



REPUBLIQUE ALGERIENNE  
DEMOCRATIQUE POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie des Procédés

Mémoire

MASTER ACADIMIQUE

Domaine : Science et Technologie

Filière : Industries pétrochimiques

Spécialité : Génie de Raffinage

Présenté par :

Hadil MEKNASSI et Khawla DEBBAB

Thème

Résolution du problème de la température au niveau du  
premier four de l'unité de reforming catalytique RHM2/HMD

Soutenu publiquement :

Devant le jury composé de :

<b>Dr. Hidaya IZZA</b>	<b>MCA (UKM Ouargla)</b>	<b>Présidente</b>
<b>Dr. ROUANE Azeddine</b>	<b>MCB (UKM Ouargla)</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr. Med Hassen SELLAMI</b>	<b>Professeur (UKMO)</b>	<b>Encadrant</b>

Année Universitaire 2023/2024

## *Remerciement :*

En préambule à ce mémoire, fruit de nombreuses années d'études universitaires exigeantes, nous tenons à remercier avant tout **Allah**, le tout-puissant, de nous avoir donné le courage, la patience et la détermination nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à **M. SELLAMI Med Hassen**, enseignant à l'Université **Kasdi Merbah Ouargla**. En tant que notre encadrant, il a toujours été à l'écoute tout au long de la réalisation de ce mémoire, et nous le remercions sincèrement pour son aide précieuse et le temps qu'il nous a généreusement consacré.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude envers toutes les personnes du siège de **Sonatrach**, en particulier **M. Bennaceur**, dont le rôle a été déterminant dans la mise en place de nos formations. Nous remercions également le personnel du siège de la raffinerie de Hassi Messaoud pour leur accueil chaleureux et leur volonté de partager leurs connaissances. Leur soutien a grandement facilité notre intégration dans l'entreprise. Leur dévouement et leur engagement envers la réussite de notre stage sont extrêmement appréciés et estimés.

Nous exprimons notre respect aux membres du jury, qui nous feront l'honneur d'accepter de juger ce modeste travail et d'apporter leurs réflexions et critiques scientifiques. Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements à tous les enseignants du département de Génie des procédés de la Faculté des sciences appliquées.

## اهداء:

قال تعالى: (وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون) ...إلهي لا يطيب الليل إلا بشرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك.. ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك.. ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك ... ولا تطيب الجنة إلا برويتك

الله جل جلاله

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة.. ونصح الأمة.. إلى نبي الرحمة ونور العالمين

سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم

إلى من كلفه الله بالهبة والوقار.. إلى من علمني العطاء بدون انتظار.. إلى من أحمل أسمه بكل افتخار.. أرجو من الله بان يفرحك بي أكثر ويجازيك بما ربيتني وعلمتني وغمرتني بحبك.. كلماتك نجوم أهتدي بها اليوم وفي الغد وإلى الأبد

والدي العزيز

إلى ملاكي في الحياة.. إلى معنى الحب وإلى معنى الحنان والتفاني.. إلى بسمه الحياة وسر الوجود إلى من سخرت حياتها وصحتها ومالها لأجلي وكان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي إلى أعلى الحباب

أمي الحبيبة

إلى اليد اليمنى والضلع الثابت الذي لا يميل، إلى نصف الاب ونصف الصديق وأعظم نعمة رزقتي بها الله الي شبيهي في طابع والطباع إلى داعمي الدائم

أخي سليم

إلى من هي الضوء الذي يوقظني للحياة.. قطعة من الام، أحبها لشخصها وشخصيتها وهي تعلم انها ليس كالبقية

أختي حنان

إلى اليد التي تلبسني إكليلا من الزهو في حين كل ما حولي يضج بالقنامة. وأريد أن يصيرني الله لها يدًا تنبع بالسكينة كلما تهوت غاضبة أو حزينة.

أختي جيهان

إلى من هي المأوى عند الحاجة... قريبتى وصديقتى ورفيقتى، حلوة البيت توأمي المختلف

أختي وجدان

إلى هدية الله إلى من خطوت معهن اوائل خطواتي في هذا المسار وها نحن أكملنا اول درب لنا معا، إلى مؤنسات في احزاني قبل افراحي، إلى من يفرحن لفرحي ويحزنن لي حزني، إلى من ادعوا الله ان يديم علاقتنا ويلاقينا في جنة الفردوس اصحاب إلى الأبد.

زهرة وخولة

وبدون ذكر الاسماء اهدي هذا العمل المتواضع إلى اساتذتي الكرام الذين درسوني طيلة دربي، منهم من علم ومن أرشد ومنهم من حببني في العلم وطلب العلم بطرقته واسلوبه... وكلن متميز عن غيره .... جزاهم الله كل خير.

إلى كل زملائي الذين درست معهم وتشاركنا المعارف والأفكار، إلى اصدقائي في كل مكان من دعموني بحبهم ودعائهم، إلى اقاربي الذين ينتظرون تخرجي يشاركوا فرحتهم معي. شكرا لكم.

هديل مكناسي

## اهداء:

واخر دعواهم ان الحمد لله رب العالمين

الحمد لله الذي ماتم جهد ولا ختم سعي الا بفضلله وما تخطيت هذه العقبات والصعوبات الا بتوفيقه تخرجت ليس بجدي ولا باجتهادي وإنما بتوفيق من ربي.

الى سكان قلبي ..الى من احمل اسمه بكل فخر إلى رجل الكفاح إلى من زرع القيم والمبادئ الإسلامية إلى الذي انتمى إليه والأرض التي تحتويني.. إلى اغلام على قلبي

ابي الغالي.

إلى من جعل الجنة تحت أقدامها وسهلت لي الشدائد بدعائها إلى الإنسانية العظيمة التي لا طالما تمنى أن تقر عينها لرؤيتي في يوم كهذا إلى من لم ترى عيني قط حبا كحبها

إلى امي الحبيبة.

الى اخواني واخواتي وابنائهم وبناتهم لكل من كان عوننا وسندا في هذا الطريق الى من افاضني بمشاعره ونصائحه المخلصة اليكم عائلتي أهديكم هذا الإنجاز وثمره النجاح التي لا طالما تمنيتها.

الى رفقاء دربي.. إلى من رزقني الله بهن لأعرف من خلالهن طعم الحياة الجميلة، إلى من صادقت ابتساماتي ابتساماتهم، إلى صديقات العمر هديل، زهرة جعلني الله وإياكن من البارئات.

الى الأرواح الجميلة التي تعرفت عليها خلال مشواري دراسي إلى خريجين وخريجات ماستر 2 هندسة التكرير 2024 وفقكم الله وسدد خطاكم.

خولة دباب

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Qualité des fluides en sortie UTBS .....	8
Tableau I-2: Le rendement du Topping s'établi comme suit (design) .....	10
Tableau I-3: les différents bacs de stockage présenter aux niveaux de l'RHM2.....	19
Tableau II-1: la thermicité des réactions. ....	24
Tableau II-2: la $\Delta H$ des déférentes réactions. ....	25
Tableau II-3: caractéristique de l'essence sans plomb. ....	29
Tableau IV-1: La température de sortie four dans le cas actuel et le cas design. ....	54
Tableau IV-2: les données de calcule le bilan thermique de four. ....	55
Tableau IV-3: Analyse chromatographique de Fuel-gaz. (D'après analyses effectuées pour le test-run RHM2 présenter dans les annexes) .....	56
Tableau IV-4: Paramètres de calcul de l'échangeur EA 807. ....	61
Tableau IV-5: : l'enthalpies de l'effluent sont déterminer d'après l'annexe (I.36). ....	61
Tableau IV-6: les chaleurs spécifiques d'après l'annexe (I.51) et (I.52). ....	62
Tableau IV-7: Calcule des chaleurs spécifiques à 135 °C d'après l'annexe (I.51) et (I.52). ....	63
Tableau IV-8: les caractéristiques d'échangeur cote tube. ....	64
Tableau IV-9: les caractéristiques d'échangeur.....	65
Tableau IV-10: caractéristiques de l'effluent à Tc.....	66
Tableau IV-11: caractéristiques du gaz de recyclage à tc. ....	67
Tableau IV-12: Résultats finales de dimensionnement de l'échangeur EA807. ....	69
Tableau IV-13: les donnes avec le calcule La température entrée échangeur EA803 A-B .....	70
Tableau IV-14: Donnes de calcule la température sortie échangeur EA803 A-B. ....	70
Tableau IV-15: Données de calcul la température sortie échangeur EA801. ....	71

## LISTE DES FIGURES :

Figure I-1:géographie de Hassi Messaoud	5
Figure I-2: un schéma qui explique l'organigramme de complexe industriel sud	6
Figure I-3: un schéma présenter les déférente unité de l'UTBS	7
Figure I-4 : schéma synoptique de la raffinerie RHM2	10
Figure I-5: Schéma du procédé du Topping de RHM2.	11
Figure I-6: Schéma d'hydrotraitement de RHM2.	14
Figure I-7: Schéma d'hydrotraitement et reforming catalytique de RHM2	17
Figure I-8: les nouveaux et l'anciens catalyseurs d'hydrotraitement et de reforming catalytique (HG-682 \ HR-616).	18
Figure II-1 : Évolution de répartition des paraffines a atomes de carbone e l'équilibre thermodynamique.	26
Figure II-2: Schéma de principe de l'ensemble des réacteurs. F désigne les fours. R les réacteurs.	27
Figure II-3: ASTM D156 Saybolt et lumière du jour artificielle Lampe.	30
Figure II-4: Échelle de couleurs ASTM D 1500.	30
Figure II-5: DT-1500 produits pétroliers Test colorimètre ASTM D1500.	30
Figure II-6: Le moteur à indice d'octane CFR spécifie l'équipement pour tester les carburants.	35
Figure III-1: les fours tubulaires cylindrique et cabine.	38
Figure III-2: coupe schématique des déférentes types four (cabines) à tubes horizontaux.	40
Figure III-3: coupe schématique des déférentes types four cylindrique verticaux.	41
Figure III-4: photo réelle de four de l'unité de reforming catalytique ou niveaux de la nouvelle raffinerie de Hassi Massoud.	42
Figure III-5: coupe schématique des déférentes types four à chauffage par murs radiants.	42
Figure III-6: échangeur à tubes coaxiaux.	45
Figure III-7: échangeur à faisceaux/calandre.	46
Figure III-8: Calandre d'un échangeur tubulaire.	46
Figure III-9: Plaque tubulaire d'un échangeur thermique à tube et calandre.	47
Figure III-10:Position des tubes. (a Pas triangulaire. b. Pas carré).	47
Figure III-11: photo réelle d'échangeurs de l'unité de reforming catalytique ou niveaux de l'RHM2.	48
Figure III-12:Chicane d'un échangeur tubulaire.	48
Figure III-13: Boîte de distribution d'un échangeur tubulaire.	49
Figure III-14: Echangeur tubulaire à deux passages.	49
Figure III-15: échangeur de type 1-2.	50
Figure III-16: échangeur de type 2-4.	50
Figure III-17: échangeur à courants croisés.	51
Figure III-18: Échangeurs à plaques.	52
Figure IV-1: Circuit actuel de la section de préchauffage de la charge dans l'unité 800.	58
Figure IV-2: Circuit proposée de la section de préchauffage de la charge dans l'unité 800.	58

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>RHM2</b>	Raffinerie de Hassi Messaoud
<b>CIS</b>	Complexe industriel sud
<b>UTBS</b>	L'unité de traitement de brut SUD de Hassi Messaoud
<b>API</b>	American Petroleum Institute
<b>IO</b>	L'indice d'octane
<b>TVR</b>	Tension de Vapeur Reid
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials.
<b>RON</b>	L'indice d'octane de recherche
<b>MON</b>	L'indice d'octane moteur
<b>Sp. Gr 60/60 °F</b>	La Gravité Spécifique
<b>BRP</b>	Le Bureau de Recherches Pétrolières
<b>S.N.E.P.A. L</b>	La Société Nationale de Recherche et d'Exploitation des Pétroles en Algérie
<b>C.F.P. A</b>	La Compagnie de Recherche et d'Exploitation Pétrolières au Sahara
<b>C.P. A</b>	La Compagnie des Pétroles d'Algérie
<b>UFC</b>	Une unité de fractionnement condensat
<b>WIC</b>	Une unité satellite dédiée à la séparation et à la compression du gaz sur le champ
<b>LDBP2</b>	Unité de récupération des gaz torchés
<b>C.F.R.</b>	Moteur "Code of Federal Regulation"
<b>BSW</b>	La Teneur en eau et sédiments
<b>EC</b>	L'aéro-réfrigérateur
<b>FA</b>	Stabilisateur
<b>BA</b>	Four
<b>K</b>	Réacteur
<b>DA</b>	Séparateur
<b>TRCV</b>	Vanne à 3 voies
<b>PRCV 84</b>	Régulateur de pression

## LISTE DES SYMBOLES :

Symboles	Désignation	Unité
<b>M</b>	Débit massique de fluide chaud	kg/h
<b>m</b>	Débit massique de fluide froid	kg/h
<b>C<sub>p</sub></b>	Chaleur spécifique	kcal/kg °C
<b>A</b>	La surface d'échange réel	m <sup>2</sup>
<b>T<sub>1</sub></b>	Température d'entrée fluide chaud	°C
<b>T<sub>2</sub></b>	Température de sortie fluide chaud	°C
<b>t<sub>1</sub></b>	Température d'entrée fluide froid	°C
<b>t<sub>2</sub></b>	Température de sortie fluide froid	°C
<b>ΔTLM</b>	Température moyenne logarithmique	°C
<b>n<sub>t</sub></b>	Nombre de passe coté tube	/
<b>n<sub>c</sub></b>	Nombre de passe coté calandre	/
<b>d<sub>i</sub></b>	Diamètre intérieur de tubes	m
<b>d<sub>e</sub></b>	Diamètre extérieur de tubes	m
<b>E</b>	Épaisseur de tubes	m
<b>P</b>	Le Pas	m
<b>L</b>	La longueur de l'échangeur	m
<b>a</b>	Surface d'échange d'un tube	m <sup>2</sup>
<b>N<sub>t</sub>'</b>	Nombre de tube estimer	/
<b>N<sub>t</sub></b>	Nombre de tube réel	/
<b>at</b>	Section de passage coté calandre	m <sup>2</sup>
<b>ac</b>	Section par passe coté tube	m <sup>2</sup>
<b>D<sub>e</sub></b>	Diamètre équivalent	m
<b>D<sub>c</sub></b>	Diamètre de la calandre	m
<b>T<sub>c</sub></b>	Température calorique fluide chaud	°C
<b>T<sub>c</sub></b>	Température calorique fluide froid	°C
<b>d<sup>15</sup><sub>4</sub></b>	La densité à T= 15°	/
<b>λ</b>	Conductivité thermique	kcal/m.h.°C
<b>η</b>	La viscosité dynamique.	kcal/m.h
<b>G<sub>t</sub></b>	Vitesse massique tube	kg/m <sup>2</sup> .h
<b>G<sub>c</sub></b>	Vitesse massique calandre	kg/m <sup>2</sup> .h
<b>Re</b>	Nombre de Reynolds	/
<b>n<sub>ch</sub></b>	Nombre de chicane	/
<b>B</b>	La distance entre les chicanes	m
<b>t<sub>t</sub></b>	Température de tube	°C
<b>h<sub>io</sub></b>	Coefficient de film interne	/
<b>h<sub>o</sub></b>	Coefficient de film externe	/
<b>U<sub>s</sub></b>	Coefficient de transfert salle	kcal/m <sup>2</sup> .h.°C
<b>U<sub>p</sub></b>	Coefficient de transfert propre	kcal/m <sup>2</sup> .h.°C
<b>J<sub>h</sub></b>	Coefficient de transfert de chaleur	/
<b>R<sub>s</sub></b>	Résistance d'encrassement	m <sup>2</sup> .h.°C/ Kcal
<b>R</b>	Capacité thermique	/
<b>E</b>	Efficacité thermique	/
<b>PCI</b>	Pouvoir calorifique inferieur	kcal/Nm <sup>3</sup>

## SOMMAIRE

<b>Introduction générale :</b> .....	2
<b>CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA NOUVELLE RAFFINERIE DE HASSI MESSAOUD (RHM 2)</b> .....	<b>3</b>
I.1.    Historique de Hassi Messaoud : .....	4
I.2.    Géographie de la région : .....	5
I.3.    Organigramme de complexe industriel sud : .....	6
I.4.    Unité de traitement du brut sud (utbs) : .....	6
I.5.    Description de la raffinerie : .....	9
I.5.1.    Section 200 : Distillation atmosphérique "Topping" .....	10
I.5.2.    Section 300 : Prétraitement de naphta : .....	12
I.5.3.    Section 800 : reforming catalytique : .....	14
I.5.4.    Stockage : .....	18
<b>CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR LE REFORMING CATALYTIQUE ET L'ESSENCE. 20</b>	
II.1.    Reforming catalytique : .....	21
II.2.    Réactions fondamentales : .....	21
II.2.1.    Déshydrogénation des naphènes : .....	21
II.2.2.    Isomérisation des paraffines : .....	22
II.2.3.    Deshydrocyclisation des paraffines : .....	22
II.2.4.    Hydrocraquage : .....	23
II.3.    Réactions secondaires : .....	23
II.4.    Type de procédés dans chaque réacteur : .....	24
II.4.1.    1er réacteur : .....	24
II.4.2.    2ème réacteur .....	24
II.4.3.    3ème réacteur : .....	24
II.5.    Thermodynamique des réactions : .....	24
II.5.1.    Thermicité des réactions : .....	24
II.5.2.    Équilibres thermodynamiques : .....	25
II.6.    Catalyseur de réformation : .....	26
II.7.    Définition de l'essence : .....	27
II.8.    Les différents types d'essences : .....	27
II.8.1.    L'essence ordinaire : .....	27
II.8.2.    Le supercarburant : .....	28
II.8.3.    Les supers sans plomb : .....	28
II.9.    Procédés de la production des essences : .....	28
II.10.    Spécification des essences .....	28
II.11.    Caractéristiques des essences : .....	29
II.11.1.    Les caractéristiques physiques : .....	29
II.12.    La volatilité : .....	32

