de combustion :

En analysant la composition des fumées sortantes de la cheminée et leur température de sortie. Le mélange intime combustible/comburent réalisé au niveau des brûleurs

- L'excès d'air /l'excès d'oxygène :

La quantité d'air supplémentaire doit être déterminée, en utilisant des débitmètres pour ne pas passer la marge du fonctionnement optimal.

- Le tirage et la pression dans le four :

La surveillance de tirage sert à connaître la dépression a l'intérieur du four et indiquer l'existence des fuites.

- Le contrôle des émissions :

Les émissions de gaz de combustion sont surveillées pour garantir leur conformité aux réglementations environnementales.

- La surveillance de l'aspect de la flamme :

La couleur, la hauteur et la stabilité de la flamme peuvent renseigner sur la distribution de l'air dans les brûleurs, pression d'air et de combustible et la qualité de tirage.

Tableau 4 : Graphique de qualité de flamme pour un brûleur à gaz (Calcul de la combustion IAP)

Brûleurs à gaz	
Flamme bleue compacte	Flamme appropriée pour un brûleur à gaz.
Flamme longue	Trop d'air secondaire et/ou pas suffisamment d'air primaire.
Flamme courte	Trop d'air primaire et/ou pas suffisamment d'air secondaire.
Retour de flamme dans le brûleur	Pression de gaz basse ou gaz de carneau plus léger (tel que de l'hydrogène) dans le combustible.
La flamme s'envole du brûleur	Pression de gaz élevée.

4.2 Le facteur d'excès d'air :

4.2.1 Les marges de fonctionnement :

Une bonne gestion de la quantité d'air est essentielle pour garantir une combustion efficace et minimiser les émissions polluantes.

4.2.2 L'intérêt de la maîtrise de l'excès d'air :

C'est un facteur clé dans l'étude énergétique du four pour les raisons suivantes :

- Assurer une combustion complète :

L'excès d'air garantit que le combustible est complètement brûlé, en favorisant un pouvoir calorifique maximal. Cela réduit la formation des produits de combustion incomplets (CO).

- Réduire les émissions nocives :

Il aide à minimiser les oxydes d'azote qui se forme à haute température, l'excès d'air diminue la température de la flamme donc moins de NO_x formées.

- Eviter la formation de suie et de dépôts :

Le manque d'oxygène entraîne la formation de suie et d'autres résidus imbrulés qui peuvent s'accumuler et réduire l'efficacité de transfert de chaleur.

- Contrôle de la température :

L'excès d'air empêche les températures à l'intérieur du four d'être trop élevées. Un excès d'air supérieur peut provoquer des températures inférieures, tandis qu'un excès d'air inférieur peut provoquer des températures supérieures.

- La stabilité de la flamme :

La présence d'un excès d'air peut également favoriser la stabilité de la flamme à l'intérieur du four, en offrant une quantité adéquate d'oxygène pour assurer la combustion continue du combustible. Il est primordial de garantir des conditions de fonctionnement sécurisées et fiables du four.

- L'efficacité thermique :

L'air excessif peut également entraîner une diminution de l'efficacité énergétique, car une partie de l'énergie thermique générée par la combustion est utilisée pour chauffer l'excès d'air.

- Optimiser l'évacuation des gaz brûlés :

Un excès d'air permet d'améliorer le balayage des fumées hors du four.

4.3 Le rendement thermique d'un four :

Le rendement d'un quatre tubulaire est défini comme le rapport entre l'énergie utile produite par le four sous forme de chaleur et l'énergie totale consommée (combustible).

$$\eta = 100 \% \cdot (Q_{re\grave{c}ue} / Q_{cedee})$$

- **La chaleur reçue :**

La chaleur reçue est divisée sur deux sections différentes :

- section radiation $Q_{rad} = 70 \% Q_{re\grave{c}ue}$
- section convection $Q_{con} = 30 \% Q_{re\grave{c}ue}$

$$\text{La chaleur totale} = Q_{rad} + Q_{con}$$

$$Q_{re\grave{c}ue} = \dot{m}_{charge} \cdot C_{p\ moy} \cdot \Delta T$$

$Q_{re\grave{c}ue}$: la chaleur reçue (kcal/h).

\dot{m}_{charge} : le débit volumique de la charge (Nm³/h).

$C_{p\ moy}$: la chaleur spécifique moyenne de la charge (kcal/kmol.°c).

ΔT : la variation de température (°c).

- **Le bilan thermique :**

La chaleur cédée représente :

$$Q_{produite} = Q_{cedee} = Q_{re\grave{c}ue} + Q_{pertes} + Q_{fumees}$$

- La chaleur totale perdue est due :
 - a. Les ouvertures des regards.
 - b. L'énergie de réchauffage de la paroi.
 - c. Les pertes par la paroi.
 - d. Le flux de fumées.

- La chaleur des fumées est calculée suivant cette relation :

$$Q_f = \dot{m}_f \cdot C_{p \text{ moy}} \cdot T_f$$

$$\dot{m}_f = \dot{m}_{CO_2} + \dot{m}_{H_2O} + \dot{m}_{O_2} + \dot{m}_{N_2}$$

\dot{m}_f : le débit volumique total des fumées.

$C_{p \text{ moy}}$ la chaleur spécifique moyenne de la charge (kcal/kmol.°c).

T_f : la température de sortie des fumées (°c).

- Une approximation au pourcentage des pertes en fumées est égale a :

$$Q_f \% = T_f / 20$$

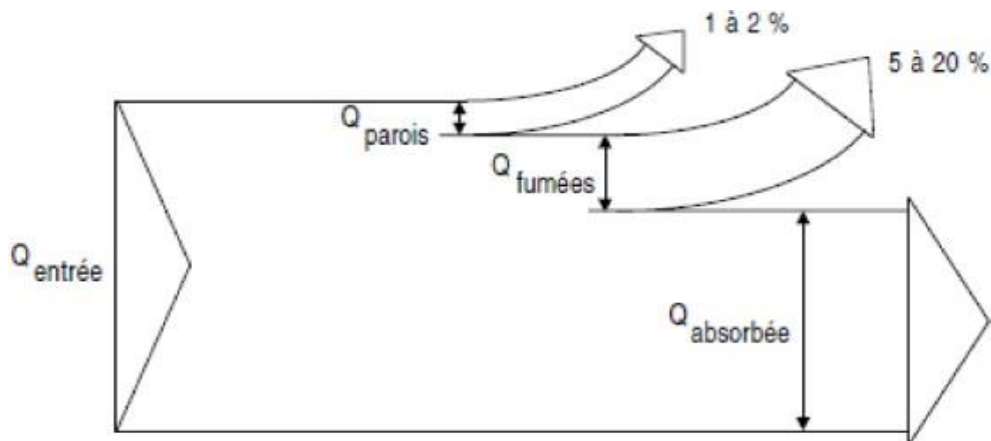


Figure 4-4 : Schéma représentatif de la distribution des flux de chaleur

4.3.1 Les facteurs déterminants du rendement d'un four tubulaire :

L'efficacité d'un four tubulaire repose sur divers éléments qui impactent sa capacité à convertir l'énergie d'entrée en chaleur bénéfique :

- La conception du four tubulaire :

La disposition des tubes, la forme géométrique du four, la capacité de traitement et la circulation d'air affectent la répartition de chaleur ainsi que son rendement.

- La nature de combustible et son débit :

Il peut être un liquide ou un gaz. Le gaz naturel est un combustible pratique largement utilisés dans les fours pétroliers. Les fours alimentés par le GN sont configurés principalement pour atteindre des températures élevées avec un contrôle précis de la combustion.

- L'excès d'air :

Ce facteur affecte directement l'efficacité de combustion et donc le rendement du four. Un excès d'air insuffisant entraîne une température de flamme plus basse, une combustion incomplète du combustible et des émissions des sous-produits indésirables. si l'excès d'air est excessif, il entraîne une perte de chaleur produite par le chauffage et l'évacuation d'air supplémentaire donc offrir plus d'énergie au système pour garder la température voulue.

- L'isolation thermique :

Dans le but de minimiser les pertes calorifiques, une isolation adéquate est nécessaire pour maintenir une température constante à l'intérieur du four.

- Les fumées :

Si le débit des fumées est élevé le temps de séjour devient plus court donc la réduction des pertes de chaleur. une vitesse élevée peut augmenter le transfert de chaleur par convection donc un chauffage plus rapide, si elle est excessive, elle entraîne des pertes.

La température des fumées influe aussi sur le rendement, si la température des fumées est élevée cela entraîne des pertes par rayonnement et des dommages aux matériaux du four

- Le tirage :

Un tirage convenable assure une distribution uniforme d'air dans le four, ce qui permet une répartition uniforme de chaleur (η optimal). La dépression facilite l'évacuation des gaz chauds hors de fours. Si le tirage crée devient insuffisant, les fumées s'accumulent et peuvent se stagner à l'intérieur du four (η diminue)

- Le régime hydrodynamique d'écoulement de fluide à chauffer :

Cela influe sur la manière de transfert de chaleur, un écoulement laminaire favorise une répartition régulière et uniforme de chaleur, tandis qu'un écoulement turbulent accélère le transfert mais augmente les pertes calorifiques.

- La température d'air de combustion :

En augmentant la température, le transfert de chaleur est amélioré et la combustion complète est favorisée, ce qui augmente l'efficacité du four. Toutefois, une élévation de la température peut provoquer des pertes de chaleur et des émissions indésirables.

- L'état des brûleurs :

L'état des brûleurs peut influencer de manière importante l'efficacité énergétique. Les trous obstrués ou les bus obstrués dans les brûleurs peuvent provoquer une répartition inégale de la chaleur à l'intérieur du four. Certains lieux peuvent être surchauffés et d'autres peuvent être sous-chauffés, ce qui risque de perturber l'équilibre de la température. Il est possible que les brûleurs mal entretenus ou mal réglés provoquent une inefficacité de combustion du combustible, ainsi que des pertes thermiques s'accumulent.

- Le phénomène d'encrassement :

L'encrassement crée une couche isolante qui restreint le transfert de chaleur et peut provoquer des variations de température à l'intérieur.

4.4 Précautions de sécurité de personnel à l'arrêt :

L'entretien, le nettoyage et la maintenance des fours industriels présentent un danger éventuel, voici quelque précaution à prendre en considération : [19]

- La sensibilisation et l'identification des dangers (analyse des risques)
- Le port des équipements de protection individuelle (EPI souliers lunettes casques...)
- l'isolation des lignes de produits, de combustible, de vapeur...
- la purge entière des faisceaux tubulaires
- le test d'atmosphère (T à l'intérieur, la présence des gaz toxiques...)
- la communication et la surveillance continue sur le personnel.

4.5 Les fours et l'environnement :

Le four est une source principale d'émission des fumées polluantes, voici quelques aspects de l'impact de ces rejets dans l'atmosphère

Emission des polluants : qui peuvent avoir des effets nocifs sur la santé humaine, on parle principalement :

- des imbrulés (CH_4 , CO) générés par une combustion avec un excès d'air trop faible,

- les oxydes de soufre SO_x un résultat de transformation de soufre de combustible en anhydride sulfureux et sulfurique, qui s'échappent par la cheminée,
- les oxydes d'azotes NO_x les seuls polluants qui se trouve en quantité significative dans les fumées. Ils sont associés à une série de problèmes environnementaux tels que l'augmentation de l'ozone troposphérique, l'acidification des systèmes aquatiques et la dégradation des forêts.

Emission des gaz à effet de serre GES : qui sont dus à la combustion des produits fossiles, ce qui émet principalement de CO_2 , cette émission participe au changement climatique, ce qui entraîne un réchauffement de la planète.

Impact sur l'écosystème : Les fumées des fours industriels peuvent causer des conséquences néfastes sur les écosystèmes terrestres et aquatiques. Par exemple, les émissions de SO_x et de NO_x peuvent provoquer des dépôts d'acides dans les sols et les eaux.

5 Description des fours de la raffinerie RA2/K :

Les trois fours 100-F-101, 100-F-102 et 100-F-103 de la raffinerie de condensat RA2/K ont la particularité d'être conçus avec un préchauffeur d'air commun et une cheminée commune.

Après avoir quitté la zone de convection de chaque quatre, les fumées sont mélangées, puis dirigées vers le préchauffeur d'air, puis évacuées par la cheminée vers l'atmosphère à l'aide de ventilateurs extracteurs (les deux doivent être en fonctionnement). Deux ventilateurs (un en service et l'autre en réserve) refoulent l'air de combustion dans le préchauffeur d'air, puis l'envoient aux brûleurs. Il est essentiel d'avoir toujours un ventilateur en marche car les trois fours sont spécialement conçus pour un tirage forcé.

L'intérieur des fours est surveillé par des instruments de mesure, de contrôle et de sécurité. Si les conditions de fonctionnement ne respectent pas les normes d'exploitation, les quatre peuvent être arrêtés par des systèmes de sécurité adaptés pour prévenir les risques d'incidents appelé Emergency Shut Down.

6 Système d'arrêt d'urgence Emergency Shut Down ESD :

6.1 Définition :

Le système d'arrêt d'urgence (SHUT DOWN EMERGENCY) joue un rôle crucial dans un quatre tubulaire. Le système ESD a été développé dans le but de mettre fin rapidement et en toute sécurité au fonctionnement de l'appareil en cas de détection d'un danger ou d'une anomalie

telle qu'un incendie, une fuite de gaz, une surpression ou une température jamais enregistrée. Il vise avant tout à préserver le personnel, les équipements et l'environnement en particulier au minimum les risques de dommages ou d'accidents.

L'activation de l'ESD permet de mettre fin aux processus en cours et d'éviter toute situation dangereuse.