II.12.1.	La Tension de vapeur REID :	32
II.12.2.	Courbe de distillation ASTM :	32
II.12.3.	Le point d'éclair :	33
II.12.4.	La masse molaire moyenne :	33
II.12.5.	Les caractéristiques chimiques :	33
II.12.6.	La Teneur en eau et sédiments (BSW) :	33
II.12.7.	La teneur en sels :	33
II.12.8.	Le point d'aniline.....	34
II.12.9.	L'indice d'octane .....	34
II.13.	L'indice d'octane :	34
II.14.	Mesure de l'indice d'octane :	34
II.14.1.	Paramètres affectant l'indice d'octane .....	36
II.14.2.	Incidence de l'indice d'octane sur le fonctionnement des moteurs :.....	36
<b>CHAPITRE III : GÉNÉRALITÉS SUR LES ÉQUIPEMENTS DE CHAUFFAGE .....</b>		<b>37</b>
III.1.	Les fours tubulaires :.....	38
III.1.1.	Caractéristiques générales des fours tubulaires :.....	39
III.1.2.	Echange thermique :.....	39
III.1.3.	Constitution d'un four :.....	39
III.1.4.	Description des différents types de four : .....	40
III.1.5.	Les fours dits « cabines » à tubes horizontaux :.....	40
III.1.6.	Les fours dits « boîtes » à tubes verticaux : .....	41
III.1.7.	Les fours cylindriques verticaux :.....	41
III.1.8.	Les fours à chauffage par murs radiants : .....	42
III.2.	Les échangeurs :.....	43
III.2.1.	Principe général : .....	43
III.2.2.	Classification des échangeurs thermiques :.....	44
III.2.3.	Classification selon la technologie :.....	44
III.2.4.	Classification selon le mode de transfert de chaleur :.....	44
III.2.5.	Classification suivant le procédé de transfert de chaleur :.....	44
III.2.6.	Classification fonctionnelle : .....	44
III.2.7.	Classification suivant la nature du matériau de la paroi d'échange :.....	45
III.2.8.	Les principaux types des échangeurs sont : .....	45
	Échangeur 1-2 : .....	50
	Échangeur 2-4 : .....	50
	Échangeurs à courants croisés : .....	51
<b>CHAPITRE IV : PARTIE DE CALCUL .....</b>		<b>Error! Bookmark not defined.</b>
IV.1.	Problématique : .....	54
IV.2.	Vérification de rendement de four BA801 cas actuelle et cas design :.....	55

---

IV.2.1. Bilan thermique :.....	55
IV.2.2. Les remarques :.....	57
IV.3. Objectif de l'étude : .....	57
IV.3.1. Le circuit de l'unité Cas actuelle : .....	58
IV.3.2. Le circuit de l'unité Cas proposée :.....	58
IV.4. Dimensionnement de l'échangeur à placer en amont de la section de préchauffe : .....	59
IV.4.1. Théorie de la méthode :.....	59
IV.4.2. Données de calcul : .....	60
IV.4.3. Résultats :.....	69
IV.5. Etude d'amélioration de la température entrée et sortie four BA801 après l'emplacement de l'échangeur EA807 : .....	70
IV.6. 7. Interprétation :.....	72
<b>RECOMMANDATION ET CONCLUSION .....</b>	<b>73</b>
<b>RECOMMANDATION : .....</b>	<b>74</b>
<b>CONCLUSION : .....</b>	<b>74</b>
<b>LES REFERENCES .....</b>	<b>75</b>
<b>LES ANNEXES.....</b>	<b>77</b>

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

## Introduction générale

L'énergie joue un rôle crucial dans le développement en encourageant les investissements, les innovations et la création de nouvelles industries, stimulant ainsi l'emploi, la croissance économique et le bien-être mondial. L'une des sources d'énergie les plus largement utilisées est l'énergie fossile.

L'énergie fossiles sont des ressources naturelles non renouvelables constituées de matière organique décomposée au cours de longues périodes géologiques. Ils comprennent principalement le pétrole, le charbon et le gaz naturel. Ces ressources sont largement utilisées pour produire de l'énergie thermique, mécanique et électrique dans divers secteurs tels que les transports, la production d'électricité et l'industrie comme l'industrie de raffinage.

Le raffinage revêt une importance capitale à plusieurs niveaux. Premièrement, il convertit le pétrole brut, qui est une ressource naturelle qui ne peut pas être utilisée directement, en de nombreux produits pétroliers de base tels que l'essence, le diesel, le kérosène, le mazout, les lubrifiants et bien d'autres, en passant par trois étapes fondamentales notamment la distillation, la conversion et la purification. Ces produits sont essentiels dans divers secteurs, dont les transports, l'industrie, l'agriculture et même la fabrication de produits de consommation courante comme les plastiques et les cosmétiques. Le pétrole est raffiné et séparé dans des raffineries réparties dans les zones d'exploitation.

Une raffinerie de pétrole est constituée de plusieurs unités fondamentales qui transforment le pétrole brut en produits finaux en réponse aux besoins du marché. Ces unités comprennent la distillation, le prétraitement, le reformage catalytique et le stockage. L'objectif durement recherché est d'affecter à toute unité la meilleure marche de point de vue sécurité, niveau de production et longévité. C'est dans ce contexte incontestablement impératif que nous a été confiée, l'étude ci présentée, relative à l'unité de reforming catalytique à la nouvelle raffinerie de Hassi Messaoud. En effet, cette unité mise en service en 1979 rencontre actuellement quelque difficulté dues à la baisse de productivité causée par une chute de la température, A travers ce travail, nous essayons d'abord de diagnostiquer l'origine de cette baisse, ensuite de donner quelques solutions susceptibles de pallier ce problème.

# **CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA NOUVELLE RAFFINERIE DE HASSI MESSAOUD (RHM 2)**

## I.1. Historique de Hassi Messaoud :

Le Bureau de Recherches Pétrolières (BRP) a été fondé en 1945 dans le but de créer les conditions indispensables pour atteindre l'indépendance énergétique de la France et des territoires sous contrôle français. [1]

Dès 1953, quatre grandes entreprises françaises, la Société Nationale de Recherche et d'Exploitation des Pétroles en Algérie (S.N.R.E.P.A.L), la Compagnie Française des Pétroles - Algérie (C.F.P.A.), la Compagnie de Recherche et d'Exploitation Pétrolières au Sahara (C.R.E.P.S.) et la Compagnie des Pétroles d'Algérie (C.P.A.), ont reçu les premiers permis de recherches. [1]

En 1956, des entreprises françaises spécialisées dans l'exploration pétrolière ont découvert un important gisement de pétrole à Hassi-Messaoud, situé au Sahara, après plusieurs années de recherche. Peu de temps après cette découverte, elles ont entrepris l'exploitation du gisement, marquée par le premier forage. [1]

L'année suivante, en 1957, a vu la réalisation de 20 puits de forage et la mise en place d'unités de séparation en vue de l'exploitation de ces champs pétroliers. En mai 1959, un événement significatif s'est produit avec la finalisation du premier oléoduc d'un diamètre de 24 pouces, établissant ainsi une connexion entre le centre principal de stockage de Hassi Messaoud (Haoud-El-Hamra) et le port pétrolier de Bejaia. [1]

Entre 1959 et 1964, un total de 153 puits ont été exploités. Parallèlement, la préparation de 7 puits injecteurs de gaz a été entreprise pour lancer la première phase de récupération secondaire. Cette phase a été concrétisée par la mise en service des deux premières stations de réinjection de gaz haute pression, à savoir UC1 et SC1. [1]

Dans la période allant de 1963 à 1967, 40 nouveaux puits ont été forés, équivalant à une moyenne de 8 puits par an. À partir de 1968, le rythme de forage a considérablement augmenté, avec une moyenne de 31 à 32 puits par an. [1]

En 1970, la production de pétrole a atteint le seuil remarquable de 23,2 millions de tonnes. Entre 1972 et 1977, des investissements significatifs ont été réalisés pour les installations de surface, englobant la création de cinq stations de réinjection de gaz (trois au Sud et deux au Nord), six centres satellites dédiés à la séparation et à la compression du gaz sur champ, deux unités de récupération de GPL, ainsi que onze turbopompes d'injection d'eau. [1]

De 1978 à 1984, l'accent a été mis sur le développement continu des forages, ainsi que sur la récupération des gaz initialement torchés par la mise en place de stations de compression dans

les deux complexes. Une unité de fractionnement condensat (UFC) a également été réalisée pendant cette période, en parallèle avec la construction d'une nouvelle raffinerie d'une capacité de traitement d'un (01) million de tonnes. [1]

Pendant la période de 1984 à 1987, deux nouvelles stations de réinjection de gaz, SC5 et SC6, ont été conçues et mises en exploitation, accompagnées de l'installation d'une station de compression R4/R5. [1]

De 1987 à 1993, d'autres installations ont été créées et mises en service, comprenant deux (02) stations de réinjection de gaz haute pression, SC7 et SC8. De plus, une unité satellite dédiée à la séparation et à la compression du gaz sur le champ (W1C) a été érigée, ainsi qu'une unité de récupération des gaz torchés, identifiée sous le nom de LDBP 2. [1]

En 2010, une étape significative a été franchie avec la réalisation et la mise en service d'une unité de traitement (UTBS). [1]



## I.2. Géographie de la région :

Hassi Messaoud est une commune de la wilaya d'Ouargla, située à 86 km au sud-est d'Ouargla; à 172 km au sud de Touggourt et à 800 km au sud-est de la capitale Alger. La ville est largement tournée vers l'exploitation du gisement de pétrole. [1]

Figure 0-1: géographie de Hassi Messaoud [1]

### I.3. Organigramme de complexe industriel sud [1]:

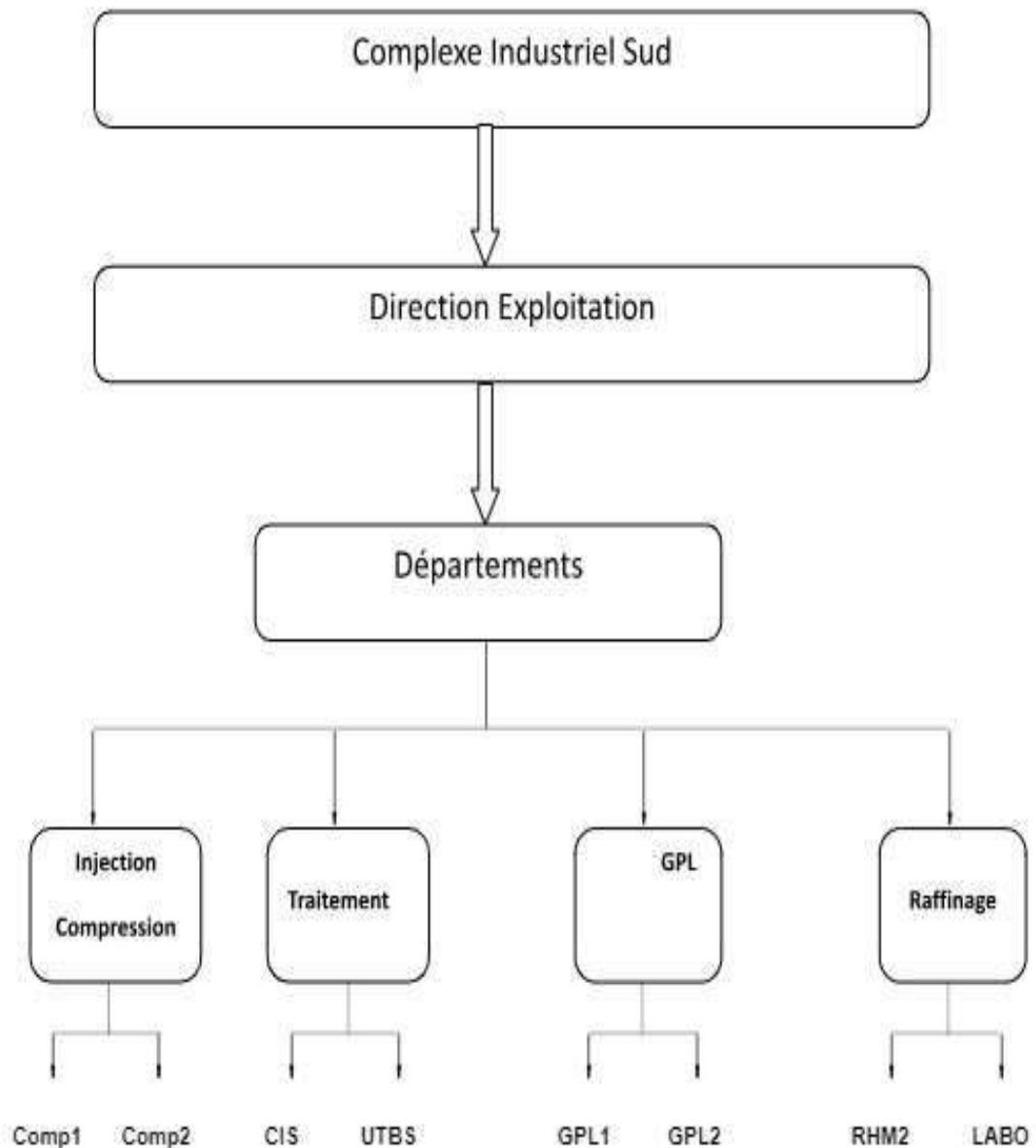
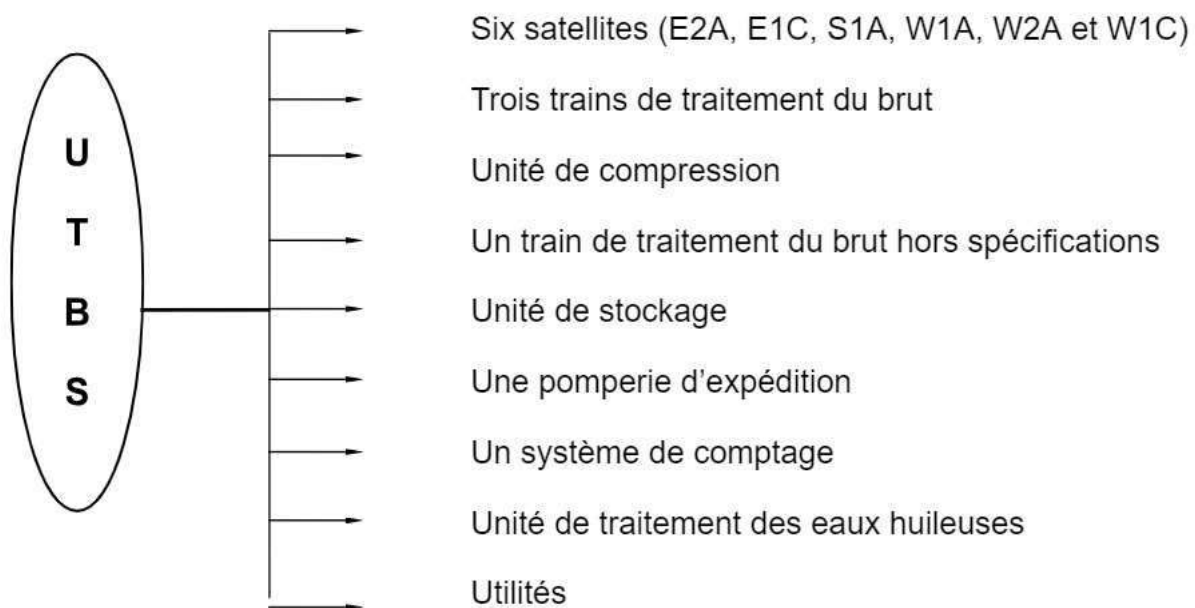


Figure 0-2: un schéma qui explique l'organigramme de complexe industriel sud

### I.4. Unité de traitement du brut sud (utbs) :

UTBS est une unité mise en service en septembre 2010, destinée pour le traitement du pétrole brut provenant de six (06) satellites de la région Hassi Messaoud (HMD) sud. Ce service permet de produire du pétrole brut à des normes de commercialisation. Elle comporte divers sous unités décrites dans le schéma suivant [1] :



**Figure 0-3: un schéma présenter les déférente unité de l'UTBS**

Tableau 0-1 : Qualité des fluides en sortie UTBS [1]

<b>QUALITE DES FLUIDES EN SORTIE UTBS</b>	
<b>Huile</b>	Salinité : $\leq 40$ mg/l Densité : non garantie TVR max. (ASTM D323) : 7.5 psi à 37.8 °C (cas été) TVR max. (ASTM D323) : 10 psi à 37.8 °C (cas hiver) BSW : $\leq 0,1$ % vol
<b>Gaz</b>	Salinité : $\leq 40$ mg/l Densité : non garantie TVR max. (ASTM D323) : 7.5 psi à 37.8 °C (cas été) TVR max. (ASTM D323) : 10 psi à 37.8 °C (cas hiver) BSW : $\leq 0,1$ % vol
<b>Eau d'injection</b>	MES $\leq 30$ mg/l HC $\leq 10$ mg/l Eau d'injection 50 ppb teneur en oxygène Les bactéries sulfato-réductrices seront éliminées sous réserve de l'absence des bactéries sulfato-réductrices dans l'eau de gisement et dans l'eau du puits albien.
<b>Air instrument</b>	Point de rosée - 40 °C à 1 atm.
<b>Azote</b>	97%

<b>Eaux usées</b>	Rejet liquide STEP : PH entre 6,5 et 8,5 MES (Matière en Suspension) $\leq 30$ mg/l DBO 5 (demande biologique en oxygène en 5 jours) $\leq 40$ mg/l DCO (Demande Chimique en Oxygène) $\leq 120$ mg/l Hydrocarbures totaux $\leq 10$ mg/l
-------------------	--

### I.5. Description de la raffinerie :

La raffinerie de Hassi-Messaoud mise en service en 1979, la RHM2 est alimentée par le brut provenant de l'unité Traitement sud CIS ou bien UTBS, elle traite annuellement 1070000 tonnes (design) pour assurer la demande du Sud-est algérien en carburants : Essences, Kérosène et Gasoil. [1]

La capacité de production design est [1] :

- Essence sans plomb : la quantité de la charge nécessaire pour produire 100000tonnes/an de reformat est de 15379Kg\h.
- Kérosène : 40 500 tonnes /an
- Gasoil : 412 000 tonnes /an

Elle se compose de quatre unités principales [2]:

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

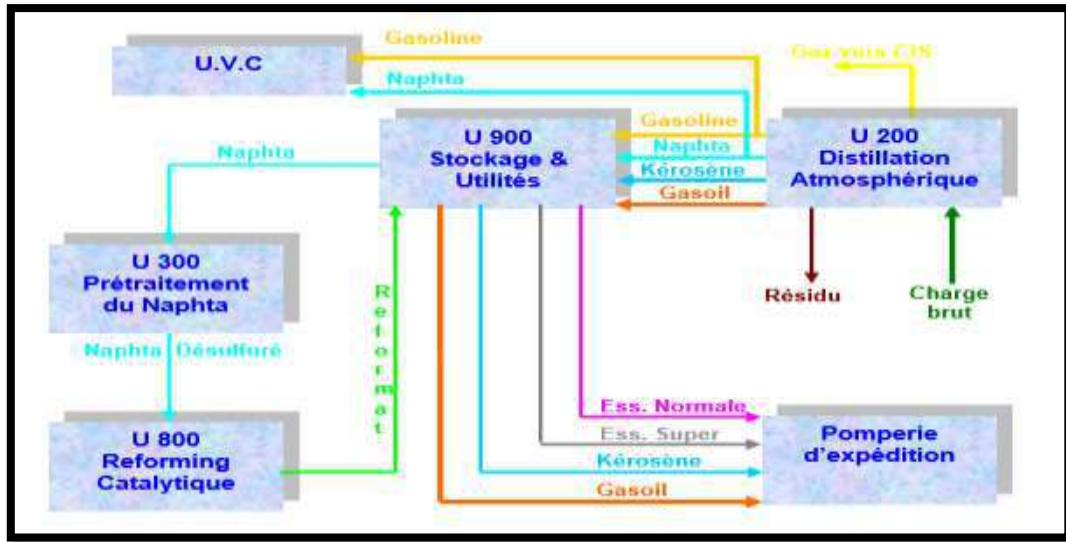


Figure 0-4 : schéma synoptique de la raffinerie RHM2 [2]

### I.5.1. Section 200 : Distillation atmosphérique "Topping"

L'alimentation de cette unité se fait à partir de brut de Hassi- Messaoud provenant du traitement de complexe industriel sud CIS ou de l'unité de traitement brut sud UTBS où il est déjà traité, la charge entre à température ambiante et à une pression de 4.4 bars et possède une densité d'environ 0.790 – 0.800. La colonne de distillation produit les coupes suivantes [2] :

- Gazoline.
- Naphta.
- Kérosène.
- Gasoil.
- Résidu.

Tableau 0-2: Le rendement du Topping s'établi comme suit (design) [2]

Coupes	Poids%	Tonnes	Densité
Légers	4%	40 600	
Gazoline (C5/80)	9%	96 500	0,67
Naphta (80/160)	19%	206 400	0,74
Kérosène (160/250)	21%	221 700	0,80
Gas-oil (250/375)	22%	230 800	0,87
Résidu (375+)	26%	274 600	
<b>Totale</b>	<b>100%</b>	<b>1 070 600</b>	

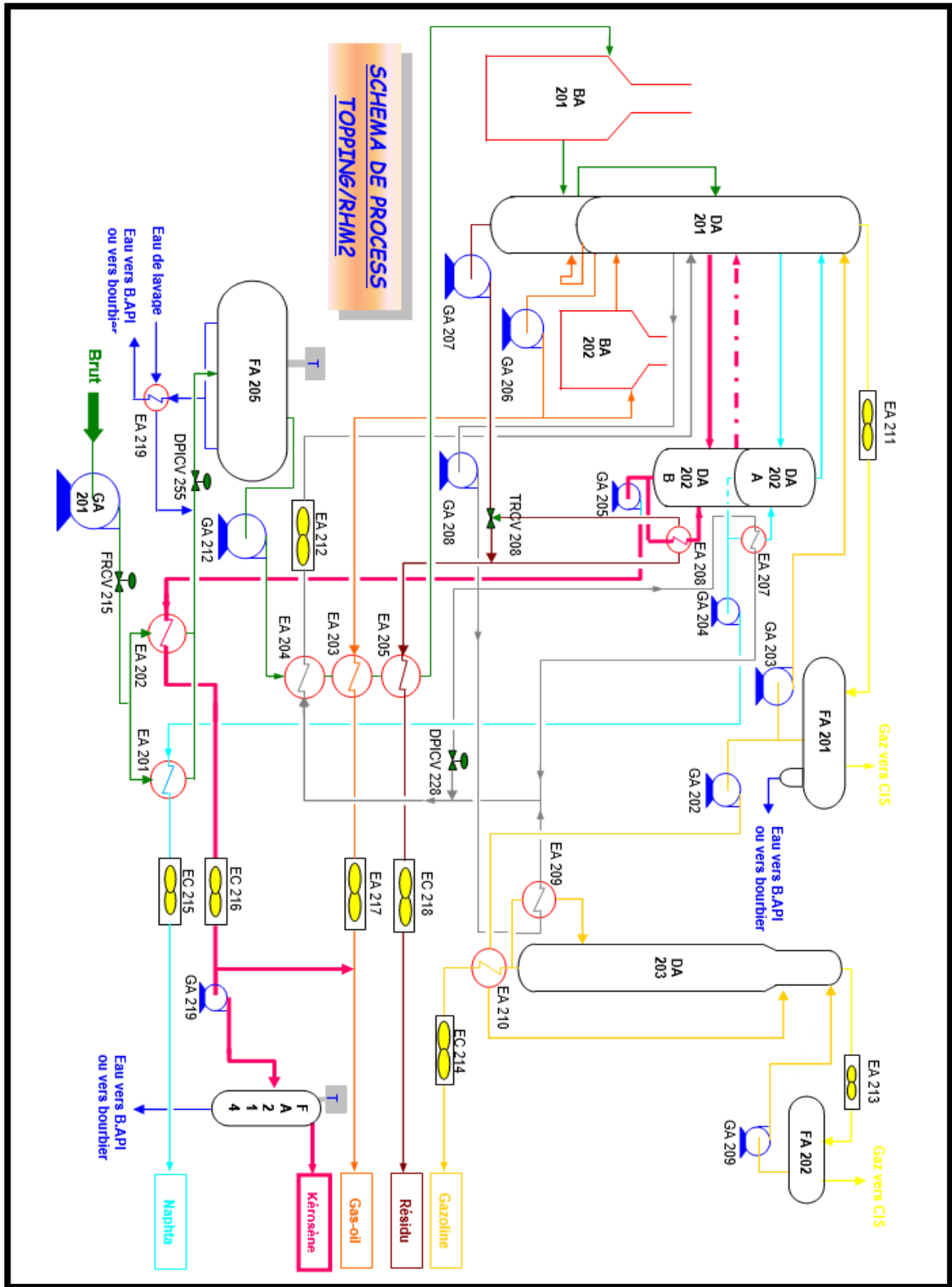


Figure 0-5: Schéma du procédé du Topping de RHM2. [3]

## **I.5.2. Section 300 : Prétraitement de naphta :**

### **I.5.2.1. L'objectif :**

Le prétraitement du naphta est réalisé à travers le procédé d'hydrodésulfuration. L'objectif de ce prétraitement est de diminuer la teneur en soufre du naphta, ainsi que d'autres impuretés telles que l'azote, l'oxygène et l'arsenic. Cette réduction vise à prévenir le risque d'empoisonnement du catalyseur utilisé dans le processus de reforming. [2]

La capacité de traitement annuelle de la section de prétraitement du naphta (design) est de 100022 tonnes. [2]

### **Les spécifications de la charge naphta (design) [4]:**

- Densité à 15°C : 0,7437
- ASTM : PI 98°C
- 50% distillé 119°C

### **Composition de la charge (PONA) design [4]:**

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

### **Impuretés contenues dans la charge (design) [4] :**

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

### **I.5.2.2. Le procédé d'hydrotraitement :**

- L'unité 300 est alimentée en naphta par l'intermédiaire de la pompe GA 301 A-B-C. Le gaz riche en hydrogène, provenant de la section 800 (reforming catalytique), est mélangé avec le naphta refoulé à une température de 41 °C. Ensuite, ce mélange traverse une série d'échangeurs de chaleur, EA301 A-B-C, où il échange de la chaleur avec l'effluent du réacteur K301, permettant d'atteindre la température nécessaire pour le procédé. [5]
- Le four BA301 a pour objectif d'augmenter la température de la charge hydrorafinée, passant de 270 °C (température à la sortie des échangeurs) à 300 °C. La charge hydrorafinée, émanant de la partie inférieure du réacteur K301 (fonctionnant à une pression de 22bar avec un gradient de température négligeable), doit être refroidie à

102 °C après avoir traversé les échangeurs EA301A-B-C, puis l'échangeur EA 304. Ce processus de refroidissement se poursuit jusqu'à atteindre 45 °C grâce à l'aéroréfrigérant à air humidifié EC 302. Enfin, le naphta passe par le ballon séparateur FA 301, où les gaz non condensés sortent de la tête de la colonne à une pression de 20bar et une température de 45 °C. Ces gaz peuvent être dirigés soit vers le circuit du fuel gaz pour alimenter les brûleurs des fours, soit vers les torches. [5]

- Le produit cumulé au fond sort avec un débit contrôlé par le FRC 312, fixé à 15 m<sup>3</sup>/h. Ensuite, il passe à travers la calandre EA 304 afin d'atteindre une température de 100 °C, correspondant à la température d'alimentation du stripeur DA301. Ce stripeur est composé de 28 plateaux à clapets qui fonctionnent à une pression de 8bar. L'alimentation se réalise au niveau du 9ème plateau. Les gaz issus de la tête de ce stripeur sont condensés par EC 303, puis passent à travers le ballon reflux FA302. Ce dernier est équipé d'une sortie supérieure permettant l'évacuation des gaz vers les torches ou leur utilisation comme fuel gaz, ainsi qu'une sortie inférieure d'où la pompe GA 302 reprend l'hydrocarbure liquide et le refoule vers la tête de DA301. [5]

La charge du stripeur DA301 est ensuite acheminée vers la pompe GA303, qui la prend partiellement pour le rebouillage dans le four BA302, induisant une augmentation de la température de 222 à 229 °C. La deuxième partie de la charge est aspirée par la pompe de charge de la section 800, GA801. [5]

### **I.5.2.3. Catalyseur de prétraitement :**

Le HR 616 est reconnu comme le catalyseur principal d'hydrotraitement. HR 616 est un catalyseur CoMo qui fournit une activité d'hydrodésulfuration très élevée, en particulier dans des conditions de service exigeantes, grâce à une texture et une formulation de support optimisées qui confèrent également au catalyseur une stabilité exceptionnelle. [4]

- La température entrée réacteur = 290 °C.
- Pression de service = 23bar.
- Débit de charge = 100 .22.5 m<sup>3</sup>/h.
- Cycle catalytique = 36 mois.

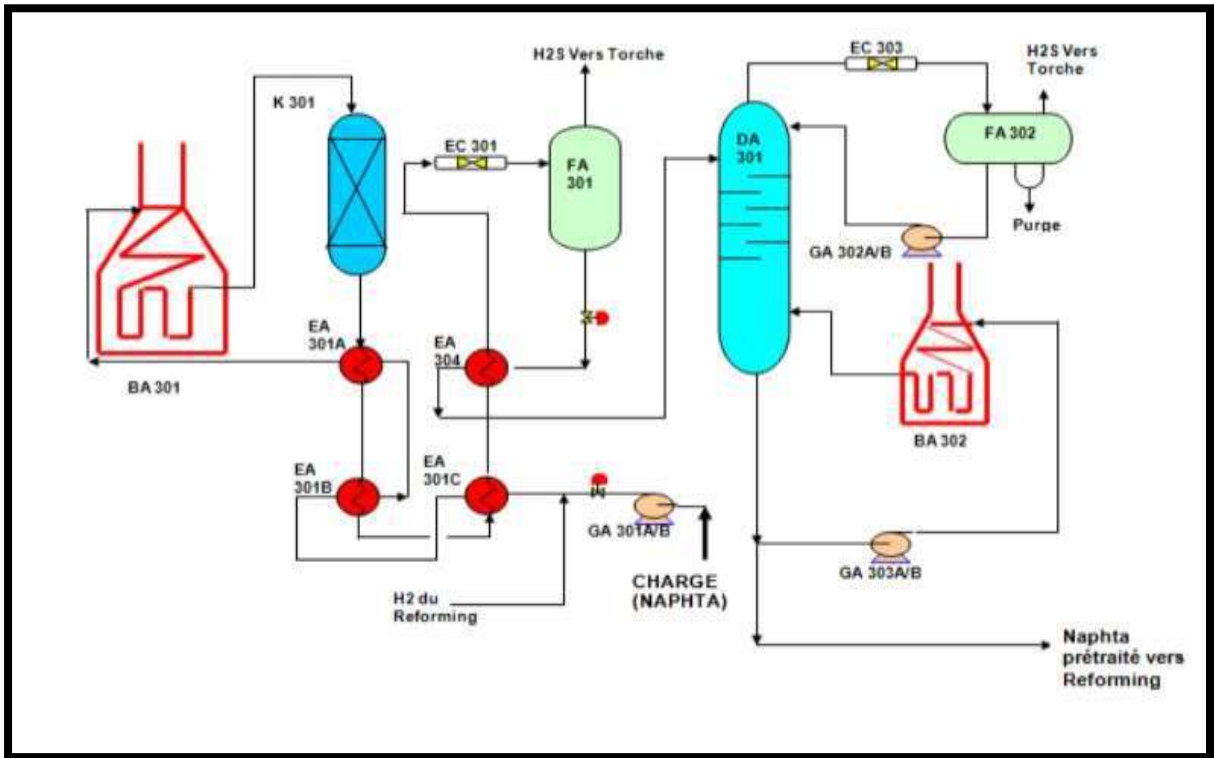


Figure 0-6: Schéma d'hydrotraitement de RHM2. [4]

### I.5.3. Section 800 : reforming catalytique :

La capacité annuelle de production de la section reforming (design) est de : 100 000 tonnes de réformât. [2]

#### I.5.3.1. L'objectif :

L'objectif du reforming catalytique est de convertir les hydrocarbures ayant un faible nombre d'octanes en hydrocarbures présentant un nombre d'octanes plus élevé. [2]

- Le nombre d'octanes d'un carburant est une caractéristique essentielle, jouant un rôle fondamental dans la qualité du carburant. L'augmentation du nombre d'octanes d'une essence permet d'accroître le rapport de compression des moteurs, ce qui, à son tour, améliore leurs performances globales. Ainsi, le processus de reforming catalytique vise à améliorer la qualité des hydrocarbures pour répondre aux exigences élevées en termes de performances des moteurs. [2]

#### I.5.3.2. Le procédé reforming catalytique :

- La charge désulfurée est mélangée avec le refoulement de la pompe de charge GA801 et environ 25,103 Nm<sup>3</sup> d'hydrogène provenant du compresseur volumétrique GB801. Ce mélange, constituant la charge des réacteurs, subit un préchauffage dans une série

d'échangeurs (EA803 A-B et EA801) par échange thermique à environ 390°C avec les effluents des réacteurs. Ensuite, il est chauffé dans le premier four BA801 à environ 500°C avant d'entrer dans le premier réacteur K801, suivant le même cycle successif (BA802-K802-BA803-K803). Étant donné que ce processus est endothermique, il est nécessaire de chauffer le mélange pendant la réaction afin de maintenir un niveau de température suffisant dans les réacteurs. [3]

- À la sortie du dernier réacteur, les effluents subissent un refroidissement initial à environ 346°C dans l'échangeur EA801, permettant ainsi de transférer leur chaleur à la charge des réacteurs. Ensuite, une fraction des effluents est dirigée vers le rebouillage du fond de colonne dans le rebouilleur EA802, opérant à une température d'environ 210°C, contribuant ainsi au réglage de la température de vaporisation de la charge du réformât. [3]
- Les effluents mélangés subissent un processus de refroidissement à environ 160°C au sein d'une batterie d'échangeurs (EA803A-B) afin de transférer leur chaleur à la charge. Ensuite, ils sont refroidis davantage dans une série d'aéroréfrigérants à air humidifié (EC804 A-B) avant d'être soumis à une opération de flash dans un ballon séparateur vertical (FA801). [3]
- La phase gazeuse, riche en hydrogène (~80%), est divisée en deux parties. Une fraction est prélevée par l'un des compresseurs volumétriques GB801, puis mélangée avec la charge au refoulement de la pompe de charge. L'autre partie, provenant de la régulation de la PRCV 844, est dirigée vers le pré-traitement sous la régulation de pression du ballon FA801, maintenue à 20 bars, où elle est mélangée avec la charge de naphta du pré-traitement. [3]
- Pour le stockage de l'hydrogène nécessaire au démarrage de l'unité de reforming, un ballon FA807 d'une capacité de 50 Nm<sup>3</sup> est utilisé, alimenté par un compresseur volumétrique à membrane (GB802) lorsque la pression du ballon descend en dessous de 45 bars. [3]
- La phase liquide, constituant la charge de la colonne de stabilisation DA801 (réformât non stabiliser), subit un préchauffage à environ 150°C au sein d'une batterie d'échangeurs (EA805A-B), grâce à la chaleur provenant du fond de la colonne. Ensuite, elle est stabilisée dans une colonne (DA801) équipée de 29 plateaux à clapets. Après la stabilisation, la phase liquide est refroidie dans un aéroréfrigérant à air humidifié (EC807) avant d'être dirigée vers le stockage en vue de son utilisation dans la préparation des essences. [3]