6.2 Le mécanisme de fonctionnement d'ESD dans un four :

- ❖ Détection d'anomalie la surveillance continue des paramètres de four à l'aide d'un ensemble de capteurs.
- ❖ Déclenchement de l'arrêt après la détection d'anomalie, le système est activé immédiatement
- ❖ Coupure des fluides Les vannes de sécurité interrompent instantanément les flux de fluides.

7 La technologie des préchauffeurs d'air :

7.1 Valorisation énergétique des fumées

Le recyclage des fumées est une technologie de pointe qui revêt une grande importance à la fois pour diminuer les dépenses et pour préserver l'environnement. Les fumées générées par la combustion sont récupérées et recyclées de manière à maximiser l'utilisation de la chaleur et à réduire les émissions nocives dans l'environnement. [20]

Sur le plan financier, le recyclage des fumées permet d'optimiser l'efficacité énergétique des fours industriels. Par la suite, cette chaleur peut être réemployée pour chauffer d'autres produits, produire de la vapeur et produire de l'électricité.

Du point de vue environnemental, le recyclage des fumées contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre et autres polluants atmosphériques nocifs.

L'utilisation d'un réchauffeur d'air pour récupérer cette chaleur perdue est une solution intéressante pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les coûts de fonctionnement.

7.2 Définition d'un préchauffeur d'air :

Un préchauffeur d'air est un équipement conçu pour augmenter la température de l'air de combustion entrant au four, en utilisant une source de la chaleur externe telle les gaz chauds sortant de la cheminée du four tubulaire. [21]

7.3 Principe de fonctionnement :

Par définition, c'est un échangeur de chaleur qui sert à réutiliser l'énergie calorifique des fumées, pour chauffer l'air de combustion. Il est installé à la sortie de la cheminée, où il absorbe une partie de la chaleur résiduelle. En général, cette transmission de chaleur se produit à travers des surfaces d'échange thermique. On transfère ensuite la chaleur captée à un flux d'air frais qui se déplace à l'intérieur du réchauffeur. On peut donc réintroduire ce flux d'air chaud dans le four. Il permet d'améliorer d'une façon significative le rendement du four par la réduction de la consommation du fuel gaz.

L'ajustement des paramètres opératoires tels que le débit d'air et la conception de préchauffeur est indispensable pour maximiser l'efficacité de système.

7.4 Différents types des préchauffeurs d'air :

Cette classification découle principalement de la conception et des exigences particulières de l'application dans laquelle ils sont utilisés. On trouve deux genres différents :

- Préchauffeur d'air intégré :

La plupart du temps, il est inclus incorporés dans le système de combustion ou dans le four lui-même. C'est un échangeur de chaleur constitué de tubes en acier, installés dans la section de convection. Ces tubes de cote fumées peuvent être garnis d'ailettes pour augmenter la surface d'échange.

- Préchauffeur d'air séparé :

Ce type est indépendant du système de combustion principal. Ils sont installés directement où les fumées peuvent être capturées. Étant indépendants ils sont plus faciles à entretenir et à nettoyer. Généralement ils ont un système de contrôle et de régulation propre. [12]

Il existe deux types d'efférents des préchauffeurs d'air séparés

- 1) Préchauffeur d'air statique :

Il a une conception simple et immobile pour diriger l'air à travers la surface de transfert. Il a une efficacité élevée par rapport à son coût et son besoin réduit d'entretien. On trouve trois catégories : [12]

- a. A tubes de fonte
- b. A tubes d'acier

c. A plaque d'acier

2) préchauffeur d'air dynamique :

Il est constitué principalement d'un rotor équipée de tôles minces gaufrées (lamelles). La rotation du rotor est assurée par un moteur, les lamelles passent successivement dans le courant des fumées, le courant d'air de combustion s'échauffe. [22]

Quel que soit le type choisi, le préchauffeur d'air doit être muni d'un dispositif de bypass, pour permettre l'entretien de préchauffeur d'air en cas d'une panne sans être obligé d'arrêter toute l'installation.

7.5 Avantages et inconvénients d'installer un préchauffeur d'air :

7.5.1 Avantages :

- Amélioration de la qualité de combustion en favorisant une réaction complète
- Réduction des émissions polluantes en réduisant la consommation fossile.
- Amélioration de l'efficacité énergétique et l'augmentation de la capacité de traitement.

7.5.2 Inconvénients :

- Une température excessive de l'air de combustion favorise potentiellement les réactions chimiques indésirables telle que la formation des oxydes d'azote (au-delà 400°C).
- Investissement supplémentaire : L'installation d'un système de récupération des NO_x, et éviter le rejet de ces grandes quantités dans l'atmosphère.
- Une mauvaise maîtrise de la température de l'air à la sortie de préchauffeur entraîne des modifications de l'aspect de la flamme (la stabilité, la couleur, et la forme). [23]
- Le préchauffage de l'air de combustion accélère l'évacuation des fumées vers la cheminée donc maximise le transfert du flux thermique mais en diminuant le rendement car la température des fumées devient plus grandes. [24]

7.6 Description de préchauffeur d'air de la raffinerie de condensat :

Le préchauffeur d'air des fours de la raffinerie RA2/K est de type séparé statique, à tubes en fonte grise, ces tubes sont équipés des ailettes sur leurs surfaces extérieures. La circulation des deux fluides s'effectue d'une manière perpendiculaire, c'est à dire à courant croisé. Cette configuration sert à maximiser le transfert des calories des fumées chaudes vers l'air froid. Ce dispositif est composé d'un nombre de tubes assemblés en quatre modules, qui sont superposés horizontalement. L'air froid traverse la section d'échange (cote tube) à travers trois passes, de bas vers le haut, il est redirigé d'une passe à l'autre en utilisant des collecteurs coudés internes.

Ces tubes sont insérés dans plusieurs plaques empilées. Les fumées chaudes traversent verticalement à travers les canaux formés par les plaques. [25]



Figure 7-1 : Image réelle des fours et du préchauffeur d'air de l'unité 100

Conclusion :

Après une analyse approfondie de la théorie du transfert de chaleur et de l'exploration des fours tubulaires et des préchauffeurs d'air, nous nous dirigeons maintenant vers une analyse pratique du rendement thermique des fours de la raffinerie RA2/K. Dans le prochain chapitre, nous nous pencherons sur la vérification du rendement des quatre tubulaires. Dans cette situation, nous examinons également l'influence de l'emplacement d'un préchauffeur d'air, ce qui améliore l'efficacité énergétique globale du système.

***CHAPITRE V : ANALYSE DE
L'EFFICACITE THERMIQUE DES
FOURS DE LA RAFFINERIE RA2/K***

Introduction :

Le processus de chauffage/rebouillage au niveau de la raffinerie RA2/K, s'effectue à l'aide des fours tubulaires de différentes capacités thermiques. L'unité dispose trois fours : un four rebouilleur de la colonne de préfractionnement F101 (six passes) ; un four de charge de la colonne atmosphérique F102 (quatre passes) et un four rebouilleur de la colonne atmosphérique F103 (huit passes). Ces fours sont reliés à une seule cheminée qui sert à évacuer les trois flux des gaz chauds. Ces derniers sont dirigés vers un préchauffeur d'air qui permet de chauffer l'air de combustion entrant aux fours d'une température ambiante à 264°C, par la récupération de la chaleur des fumées. La température des fumées après leur passage dans l'échangeur baisse de 407°C à 167°C.

Problématique :

Le système de chauffage de la raffinerie de condensat à Skikda est composé principalement de trois fours tubulaires avec différentes capacités de traitement : un four rebouilleur de la colonne de préfractionnement, un four de charge de la colonne atmosphérique et un four rebouilleur de la colonne atmosphérique. La spécificité de ces fours réside dans leur conception qui utilise une seule cheminée. Ces fours sont aussi parmi les plus grands consommateurs d'énergie de la raffinerie, et leur rendement thermique influence directement les coûts opérationnels et l'empreinte environnementale de l'installation. La solution potentielle pour résoudre ces problèmes et optimiser l'efficacité d'échange est l'intégration d'un préchauffeur d'air, qui permet de récupérer la chaleur des gaz d'échappement pour préchauffer l'air de combustion entrant au four. Cette technologie vise à réduire la consommation de combustible et à augmenter l'efficacité des fours.

Toutefois, la mise en œuvre d'un préchauffeur d'air soulève plusieurs questions techniques et économiques qu'il est essentiel d'aborder pour s'assurer de la rentabilité de cette technologie. La problématique de ce mémoire se centre donc sur la manière d'effectuer un calcul vérificatif des rendements thermiques des fours de la raffinerie RA2/K en tenant compte de la mise en marche d'un préchauffeur d'air. Ce calcul doit non seulement évaluer les gains en efficacité thermique mais aussi intégrer une analyse des coûts associés à l'exploitation. Il s'agit de déterminer précisément l'impact du préchauffeur sur l'efficacité globale des fours, vérifier les économies d'énergie réalisées et étudier son influence sur le plan environnemental.

Etude énergétique :

1 Calcul de l'efficacité thermique des fours de la raffinerie RA2/K :

L'analyse des performances thermiques sert à quantifier la proportion d'énergie utile par rapport à l'énergie totale consommée. Cette évaluation renseigne sur l'état métallique des tubes, de l'isolation et de la qualité de combustion.

L'efficacité d'un four est calculée suivant cette formule donnée déjà dans le chapitre précédent :

$$\eta(\%) = \frac{\text{Puissance utile} - \text{Puissance perdue}}{\text{Puissance consommée}}$$

$$\eta(\%) = \frac{\text{Q}_{\text{utile}} - \text{Q}_{\text{perdu}}}{\text{Q}_{\text{consommé}}}$$

2 Paramètres opératoires et données :

On considère le taux de marche de l'unité est de **100 %**, les paramètres opératoires des trois fours sont reportés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5 : Tableau des paramètres opératoires des fours de la RA2/K

Paramètres	F101	F102	F103
Fluide de procédé	Condensat stabilisé	Charge de la colonne atmosphérique	Gasoil lourd atmosphérique
Débit de fluide (T/h)	413.04	307.90	1196.10
Température d'entrée de fluide (°c)	175.91	179	347
Température de sortie de fluide (°c)	211.73	195	358.14
Pression de sortie de fluide (barg)	3.5	1	0.99

Humidité relative (%)	80		
Température de sortie des fumées (°c)	429.94	410.3	365
Teneur en oxygène dans les fumées (%)	3.90	3.10	3.23
Débit de combustible (Nm³/h)	3125.25	3050	2056
Pression de combustible (barg)	1.32	1.32	0.83

3 La composition de gaz combustible :

Pour faciliter les calculs, on prend 100 Nm³/h de gaz combustible, l'analyse de composition est faite par chromatographie en phase gazeuse au niveau de laboratoire de la raffinerie RA2/K. La composition est insérée dans le tableau suivant :

Tableau 6: Composition de fuel gaz

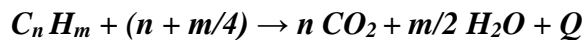
Constituant	Formule chimique	Pourcentage volumique (%)
Méthane	CH ₄	78.23
Ethane	C ₂ H ₆	6.45
Propane	C ₃ H ₈	1.98
Butène	C ₄ H ₈	0.19
i-butane	iC ₄ H ₁₀	1.14
n-butane	nC ₄ H ₁₀	7.07
i-pentane	iC ₅ H ₁₂	0.32
n-pentane	nC ₅ H ₁₂	0.47
Dioxyde de carbone	CO ₂	3.98
Diazote	N ₂	0.17
Total		100 %

4 Calcul des performances des fours de la raffinerie :

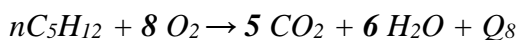
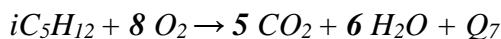
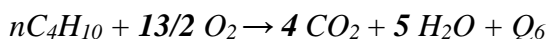
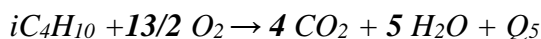
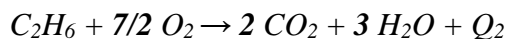
4.1 Le calcul de la combustion :

4.1.1 Les réactions de combustion :

Nous utiliserons la formule générale de la réaction de combustion :



On obtient les réactions suivantes :



4.1.2 Le calcul de pouvoir calorifique inférieur de gaz combustible :

En appliquant la loi de Hess :

$$\sum_{i=1}^n x_i \cdot \Delta H_{f,i}^{\circ}(\text{produits}) - \sum_{j=1}^m y_j \cdot \Delta H_{f,j}^{\circ}(\text{réactifs})$$

x_i et y_j : les coefficients stœchiométriques .