- Le rebouillage du fond de la colonne DA801 est réalisé en utilisant une partie des effluents provenant des sorties des réacteurs, introduite dans le rebouilleur EA801 à environ 210 °C. Ce processus est contrôlé par une TRCV (vanne à 3 voies) pour ajuster la tension de vapeur du réformât. [3]
- Les vapeurs provenant de la tête de la colonne de stabilisation DA801 sont refroidies à l'aide d'une batterie d'aéroréfrigérants à air humidifié (EC806 A-B), puis condensées et séparées dans le ballon FA802. La phase gazeuse ainsi obtenue est dirigée sous régulation de pression du ballon à 15 bars, où elle peut être dirigée vers le combustible gazeux ou vers la torche. [3]

Quant à la phase liquide, une fraction est utilisée comme reflux de tête avec l'assistance de la pompe GA802, tandis que l'autre partie est acheminée vers le CIS (3ème étage) ou vers la torche, selon les exigences du processus. (Voir schéma du processus de reforming pour plus de détails). [3]

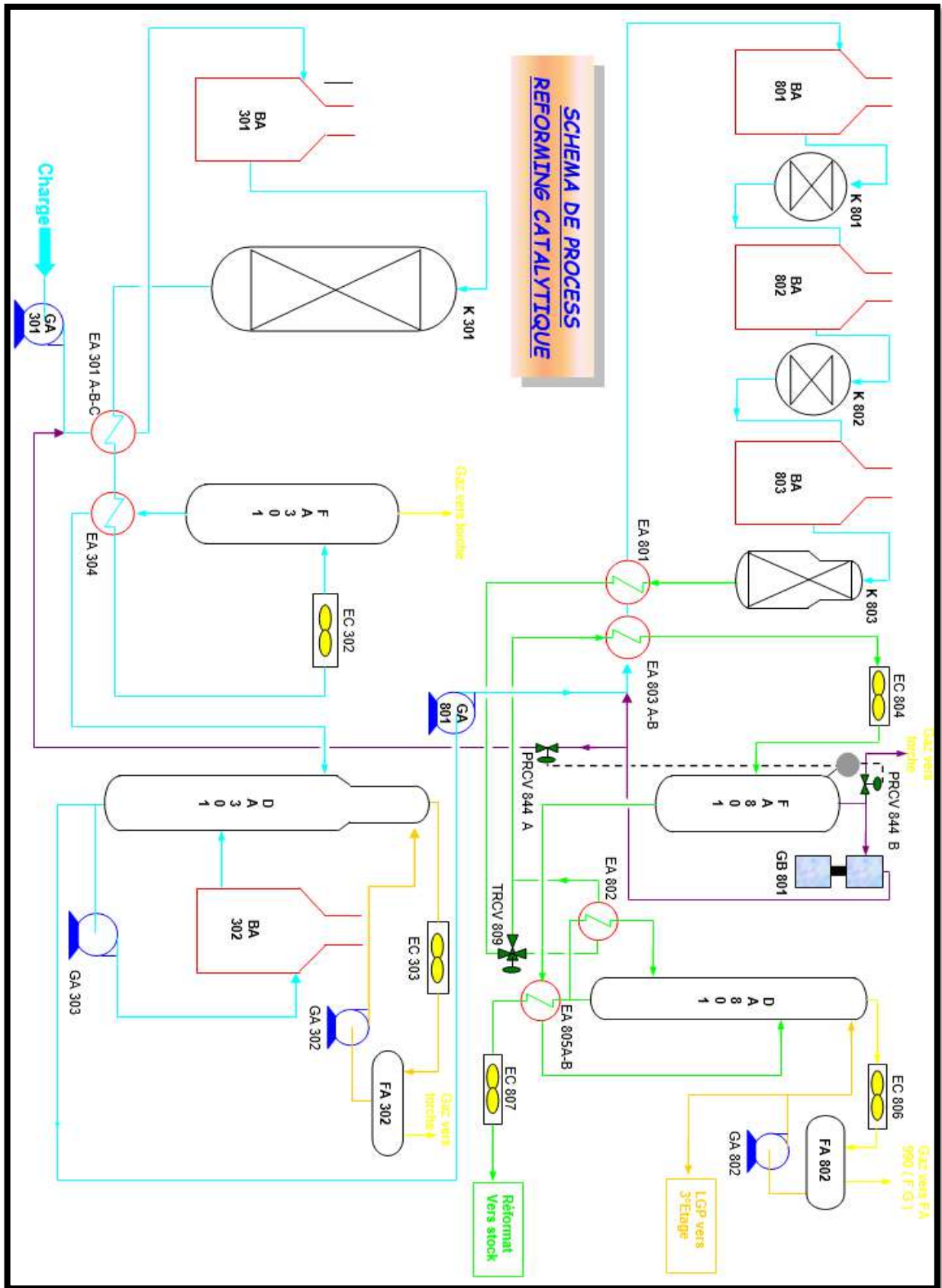


Figure 0-7: Schéma d'hydrotraitement et reforming catalytique de RHM2

### I.5.3.3. Le catalyseur de reforming catalytique :

RG 682A est une nouvelle génération de catalyseur développé avec du platine et du rhénium pour la production d'essences à indice d'octane élevé. Il peut être utilisé en remplacement de tout catalyseur bimétallique dans les unités de reformage semi-régénératif avec des réacteurs à lit fixe, opérant dans une plage de pression étendue, allant de 10 à plus de 30 bars. [4]



**Figure 0-8: les nouveaux et l'anciens catalyseurs d'hydrotraitement et de reforming catalytique (HG-682 \ HR-616).**

#### I.5.3.3.1. La répartition de la charge catalytique dans les réacteurs est faite comme suit [3]:

- 1er réacteur : 1050 Kg.....15 % poids.
- 2ème réacteur : 1750 Kg .....25 % poids.
- 3ème réacteur : 4060 Kg.....60 % poids.
- Poids total : 6860 Kg.

### I.5.4. Stockage :

Seize (16), est le nombre des réservoirs installés pour satisfaire à cette opération. Il s'agit uniquement du stockage des produits de la raffinerie, la charge brute d'alimentation provient directement du centre (CIS) sans être stockée. [3]




**Tableau 0-3: les différents bacs de stockage présenter aux niveaux de l’RHM2. [3]**

Bac (RS)	Toit	Toit Contenu	Volume (m3)
903	Flottant	Reformat	2 520
904	Flottant	Gazoline	2 520
905	Flottant	Naphta	2 520
906	Flottant	Reformat	2 520
907	Flottant	Reformat	2 520
908	Flottant	Reformat	2 520
909	Flottant	Essence	2 520
910	Flottant	Normal	2 520
911	Flottant	Normal	2 520
912	Flottant	Reformat	2 520
913	Flottant	Essence super	2 520
914	Flottant	Kérosène	2 520
915	Fixe	Gas-oil	16 620
916	Fixe	Gas-oil	16 620
917	Fixe	Gas-oil	16 620
918	Flottant	Kérosène	2 520

Chaque bac est équipé par des conduites d’entrée et de sortie des produits remarquées à son bas, un système d’eau et de mousses d’incendie sur son périmètre supérieur, ainsi, un compteur au pied des bacs indique le niveau du liquide prélevé par l’opérateur stockage chaque quatre heures. [3]

Ces bacs reçoivent les produits de la raffinerie puis les expédiés vers la rampe de chargement de Naftal. [3]

Donc, ces derniers peuvent être en trois positions [3]:

-  Jet : Réception des produits des unités.
-  Réserve : (Restitution) contient des produits près à l’utilisation.
-  Livraison : Vers la rampe de chargement.

# CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR LE REFORMING CATALYTIQUE ET L'ESSENCE

## II.1. Reforming catalytique :

Aujourd'hui la plupart des raffineries sont équipées d'unités de reformage catalytique. Le procédé permet de produire des stocks d'essence à indice d'octane élevé à partir de coupes « naphta » constituées principalement d'essences de distillation directe. [6]

Les principaux constituants des essences sont des hydrocarbures paraffiniques, naphthéniques et aromatiques. Les teneurs relatives de chacun de ces constituants dépendent de l'origine du brut. La partie aromatique d'une charge de reforming est généralement inférieure à 20% du total des constituants et les hydrocarbures naphthéniques peuvent varier de 10 à 70%. Cette partie naphthénique est principalement un mélange de cyclopentane et de cyclohexane. Les composants les plus favorables à un haut nombre d'octane sont les iso paraffiniques et les aromatiques. [7]

Le processus reforming catalytique est un groupe des réactions qui se produisent en présence d'un catalyseur multi métallique permet de promouvoir et de sélective ces réactions chimiques qui conduisent à une augmentation du nombre d'octane tout en conservant un haut rendement en reformat. [7]

## II.2. Réactions fondamentales :

Suivant les charges pétrolières, les catalyseurs de reforming permettent de réaliser des réactions élémentaires qui ont été classées, ci- dessous, par groupes d'hydrocarbures [7] :

### Hydrocarbures naphthéniques :

- Déshydrogénation

### Hydrocarbures paraffiniques :

- Isomérisation
- Deshydrocyclisation
- Hydrocraquage

La température moyenne d'opération est entre 490° et 545°C, la pression entre 15 et 35 atm. Ces réactions sont différentes d'un point de vue thermodynamique et cinétique, leur effet pour améliorer le nombre d'octane est inégal. [7]

### II.2.1. Déshydrogénation des naphthènes :

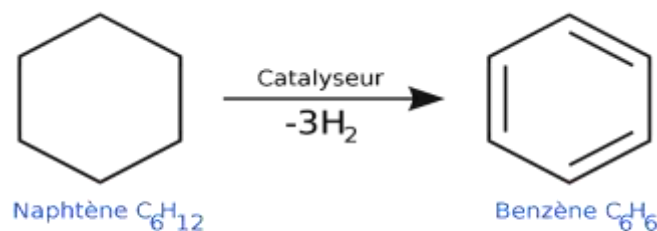
La déshydrogénation des hydrocarbures naphthéniques est très rapide. Cependant le rendement de transformation décroît avec l'augmentation du nombre d'atomes de carbone et finalement environ 5% d'hydrocarbures naphthéniques ne sont pas transformés en aromatiques. [7]

D'un point de vue procédé la réaction de déshydrogénation est très importante car :

- Elle conduit à une augmentation importante du nombre d'octane.
- Elle produit de l'hydrogène.
- Sa vitesse est grande.

Son seul inconvénient est son endo-thermicité car il conduit à installer plusieurs ensembles four-réacteur pour éviter une température trop basse correspondant à une vitesse réactive trop lente.

Exemple :



Réaction de déshydrogénation

### II.2.2. Isomérisation des paraffines :

L'isomérisation des paraffines est aussi une réaction rapide. Le nombre d'octane d'un mélange  $i+n$  paraffines à l'équilibre diminue rapidement avec le poids moléculaire, par exemple 60 pour les C7, 40 pour les C8. Aussi, cette réaction a une influence négligeable sur le nombre d'octane final du reformat. [7]

Exemple :



### II.2.3. Deshydrocyclisation des paraffines :

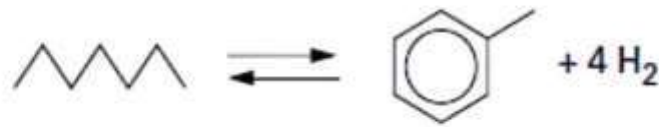
La deshydrocyclisation des paraffines est une réaction importante pour la production de reformat à nombre d'octane élevé. La vitesse de réaction plus faible que pour la déshydrogénation des naphtènes est néanmoins importante, mais elle est freinée par la formation d'hydrocarbures aromatiques. [7]

D'un point de vue procédé la réaction de deshydrocyclisation des paraffines est très importante car [7] :

- Elle conduit à une augmentation importante du nombre d'octane
- Elle produit de l'hydrogène.

Un inconvénient est sa vitesse de réaction relativement faible qui conduit à des conditions opératoires plus sévères qui entraîne la formation de coke. [7]

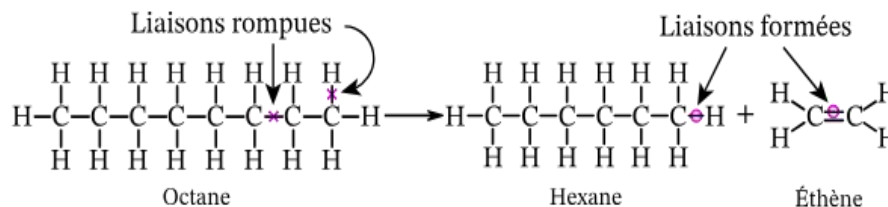
Exemple) :



#### II.2.4. Hydrocraquage :

Cette réaction résulte de la cassure d'une molécule paraffinique en une molécule paraffinique plus petite, l'hydrogénation de cette molécule formée entraîne une consommation d'hydrogène. [7]

Exemple :



Comparé à la deshydrocyclisation, sa vitesse de réaction est faible à basse température, cependant elle augmente avec la température et avec l'augmentation de la concentration en aromatiques. Elle devient alors, concurrente de la réaction de deshydrocyclisation. [7]

Les produits d'hydrocraquage se répartissent dans le gaz et dans le reformat, où, la présence de composés légers en C<sub>4</sub> et C<sub>5</sub> donne à l'essence des propriétés volatiles et contribue à une augmentation du nombre d'octane à cause de la présence de ces hydrocarbures iso-paraffiniques. [7]

L'inconvénient est qu'un hydrocraquage sévère diminue le rendement en reformat.

#### II.3. Réactions secondaires :

- **Dé-méthanation** : Bien que cette réaction produit des hydrocarbures à bas poids moléculaire elle doit être réduite au minimum pour éviter une dilution par les hydrocarbures du gaz de recyclage. [7]
- **Désulfuration**
- **Dénitrication**

## II.4. Type de procédés dans chaque réacteur [7] :

### II.4.1. 1er réacteur :

- ✓ Déshydrogénation
- ✓ Isomérisation

### II.4.2. 2ème réacteur

- ✓ Déshydrogénation
- ✓ Isomérisation
- ✓ Hydrocraquage
- ✓ Deshydrocyclisation

### II.4.3. 3ème réacteur :

- ✓ Hydrocraquage
- ✓ Deshydrocyclisation

## II.5. Thermodynamique des réactions :

### II.5.1. Thermicité des réactions :

Les réactions qui produisent des aromatiques, déshydrogénation et déshydro-cyclisation, sont fortement endothermiques ( $\Delta H > 200$  kJ/mol), ainsi que la déshydrogénation des paraffines en oléfines ( $\Delta H > 100$  kJ/mol). [6]

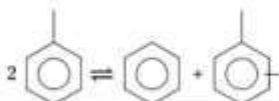

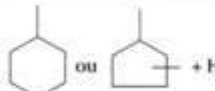
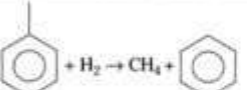
Tableau II-1: la thermicité des réactions. [6]

Réactions	Stœchiométrie	$\Delta H$ (kJ/mol)
Déshydrogénation	 $n\text{-C}_7\text{H}_{16} \rightleftharpoons n\text{-C}_7\text{H}_{14} + \text{H}_2$ (b)	a) -209 b) -126
Isomérisation-déshydrogénation	 $n\text{-C}_7\text{H}_{16} \rightleftharpoons n\text{-C}_7\text{H}_{16} + 3 \text{H}_2$	c) +15
Isomérisation des paraffines	$n\text{-C}_7\text{H}_{16} \rightleftharpoons i\text{-C}_7\text{H}_{16}$	+10
Déshydrocyclisation	 $n\text{-C}_7\text{H}_{16} \rightleftharpoons \text{C}_7\text{H}_8 + 4 \text{H}_2$ $i\text{-C}_7\text{H}_{16} \rightleftharpoons \text{C}_7\text{H}_8 + 4 \text{H}_2$	-260

Tableau

Par contre, les réactions d'isomérisation de paraffines, de naphènes et d'aromatiques ne sont que légèrement exothermiques  $\Delta H$  10 à 15 kJ/mol. Toutes les réactions qui consomment de l'hydrogène sont fortement exothermiques. [6]

Tableau II-2: la  $\Delta H$  des différentes réactions. [6]

Réactions	Stœchiométrie	$\Delta H$ (kJ/mol)
Dismutation		- Athermique
Alkylation		Exothermique
Hydrogénolyse ou/et hydrocraquage	 $n$ - ou $i$ - $C_7H_{16}$ $CH_4 + n$ - ou $i$ - $C_6H_{14}$ $C_2H_6 + n$ - ou $i$ - $C_5H_{12}$ $C_3H_8 + n$ - ou $i$ - $C_4H_{10}$	Exothermique
Hydrodéalkylation		Exothermique
Cokage	Probablement à partir de polyaromatiques obtenus par alkylation et cyclisation	

Tableau

### II.5.2.Équilibres thermodynamiques :

Toutes les réactions qui consomment de l'hydrogène, en donnant des molécules légères, sont totales jusqu'à des températures de 600°C et plus. Par contre, toutes les réactions recherchées dans le reforming sont équilibrées dans le domaine 300 à 600°C. [6]

La figure montre que l'augmentation de la température défavorise la formation des structures paraffiniques les plus ramifiées donc celles qui ont les meilleurs indices d'octane. De ce fait : [6]

- ✓ Les meilleures conditions opératoires pour un maximum d'isomères intéressants se situent à  $T < 100^\circ C$  ; la pression n'a pas d'effet sur cet équilibre.
- ✓ Les naphènes cyclo-pentaniques sont prépondérants à  $T > 500^\circ C$ .

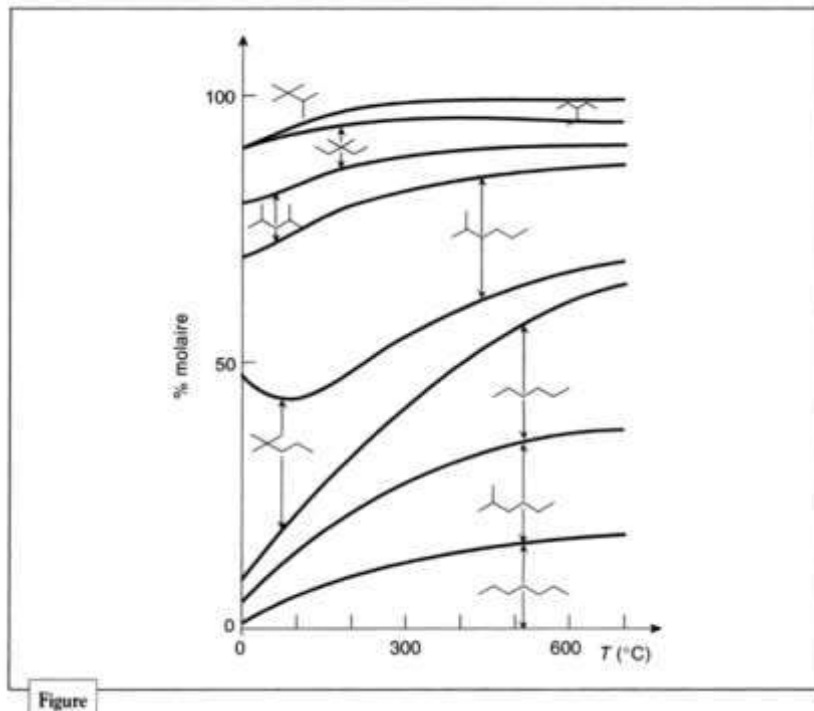


Figure II-1 : Évolution de répartition des paraffines a atomes de carbone e l'équilibre thermodynamique. [6]

## II.6. Catalyseur de réformation :

Ce catalyseur est du type bifonctionnel, constitué par un métal déposé sur un support acide ; cette association apporte : [8]

- ✓ Une fonction hydrogénant- déshydrogénase due au métal.
- ✓ Des fonctions acides dues au support.

Jusqu'à ces dernières années, le métal était constitué par 0,6 à 0,3% de platine seul. Des progrès importants ont été réalisés par le dépôt d'espèces bimétalliques, voire tri-métalliques, et cette direction de travail constitue un des domaines les plus vivants des recherches en cours. [8]

Le support, de même, s'améliore constamment par l'obtention d'une acidité convenable et stable. Les conditions opératoires gravitent autour des valeurs suivantes température 480 à 540 °C. pression totale de 12 à 40 kg/cm<sup>2</sup> avec un rapport molaire hydrogène/hydrocarbures de la charge de 4 à 10. [8]

La mise en œuvre du catalyseur s'effectue dans des réacteurs adiabatiques. Comme les premiers stades réactionnels sont très endothermiques, on utilise très généralement trois réacteurs entre lesquels un four permet de remonter une température qui a chuté par suite de l'endo-thermicité. L'unité comporte un recyclage de l'hydrogène réactionnel dont une partie est éliminée, car le procédé est globalement producteur d'hydrogène. [8]

**Il s'en suit que les  $\Delta T$  dans les réacteurs seront de l'ordre de :**

- 30-70°C dans le 1er réacteur.
- 5 40°C dans le 2ème réacteur.
- 10-10°C dans le 3ème réacteur. [8]

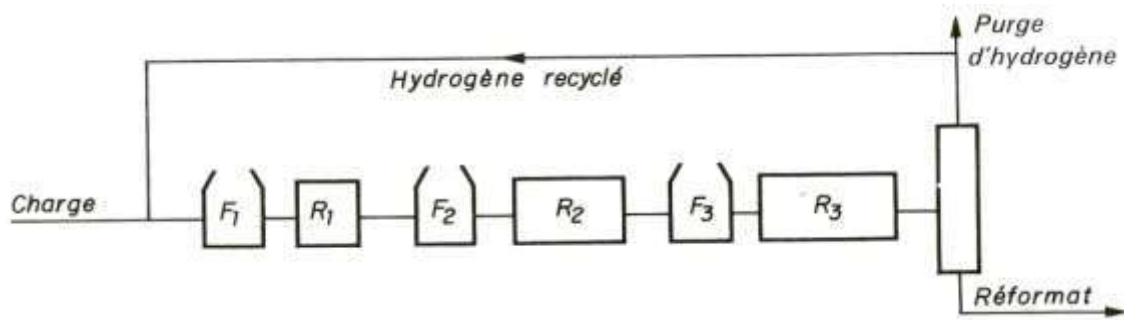


Figure II-2: Schéma de principe de l'ensemble des réacteurs. F désigne les fours. R les réacteurs.

## II.7. Définition de l'essence :

L'essence, dérivée de la distillation du pétrole, est un liquide inflammable largement utilisé comme carburant dans les moteurs à combustion interne. C'est un mélange complexe d'hydrocarbures avec la possibilité d'ajouter des additifs. En général, sa composition comprend environ : [9]

- ✓ 20% à 30% d'alcanes, des hydrocarbures saturés.
- ✓ 5% de cycloalcanes, qui sont des hydrocarbures saturés cycliques.
- ✓ 30% à 45% d'alcènes, des hydrocarbures insaturés.
- ✓ 30% à 45% d'hydrocarbures aromatiques, appartenant à la famille du benzène.

## II.8. Les différents types d'essences :

Les carburants essence sont regroupés selon les types de moteurs auxquels ils sont destinés. Bien que ces carburants partagent généralement des propriétés physiques similaires, ils se distinguent principalement par leurs indices d'octane, ce qui a un impact significatif sur leurs performances dans les différents moteurs. [4]

Trois catégories principales d'essences carburant sont identifiées :

### II.8.1. L'essence ordinaire :

L'essence classique, au départ largement employée dans le domaine de l'automobile, a peu à peu été remplacée par le supercarburant. [4]

### II.8.2. Le supercarburant : au plomb :

Le supercarburant (ou "super") propose une puissance impressionnante supérieure à celle de l'essence classique, qu'il a progressivement remplacée en raison de ses performances améliorées. [4]

L'amélioration de son pouvoir détonnant résidait dans l'incorporation d'alkyles de plomb.

### II.8.3. Les supers sans plomb :

Le potassium remplace le plomb dans le carburant sans plomb, ajustant ainsi l'indice d'octane sans fournir de lubrification aux soupapes des moteurs modernes, nécessitant l'ajout d'un additif appelé substitut de plomb pour cette fonction. [4]

Il existe deux types de carburants sans plomb [4] :

- **Le Sans Plomb 98**, avec un indice d'octane de 98, composé à 98% d'octane et 2% d'heptane.
- **Le Sans Plomb 95**, avec un indice d'octane de 95, composé à 95% d'octane et 5% d'heptane, conforme à la norme européenne. La disponibilité des différents octanes peut varier selon les régions.

## II.9. Procédés de la production des essences [9]:

- Procédé d'hydrodésulfuration.
- Procédé de reformage catalytique.
- Alkylation.
- Procédé d'isomérisation.
- Oligomérisation.
- Craquage catalytique.

## II.10. Spécification des essences

Chaque pays ou groupe de pays établit des spécifications pour les carburants automobiles, variant sur plusieurs aspects tels que le nombre d'octane, les points de distillation, la tension de vapeur Reid (TVR), et même la composition. [9]

Les modifications majeures apportées à l'essence comprennent l'élimination du plomb, la réduction de la teneur en benzène, en aromatiques, en oléfines, ainsi que la réduction de la TVR. [9]

Le tableau ci-dessous regroupe les principales spécifications d'essence commerciale :

Tableau II-3: caractéristique de l'essence sans plomb. [9]

Caractéristiques moyennes	L'essence sans plomb
Densité	0.65
RON	95
MON	85
Benzène % Vol	5
T.V.R. (Hiver/Été) bars à 37.8°C	0.65/0.8

#### Distillation ASTM °C

15%	70
40%	100
85%	180
90%	210
Point final	215
Teneur en soufre (ppm)	100

## II.11. Caractéristiques des essences :

Performance satisfaisante d'un véhicule dépend clairement de facteurs techniques et des normes de qualité du carburant. D'une part, cela englobe les caractéristiques physiques essentielles pour un ravitaillement approprié, et d'autre part, les propriétés qui maximisent les performances du moteur sans risque de combustion anormale. [10]

### II.11.1. Les caractéristiques physiques :

#### II.11.1.1. Couleur :

Les essences présentent une couleur vive qui ne compromet pas leur limpidité, mais qui peut varier en réalité du jaune très pâle au brun foncé. [10]

✓ Deux méthodes sont utilisées pour estimer la couleur des produits pétroliers :

**La technique Saybolt (suivant normes ASTM D 156 64 et NF M 07-003).**



Figure II-3: ASTM D156 Saybolt et lumière du jour artificielle Lampe.

- ✓ **La technique colorimétrique classique** : la détermination s'effectue à l'aide d'un colorimètre (suivant normes NFT 60-104 et ASTM D 1500) par comparaison avec des étalons de verre coloré. [10]

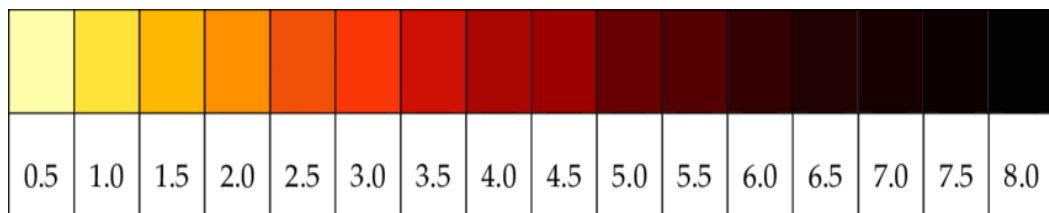


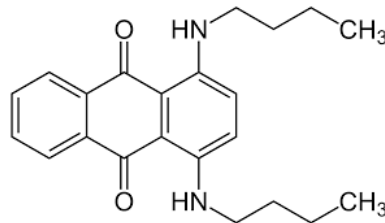
Figure II-4: Échelle de couleurs ASTM D 1500.



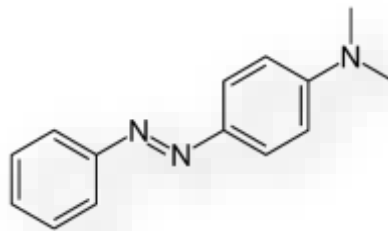
Figure II-5: DT-1500 produits pétroliers Test colorimètre ASTM D1500.

Indépendamment de leur couleur naturelle, certains produits pétroliers sont intentionnellement teintés en utilisant des additifs colorants. Cette pratique vise à prévenir les fraudes lors de leur utilisation. Par exemple, en France, l'essence sans plomb est colorée en vert grâce à l'ajout de deux colorants spécifiques. [10]

L'un bleu, le 1,4-bis-(butylamino) de formule : [10]



L'autre jaune, le 4-(diéthylamino) azobenzène de formule : [10]



#### II.11.1.2. La masse volumique (densité) :

La masse volumique d'un objet à une température spécifique représente la proportion entre sa masse et son volume, généralement exprimée en kg/l ou g/cm<sup>3</sup> et mesurée à l'aide d'un aréomètre. [11]

Cette grandeur change en fonction de la température conformément à une certaine relation [11] :

$$\rho_t = \rho_{15} - k(t - 15)$$

Avec :

- $\rho_t$  et  $\rho_{15}$  : masse volumique respectivement à  $t^{\circ}\text{C}$  et  $15^{\circ}\text{C}$ .
- $k$  : Coefficient qui dépend de la température.

La masse volumique des essences est comprise entre 0.735 et 0.765 kg /l. La densité d'un produit est directement liée à la température, diminuant à mesure que la température augmente, et elle s'accroît en fonction de la teneur en composés aromatiques. On définit la densité d'un produit comme le rapport entre la masse d'un volume spécifique d'échantillon et la masse du

même volume d'échantillon à une température standard (4 °C), en comparaison avec une température de référence généralement basée sur l'eau. Ainsi, la densité est une grandeur équivalente à la densité à 15 °C. [11]

La Gravité Spécifique (Sp.Gr 60/60 °F) représente la densité d'un produit à la même température que celle du corps de référence, en l'occurrence l'eau, et cette température est fixée à 60°F, équivalent à 15°C. [11]

Un autre concept employé pour évaluer la densité des fractions pétrolières est l'Indice de qualité API, défini par l'American Petroleum Institute comme une fonction hyperbolique de la gravité spécifique [11] :

**°API or API Gravity**  
American Petroleum Industry

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{sp. gr.} \frac{60^{\circ}\text{F}}{60^{\circ}\text{F}}} - 131.5$$

$$\text{sp. gr.} \frac{60^{\circ}\text{F}}{60^{\circ}\text{F}} = \frac{141.5}{^{\circ}\text{API} + 131.5}$$

Note : (Baume, °Be), (Twaddell, °TW)

**II.11.1.3. La volatilité :**

La volatilité de l'essence nécessite une surveillance minutieuse afin d'assurer le bon fonctionnement du moteur et de réduire les émissions d'hydrocarbures par évaporation. Elle est caractérisée par des paramètres tels que la pression de vapeur, la courbe de distillation et le rapport V/L. [11]

**II.11.1.4. La Tension de vapeur REID :**

La pression de vapeur Reid (PVR) de l'essence est un critère crucial de sa qualité. Elle représente la pression relative exercée par la vapeur d'un échantillon de carburant enfermé dans un récipient à une température de 37,8°C, généralement située entre 0,35 et 1 bar. Cette caractéristique est essentielle car la volatilité du carburant doit être adéquate pour garantir un démarrage efficace du véhicule par temps froid, tout en étant limitée lors d'une utilisation à des températures élevées afin de prévenir une évaporation excessive et de réduire les émissions d'hydrocarbures légers dans l'atmosphère. [11]

**II.11.1.5. Courbe de distillation ASTM :**

La courbe de distillation représente l'évolution volumique de la fraction de distillation en fonction de la température dans un équipement approprié (norme ASTM D86 et ISO 3405) à pression atmosphérique. [11]

Cette technique est communément appelée distillation ASTM. Le changement de température est tracé en fonction de la quantité distillée, faites plus attention à [11] :

- **Point initiale (PI)** : température repérée au moment où apparaît la première goutte de distillat.
- **Fractions évaporées en pourcentage (volume)** à 70°C, 100°C, 180°C, de signées respectivement par E70, E100, E180.
- **Point final (PF)** : température pour laquelle on recueille la dernière goutte de distillat.

#### II.11.1.6. Le point d'éclair :

Le point d'éclair est la température à laquelle un produit commence à émettre des vapeurs en quantité suffisante pour former un mélange inflammable. Cela peut entraîner une inflammation, notamment par étincelle (électricité statique). Le point d'éclair des essences, liquides inflammables, est mesuré dans des conditions spécifiques pour évaluer la sécurité lors de la manipulation et du stockage. [9]

#### II.11.1.7. La masse molaire moyenne :

La masse molaire est une caractéristique physicochimique cruciale pour toute substance. Dans le contexte des produits pétroliers, elle revêt une importance particulière en fournissant la valeur "moyenne" de la masse molaire des constituants d'une fraction spécifique. [9]

La masse molaire moyenne d'une fraction pétrolière est exprimée par la relation :  $M = \sum n_i \cdot M_i / n_i$   
Ou  $n_i$  : représente le nombre de molécules de l'espèce  $i$  de masse molaire  $M_i$ . [9]

### II.11.2. Les caractéristiques chimiques :

#### II.11.2.1. La Teneur en eau et sédiments (BSW) :

Est une mesure essentielle pour les produits finis, devant être pratiquement exempts d'impuretés solides. Certains carburants peuvent contenir des impuretés, séparées par dilution ou centrifugation. L'échantillon est dilué avec du benzène et centrifugé, isolant ainsi les impuretés insolubles telles que le coke, le sable et la rouille, en plus de l'eau. La reproductibilité pour des teneurs entre 0,5 et 1,5% est de 0,4. Il est crucial de vérifier attentivement l'homogénéité de la prise d'échantillon. [9]

#### II.11.2.2. La teneur en sels :

Le teneur en sels dans les hydrocarbures, généralement de quelques dizaines de ppm, est dominée par les chlorures (sodium, magnésium, calcium). Malgré la faible concentration, leur présence pose des problèmes de dépôts dans les puits et les installations de raffinage. La mesure de la teneur en chlorure est effectuée selon les normes NF M07-023, ASTM D3230 et IP 71/66. [9]

**II.11.2.3. Le point d'aniline :**

Est défini comme la température la plus basse à laquelle des volumes égaux d'aniline et du produit à analyser sont complètement miscibles, marquée par l'apparition d'un trouble net. Cela offre une indication sur la nature chimique d'un produit pétrolier, en particulier sa teneur en composés aromatiques. Dans cette méthode, le point d'aniline correspond à la température où une seconde phase (trouble de la solution) apparaît, et son test est régi par la norme ASTM D1104. [9]

**II.11.2.4. L'indice d'octane.****II.12. L'indice d'octane :**

L'indice d'octane est une propriété cruciale des essences automobiles, caractérisant leur capacité à brûler correctement dans un moteur à allumage commandé, également appelé moteur à explosion ou à étincelle. Pour un moteur donné, un carburant inadapté peut entraîner des problèmes tels que le cliquetis, un bruit métallique nuisible, et un échauffement excessif du moteur. Le cliquetis, résultant d'une auto-inflammation instantanée du carburant avant l'atteinte du front de flamme, peut causer des dommages mécaniques importants au moteur. [12]

Pour un carburant donné, l'occurrence du cliquetis dépend de nombreux paramètres tels que la température, la pression, la forme de la chambre de combustion, la vitesse de rotation du moteur et le taux de compression du moteur. Cependant, pour un moteur spécifique et des conditions de fonctionnement identiques, l'apparition du cliquetis est uniquement déterminée par la nature du carburant utilisé. [12]

**II.13. Mesure de l'indice d'octane :**

La mesure de l'indice d'octane est cruciale pour évaluer la qualité des carburants commercialisés en station-service. Deux indices sont généralement utilisés [12] :

- L'indice d'octane de recherche (RON) évalue le comportement du carburant à bas régime moteur, à une vitesse de 600 tr/min.
- L'indice d'octane moteur (MON) caractérise la résistance du carburant au cliquetis dans des conditions de régime élevé, à 900 tr/min.