Et on sait que :

$$\Delta H_{f,O_2}^{\circ} = - \Delta H_{f,H_2O}^{\circ}(\text{vapeur})$$

Un exemple de calcul :

Pour la première réaction de combustion :



$$\Delta H_{f,CH_4}^{\circ}(\text{vapeur}) = [\Delta H_{f,CO_2}^{\circ}(\text{vapeur}) + 2 \Delta H_{f,H_2O}^{\circ}(\text{vapeur})] - [\Delta H_{f,CH_4}^{\circ}(\text{vapeur}) + 2 \Delta H_{f,O_2}^{\circ}(\text{vapeur})]$$

D'après les valeurs de l'enthalpie standard de formation des produits et des réactifs

Analyse de l'efficacité thermique des fours de la raffinerie RA2/K

On trouve :

Analyse de l'efficacité thermique des fours de la raffinerie RA2/K

$$\Delta H_{\text{comb}}(\text{mol}) = -\Delta H_{\text{f}}(\text{mol}) / \nu$$

$$\Delta H_{\text{comb}}(\text{Nm}^3) = \Delta H_{\text{comb}}(\text{mol}) / \nu$$

On opère souvent avec le Nm³, c'est pour ça on doit quantifier le volume de gaz dans les conditions normales (0°C et 1atm).

$$1 \text{ Nm}^3 = 1 \text{ m}^3 \text{ dans CNTP}$$

$$1 \text{ Nm}^3 = 1000 \text{ litres} / 22.414$$

$$1 \text{ Nm}^3 = 44.64 \text{ moles (nombre de moles)}$$

$$\Delta H_{\text{comb}}(\text{Nm}^3) = \Delta H_{\text{comb}}(\text{mol}) \cdot \left(\frac{1}{44.64} \right) \cdot \nu \text{ (mol)}$$

$$\Delta H_{\text{comb}}(\text{Nm}^3) = \Delta H_{\text{comb}}(\text{mol}) \cdot \nu \text{ KJ/Nm}^3$$

On sait que 1Kj contient 0.23906 kcal

Donc :

$$\Delta H_{\text{comb}}(\text{Nm}^3) = \Delta H_{\text{comb}}(\text{mol}) \cdot \nu \text{ Kcal/Nm}^3$$

Les résultats des pouvoirs calorifiques inférieurs de chaque constituant sont insérés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7 : Tableau récapitulatif de calcul de PCI

Constituant	PCI _i (Kj /mol)	PCI _i (Kcal /Nm ³)
CH₄	35813.39	8559.62
C₂H₆	63734.31	15232.88
C₃H₈	2043.8	21806.62
C₄H₈	106903.87	25550.60
iC₄H₁₀	2648.88	28261.50
nC₄H₁₀	2658.3	28362.01
iC₅H₁₂	3264.7	34831.83
nC₅H₁₂	3271.64	34905.87
CO₂	0	0
N₂	0	0

Estimation de pouvoir calorifique moyen :

$$P_{\text{moy}} = \sum Y_i \cdot P_{\text{ci}} / \sum Y_i$$

Y_i : le pourcentage volumique de constituant.

$$P_{\text{ci}} = \sum x_i \cdot P_{\text{ci}}$$

4.1.3 Le calcul de la quantité d'énergie fournie :

En appliquant la formule suivante :

$$Q_{\text{f}} = V_{\text{c}} \cdot P_{\text{moy}}$$

Le tableau au-dessous résume les résultats de calcul :

Tableau 8 : Les quantités de chaleur fournies

Fours	Débit de combustible (Nm ³ /h)	L'énergie fournie (Kcal /h)
F101	3219.25	34645310.96
F102	3050	32823856
F103	2056	22126507.52
Total	8321.25	89552626.80

4.1.4 Calcul de la composition des fumées :

Dans le but de faciliter les calculs, on prend au premier 100 Nm³/h de combustible.

4.1.4.1 La composition théorique des fumées :

On suppose que la combustion est neutre c'est à dire sans excès, ni défaut d'oxygène et sans imbrulés.

En tenant compte des coefficients stœchiométriques, on obtient le tableau suivant :

$$V_{\text{f}} = \sum x_i \cdot V_{\text{fi}}$$

Y_i : pourcentage volumique de constituant.

x_i : coefficient stœchiométrique de constituant.

Analyse de l'efficacité thermique des fours de la raffinerie RA2/K

Le tableau au-dessous englobe la composition théorique des fumées ainsi que la quantité d'oxygène nécessaire :

Tableau 9 : Composition théorique

Constituant	% volumique	V _{O2} (Nm ³ /h)	V _{CO2} (Nm ³ /h)	V _{H2O} (Nm ³ /h)
CH₄	78.23	156.46	78.23	156.46
C₂H₆	06.45	22.56	12.90	19.35
C₃H₈	01.98	09.90	05.94	07.92
C₄H₈	00.19	01.14	00.76	00.76
iC₄H₁₀	01.14	06.84	04.56	05.70
nC₄H₁₀	07.07	45.96	28.28	35.35
iC₅H₁₂	00.32	02.56	02.35	02.82
nC₅H₁₂	00.47	03.76	01.60	01.92
CO₂	00.17	/	/	/
N₂	03.98	/	/	/
Total	100.00	249.18	134.62	230.28

4.1.5 La composition de l'air de combustion :

La combustion à l'intérieur des fours se déroule avec excès d'air, la valeur d'excès d'air est de l'ordre de $\lambda = 15\%$.

Le volume théorique de l'air de combustion est égal à :

$$V_{O_2} = \frac{V_{O_2} + V_{CO_2}}{V_{O_2}} \cdot V_{O_2}$$

$$V_{O_2} = 249.18 \cdot 0.21 \cdot (1 + 0.15) = 63.15 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Le volume réel de l'air de combustion est égal à :

$$V_{O_2} = V_{O_2} + V_{N_2}$$

$$V_{O_2} = 63.15 \cdot 0.21 \cdot (1 + 0.15) = 63.15 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

($V_{O_2} = 63.15 \cdot 0.21 \cdot (1 + 0.15) = 63.15 \text{ Nm}^3/\text{h}$) On considère que l'air est composé de **21%** de d'oxygène et **79%** de d'azote, On déduit que la valeur d'excès d'oxygène est $\mu = 03.15\%$.

Alors :

$$Q_{\text{combustion}} = Q_{\text{brûlé}} + Q_{\text{évaporation}}$$

$$Q_{\text{combustion}} = Q_{\text{brûlé}} + Q_{\text{évaporation}} + Q_{\text{autres}}$$

Pour cela on trouve que :

$$Q_{\text{brûlé}} = 1078.0017 \text{ (calculs)} \text{ (calculs)}$$

$$Q_{\text{évaporation}} = 1078.0017 \text{ (calculs)} \text{ (calculs)}$$

La composition réelle des produits de la combustion est la suivante :

$$Q_{\text{air}} = Q_{\text{air}} (\text{calculs}) + Q_{\text{air}} (\text{calculs})$$

$$Q_{\text{air}} = Q_{\text{air}} (\text{calculs}) + Q_{\text{air}} (\text{calculs})$$

La quantité de l'eau contenue dans l'air de combustion :

L'air est pris à 25°C, sa pression partielle est égale à **18.80 mmHg** et une humidité relative de **80%**.

En appliquant la formule suivante :

$$\frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P - P_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{V_{\text{air}}}{V_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P - P_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot V_{\text{air}}$$

$P_{\text{H}_2\text{O}}$: pression partielle de l'eau.

P : pression atmosphérique.

V_{air} : volume d'air.

$V_{\text{H}_2\text{O}}$: volume de l'eau.

La valeur de $V_{\text{H}_2\text{O}}$ varie en fonction de V_{air} :

$$Q_{\text{évaporation}} = 1078.0017 \text{ (calculs)}$$

Analyse de l'efficacité thermique des fours de la raffinerie RA2/K

$$V_{O_2} = V_{O_2}^{th} + V_{O_2}^{exc} = 257.03 + 07.85 = 264.88 \text{ Nm}^3$$

Pour 100 Nm³ de combustible, on introduit **257.03 Nm³** d'oxygène et **théoriquement** la quantité nécessaire, pour avoir une combustion neutre et complète est de **249.18 Nm³**. Donc, on peut déduire que le volume excédentaire d'oxygène est égal à **07.85 Nm³**.

Le tableau au-dessous récapitule la composition théorique des fumées et la composition théorique et réelle de l'air de combustion :

Tableau 10 : La composition théorique des fumées et la composition théorique et réelle de l'air de combustion

Les volumes (Nm ³)	Composition théorique	Composition avec excès d'air
V _{air}	1186.57	1364.56
V _{O₂ nécessaire a la combustion}	249.18	257.03
V _{N₂ total}	937.43	1078.002
V _{CO₂}	134.62	134.62
V _{H₂O}	254.01	257.57
V _{O₂ présent dans les fumées}	00.00	07.85 (non réagit)

Pour 100 Nm³ la composition théorique des fumées est déduite à partir de la formule suivante :

$$V_{fumées} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2} \text{ (excédentaire)}$$

$$V_{O_2} \text{ (excédentaire)} = 264.88 - 249.18 = 15.70 \text{ Nm}^3 / 100 \text{ Nm}^3 \text{ de combustible}$$

4.1.6 Composition réelle des fumées pour :

Pour 100 Nm³ la composition réelle des fumées est déduite à partir de la formule suivante :

$$V_{fumées} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2} \text{ (excédentaire)}$$

Avant la collecte des fumées, chaque four est équipé d'un détecteur d'oxygène, qui sert à donner sa teneur dans les fumées.

Pour déterminer la composition réelle des fumées, on doit déterminer en premier lieu la quantité réelle d'oxygène dans les fumées.

Analyse de l'efficacité thermique des fours de la raffinerie RA2/K

Le tableau au-dessous représente la teneur d'oxygène, son volume dans les fumées et le volume des fumées pour 100 Nm³ :

Tableau 11 : La teneur d'oxygène, son volume dans les fumées et le volume des fumées pour 100 Nm³

Fours	F101	F102	F103
Teneur d'oxygène dans les fumées (%)	03.90	03.10	03.23
Débit d'oxygène dans les fumées (Nm ³)	57.64	45.82	47.74
Débit volumique des fumées (Nm ³)	1535.69	1523.87	1525.30
Débit volumique total (Nm ³)	4585.35		

On détermine aussi le débit volumique total des fumées pour toute la quantité de combustible, on résume ça dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Le débit volumique total des fumées

Fours	Débit de combustible (Nm ³ /h)	Débit volumique des fumées (Nm ³ /h)
F101	3219.25	49437.70
F102	3050	46478.04
F103	2056	31360.20
Total	8325.25	127275.72

4.1.7 Le calcul de débit de l'air nécessaire pour la quantité totale de combustible :

100 Nm³/h de combustible nécessite 1364.56 Nm³/h d'air ambiant

Donc 8325.25 Nm³/h nécessite **113603 Nm³/h d'air ambiant**.

4.1.8 La composition réelle des fumées :

Nous avons calculé précédemment le débit volumique des fumées, maintenant on va calculer le débit volumique de chaque constituant :

On prend l'exemple de l'émission de dioxyde de carbone :

Analyse de l'efficacité thermique des fours de la raffinerie RA2/K

On a que 100 Nm³/h de combustible génère 134.62 Nm³/h de CO₂

Donc le débit total de combustible (8325.25 Nm³/h) génère 11221.60 Nm³/h.

Pour trouver la fraction volumique :

$$100 \text{ Nm}^3/\text{h} \rightarrow 127275.72 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$X_{\text{CO}_2} \% \rightarrow 11221.60 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$X_{\text{CO}_2} \% = 08.81 \%$$

Le débit élémentaire d'émission de chaque constituant est inséré dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Le débit élémentaire d'émission de chaque constituant et le débit volumique réel des fumées

Emission	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂
Débit total d'émission de constituant (Nm³/h)	11221.60	21444.18	89743.67	4866.27
Fraction volumique (%)	08.85	16.85	70.51	03.83
Total (Nm³/h)	127275.72			

4.1.9 Le débit molaire des fumées :

Le débit molaire de la fumée est calculé suivant cette formule :

$$\frac{\text{Débit volumique de la fumée}}{\text{Volume molaire}} = \frac{\text{Débit volumique de la fumée}}{22.414}$$

Le volume molaire est égal à 22.414 litres.

Les résultats de calcul sont insérés dans le tableau suivant :

Tableau 14 : Les débits molaires des fumées

Fours	Débit molaire des fumées (kmol/h)
F101	2207.04

F102	2074.90
F103	1400.00
Total	5681.94

4.2 Le calcul de la quantité de chaleur perdue par fumées :

4.2.1 Le calcul des fractions volumiques de chaque constituant de fumées :

Exemple de calcul : on prend le four 101

On sait que 100 Nm³ génèrent 1535.69 Nm³ de fumées, ce volume de fumées comporte 134.62 de CO₂ donc :

$$100\% \rightarrow 1535.69 \text{ Nm}^3$$

$$x_{\text{CO}_2} \% \rightarrow 134.62 \text{ Nm}^3$$

La composition par fractions volumiques de fumée de chaque four est insérée dans le tableau au-dessous :

Tableau 15 : La composition par fractions volumiques de fumées

Constituant	Fractions volumiques (%)		
	F101	F102	F103
CO ₂	08.79	08.83	08.83
H ₂ O	16.77	16.90	16.90
N ₂	70.2	70.74	70.67
O ₂	03.90	03.10	03.23

4.2.2 Le calcul de la chaleur spécifique moyenne standard de la fumée :

Les trois flux de fumées portent de différentes températures, la chaleur spécifique de chaque constituant est insérée dans ce tableau au-dessous :

Tableau 16 : Les chaleurs spécifiques moyennes

Fours	F101	F102	F103
Température de fumées (°C)	429.24	410.30	365.00
C _p (CO ₂)	09.36	09.32	09.27
C _p (H ₂ O)	09.43	09.40	09.36

Analyse de l'efficacité thermique des fours de la raffinerie RA2/K

$C_p (N_2)$	06.98	06.45	06.98
$C_p (O_2)$	07.03	07.01	07.03

La chaleur spécifique moyenne de la fumée est calculée suivant cette formule :

$$C_{p_{moy}} = \sum C_{p_i} \cdot X_i$$

C_{p_i} : chaleur spécifique standard de constituant i.

X_i : la fraction volumique de constituant i.

4.2.3 La quantité de chaleur perdue par fumées

Pour déterminer la quantité de chaleur perdue par fumées, on applique cette formule :

$$Q_{fumees} = \dot{V}_{fumees} \cdot C_{p_{moy}} \cdot \Delta T$$

Le tableau au-dessous récapitule les résultats de calcul :

Tableau 17 : Calcul de la chaleur totale perdue par fumées

Fours	F101	F102	F103
Débit molaire des fumées (kmol/h)	2207.04	2074.90	1400.00
$C_{p_{moy}}$ (kcal/kmol. °C)	07.576	07.545	07.498
Température de fumées (°)	429.24	410.30	365.00
Q_{fumees} (kcal/h)	7177122.46	6423295.94	3831478
Q_{fumees} totale (kcal/h)	17431896.40		

4.2.4 Le taux des fumées par rapport à la chaleur fournie :

Les pertes en fumées sont estimées de 5 à 20 % de l'énergie fournie, pour cela on peut calculer le taux de fumées en utilisant la formule suivante :

$$\text{Taux de fumées (\%)} = \frac{Q_{fumees}}{Q_{fournie}} \cdot 100$$

Le tableau suivant englobe les résultats de calculs :

Tableau 18 : Le taux total des fumées

Fours	F101	F102	F103
Taux (%)	20.00	19.60	17.31
Taux total (%)	19.46		

5 Estimation de la chaleur perdue par paroi :

Les pertes à travers les parois sont dues à une mauvaise isolation thermique, on estime que la valeur de ces pertes est d'environ 2% de l'énergie fournie.