La mesure de l'indice d'octane utilise une méthode normalisée, impliquant le moteur C.F.R. normalisé 10, pour évaluer et classer les carburants en fonction de leur résistance au cliquetis.

Le principe de la mesure consiste à créer un mélange de deux carburants étalons [12] :

- L'heptane-normal, facilement sujet au cliquetis, auquel est attribué l'indice d'octane 0.

- L'isooctane (2,2,4-trimethylpentane), présentant une excellente résistance au cliquetis, auquel est attribué l'indice 100.



**Figure II-6: Le moteur à indice d'octane CFR spécifie l'équipement pour tester les carburants.**

L'indice d'octane d'un carburant est défini comme le pourcentage volumique d'isooctane dans un mélange d'isooctane et de n-heptane. Une essence avec un indice d'octane X se comporte dans le moteur C.F.R. comme un mélange de X % d'isooctane et de (100 – X) % de n-heptane. [12]

Des indices d'octane supérieurs à 100 sont définis en ajoutant de faibles quantités (0 à 0,02 %) de plomb tétraéthyle (PTE) à l'isooctane. [12]

- Paraffines normales : faibles indices d'octane.
- Naphtènes : indices d'octane faibles à moyens.
- Iso-paraffines et aromatiques : indices d'octane élevés à très élevés.

Les iso-paraffines et les aromatiques sont cruciales pour atteindre les spécifications en octane des essences. Après distillation, le raffineur obtient deux coupes essence : une légère (gasoline) riche en paraffines normales avec un indice d'octane de 60-70, et une lourde (naphtas) riche en paraffines normales et naphtènes, avec un indice d'octane entre 20 et 50. [12]

Pour atteindre la spécification d'indice d'octane (RON > 95), les coupes essences nécessitent une transformation chimique des hydrocarbures à faible indice d'octane en hydrocarbure à indice d'octane élevé. Deux procédés disponibles pour le raffineur sont **le reformage**

**catalytique et l'isomérisation catalytique.** Ces méthodes permettent d'améliorer la qualité de l'essence en convertissant les composés à faible indice d'octane en composés à haut indice d'octane, répondant ainsi aux exigences de performance du carburant. [12]

### II.13.1. Paramètres affectant l'indice d'octane

D'une manière générale, l'indice d'octane augmente lorsque [11] :

- ✓ La longueur des chaînes carbonées diminue.
- ✓ Le nombre de chaînes secondaires augmente (pour un même nombre d'atomes de C).
- ✓ Le nombre de structures cycliques (cyclo alcanes et aromatiques) augmente.

L'indice d'octane peut également être amélioré par l'utilisation d'additifs. Dans ce domaine les composés organométalliques sont les plus efficaces, mais les plus toxiques. [11]

**Exemple :** L'ajout de 0.5 gramme de plomb (tétra méthyle ou tétra éthyle) par litre de carburant permet de gagner environ 5 points d'indice d'octane cependant la nocivité du plomb pour les organismes vivants a fait que son utilisation est aujourd'hui interdite. [11]

### II.13.2. Incidence de l'indice d'octane sur le fonctionnement des moteurs :

La valeur de l'indice d'octane de l'essence à utiliser est conditionnée par le taux de compression du moteur. Ce dernier est défini comme un rapport entre le volume de la chambre de combustion lorsque le piston est à sa position la plus basse et celui de la chambre lorsque le piston est à sa position la plus haute. Plus le taux de comprissions est élevé, plus l'indice d'octane doit être élevé. [11]

# CHAPITRE III : GÉNÉRALITÉ SUR LES ÉQUIPEMENTS DE CHAUFFAGE

Dans l'industrie de **raffinage**, les équipements thermiques jouent un rôle essentiel pour les opérations de **chauffage**, de **refroidissement**, de **condensation** et d'**évaporation** des fluides. Parmi ces équipements, on trouve deux types d'équipements d'échange thermique présenté au niveau de la section de reforming catalytique :

- Les fours tubulaires.
- Les échangeurs de chaleur.

### III.1. Les fours tubulaires :

Dans la plupart des unités de raffinage ou de pétrochimie l'apport de l'énergie thermique requise par le procédé se fait par l'intermédiaire de fours à chauffage direct dans lesquels l'énergie produite par la combustion est transmise directement au fluide à réchauffer qui circule dans un serpentin tubulaire ou un faisceau de tube. C'est la raison pour laquelle est appelé four tubulaire. [13]

Les usages des fours tubulaires sont multiples mais chaque cas nécessite une étude particulière dans le but de concevoir le four le plus économique et le mieux adapté aux conditions imposées. On peut citer les exemples suivants [13] :

- Réchauffage d'un fluide sans changement de phase
- Réchauffage d'un fluide avec vaporisation partielle
- Réchauffage d'un fluide avec réaction chimique.

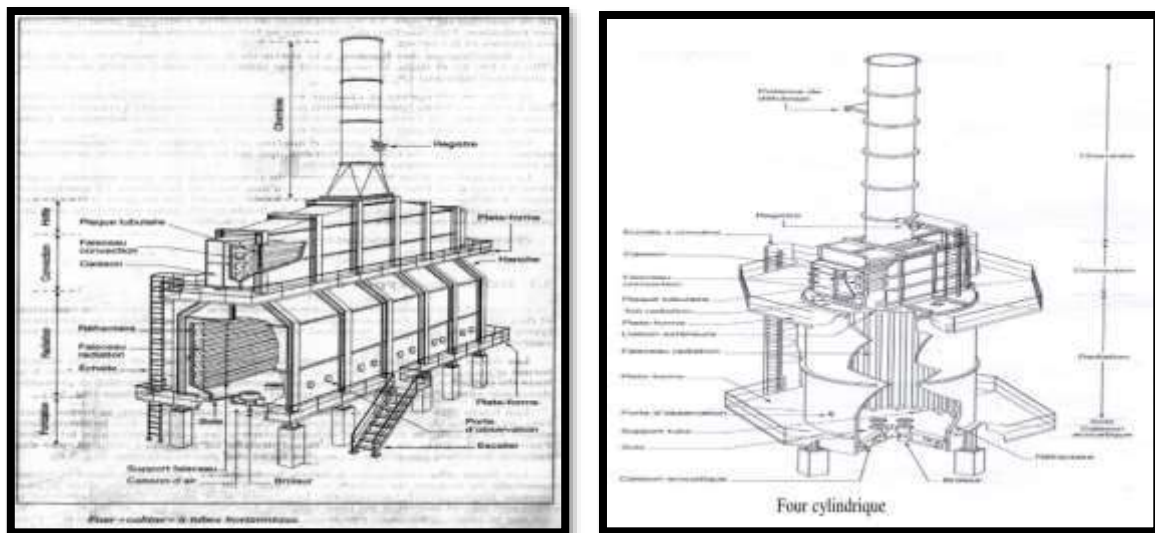


Figure III-1: les fours tubulaires cylindrique et cabine. [13]

### III.1.1. Caractéristiques générales des fours tubulaires :

Un four tubulaire est conçu et calculé pour permettre de transférer au fluide une quantité de chaleur donnée par heure ; le débit et les températures d'entrée et de sortie étant fixes à l'avance. Il faut donc faire apparaître dans le four une quantité de chaleur suffisante, à la température voulue, pour réchauffer le fluide et compenser les pertes, et transférer la chaleur disponible au fluide dans des conditions telles que celui-ci ne soit pas détérioré. Le four doit donc être avant tout agencé en vue de la combustion d'une quantité suffisante de combustible. Il devra comporter les brûleurs nécessaires ; ceux-ci devront pouvoir être alimentés en combustible et en air. Dans la plupart des fours de raffinerie, l'admission de l'air de combustion dans le four est obtenue par la dépression qui règne à l'intérieur du four. Cette dépression est-elle même due au tirage de la cheminée. [13]

### III.1.2. Echange thermique :

Les échanges thermiques à l'intérieur du four se font à la fois par les trois mécanismes de **la radiation**, de **la convection** et de **la conduction**. Les produits de la combustion cèdent leur chaleur aux tubes par radiation et convection ; à travers les parois de tubes, le transfert se fait par conduction ; à l'intérieur des tubes, c'est la convection qui intervient de nouveau ; enfin, les pertes calorifiques à travers les murs du four se font par conduction. Le phénomène le plus important à prendre en considération est la radiation des produits de convection. [13]

Cependant, l'histoire des fours tubulaires montre que l'intérêt de ce phénomène a d'abord été négligé. Les premiers fours construits étaient pratiquement des fours à convection. Dans ce type de four, les premières rangées de tubes exposées à la flamme absorbaient la chaleur à un taux très élevé alors que les tubes situés près de cheminée n'en absorbaient que très peu. Si l'on retirait la première rangée, c'étaient les tubes de la seconde qui étaient surchauffés et le retrait des tubes ne faisait qu'aggraver le problème. La véritable solution qui est celle actuellement utilisée dans les fours modernes est d'augmenter le nombre de tubes exposés à la radiation et limiter à une valeur raisonnable la quantité de chaleur qu'ils absorbent par unité de surface. [13]

### III.1.3. Constitution d'un four :

D'une façon générale, les fours comportent les parties principales suivantes [14] :

- a) Une zone dite de radiation constituée essentiellement d'une chambre de combustion, dans laquelle des tubes sont disposés. Les tubes, non jointifs sont reliés entre eux par des coudes. Le fluide à chauffer circule à l'intérieur de ce faisceau de tube. La

transmission de chaleur s'effectue principalement par radiation. Une fraction de l'échange se fait également par convection entre les fumées et les tubes.

- b) Afin de récupérer la chaleur sensible des fumées, ces dernières circulent à vitesse élevée (parallèlement ou perpendiculairement) à travers un faisceau de tubes, où l'échange s'effectue principalement par convection. Cette zone est, en conséquence, qualifiée de section de convection. Ces tubes peuvent être garnis d'ailettes ou d'aiguilles, afin d'augmenter la surface d'échange du côté des fumées, qui est en général le fluide présentant la résistance thermique la plus forte.
- c) Une cheminée d'évacuation des fumées.
- d) Brûleurs.
- e) Ramoneurs.

Afin de maintenir propre le circuit des fumées et ainsi conserver l'efficacité des surfaces d'échange, On installe dans les zones de convection des ramoneurs. [14]

#### III.1.4. Description des différents types de four :

Il y a différentes configurations de tubes dans les zones de rayonnement et de convection, ainsi que différentes relations entre ces zones. Cela conduit à la création de nombreux types de fours. Cependant, on peut distinguer les catégories suivantes [13] :

#### III.1.5. Les fours dits « cabines » à tubes horizontaux :

Dans ces fours la forme générale de la zone de radiation est celle d'un parallélépipède, dont la plus grande longueur est horizontale. Les tubes sont placés horizontalement le long des parois latérales les plus longues. Les brûleurs sont situés sur la sole, ou sur la partie inférieure des murs latéraux les plus longs ou encore sur les murs d'extrémités ne recevant pas les tubes. [13]

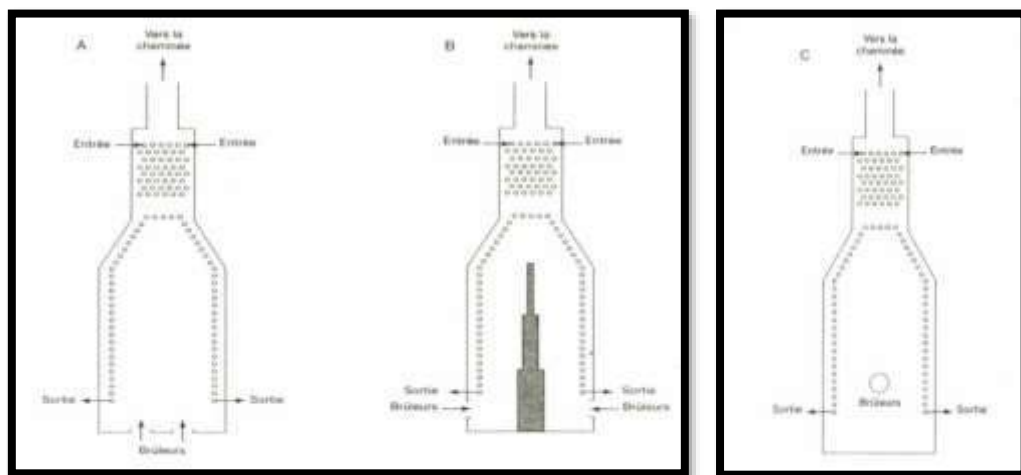


Figure III-2: coupe schématique des différents types four (cabines) à tubes horizontaux. [13]

### III.1.6. Les fours dits « boîtes » à tubes verticaux :

Dans ces fours, la forme générale de la zone de radiation est celles d'un parallélépipède, les tubes sont placés, dans la plupart des cas, circonférentiellement le long de la paroi intérieure. Les brûleurs verticaux sont disposés dans la sole du four. La zone de convection, placée au-dessus de la chambre, est constituée de tubes verticaux placés directement dans la cheminée, ou de tubes horizontaux, en général très courts, situés dans une chambre spéciale entre la chambre de combustion et la cheminée. [13]

### III.1.7. Les fours cylindriques verticaux :

La zone de radiation se présente sous la forme d'un cylindre à axe vertical. Les brûleurs sont placés sur la sole, à la base du cylindre. La surface d'échange couvre les parois verticales et présente donc une symétrie circulaire par rapport au groupe de chauffage. [13]

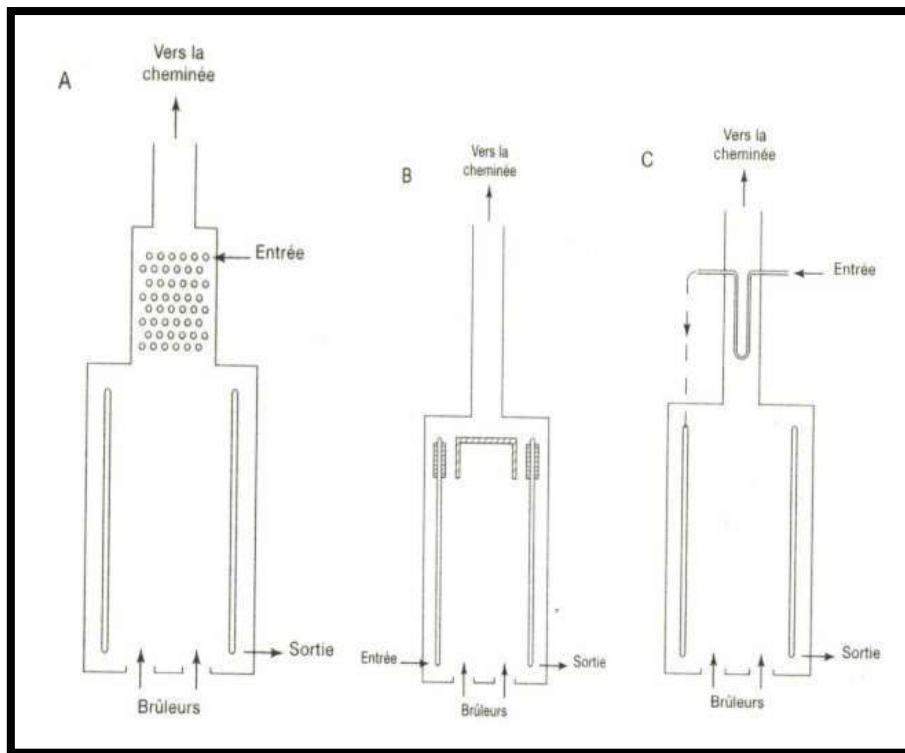


Figure III-3: coupe schématique des différents types de four cylindrique vertical.

#### Remarque :

Au niveau de l'unité de reforming catalytique dans la raffinerie RHM2, le type de four existant est de type cylindrique vertical catégorisé B. Cela signifie qu'il n'y a pas de **zone de convection**, seulement une **zone de radiation** et une **cheminée**.



Figure III-4: photo réelle de four de l'unité de reforming catalytique ou niveaux de la nouvelle raffinerie de Hassi Massoud.

**III.1.8. Les fours à chauffage par murs radiants :**

La surface d'échange est placée dans le plan médian de la chambre de combustion. Les brûleurs sont répartis sur les parois latérales longitudinales. [13]

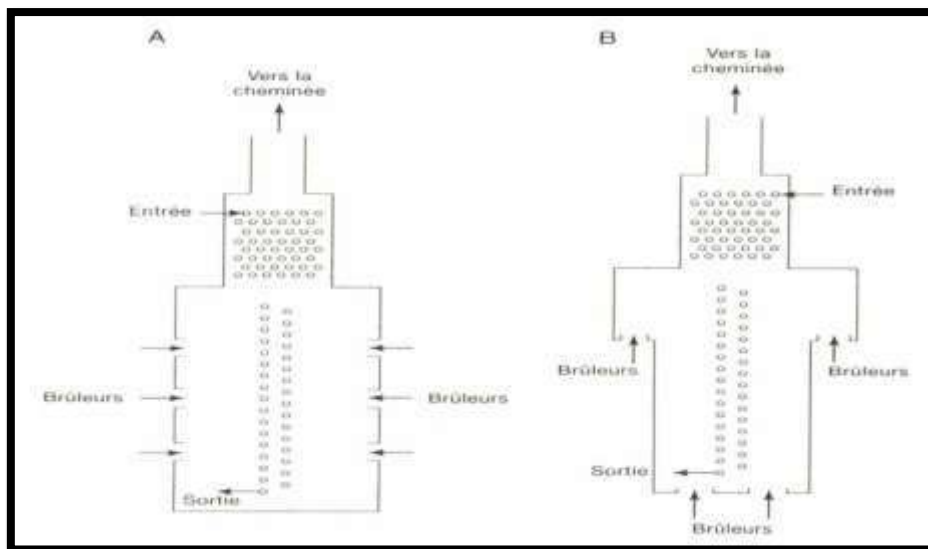


Figure III-5: coupe schématique des différents types four à chauffage par murs radiants.

### III.2. Les échangeurs :

Les échangeurs de chaleur sont des dispositifs conçus pour permettre le transfert de chaleur entre deux liquides à des températures différentes sans les mélanger. Dans l'échangeur de chaleur, différentes méthodes de transfert de chaleur sont utilisées [15] :

- Conduction : C'est la propagation de la chaleur à travers une substance sans mouvement de masse. Dans les matériaux solides, la conduction permet un transfert de chaleur efficace.
- Convection : Ce mode de transfert de chaleur se produit entre deux phases dont au moins un est mobile, en cas d'écart de température. Le mouvement de phase peut être provoqué par des différences de densité dans le fluide. Nous distinguons la convection naturelle ou libre, où le mouvement se produit en raison de différences de densité, et la convection forcée, où le mouvement se produit en raison d'une source d'énergie externe, telle qu'une pompe. Cette dernière situation est cruciale dans le fonctionnement des échangeurs thermiques.
- Rayonnement : désigne l'émission d'énergie depuis la surface des objets sous forme de rayonnement électromagnétique. Ce mode de transfert de chaleur ne nécessite pas de support physique et peut se produire même sous vide.

Dans un échangeur de chaleur, le transfert de chaleur implique généralement un mode convectif au sein des deux fluides en circulation, ainsi qu'un mode conducteur à travers la paroi entre eux. Les rayonnements, bien que présents, sont souvent négligés en raison de leur faible impact. [15]

#### III.2.1.Principe général :

Le principe est de faire circuler deux fluides à travers des conduits qui les mettent en contact thermique. Ces fluides sont mis en contact thermique à travers une paroi métallique ce qui favorise les échanges de chaleur. En général, le fluide chaud cède de la chaleur au fluide froid.

Le principal problème consiste à définir une surface d'échange suffisante entre les deux fluides pour transférer la quantité de chaleur nécessaire dans une configuration donnée. La quantité de chaleur transférée ne dépend pas seulement de la surface d'échange entre les deux fluides mais aussi de nombreux autres paramètres. [15]

Les flux de chaleurs transférées dépendent aussi :

- des températures d'entrée,
- des caractéristiques thermiques des fluides (chaleurs spécifiques, conductivité thermique),

- des coefficients d'échange par convection.

### III.2.2. Classification des échangeurs thermiques :

Il existe plusieurs critères de classification des échangeurs de chaleur dont les plus importants sont cités ci-dessous [16] :

### III.2.3. Classification selon la technologie :

On observe principalement les types d'échangeurs suivants [16] :

- A tubes : monotubes, coaxiaux ou multitubulaires.
- A plaques : à surface primaire ou à surface secondaire.
- Autres types : contact direct, à caloducs ou à lit fluidisé.

### III.2.4. Classification selon le mode de transfert de chaleur :

Dans de nombreux cas, comme dans les chambres de combustion ou lors de la récupération des fumées, les trois modes de transfert de chaleur – conduction, convection et rayonnement – interagissent, même si pour tout échangeur où la chaleur est transférée à travers la paroi, un mode de transfert est souvent dominant. La livraison est généralement un facteur important. [16]

### III.2.5. Classification suivant le procédé de transfert de chaleur :

Suivant qu'il y a ou non stockage de chaleur, on définit un fonctionnement en récupérateur ou en régénérateur de chaleur [16] :

- Transfert sans stockage, donc en récupérateur, avec 2 ou n passages et un écoulement en général continu.
- Transfert avec stockage, donc en régénérateur, avec un seul passage et un écoulement intermittent, la matrice de stockage étant statique ou dynamique.

### III.2.6. Classification fonctionnelle :

Le passage des fluides dans l'échangeur peut s'effectuer avec ou sans changement de phase.

Suivant le cas, on dit que l'on a un écoulement monophasique ou diphasique. On rencontre alors les différents cas suivants [16] :

- Les deux fluides ont un écoulement monophasique.
- Un seul fluide à un écoulement avec changement de phase, cas des évaporateurs ou des condenseurs.
- Les deux fluides ont un écoulement avec changement de phase, cas des évapo-condenseurs

### III.2.7. Classification suivant la nature du matériau de la paroi d'échange :

On retiendra deux types de parois [16] :

- Les échangeurs métalliques en acier, cuivre, aluminium ou matériaux spéciaux : superalliages, métaux ou alliages réfractaires
- Les échangeurs non métalliques en plastique, céramique, graphite, verre ... etc.

### III.2.8. Les principaux types des échangeurs sont :

#### III.2.8.1. Échangeurs tubulaires coaxiaux (simple) :

Un des fluides circule dans l'espace annulaire entre les deux tubes tandis que l'autre circule dans le tube central. Pour cette configuration, deux types de fonctionnements sont distingués : les deux fluides circulent dans le même sens ou en sens opposé. Le premier est un échangeur co-courant (ou courant- parallèle). Dans le deuxième cas, c'est un échangeur contre-courant. Ce type d'échangeur est souvent rencontré dans l'industrie frigorifique en particulier pour les condenseurs à eau ou dans les groupes de production d'eau glacée. [15]

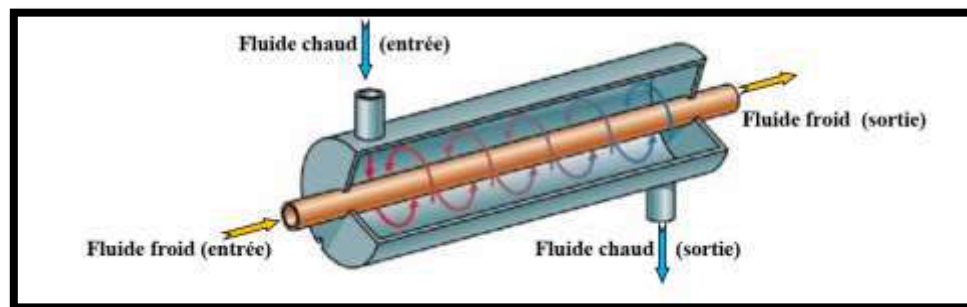


Figure III-6: échangeur à tubes coaxiaux.

C'est le plus simple échangeur que l'on puisse concevoir, mais il est difficile avec ce type d'échangeur d'obtenir des surfaces d'échange importantes sans aboutir à des appareils

Très encombrants. Pour cela on a besoin de trouver d'autres géométries d'échanges. [15]

#### III.2.8.2. Échangeurs Tubes/Calandre (à faisceaux complexes) :

Cet appareil est constitué d'un faisceau de tubes monté sur deux plaques tubulaires et portant un certain nombre de chicane. A chaque extrémité sont fixées les boîtes de distribution qui assurent la circulation du fluide à l'intérieur du faisceau tubulaire. [17]

La calandre est munie de tubulure d'entrée et de sortie pour le second fluide qui circule à l'extérieur des tubes suivant le chemin imposé par les chicanes. [17]

Tous les éléments entrant dans la construction de cet échangeur, ont été publiées par la T.E.M.A « Standart of Tubular Exchanger Manufacturer Association », qui spécifie les caractéristiques mécanique et thermique correspondant aux diverses conditions de fonctionnement. [17]

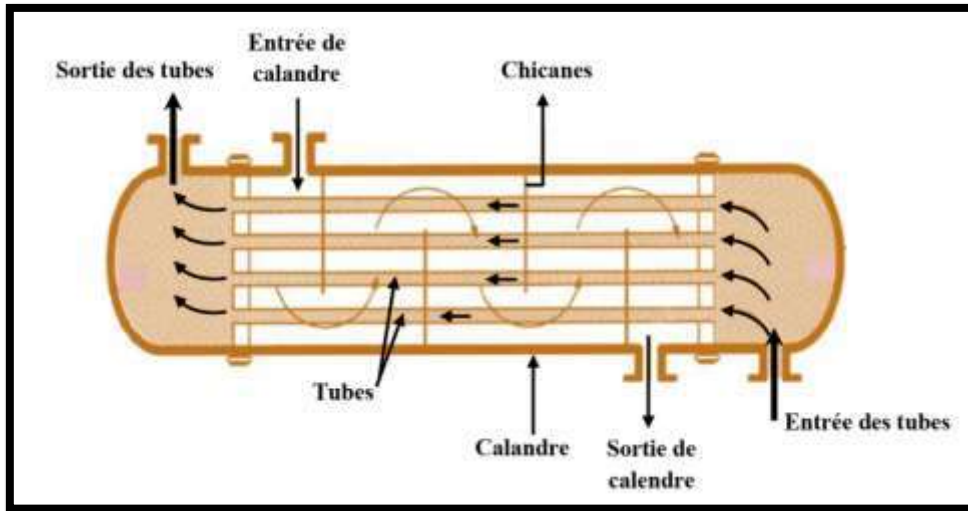


Figure III-7: échangeur à faisceaux/calandre.

Le principe est schématisé dans la figure. Ces échangeurs sont constitués soit d'un tube unique (serpentin), soit d'un faisceau de tubes branchés en parallèle enfermés dans une enveloppe appelée calandre. [17]

#### III.2.8.2.1. La calandre :

C'est l'enveloppe métallique entourant le faisceau tubulaire. L'acier au carbone est le matériau le plus couramment utilisé couramment pour la construction des calandres. A chaque extrémité sont soudées les brides qui porteront le couvercle et la boîte de distribution. Les tubulures d'entrée et de sortie sont soudées avec plaque de renforcement ou non, selon la pression de service. Enfin la calandre pourra être équipée d'anneaux pour le levage et portera la plaque d'identité de l'appareil. [17]



Figure III-8: Calandre d'un échangeur tubulaire.

**III.2.8.2.2. Plaque tubulaire :**

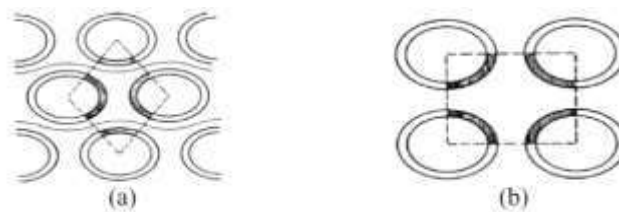
Ceux sont des plaques percées supportant les tubes à leur extrémité, leurs épaisseurs varient entre 5 et 10 cm. [17]



**Figure III-9: Plaque tubulaire d'un échangeur thermique à tube et calandre.**

**III.2.8.2.3. Faisceau tubulaire :**

Les tubes constituant le faisceau sont placés selon une disposition soit au pas carré, soit au pas triangulaire. Ce pas triangulaire permet de placer environ 10% de tubes de plus que le pas carré sur une plaque tubulaire de diamètre donnée, mais en contrepartie, la disposition des tubes rend impossible leur nettoyage extérieur. Il faut avoir recours au nettoyage chimique et réserver leur emploi pour des fluides propres. [17]



**Figure III-10: Position des tubes. (a) Pas triangulaire. (b) Pas carré.**

Le passage du fluide chaud dans les tubes métalliques (acier, cuivre, inox, etc.) minimise les pertes de chaleur. [17]



Figure III-11: photo réelle d'échangeurs de l'unité de reforming catalytique ou niveaux de l'RHM2.

#### III.2.8.2.4. Chicane :

Le faisceau de tubes porte également des chicanes transversales qui ont pour but de [17]:

- Imposer au fluide une trajectoire en zigzag et allonger le chemin du fluide circulant dans la calandre.
- Créer la turbulence en augmentant la vitesse du fluide, et améliorer ainsi le transfert de chaleur à l'extérieur du tube.
- Assurer la rigidité du faisceau, pour éviter des phénomènes de vibration.

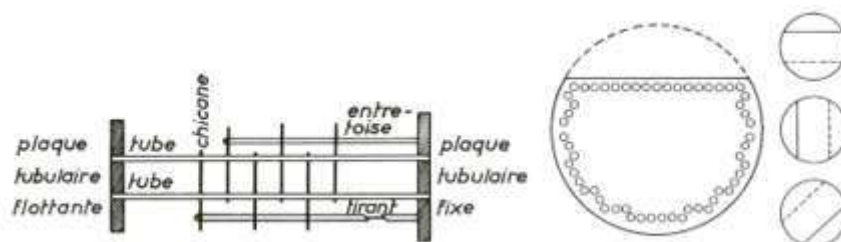


Figure III-12:Chicane d'un échangeur tubulaire.

Les chicanes transversales sont généralement constituées d'un disque ayant un diamètre légèrement inférieur à celui de la calandre. A sa partie basse la chicane renferme une lumière qui évite les stagnations du fluide. [17]

#### III.2.8.2.5. Boite de distribution et boite de retour :

La circulation dans le faisceau est assurée par l'adjonction d'une boite de distribution, portant les brides d'entrée et de sortie, et d'une boite de retour. [17]



Figure III-13: Boite de distribution d'un échangeur tubulaire.

La boite de distribution porte une cloison qui sépare les chambres d'entrée et de sortie du fluide circulant à l'intérieur des tubes ce qui l'oblige à passer tout d'abord par une première moitié des tubes, ensuite ce fluide est récupéré par la boite de retour et retourne par la seconde moitié : on dit c'est un appareil à deux passages. [17]

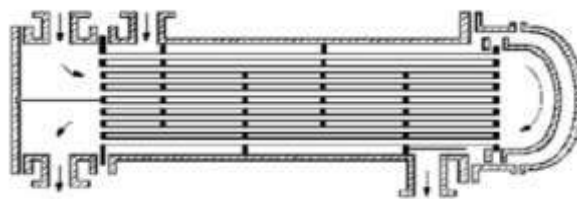


Figure III-14: Echangeur tubulaire à deux passages.

On distingue trois classes d'appareils :

- **Les échangeurs à plaque tubulaire fixes** : soudées sur la calandre, ils ne peuvent être utilisés que si la différence de température entre les fluides chaud et froid est suffisamment faible pour que la dilatation du faisceau soit acceptable. [15]
- **Les échangeurs à tête flottante** : l'une des plaques tubulaires est fixe, la seconde plaque à un diamètre inférieur, porte la boite de retour et peut coulisser librement de l'intérieur du capot qui ferme la calandre. Ces appareils permettent l'expansion thermique du faisceau ainsi que son nettoyage mécanique. [15]
- **Les échangeurs à tubes en U** : la plaque tubulaire est supprimée avec l'utilisation de tubes coudés, tout en conservant les propriétés d'expansion de la tête flottante. L'économie réalisée par le coût d'une plaque tubulaire est compensée par

l'impossibilité de nettoyage mécanique de l'intérieur des tubes, ces faisceaux seront surtout utilisés dans les rebouilleurs à vapeurs. [15]

**Échangeur 1-2 :**

Ce modèle représente l'échangeur à faisceau le plus élémentaire : le fluide circulant dans la calandre réalise un seul passage, tandis que le fluide du côté des tubes effectue 2 (ou 2n) passages. Dans l'exemple illustré dans la figure (2), le fluide réalise un seul passage à la fois du côté de la calandre et des tubes. [15]

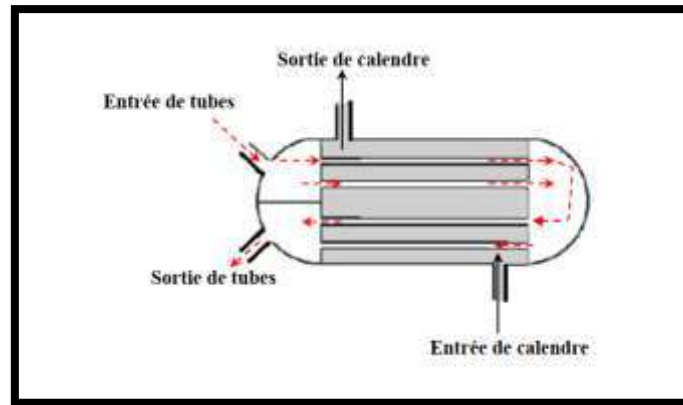


Figure III-15: échangeur de type 1-2.