La formule de calcul est la suivante :

$$Q_{\text{paroi}} = \% \cdot Q_{\text{fournie}}$$

Les résultats pour les trois fours sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 19 : Estimation de la chaleur perdue par parois

Fours	F101	F102	F103
Q_{paroi} (kcal/h)	692906.22	656477.04	442530.15
Q_{totale perdue par fumées} (kcal/h)	1791913.41		

6 Calcul de la chaleur totale perdue :

Pour déterminer l'énergie thermique totale perdue, on applique cette formule :

$$Q_{\text{perdue}} = Q_{\text{paroi}} + Q_{\text{fumées}}$$

Le tableau au-dessous récapitule les résultats de calcul :

Tableau 20 : La quantité de chaleur totale perdue

Fours	F101	F102	F103
Q_{perdue} (kcal/h)	7870028.68	7079772.98	4274008.15

Analyse de l'efficacité thermique des fours de la raffinerie RA2/K

Q_{totale perdue} (kcal/h)	19223809.41
---	--------------------

7 La quantité de chaleur absorbée :

Suivant cette formule on détermine la quantité de chaleur absorbée :

$$Q_{\text{absorbée}} = Q_{\text{entrée}} - Q_{\text{perdue}}$$

Le tableau au-dessous résume les résultats de calcul :

Tableau 21 : La quantité totale de chaleur absorbée

Fours	F101	F102	F103
Q_{absorbée} (kcal/h)	26775282.28	25744079.02	17852499.37
Q_{totale absorbée} (kcal/h)	70371860.67		

8 Le calcul de l'efficacité thermique des fours :

L'efficacité thermique est calculée suivant cette formule :

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

On peut résumer les rendements calculés dans ce tableau :

Tableau 22 : L'efficacité globale de transfert

Fours	F101	F102	F103
Rendement (%)	77.28	78.43	80.68
Rendement global (%)	78.54		

9 Calcul de performance de préchauffeur d'air :

Avec la mise en marche de ce préchauffeur, la température de l'air de combustion augmente de 25°C à 264°C. La température des fumées baisse de 407°C à 167°C.

9.1 Le calcul de la quantité de chaleur entrante au préchauffeur d'air :

Elle est déterminée suivant cette formule :

$$Q_{\text{entrante}} = \dot{V}_{\text{fumées}} \cdot C_{p, \text{moyenne}} \cdot (T_{\text{entrée}} - T_{\text{sortie}})$$

En premier lieu on calcule le débit molaire des fumées :

$$\dot{V}_{\text{fumées}} = \frac{Q_{\text{combustion}}}{C_{p, \text{moyenne}}}$$

Donc le débit molaire des fumées sera égal à **5680.90 kcal/h**

Puis on calcule la chaleur spécifique moyenne à une température de **407° C** (à l'entrée de préchauffeur d'air) :

Nous avons déjà calculé la composition élémentaire des fumées (le tableau-14)

Maintenant on calcule la chaleur spécifique moyenne :

Tableau 23 : Le calcul de la chaleur spécifique moyenne des fumées

Constituant	Fraction volumique (%)	Chaleur spécifique standard à 407°C (kcal/kmol. °C)	Chaleur spécifique moyenne (kcal/kmol. °C)
CO ₂	08.83	09.30	07.573
H ₂ O	16.85	09.40	
N ₂	70.51	06.96	
O ₂	03.83	07.01	

Donc :

$$Q_{\text{entrante}} = 17512979.80 \text{ kcal/h}$$

9.2 Le calcul de la quantité de chaleur sortante du préchauffeur d'air :

$$Q_{\text{sortante}} = \sum_{i=1}^n \dot{V}_i \cdot \rho_i \cdot C_{p,i} \cdot (T_{\text{sortie}} - T_{\text{entrée}})$$

Tableau 24 : Le calcul de la chaleur spécifique moyenne a la sortie du préchauffeur d'air

Constituant	Chaleur spécifique standard à 167°C (kcal/kmol. °C)	Chaleur spécifique moyenne (kcal/kmol. °C)
CO ₂	06.91	07.209
H ₂ O	08.30	
N ₂	06.80	
O ₂	07.00	

Donc :

$$Q_{\text{sortante}} = \sum_{i=1}^n \dot{V}_i \cdot \rho_i \cdot C_{p,i} \cdot (T_{\text{sortie}} - T_{\text{entrée}})$$

9.3 Le calcul de la quantité de chaleur absorbée par l'air de combustion :

Suivant cette formule :

$$Q_{\text{absorbée}} = Q_{\text{sortante}} - Q_{\text{perdue}}$$

$$Q_{\text{absorbée}} = 10805307.14 \text{ kcal/h}$$

9.4 Le calcul de débit molaire et volumique de l'air de combustion :

$$\dot{V}_{\text{air}} = \frac{Q_{\text{absorbée}}}{\rho_{\text{air}} \cdot C_{p,\text{air}} \cdot (T_{\text{sortie}} - T_{\text{entrée}})}$$

$$\dot{V}_{\text{air}} = \frac{10805307.14}{1.293 \cdot 0.24 \cdot (264 - 20)} = 112177.60 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\dot{V}_{\text{air}} = 112177.60 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Le débit volumique de l'air chauffé à 264 °C sera égal à **112177.60 Nm³/h.**

10 Le calcul de la quantité de combustible économisée :

On que pour fournir 89595670.18 kcal/h on doit bruler 8325.25 Nm³/h de combustible

La quantité de l'énergie fournie par les fumées est égale à 10805307.14 kcal/h, cette énergie correspond à **1004 Nm³/h de combustible.**

$$\frac{10805307.14}{10780} = 1004 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

On peut déduire qu'avec la mise en forme de préchauffeur d'air, on consomme approximativement **7321 Nm³/h** de combustible.

$$\frac{53800000}{7321} = 7321 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

11 Le calcul de la chaleur perdue par fumées :

11.1 Le calcul de débit volumique des fumées :

127275.72 Nm³/h de fumées correspond à 8325.25 Nm³/h de combustible

Donc 7321 Nm³/h dégage 111922.83 Nm³/h de fumées.

$$\frac{81900000}{7321} = 111922.83 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

11.2 Le calcul de débit molaire des fumées :

Le débit molaire est calculé suivant une formule précédemment donnée

$$\frac{127275.72}{32} = 4996.55 \text{ kcal/h}$$

11.3 Le calcul de la composition des fumées de la combustion :

$$100 \text{ Nm}^3/\text{h} \rightarrow 134.62 \text{ Nm}^3/\text{h de CO}_2$$

$$7325 \text{ Nm}^3/\text{h} \rightarrow X_{\text{CO}_2} (\text{Nm}^3/\text{h})$$

$$X_{\text{CO}_2} = 9867.96 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

La fraction volumique est calculée de cette manière :

$$100 \% \rightarrow 111922.83 \text{ Nm}^3/\text{h de fumées}$$

$$\text{Fraction volumique de CO}_2 \rightarrow 9867.96 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{Fraction volumique de CO}_2 = 03.70 \%$$

Tableau 25 : la chaleur spécifique moyenne à 167 °C

Constituant	Débit volumique de constituant (Nm ³ /h)	Fraction volumique (%)	Chaleur spécifique standard à 167°C (kcal/kmol. °C)	Chaleur spécifique moyenne (kcal/kmol. °C)
CO ₂	9867.96	08.81	06.91	07.209
H ₂ O	18857.43	70.51	08.30	
N ₂	78920.53	16.85	06.80	
O ₂	4276.91	03.60	07.00	

11.4 Le calcul de la quantité de chaleur perdue par fumées :

La température des fumées à la sortie de la cheminée après leur passage à travers le préchauffeur d'air est de l'ordre de 167°C.

$$Q_{\text{perdue}} = \sum_{i=1}^n \dot{V}_i \cdot C_{p,i} \cdot (T_{\text{sortie}} - T_{\text{entrée}})$$

$$Q_{\text{perdue}} = 100000000.00 \text{ kcal/h}$$

12 Le calcul de la quantité de chaleur fournie :

$$Q_{\text{fournie}} = 100000000.00 \text{ kcal/h}$$

13 Estimation de taux des fumées :

$$Q_{\text{fumées}} (\%) = 00.00 \%$$

14 Estimation de la chaleur perdue par paroi :

$$Q_{\text{paroi}} = 100000000.00 \text{ kcal/h}$$

15 La quantité de chaleur totale perdue :

$$Q_{\text{totale}} = 7467468.59 \text{ kcal/h}$$

16 La quantité de chaleur absorbée :

$$Q_{\text{absorbée}} = 71320547.74 \text{ kcal/h}$$

17 L'efficacité thermique globale :

$$\eta = \square\square.\square\square \%$$

Discussion :

Dans cette étude, nous avons cherché à évaluer l'impact de la mise en marche d'un préchauffeur d'air sur l'efficacité thermique de trois fours de la raffinerie RA2/K.

Il était hypothétiquement attendu que la mise en marche du préchauffeur d'air augmenterait l'efficacité thermique globale en réduisant les pertes de chaleur et en améliorant la combustion.

Les résultats obtenus pour les deux configurations (avec et sans préchauffeur d'air) sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 26 : Tableau récapitulatif des deux configurations

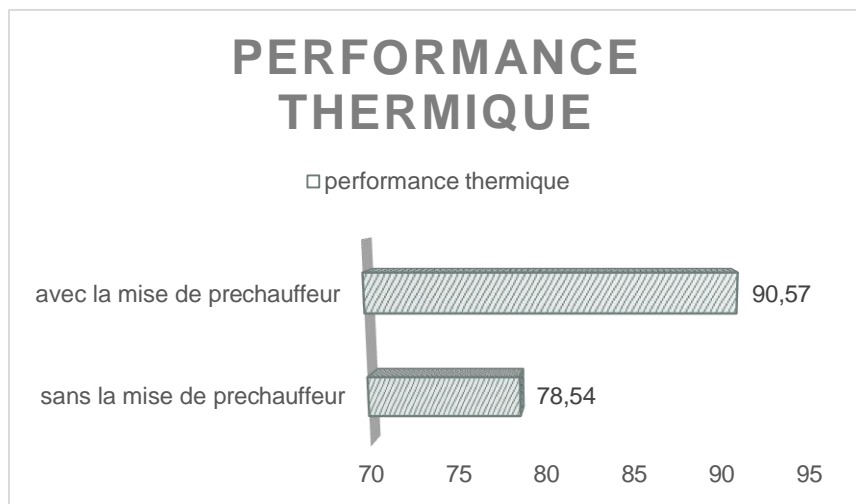
Facteurs	Sans préchauffeur d'air	Avec préchauffeur d'air
Le débit de combustible introduit (Nm³/h)	8321.25	7321.25
Le débit de l'air de combustion nécessaire (Nm³/h)	113603	112177.60
La quantité de chaleur fournie (kcal/h)	89552626.80	78788016.32
La quantité de chaleur perdue par fumées (kcal/h)	17431896.40	5891708.26
Le taux des fumées (%)	19.46	07.48
La teneur de CO₂ émis (%)	08.85	08.81
La teneur de O₂ résiduel (%)	03.83	03.60
La quantité de chaleur perdue par parois (kcal/h)	1791913.41	1575760.33

Analyse de l'efficacité thermique des fours de la raffinerie RA2/K

La quantité de chaleur absorbée (kcal/h)	70371860.67	71320547.74
L'efficacité thermique (%)	78.54	90.57

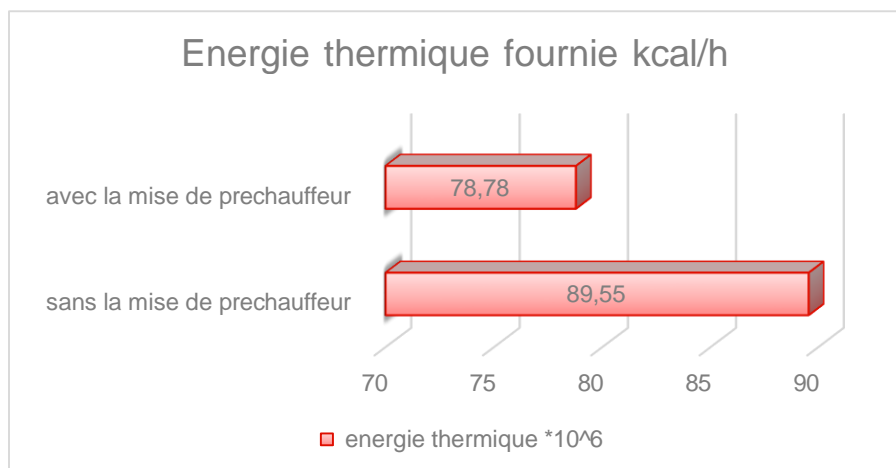
Selon une analyse comparative des résultats, il est évident que l'utilisation du préchauffeur d'air améliore considérablement l'efficacité thermique.

Graphe 1 représentant la différence de l'efficacité thermique

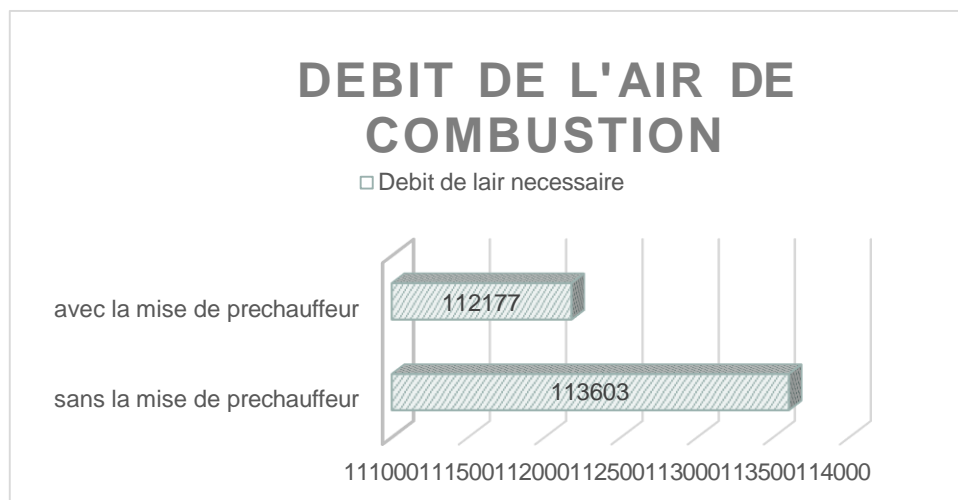


La quantité de chaleur fournie a légèrement diminué, ce qui témoigne d'une utilisation plus efficace de l'énergie, la diminution de débit de combustible entrainera aussi une diminution de débit d'air ce qui laisse entendre une combustion plus performante et beaucoup plus propre (Emission des oxydes d'azote).

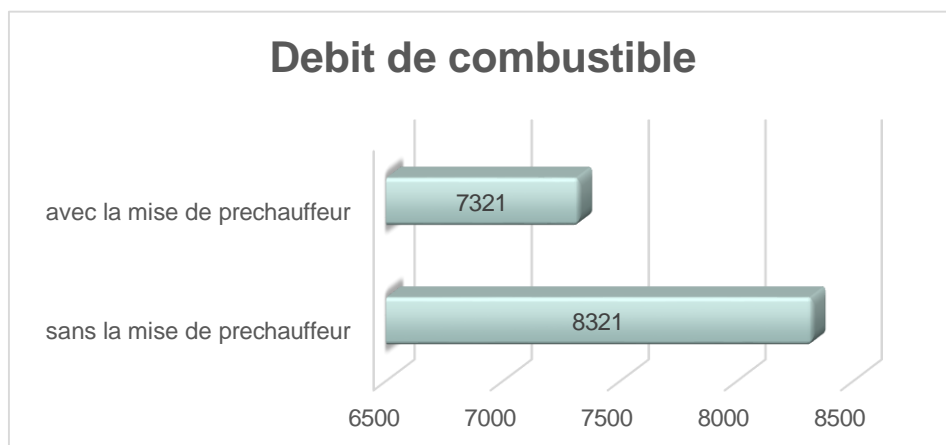
Graphe 2 représentant la différence de l'énergie thermique fournie



Grphe 3 représentant la différence de débit d'air nécessaire a la combustion

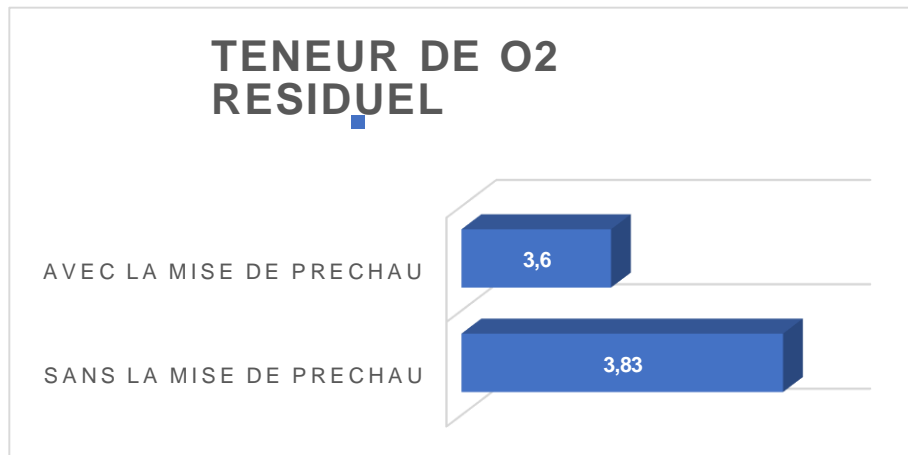


Grphe 4 représentant la différence d'alimentation en combustible

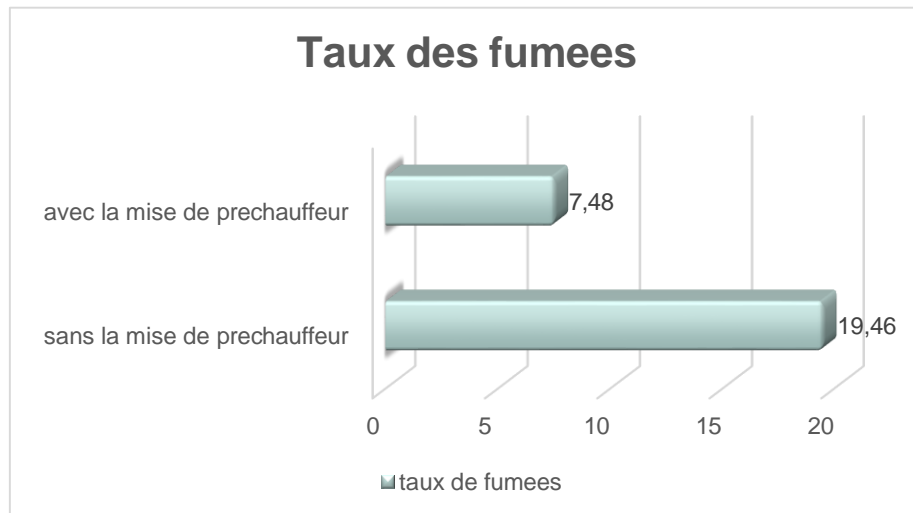


Une réduction de l'oxygène résiduel a été enregistrée dans la composition des fumées, ce qui est en accord avec une combustion plus complète et plus efficace. Il y a aussi eu une réduction des pertes de chaleur en fumées et par les parois, ce qui a renforcé l'efficacité énergétique du système.

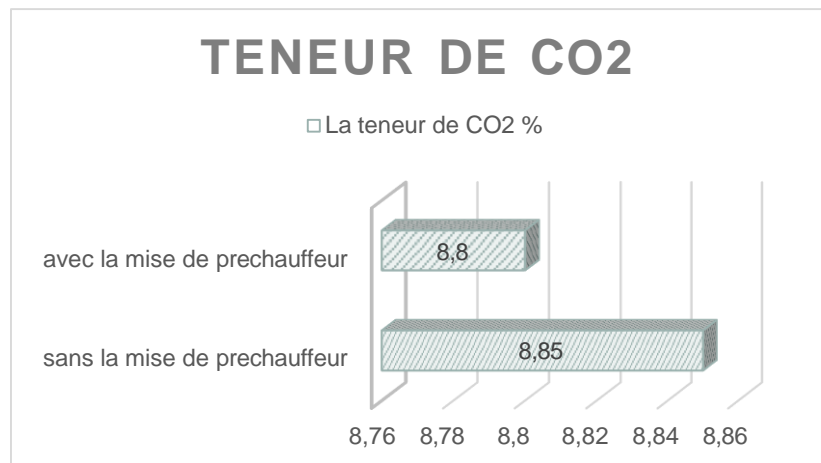
Graphe 5 représentant la différence de la quantité d'oxygène résiduel dans les fumées



Graphe 6 représentant la différence de taux de deux des deux configurations



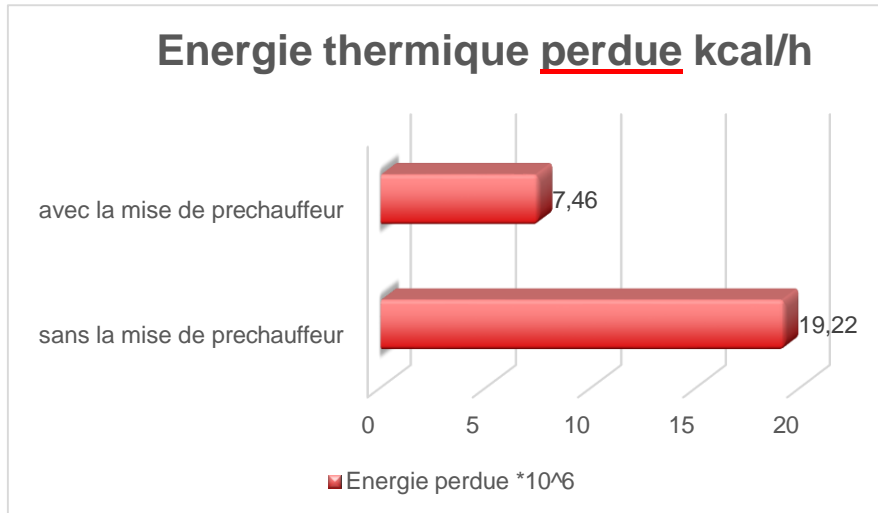
Graphe 7 représentant la différence de la teneur en CO2



Analyse de l'efficacité thermique des fours de la raffinerie RA2/K

La mise en place du préchauffeur d'air permet de récupérer une partie de la chaleur des fumées, qui serait autrement perdue, et de l'utiliser pour préchauffer l'air de combustion, selon les résultats. Cela permet d'optimiser la combustion en améliorant la température initiale de l'air entrant, ce qui diminue la demande de chaleur du combustible.

Graphe 8 représentant la différence de l'énergie thermique perdue



Etude environnementale :

D'après le protocole de Kyoto et étant donné que l'Algérie est membre de la convention des Nations Unies sur les changements climatiques, elle a présenté sa Contribution Prévues Déterminée au niveau National (CPDN) le 03 septembre 2015, dans laquelle elle s'est engagée à atteindre l'objectif de réduction de **07%** des émissions à effet de serre GES à l'horizon 2030, en termes d'effort propre. [26]

Selon le courrier n°1262/ARH/HSE/REG/14, avec les références n°1045 du 22/05/2014 et n°1075 du 04/06/2014, concernant la mise à jour des inventaires des émissions de gaz à effet de serre dans le domaine de l'énergie.

- **Les principaux gaz à effet de serre issus de la cheminée de la raffinerie RA2/K :**

La vapeur d'eau :

La vapeur d'eau provenant des fours de la raffinerie RA2/K peut entraîner un effet de serre supplémentaire. La vapeur d'eau est un élément naturel qui contribue à la régulation de la température de la Terre. Toutefois, sa contribution à l'effet de serre varie en fonction de sa concentration et de son interaction avec d'autres gaz à effet de serre.

L'effet de serre est amplifié par la vapeur d'eau grâce à un mécanisme de rétroaction climatique. Lorsque l'atmosphère est réchauffée par d'autres gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone (CO₂), la température de l'air augmente, ce qui permet à l'air de contenir davantage de vapeur d'eau. En améliorant la vapeur d'eau, l'effet de serre se renforce, car la vapeur d'eau elle-même capte la chaleur.

Même si l'émission directe de vapeur d'eau par les cheminées industrielles peut sembler faible, elle peut encore avoir un impact indirect sur l'effet de serre global en interagissant avec d'autres émissions industrielles.

Le dioxyde de carbone :

Le gaz à effet de serre émis par les cheminées industrielles joue un rôle essentiel dans les émissions anthropiques de gaz à effet de serre. Les cheminées industrielles produisent principalement du dioxyde de carbone grâce à la combustion de combustibles fossiles.

Analyse de l'efficacité thermique des fours de la raffinerie RA2/K

Le CO₂ joue un rôle essentiel dans l'effet de serre en captant la chaleur dans l'atmosphère. Il y a alors un réchauffement climatique, avec des effets comme la fonte des glaciers, l'augmentation du niveau de la mer et des phénomènes météorologiques extrêmes.

La présence normale de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère n'est pas préjudiciable à la santé humaine. Toutefois, à des niveaux plus élevés, il peut entraîner des conséquences néfastes sur la santé.

Le CO₂ peut provoquer une sensation de lourdeur et des problèmes respiratoires, des maux de tête sévères, des étourdissements et des vertiges à des concentrations modérément élevées, élevées ou extrêmement élevées.

L'émission des oxydes d'azote :

Les NO_x représentent une préoccupation majeure en ce qui concerne la pollution de l'air et leur impact sur l'environnement.

En présence de lumière solaire, les NO_x réagissent avec les composés organiques volatils (COV) pour créer de l'ozone troposphérique (smog), qui a des conséquences néfastes sur la santé et la végétation.

Les NO_x se métamorphosent en acide nitrique dans l'air, ce qui entraîne des pluies acides susceptibles de causer des dommages aux écosystèmes aquatiques, aux forêts et aux structures.

Les NO_x ont la capacité de se combiner avec d'autres substances présentes dans l'air afin de créer des particules fines, qui peuvent être préjudiciables à la santé respiratoire et cardiovasculaire.

Estimation de la contribution des émissions de CO₂ dans l'atmosphère :

L'émission massique de CO₂ est calculée suivant cette formule :

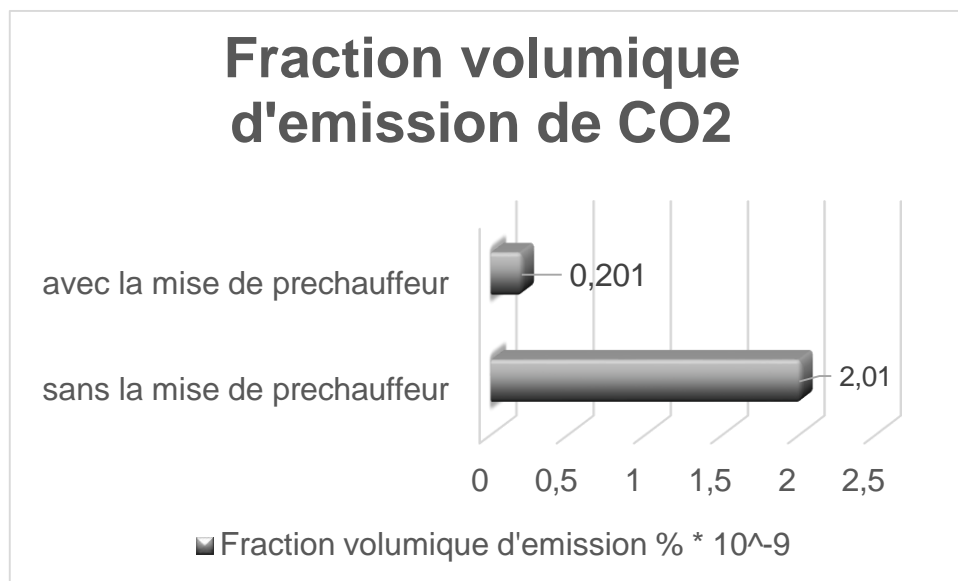
$$\frac{\text{Masse de CO}_2 \text{ émise}}{\text{Volume de l'atmosphère}} = \frac{\text{Masse de CO}_2 \text{ émise}}{\text{Volume de l'atmosphère}}$$

On sait que la masse molaire de CO₂ est égale à 44 g/mol

Le volume total de l'atmosphère terrestre est environ 04.20 *10¹⁸ m³

On peut calculer le pourcentage d'émission de CO₂ dans l'atmosphère suivant cette formule :

Graph 10 représentant les fractions massiques de CO₂ émises dans l'atmosphère avec les deux configurations



Discussion :

Malgré l'apparence insignifiante des émissions de CO₂ d'une seule cheminée industrielle à l'échelle mondiale, il est important de ne pas minimiser leur impact. Les émissions de CO₂ de toutes les sources industrielles combinées jouent un rôle important dans le changement climatique. Chaque diminution joue un rôle essentiel dans les initiatives collectives visant à réduire constamment la concentration de CO₂ dans l'atmosphère et à atteindre les objectifs climatiques globaux. La contribution des émissions de CO₂ de la cheminée de la RA2/K est très faible par rapport au volume total de l'atmosphère. La différence observée de la quantité émise de CO₂ est relativement très importante qui est de **11857974 Nm³ /an.**

Dans le contexte de la raffinerie RA2K, les gaz torchés et les GES sont préoccupants. Par conséquent, la mise en place du préchauffeur d'air fait partie des mesures prises pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Cette étude visait à évaluer l'effet de la mise en marche d'un préchauffeur d'air sur la performance thermique des fours de la raffinerie RA2/K, ainsi qu'à analyser ses conséquences économiques et environnementales. Les résultats obtenus offrent la possibilité de conclure de manière approfondie sur les avantages multidimensionnels de cette technologie de préchauffage d'air de combustion.

En utilisant un préchauffeur d'air, l'étude énergétique a mis en évidence une élévation d'efficacité thermique d'environ 12 %. La chaleur recueillie des fumées a été utilisée pour préchauffer l'air de combustion, ce qui a permis de diminuer les pertes de chaleur et d'améliorer la combustion. Une diminution significative de la quantité de chaleur fournie a été constatée, indiquant une utilisation plus efficace de l'énergie. Le débit d'air nécessaire pour la combustion a également baissé, suggérant une combustion plus propre. Une diminution de l'oxygène résiduel et la diminution de la température des fumées a favorisé la combustion tout en réduisant la teneur des NO_x. Nous avons constaté une diminution des pertes de chaleur, à la fois en fumées et à travers les parois, et augmentation de la chaleur absorbée par le fluide à chauffer, ce qui permet l'amélioration de taux de marche de l'unité de traitement de condensat.

L'étude économique a démontré les bénéfices financiers importants associés à l'économie de carburant. En diminuant le débit de combustible de **8 795 040 Nm³/an**, une économie financière totale annuelle de **355 millions /an** a été réalisée. Selon ces résultats, il semble que l'installation d'un préchauffeur d'air soit non seulement rentable sur le plan économique, mais qu'elle entraîne également des économies importantes à long terme.

Les avantages environnementaux de l'utilisation d'un préchauffeur d'air ont été soulignés par une étude environnementale. Une diminution de la consommation de carburant entraîne une diminution des émissions de gaz à effet de serre. Les quatre tubulaires avec préchauffeurs d'air permettent de réduire considérablement les émissions de CO₂ en particulier la consommation de combustible, ce qui améliore leur empreinte environnementale. Il est primordial de diminuer les émissions dans le cadre des réglementations environnementales de plus en plus rigoureuses et des initiatives mondiales visant à lutter contre le changement climatique. Chaque réduction contribue aux efforts mondiaux pour atténuer le changement climatique.

Selon notre étude, la technologie de préchauffage de l'air a prouvé son efficacité et sa rentabilité tant sur le plan économique que énergétique. D'après les résultats obtenus, il est démontré que l'emploi de cette technologie contribue à une réduction importante de la pollution atmosphérique. En outre, le préchauffage de l'air permet d'améliorer l'efficacité énergétique, ce

Conclusion générale

qui entraîne des économies importantes pour les industries, ce qui rend cette technologie particulièrement intéressante dans le contexte actuel de transition énergétique. Ainsi, la généralisation de cette technologie pourrait être un élément essentiel dans les initiatives mondiales visant à réduire les conséquences environnementales des activités industrielles, tout en encourageant la durabilité et la rentabilité économique.

Pour garantir un avenir durable pour les générations futures, il est primordial de poursuivre l'adoption de pratiques et de technologies qui réduisent les émissions polluantes tout en maintenant une efficacité globale rentable et constante.

- [1] *«Manuel Operatoire MPP4,» Hassi Rmel, 2016.*
- [2] *A.Rejoy, Le gaz naturel production traitement et transport, Paris: Edition Technip, 1994.*
- [3] *Mr.MIMOUN, «Cours Techniques danalyse du petrole et des produits petroliers,» 2022/2023.*
- [4] *«Memoire descriptif des installations RA2K Rev2 SONATRACH,» 2013.*
- [5] *E. Koller, Aide memoire de genie chimique 3 eme edition, Paris: Dunod, 2001.*
- [6] *P. Trambouze, Le raffinage de petrole Tome 2 Procede de separation, Paris: Technip, 1999.*
- [7] *K.BEDDA, «Cours Transfert de matiere».*
- [8] *Mr.Belamri, «Operations unitaires».*
- [9] *«Interne de colonne HMDS PROCESS».*
- [10] *«Introduction a la distillation».*
- [11] *Mr.MIMOUN, «Cours Production des carburants,» 2022/2023.*
- [12] *P. Trambouze, Le raffinage de petrole Tome 4 Materiels et equipements, Paris: Technip, 1999.*
- [13] *Mr.MIMOUN, «Cours Equipements thermiques,» 2022/2023.*
- [14] *K. Nacereddine, «Equipements dechange themique,» IAP, septembre 2020.*
- [15] *B. S. M. Ilyas, «Seminaire Fours industriels 1-2-3-4-5-6-7-8,» IAP, Novembre 2020.*
- [16] *«Equipements Rechauffeurs et Fours Manuel de formation,» Total Energies, 2007.*
- [17] *«Oil Refinery Process,» Sarajevo, 2012.*

References bibliographiques

- [18] B. S. M. Ilyas, «Calcul de la combustion,» IAP, novembre 2020.*
- [19] K.Bedda, Cours transfert de matiere.*
- [20] A. M. Clellan, «Understanding Air Preheater Performance ,Storm Technologies,» 2021.*
- [21] H. Elbanhawi, «Heat Exchanger Basics».*
- [22] A.Boudjadi, «Fours APH IAP,» 2017.*
- [23] Hindawi, «Effet de APH sur la flamme dans les fours,» 2015.*
- [24] H. L.Bahiri, «Memoire de fin detude,» 2021.*
- [25] A.Benramoul, «Memoire fin detude Fours APH».*
- [26] D. Mahdi, «Cours Techniques Envirennementales,» 2023/2024.*

Annexe 1 : Les enthalpies standards de quelques constituants

Composé chimique	Masse molaire (g/mol)	$\Delta H_{f(298)}^0$ (kJ/mol)	S°_{298} (J/(mol·K))
CO ₂ (g)	44,010	-393,52	213,75
CO (g)	28,011	-110,58	197,6
NO (g)	30,008	90,32	210,7
NH ₃ (g)	17,031	-45,91	192,66
CH ₄ (g)	16,043	-74,9	186,17
C ₂ H ₆ (g)	30,068	-84,7	229,57
C ₃ H ₈ (g)	44,094	-103,88	270,01
C ₄ H ₁₀ (g)	58,12	-124,78	310,15
C ₅ H ₁₂ (g)	72,146	-146,50	349,49
C ₆ H ₁₄ (g)	86,172	-167,25	386,95
C ₇ H ₁₆ (g)	100,21	-187,89	425,41
C ₈ H ₁₈ (g)	114,224	-208,52	463,84
C ₂ H ₄ (g)	28,054	52,49	219,30
C ₃ H ₆ (g)	42,078	20,42	267,03
C ₂ H ₂ (g)	26,038	226,81	200,92
C ₆ H ₆ (g)	78,108	82,96	269,30
H ₂ (g)	2,016	0	130,46
H (g)	1,008	218,06	114,65
N ₂ (g)	28,016	0	191,32
N (g)	14,008	472,96	153,23
O (g)	16,000	249,28	161,02
O ₂ (g)	32,000	0	204,82
O ₃ (g)	48,000	142,12	237,42
C (graphite)	12,011	0	5,68
C (diamant)	12,011	1,92	2,45
H ₂ O (liquide)	18,01528	-285,10	69,96
H ₂ O (gaz)	18,01528	-241,8	188,74
HF (liquide)	20,00634	-299,8	
HF (gaz)	20,00634	-271,1	173,7
HCl (gaz)	36,461	-92,31	186,90

ANNEXES

Annexe 2 : Fiche technique F101

FOUR 100-F-101			
Service : Four rebouilleur de la colonne de préfractionnement 100-T-101			
Performances			
Charge d'exploitation	Cas max	Cas min	Cas max 115%
Fluide	Fond de colonne T101		
Chaleur absorbée (MW)	26,947	11,956	30,989
Débit (kg/s)	136	61	156,4
Facteur d'encrassement (m ² .°C/W)	0,00026	0,00026	0,00026
Encrassement admissible (mm)	1	1	1
Paramètres thermodynamique			
Température (entrée/sortie) (°C)	196/229	191/223	196/229
Pression (entrée/sortie) (bars G)	6,91/3,85	4,45/3,85	7,55/3,85
Débit liquide (entrée/sortie) (kg/s)	136/73	61/33	156,4/84
Débit vapeur (entrée/sortie) (kg/s)	-/63	-/28	-/72,4
Masse volumique (entrée/sortie) à 15°C (kg/m ³)	0,7698/0,7865	0,7722/0,7887	0,7698/0,7865
Viscosité liquide (entrée/sortie) (mPa.Sec)	0,1731/0,166	0,1763/0,17	0,1731/0,1666
Chaleur spécifique Liquide (entrée/sortie) (kJ/kg.°C)	2,8136/2,9264	2,7893/2,888	2,8136/2,9264
Chaleur spécifique Vapeur (entrée/sortie) (kJ/kg.°C)	-/2,4729	-/2,371	-/2,4729
Conductivité therm. Liquide (entrée-sortie) (W/m.°C)	0,0821/0,0752	0,0833/0,0766	0,0821/0,0752
Conductivité therm. Vap (entrée-sortie) (W/m.°C)	-/0,0323	-/0,0317	-/0,0323
Propriétés mécanique			
Type de zone	Radiation	Convection	
Pression design (bars G)	18,005	18,005	
Surépaisseur corrosion des tubes (mm)	3	3	
Pression de test hydrostatique (bars G)	35,706	35,706	
Température design métal tube (°C)	282	382	
Disposition des tubes	Verticale	Horizontale	
Diamètre extérieur des tubes (mm)	168,3	168,3	
Epaisseur des tubes (mm)	7,11	7,11	
Nombre de passes	6	6	
Nombre de tubes lisses/ailettes	72/-	36/36	
Longueur effective des tubes (m)	16,879	5,677	
S totale exposée des tubes (lisse/ailette) (m ²)	643/-	108/798	
Type de brûleurs	Bas NOx	/	
Nombre de brûleurs	10	/	

ANNEXES

Annexe 3 : Fiche technique F102

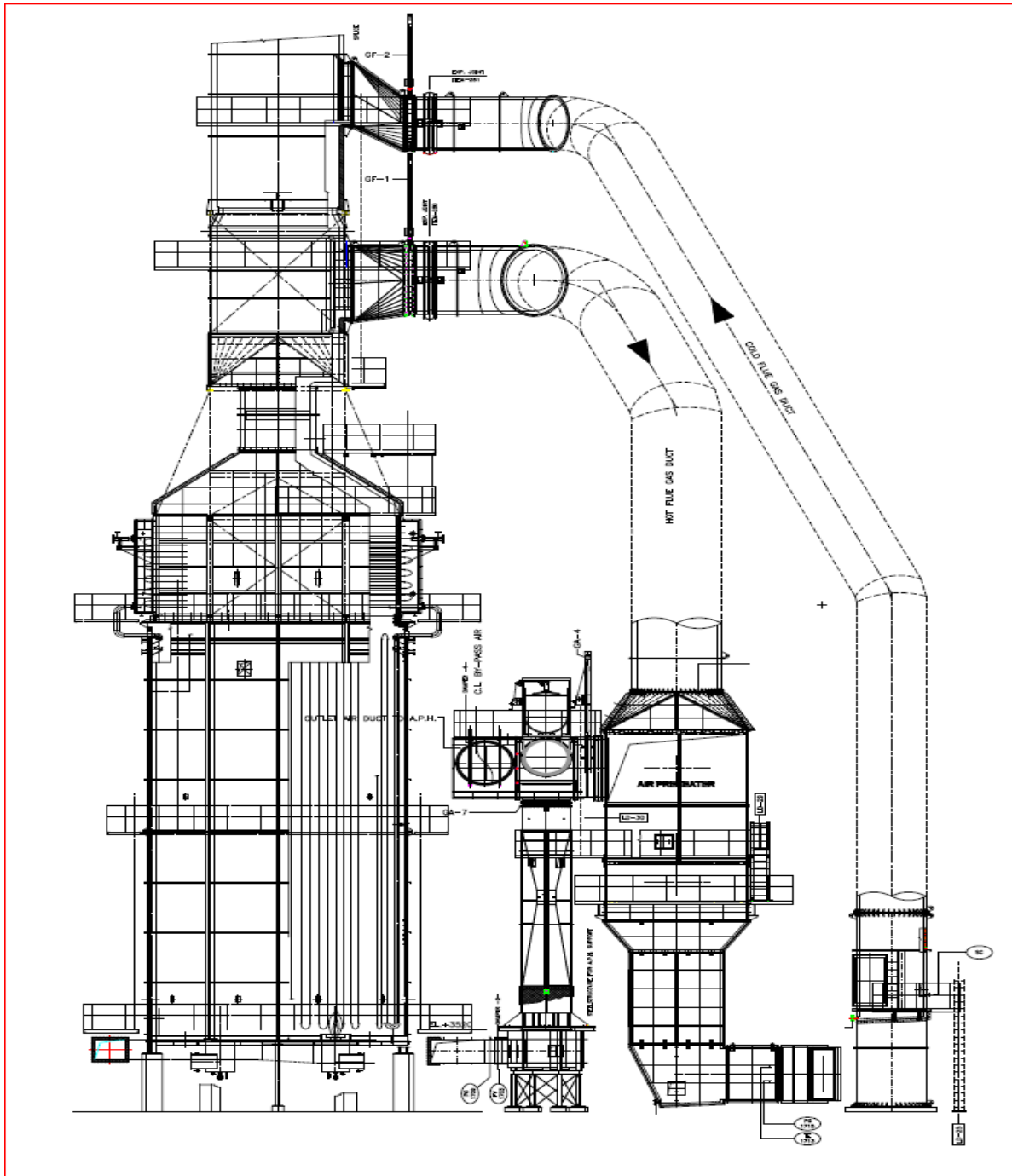
Service : Four de charge de la colonne de distillation atmosphérique 100-T-103			
Performances			
Charge d'exploitation	Cas max	Cas min	Cas max 115%
Fluide	Fond de la colonne T101		
Chaleur absorbée (MW)	22,154	10,142	25,477
Débit (kg/s)	83,3	45	95,79
Facteur d'encrassement (m ² °C/W)	0,00026	0,00026	0,00026
Encrassement admissible (mm)	1	1	1
Paramètres thermodynamique			
Température (entrée/sortie) (°C)	191/217	204/228	191/217
Pression (entrée/sortie) (bars G)	7,38/1,50	4,44/1,5	8,27/1,5
Débit liquide (entrée/sortie) (kg/s)	83,3/17,2	45/14,5	95,795/19,78
Débit vapeur (entrée/sortie) (kg/s)	-/66,1	-/30,5	-/76,015
Masse volumique (entrée/sortie) à 15°C (kg/m ³)	0,7722/0,8067	0,7726/0,8264	0,7722/0,8067
Viscosité Liquide (entrée/sortie) (mPa Sec)	0,1771/0,219	0,1791/0,2335	0,1771/0,219
Chaleur spécifique Liq (entrée/sortie) (kJ/kg.°C)	2,7663/2,6572	2,8528/2,815	2,7663/2,6572
Chaleur spécifique Vap (entrée/sortie) (kJ/kg.°C)	-/2,3090	-/2,492	-/2,3090
Conductivité therm. Liq (entrée-sortie) (W/m.°C)	0,0836/0,0793	0,0811/0,079	0,0836/0,0793
Conductivité therm. Vap (entrée-sortie) (W/m.°C)	-/0,0299	-/0,031	-/0,0299
Propriétés mécanique			
Type de zone	Radiation	Convection	
Code	API 530		
Pression design (bars G)	18,005	18,005	
Surepaisseur corrosion des tubes (mm)	3/3	3/3	
Pression de test hydrostatique (bars G)	38,255	38,255	
Température design métal tube (°C)	390	390	
Disposition des tubes	Verticale	Horizontale	
Diamètre extérieur des tubes (mm)	168,3	168,3	
Epaisseur des tubes (mm)	7,11	7,11	
Nombre de passes	4	4	
Nombre de tubes lisse/ailette	64/-	24/24	
Longueur effective des tubes (m)	16,079	5,677	
Surface exposée des tubes (lisse/ailette) (m ²)	544/-	72/697	
Type de brûleurs	Bas NOx	/	
Nombre de brûleurs	8	/	


FOUR 100-T-103			
Service : Four rebouilleur de la colonne de distillation atmosphérique 100-T-103			
Performances			
Charge d'exploitation	Cas max	Cas min	Cas max 115%
Fluide	Fond de la colonne T103		
Chaleur absorbée (MW)	30,239	15,119	34,774
Débit (kg/s)	309	99	355,35
Facteur d'encrassement (m ² °C/W)	0,00044	0,00044	0,00044
Encrassement admissible (mm)	1	1	1
Paramètres thermodynamique			
Température (entrée/sortie) (°C)	355/365	364/370	355/365
Pression (entrée/sortie) (bars G)	4,96/1,3	2,31/1,3	6,13/1,3
Débit liquide (entrée/sortie) (kg/s)	309/181	99/55	355,35/208,15
Débit vapeur (entrée/sortie) (kg/s)	-/128	-/44	-/147,2
Masse volumique (entrée/sortie) à 15°C (kg/m ³)	0,8372/0,8383	0,8291/0,8323	0,8372/0,8383
Viscosité Liquide (entrée/sortie) (mPa Sec)	0,1685/0,159	0,1792/0,01	0,1685/0,159
Chaleur spécifique Liq (entrée/sortie) (kJ/kg.°C)	3,41/3,449	3,4234/3,536	3,41/3,449
Chaleur spécifique Vap (entrée/sortie) (kJ/kg.°C)	-/2,949	-/2,984	-/2,949
Conductivité therm. Liq (entrée-sortie) (W/m.°C)	0,0605/0,0576	0,0613/0,0568	0,0605/0,0576
Conductivité therm. Vap (entrée-sortie) (W/m.°C)	-/0,0341	-/0,0355	-/0,0341
Propriétés mécanique			
Type de zone	Radiation	Convection	
Pression design (bars G)	15,396	15,396	
Surépaisseur corrosion des tubes (mm)	3/3	3/3	
Pression de test hydrostatique (bars G)	46,758	46,758	
Température design métal tube (°C)	492	492	
Disposition des tubes	Verticale	Horizontale	
Nuance tubes	P 335 P5	P 335 P5	
Diamètre extérieur des tubes (mm)	168,3	168,3	
Epaisseur des tubes (mm)	7,11	7,11	
Nombre de passes	8	8	
Nombre de tubes lisse/ailette	80/-	24/72	
Longueur effective des tubes (m)	16,901	7,733	
Surface total exposé des tubes (lisse/ailette) (m ²)	714/-	98/3651	
Type de brûleurs	Bas NOx	/	
Nombre de brûleurs	10	/	

Annexe 5 : Fiche technique Prechauffeur d'air

PURCHASER / OWNER:		CPECC		ITEM NO.: BC9959		
SERVICE:		Flue gas/air preheater		LOCATION: ALGERIA		
1	MANUFACTURER:	BY-CAST FLANDERS NV				REV.
2	MODEL:	XII-29-2658-HTB-LTB-P3 (9/2, 3/1)				
3	NUMBER REQUIRED:	1				
4	HEATING SURFACE, m ²	4489 (Flue gas side)				
5	WEIGHT, kg	145200				
6	APPROX. DIMENSIONS: (H x W x L) m	7,4 x 4,65 x 2,7-1,3				
PERFORMANCE DATA						
8	OPERATING CASE	MAX CASE (1)	MIN CASE	115% MAX CASE		
9						
10	AIR SIDE: flow entering, kg/h	125136	57852	143856		
11	inlet temperature, C.	25	25	25		
12	outlet temperature, C.	290	246	287		
13	pressure drop: allowable, mm H ₂ O	204 (4)	204 (4)	204 (4)		2
14	calculated, mm H ₂ O	152	34	204		2
15	heat absorbed, MW	9,47	3,641	10,778		
16	FLUE GAS SIDE: flow, kg/h	132048	61056	151834		
17	inlet temperature, C.	371	307	370		
18	outlet temperature, C.	143	115	145		2
19	pressure drop: allowable, mm H ₂ O	152,0	152	200		
20	calculated, mm H ₂ O	152	37	198		
21	heat exchanged, MW		3,67			
22	AIR BY-PASS, kg/h	0	0	0		
23	TOTAL AIR FLOW TO BURNERS, kg/h	125136	57852	143856		
24	MIX AIR TEMPERATURE, C.	290	246	287		
25	FLUE GAS COMPOSITION, mole% (O ₂ /N ₂ /H ₂ O/CO ₂ /SO _x)	(3)	(3)	(3)		
26	FLUE GAS SPECIFIC HEAT, kJ/kg-C	1,1449	1,1323	1,145		
27	FLUE GAS ACID DEW POINT TEMPERATURE, C.		57			
28	MINIMUM METAL TEMPERATURE: allowable, C.					
29	calculated, C.	113	91	114		
MISCELLANEOUS:						
31	MINIMUM AMBIENT AIR TEMPERATURE, C.	1				1
32	SITE ELEVATION ABOVE SEA LEVEL, m	8				1
33	RELATIVE HUMIDITY max/norm/min	79% / 72% / 69%				1
34	EXTERNAL COLD AIR BY-PASS (yes/no)	Yes				
35	COLD END THERMOCOUPLES (yes/no) / number required	2				
36	ACCESS DOORS: NUMBER/SIZE/LOCATION	2				
37	INSULATION (INTERNAL/EXTERNAL):	external				
38	CLEANING MEDIUM: steam of water	water				
39	pressure, kPa.g	1 to 3				
40	temperature, C.	Cold				
MECHANICAL DESIGN:						
42	DESIGN FLUE GAS TEMPERATURE, C.	450				
43	DESIGN PRESSURE DIFFERENTIAL, mm H ₂ O	-500 +500				
44	SEISMIC FACTOR	UBC 1997 - Sismic zone=3, I=1,25; Site amplif. Factor=2				2
45	PAINTING REQUIREMENTS	By Cast standards				
46	LEAK TEST					
47	STRUCTURAL WIND LOAD, kg/m ²	Eurocode-110km/h;S3,C=1;CTmp=1;Calt=1;Gpeak=3,5				2
48	AIR LEAKAGE (GUARANTEED), %					
49 NOTES: (ALL DATA ON PER UNIT BASIS):						
50 (1): Design of airpreheater is with heaters running at "MAX CASE"						
51						
52 (3): Flue gas composition from combustion of a mixture of natural gas and propane resulting from process (with excess air =18%)						
53 Natural gas composition (% mol): N ₂ =5,6; CO ₂ =0,12; CH ₄ =82,27; C ₂ H ₆ =6,95; C ₃ H ₈ =2,15; IC ₄ =0,33; NC ₄ =0,53; IC ₅ =0,09; NC ₅ =0,11; C ₆ H ₁₄ =0,13						
54 The flow rate and components of propane refer to the propane data (see sheet 18 of SC1-100-DS-FU-0001)						
55 (4): Kirchner wants to design airpreater in both conditions (maximum and 115% max case) also for pressure drop.						
56 (5): Minimum inlet air temperature = 10°C according BEDD						
57 (6): Guaranteed leakage air to flue gas side less than 0,4%						
AIR PREHEATER DATA SHEET				B-4783-85-DS-2		
API STD-560				REV: C	Date: 02/08/2007	Sheet 2 of 4

Annexe 6 : Couplage four de l'unité 100 et le préchauffeur d'air



N° 24		Dimanche 17 Rabie El Aouel 1427	
45ème ANNEE		Correspondant au 16 avril 2006	
 <p>الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية</p> <h1>الجريدة الرسمية</h1> <p>اتفاقات دولية، قوانين، ومراسيم قرارات وآراء، مقررات، مناشير، إعلانات وبلاعات</p>			
<p>JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE CONVENTIONS ET ACCORDS INTERNATIONAUX - LOIS ET DECRETS ARRETES, DECISIONS, AVIS, COMMUNICATIONS ET ANNONCES (TRADUCTION FRANÇAISE)</p>			
ABONNEMENT ANNUEL	Algérie Tunisie Maroc Libye Mauritanie	ETRANGER (Pays autres que le Maghreb)	DIRECTION ET REDACTION SECRETARIAT GENERAL DU GOUVERNEMENT WWW. JORADP. DZ Abonnement et publicité: IMPRIMERIE OFFICIELLE Les Vergers, Bir-Mourad Raïs, BP 376 ALGER-GARE Tél : 021.54.35.06 à 09 021.65.64.63 Fax : 021.54.35.12 C.C.P. 3200-50 ALGER TELEX : 65 180 IMPOF DZ BADR: 060.300.0007 68/KG ETRANGER: (Compte devises) BADR: 060.320.0600 12
	1 An	1 An	
Edition originale.....	1070,00 D.A	2675,00 D.A	
Edition originale et sa traduction.....	2140,00 D.A	5350,00 D.A (Frais d'expédition en sus)	
<p>Edition originale, le numéro : 13,50 dinars. Edition originale et sa traduction, le numéro : 27,00 dinars. Numéros des années antérieures : suivant barème. Les tables sont fournies gratuitement aux abonnés. Prière de joindre la dernière bande pour renouvellement, réclamation, et changement d'adresse. Tarif des insertions : 60,00 dinars la ligne</p>			

DECRETS

Décret exécutif n° 06-138 du 16 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 15 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle.

Le Chef du Gouvernement,

Sur le rapport du ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement,

Vu la Constitution, notamment ses articles 85-4° et 125 (alinéa 2) ;

Vu la loi n° 90-08 du 7 avril 1990, complétée, relative à la commune ;

Vu la loi n° 90-09 du 7 avril 1990, complétée, relative à la wilaya ;

Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;

Vu la loi n° 04-04 du 5 Joumada El Oula 1425 correspondant au 23 juin 2004 relative à la normalisation ;

Vu la loi n° 05-07 du 19 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 28 avril 2005 relative aux hydrocarbures ;

Vu le décret présidentiel n° 04-136 du 29 Safar 1425 correspondant au 19 avril 2004 portant nomination du Chef du Gouvernement ;

Vu le décret présidentiel n° 05-161 du 22 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 1er mai 2005 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 93-165 du 10 juillet 1993, complété, réglementant les émissions atmosphériques de fumées, gaz, poussières, odeurs et particules solides des installations fixes ;

Décète :

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 47 de la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003, susvisée, le présent décret a pour objet de réglementer l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle.

SECTION 1

DES DISPOSITIONS PRELIMINAIRES

Art. 2. — Au sens du présent décret on entend par émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides désignés ci-après par "rejets atmosphériques", tout rejet de ces matières par des sources fixes et notamment par les installations industrielles.

Art. 3. — Les valeurs limites des rejets atmosphériques sont celles fixées en annexe du présent décret.

Toutefois, en attendant la mise à niveau des installations industrielles anciennes dans un délai de cinq (5) ans, les limites des rejets atmosphériques prennent en charge l'ancienneté des installations industrielles en déterminant une tolérance pour les rejets atmosphériques émanant de ces installations. Ces valeurs sont fixées en annexe du présent décret.

Pour les installations pétrolières, le délai est de sept (7) ans conformément aux dispositions législatives en vigueur et notamment celles de la loi n° 05-07 du 19 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 28 avril 2005, susvisée.

En outre et en raison des particularités propres aux technologies utilisées, des tolérances particulières aux valeurs limites sont également accordées selon les catégories industrielles concernées. Ces tolérances sont annexées au présent décret.

SECTION 2

**DES PRESCRIPTIONS
TECHNIQUES****RELATIVES AUX REJETS ATMOSPHERIQUES**

Art. 4. — Les installations générant des rejets atmosphériques doivent être conçues, construites et exploitées de manière à éviter, prévenir ou réduire, à la source, leurs rejets atmosphériques qui ne doivent pas dépasser les limites d'émissions fixées en annexe du présent décret.

Art. 5. — Les rejets atmosphériques doivent être identifiés et captés aussi près que possible de leur source d'émission.

Art. 6. — Les points de rejets atmosphériques doivent être en nombre aussi réduit que possible.

Art. 7. — Les installations de traitement doivent être conçues, exploitées et entretenues de manière à réduire à leur minimum les durées d'indisponibilité pendant lesquelles elles ne peuvent assurer pleinement leur fonction.

Si une indisponibilité est susceptible de conduire à un dépassement des valeurs limites des rejets atmosphériques fixés en annexe, l'exploitant doit prendre les dispositions nécessaires pour réduire la pollution émise en réduisant ou arrêtant si besoin les activités concernées.

Art. 8. — Les rejets atmosphériques traités sont évacués par l'intermédiaire de cheminées ou par une conduite d'évacuation conçue de façon à permettre une bonne diffusion des émissions.

Art. 9. — Lorsque les installations de traitement des rejets atmosphériques sont en panne, l'exploitant peut utiliser une conduite d'évacuation et doit, dans ce cas, informer immédiatement les autorités compétentes.

Art. 10. — Quiconque exploite ou projette de réaliser une installation générant des rejets atmosphériques ne relevant pas de la réglementation des installations classées doit fournir à l'autorité compétente toutes les informations portant sur :

- la nature et la quantité des émissions ;
- le lieu de rejet, la hauteur à partir du sol à laquelle il apparaît et ses variations dans le temps ;
- toute autre caractéristique du rejet, nécessaire pour évaluer les émissions ;
- les mesures de réduction des émissions.

SECTION 3

DU CONTROLE DES REJETS ATMOSPHERIQUES

Art. 11. — Au titre de l'autocontrôle et de l'autosurveillance, les exploitants d'installations générant des rejets atmosphériques doivent tenir un registre où sont consignés la date et les résultats des analyses qu'ils effectuent selon des modalités fixées par arrêté du ministre chargé de l'environnement et, le cas échéant, par arrêté conjoint avec le ministre chargé du secteur concerné.

Les mesures sont effectuées sous la responsabilité de l'exploitant et à ses frais dans les conditions fixées par la réglementation en vigueur.

Art. 12. — Les résultats des analyses doivent être mis à la disposition des services de contrôle habilités.

Art. 13. — Les services habilités en la matière effectuent des contrôles périodiques et ou inopinés des rejets atmosphériques visant à s'assurer de leur conformité aux valeurs limites fixées en annexe du présent décret.

Art. 14. — Le contrôle des rejets atmosphériques comporte un examen des lieux, des mesures et analyses opérées sur place et des prélèvements d'échantillons aux fins d'analyses.

Art. 15. — L'exploitant de l'installation concernée est tenu d'expliquer, commenter ou fonder tout dépassement éventuellement constaté et fournir les actions correctives mises en œuvre ou envisagées.

Art. 16. — Les opérations de contrôle, telles que définies ci-dessus, donnent lieu à la rédaction d'un procès-verbal établi à cet effet.

Le procès-verbal comporte :

- les noms, prénoms et qualité des personnes ayant effectué le contrôle,
- la désignation du ou des générateurs du rejet atmosphérique et de la nature de leur activité,
- la date, l'heure, l'emplacement et les circonstances de l'examen des lieux et des mesures faites sur place,
- les constatations relatives à l'aspect, la couleur, l'odeur du rejet atmosphérique, l'état apparent de la faune et de la flore à proximité du lieu de rejet et les résultats des mesures et des analyses opérées sur place,
- l'identification de chaque échantillon prélevé, accompagné de l'indication de l'emplacement, de l'heure et des circonstances de prélèvement,
- le nom du ou des laboratoires destinataires de l'échantillon prélevé.

Art. 17. — Les méthodes d'échantillonnage, de conservation et de manipulation des échantillons ainsi que les modalités d'analyses sont effectuées selon les normes algériennes en vigueur.

Art. 18. — Toutes dispositions contraires au présent décret et notamment les dispositions du décret exécutif n° 93-165 du 10 juillet 1993, susvisé, sont abrogées.

Art. 19. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 16 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 15 avril 2006.

Ahmed OUYAHIA.

ANNEXE I

VALEURS LIMITES DES PARAMETRES DE REJETS ATMOSPHERIQUES

N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE DES VALEURS LIMITES DES INDUSTRIES ANCIENNES
1	Poussières totales	mg/Nm ³	50	100
2	Oxydes de soufre (exprimés en dioxyde de soufre)	"	300	500
3	Oxydes d'azote (exprimés en dioxyde d'azote)	"	300	500
4	Protoxyde d'azote	"	300	500
5	Chlorure d'hydrogène et autres composés inorganiques gazeux du chlore (exprimé en HCL).	"	50	100
6	Fluor et composés inorganiques du fluor (gaz, vésicule et particules), (exprimés en HF)	"	10	20
7	Composés organiques volatils (Rejet total de composés organiques volatils à l'exclusion du méthane)	"	150	200
8	Métaux et composés de métaux (gazeux et particulaires)	"	5	10
9	Rejets de cadmium, mercure et thallium, et de leurs composés	"	0,25	0,5
10	Rejets d'arsenic, sélénium et tellure et de leurs composés autres que ceux visés parmi les rejets de substances cancérigènes	"	1	2
11	Rejets d'antimoine, chrome, cobalt, cuivre, étain, manganèse, nickel, vanadium et zinc, et de leurs composés autres que ceux visés parmi les rejets de substances cancérigènes	"	5	10
12	Phosphine, phosgène	"	1	2
13	Acide cyanhydrique exprimé en HCN, brome et composés inorganiques gazeux du chrome exprimés en HBr, chlore exprimé en HCl, Hydrogène sulfuré	"	5	10
14	Ammoniac	"	50	100
15	Amiante	"	0,1	0,5
16	Autres fibres que l'amiante	"	1	50

ANNEXE II

**TOLERANCE A CERTAINES VALEURS LIMITES DES PARAMETRES DE REJETS ATMOSPHERIQUES
SELON LES CATEGORIES D'INSTALLATIONS****1. Raffinage et transformation des produits dérivés du pétrole :**

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE DES VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Oxyde de soufre	mg/Nm ³	800	1000
Oxyde d'azote	"	200	300
Oxyde de carbone	"	150	200
Composés organiques volatils	"	150	200
Acides sulfureux	"	5	10
Particules	"	30	50

2. Cimenterie, plâtre et chaux :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE POUR LES INSTALLATIONS ANCIENNES
Poussières	mg/Nm ³	30	50
Oxyde de soufre	"	500	750
Oxyde d'azote	"	1500	1800
Oxyde de carbone	"	150	200
Acide fluorhydrique	"	5	5
Métaux lourds	"	5	10
Fluor	"	5	10
Chlorure	"	30	50

3. Fabrication d'engrais azotés :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE POUR LES INSTALLATIONS ANCIENNES
Poussières	mg/Nm ³	50	100
Oxyde de soufre	"	500	1000
Oxyde d'azote	"	500	800
Acides sulfureux	"	5	10
Acide cyanhydrique	"	5	10
Acide fluorhydrique	"	5	10
Ammoniac	"	50	50
Acide chlorhydrique	"	50	50

4. Sidérurgie :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE POUR LES INSTALLATIONS ANCIENNES
Poussières	mg/Nm ³	100	150
Oxyde de soufre	"	1200	1000
Oxyde d'azote	"	850	1200
Oxyde de carbone	"	100	150
Acides sulfureux	"	5	10
Acide cyanhydrique	"	5	10
Acide fluorhydrique	"	5	10
Ammoniac	"	50	50
Acide chlorhydrique	"	50	50
Métaux lourds (Hg, Pb, Cd, As.)	"	5	10

5. Centrale d'enrobage au bitume de matériaux routiers et installations de séchage de matériaux divers, végétaux organiques ou minéraux :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE POUR LES INSTALLATIONS ANCIENNES
Poussières	mg/Nm ³	100	150
Composé organique total	mg/Nm ³	30	50

6. Installations de manipulation, chargement et déchargement de produits pondéreux :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE POUR LES INSTALLATIONS ANCIENNES
Poussières	mg/Nm ³	100	150

7. Production de verre :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE POUR LES INSTALLATIONS ANCIENNES
Poussières	mg/Nm ³	50	100
Oxyde de soufre	"	1000	1200
Oxyde d'azote	"	500	700
Oxyde de carbone	"	100	150
Acide fluorhydrique	"	5	10
Acide chlorhydrique	"	50	100
Métaux lourds (Hg, Pb, Cd, As.)	"	5	10

CONVENTIONS INTERNATIONALES SIGNEES PAR L'ALGERIE

- > Ordonnance n° 72- 17 du 07 juin 1972 : Portant ratification de la convention internationale sur la responsabilité civile pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures, signée à Bruxelles, le 29 novembre 1969.
- > Convention sur le patrimoine mondial (Tassili N'ajjer) ; signée en 1974,
- > Ordonnance n° 74- 55 du 13 mai 1974 : Portant ratification de la convention internationale relative à la création d'un fond international d'indemnisation pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures, faites à Bruxelles le 18 décembre 1971.
- > **Déclaration de Tunis sur l'environnement** : relative à la sauvegarde du patrimoine naturel, conservation de la nature et la diversité des espèces dans le cadre d'un développement durable, signée en 1991.
- > **Décret présidentiel 92-355 du 23 septembre 1992** : portant adhésion au protocole de Montréal relatif aux substances qui appauvrissent la couche d'ozone, signé à Montréal le 16 septembre 1987 ainsi qu'à ses amendements (Londres 27-29 juin 1990).
- > **Convention sur le changement climatique KYOTO, 1997** : Portant sur le contrôle et la limitation des rejets vers l'atmosphère de gaz à effet de serre.
- > Décret présidentiel 98*123 correspondant au 18 avril 1998 : portant ratification du protocole de 1992, modifiant la convention international de 1969 sur la responsabilité civile pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures.
- > Décret présidentiel 98-158 correspondant au 16 Mai 1998 : portant adhésion avec réserve de la République Algérienne Démocratique et Populaire, à la convention de Baie sur le contrôle des mouvements transfrontières des déchets dangereux et de leur élimination.
- > Décret présidentiel 04-144 du 28 avril 2004 : Portant ratification du protocole de Kyoto à la convention- cadre des Nations unies sur les changements climatiques, fait à Kyoto, le 11 décembre 1997.
- > Décret présidentiel 04- 326 du 10 octobre 2004 : Portant ratification de la convention internationale de 1990 sur la préparation, la lutte et la coopération en matière de pollution par les hydrocarbures, faite à Londres le 30 novembre en 1990,

Annexe 8 : Schema de limite 100