**Échangeur 2-4 :**

Lorsque l'échangeur 1-2 ne permet pas d'obtenir une efficacité supérieure à 0.75, on essaie à se rapprocher plus de l'échangeur à contre-courant en effectuant 2 (ou plus) passes en calandre. [15]

L'échangeur 2-4 comporte une chicane longitudinale de sorte que le fluide en calandre effectue 2 passes. Le fluide dans le tube effectue 4 (ou 4n) passes. [15]

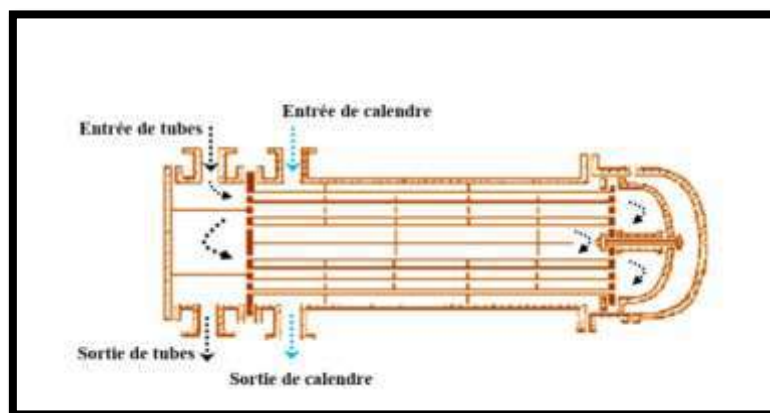
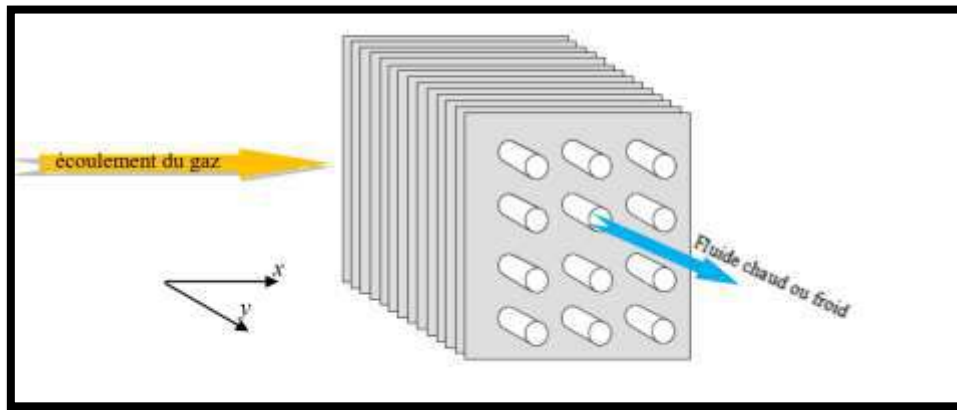


Figure III-16: échangeur de type 2-4.

**Échangeurs à courants croisés :**

Dans ce type d'échangeurs, une circulation de l'un des fluides dans une série de tubes alors que l'autre circule perpendiculairement autour des tubes. Généralement, c'est le liquide qui circule dans les tubes et le gaz à l'entour. Les tubes munis d'ailettes permettent un bon transfert de chaleur échangée en augmentant la surface d'échange. Le radiateur de refroidissement des véhicules à moteur est un exemple de cet échangeur. [15]



**Figure III-17: échangeur à courants croisés.**

**III.2.8.3. Échangeurs à plaques :**

Ce type d'échangeurs est constitué de plaques assemblées de façon que le fluide puisse circuler entre elles. Un jeu de joints assure la distribution des fluides entre les plaques de telle sorte que chacun des deux fluides soit envoyé alternativement entre deux espaces inter plaques successifs. [15]

Un échange thermique des fluides s'effectue à travers les plaques. La compacité avantage ce type d'échangeur. Ce dispositif permet une grande surface d'échange dans un volume limité. Donc, son utilité apparaît clairement lors des grandes puissances. [15]

Les échangeurs à plaques sont très utilisés dans l'industrie agroalimentaire, l'industrie nucléaire ou chimique. Pour des raisons évidentes d'hygiène et de santé publique, les plaques sont généralement en acier inoxydable. A noter que la gamme de températures de fonctionnement est réduite par l'utilisation des joints en matières organiques. [15]

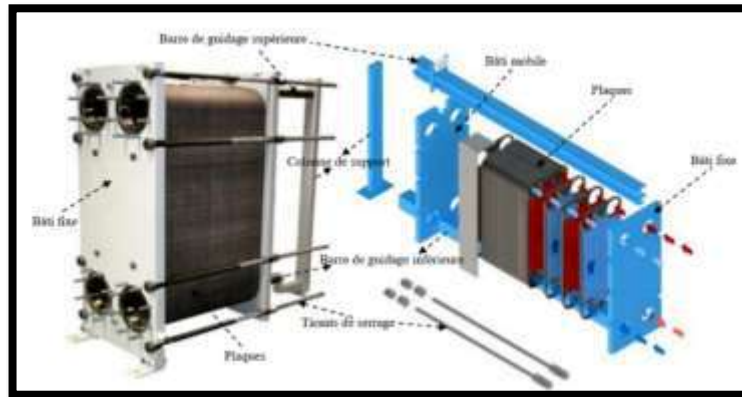


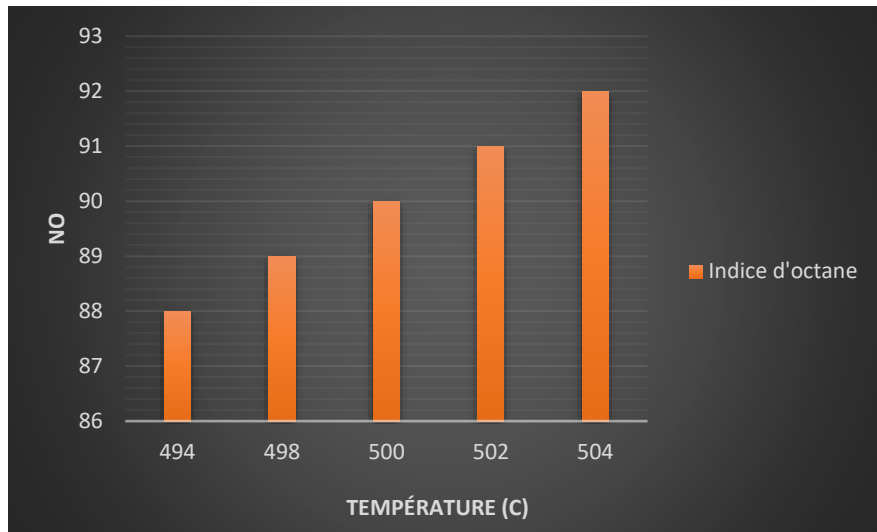
Figure III-18: Échangeurs à plaques.

# CHAPITRE IV : PARTIE DE CALCUL

### IV.1. Problématique :

L'unité de reforming catalytique produit de l'essence à partir d'un certain nombre de réactions favorisées par la température élevée et la pression d'hydrogène. Cependant, avec le temps, cette unité souffre de la dégradation des équipements, en particulier la dégradation du premier four. Cette dégradation a entraîné une diminution de la qualité et de la quantité du reformat.

- L'indice d'octane, augmente avec la montée des températures de service de la manière suivante :



- La température de sortie actuelle du four BA 801 est de 504°C, mais il est impossible de l'augmenter en raison des températures élevées des peaux des tubes.

**Tableau IV-1: La température de sortie four dans le cas actuel et le cas design. [7]**

	Actuel	Design
Température sortie four BA801 (°C)	504	545

## IV.2. Vérification de rendement de four BA801 cas actuelle et cas design :

### IV.2.1. Bilan thermique :

Les données utilisées pour le calcul de bilan thermique de four sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau IV-2: les données de calcule le bilan thermique de four. [5]

Naphta+ H <sub>2</sub>	Q kg/h	T° d'entrée °C	T° de sortie °C	Densité	Enthalpie Entrée Kcal/Kg	Enthalpie sortie Kcal/Kg
Cas actuel	19784.6	385	495	0,7464	295	380
Cas design	24170	428	545	0.70	335	430

- Calcul de la quantité de chaleur absorbée par la charge dans le four :

$$Q_{ab} = G[h_s - h_e]$$

- ✓  $Q_{ab}$  : la quantité de chaleur absorbée Kcal/h.
- ✓  $G$  : débit de la charge en Kg/h.
- ✓  $h_s, h_e$  : les enthalpies en phase vapeur de la charge respectivement à la sortie et à l'entrée.

#### a. Cas design :

D'après la référence la fiche technique de four présenté dans les annexes :

$$Q_{ab} = 3000000 \text{ Kcal/h}$$

#### b. Cas actuel :

$$Q_{ab} = 19784,6 (380 - 295)$$

$$Q_{ab} = 1681691 \text{ Kcal/h}$$

- Calcule quantité de chaleur libérée par le four BA801 :

$$Q_{libérée} = PCI \cdot V_{\text{fuel gaz}}$$

Tableau IV-3: Analyse chromatographique de Fuel-gaz. (D'après analyses effectuées pour le test-run RHM2 présenter dans les annexes)

	C1	C2	C3	iC4	nC4	iC5	nC5	C6	C7	N2	CO2	PCI
FA990	48.53	8.79	17.14	7.26	13.91	1.39	0.63	0.06	0.02	1.92	0.32	14980

a. Cas design :

D'après la fiche technique de four « voire les annexes » :

$$Q_{libérée} = 5217000 \text{ Kcal/h}$$

b. Cas actuel :

Avec :  $V_{FG} = 240 \text{ Nm}^2$

Donc :

$$Q_{libérée} = 14980 \cdot 240$$

$$Q_{libérée} = 3595200 \text{ Kcal/h}$$

- Donc le rendement de four BA 801 donnée par la relation suivante :

$$\eta\% = \frac{\text{chaleur absorbé par la charge}}{\text{chaleur libérée par le four}} \times 100$$

a. Cas design :

$$\eta\% = \frac{3000000}{5217000} \times 100$$

$$\eta\% = 57,50$$

b. Cas actuel :

$$\eta\% = \frac{1681691}{3595200} \times 100$$

$$\eta\% = 46,77$$

**IV.2.2. Les remarques :**

- Les résultats indiquent que le rendement du four BA801 dans son état design est insatisfaisant, atteignant seulement la moitié du rendement requis pour les fours unitaires. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette situation :

- La conception manque de caractéristiques favorables à la convection.
- La petite taille du four limite la surface d'échange thermique.
- Le choix du type de four n'était peut-être pas optimal pour l'unité, un type plus efficace aurait pu être sélectionné.

- On remarque une diminution de rendement cas actuelle du four BA 801 par rapport au design qui est de 10%, il est justifié par la quantité de chaleur perdue. On peut citer les causes comme suite :

- L'encrassement des tubes du four entraîne une diminution du coefficient de transfert thermique.
- Une direction non ajustée des flammes peut provoquer une augmentation des températures à la surface des tubes.
- Les fissures sur la brique réfractaire du four BA 801 indiquent une mauvaise conservation de l'énergie thermique.
- L'encrassement des tubes du train d'échange EA800 entraîne une diminution de la température à l'entrée du four, passant de 428 °C à 373 °C selon la conception.
- Les arrêts non programmés peuvent causer des chocs thermiques dans les fours.

**IV.3. Objectif de l'étude :**

Dans ce projet, nous envisageons d'installer un nouvel échangeur EA807 dans le train d'échange, au niveau de la section de préchauffage de l'unité 800. L'objectif est de résoudre le problème de la température d'entrée du four BA801, afin d'augmenter le débit et d'améliorer la qualité du reformat (l'indice d'octane). Les objectifs peuvent être résumés comme suit :

- Augmentation de la température de la charge naphta entrée et sortie four BA801.
- Soulager le four BA801.
- Augmentation de la production en reformat.
- Augmenter l'indice d'octane de reformat afin pouvoir produire l'essence
- Diminuer le taux d'éthylation afin de préserver l'environnement.

IV.3.1. Le circuit de l'unité Cas actuelle :

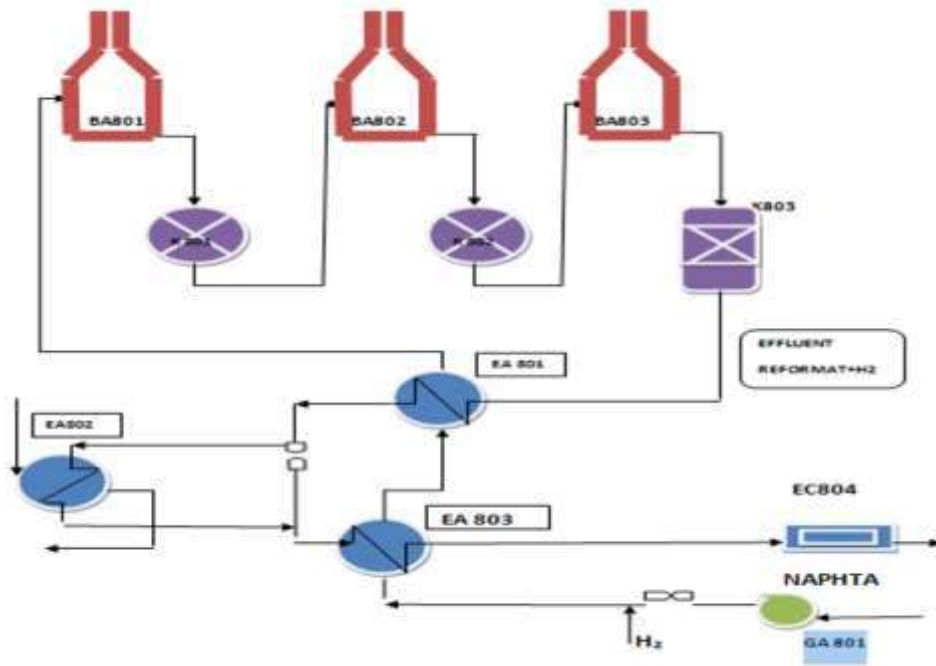


Figure IV-1: Circuit actuel de la section de préchauffage de la charge dans l'unité 800.

IV.3.2. Le circuit de l'unité Cas proposée :

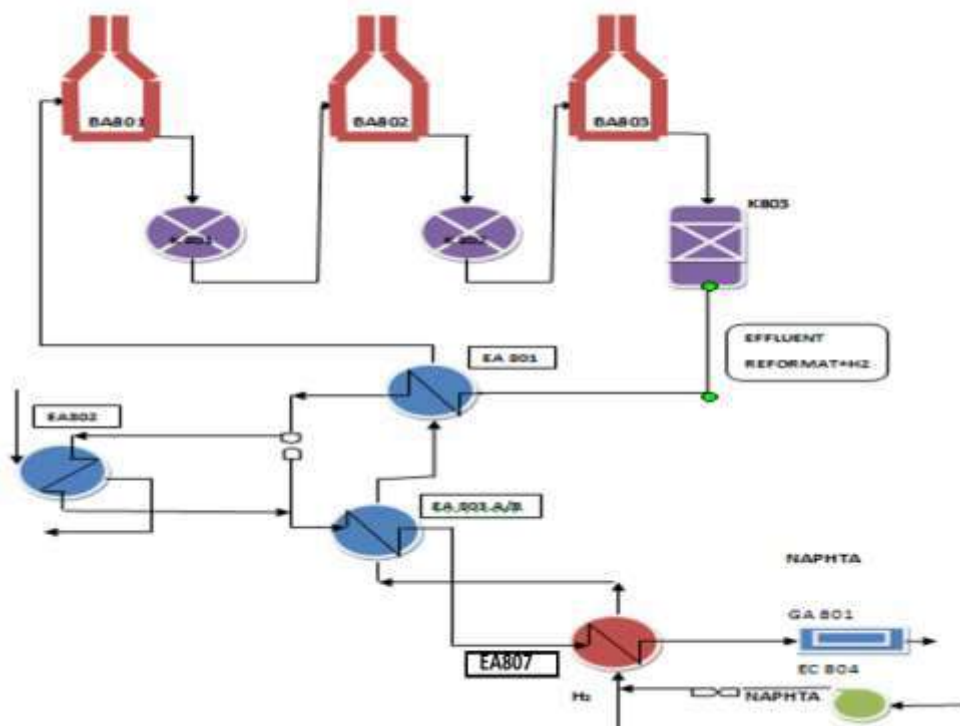


Figure IV-2: Circuit proposée de la section de préchauffage de la charge dans l'unité 800.

#### IV.4. Dimensionnement de l'échangeur à placer en amont de la section de préchauffe :

- Echangeur a faisceau et calandre, on peut l'appeler EA 807.
- Fluide chaude circule côté tubes.
- Fluide froide circule côté calandre/
- La méthode de calcul utilisé est la méthode de kern. [18]

##### IV.4.1. Théorie de la méthode [18] :

###### IV.4.1.1. Bilan thermique :

$$Q = M (H_1 - H_2) = m. (h_1 - h)$$

- On titre  $h_2 = h_1 + Q/m$  on obtient  $t_2$
- M débit massique du fluide chaud
- m débit massique du fluide froid.
- $H_i, h_1$  Enthalpie à l'entrée (chaud et froid).
- $H_2, h_2$  Enthalpie à la sortie (chaud et froid).

###### Calcul de la $\Delta T_{LM}$ :

$$\checkmark \Delta t_1 = (T_1 - t_2)$$

$$\checkmark \Delta t_2 = (T_2 - t_1)$$

$$(\Delta T_{LM}) = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2,3 \log \Delta t_1 / \Delta t_2}$$

###### Nombre de passe $n_c$ :

$$\checkmark R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$\checkmark E = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

###### Calcul de coefficient de transfert sale $Us'$ :

$$Us' = \frac{Q}{A.F.\Delta T_{LM}}$$

###### Température calorique :

$$\checkmark T_c = T_2 + F_c (T_1 - T_2)$$

$$\checkmark t_c = t_1 + F_c (t_2 - t_1)$$

###### Calcul du coefficient de transfert propre $U_p$ .

• **Faisceau :**

➤ Section par passe  $a_t = \frac{N_t}{n_t} \cdot \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}$

➤ Vitesse massique :  $G_t = M/a_t$

➤ Caractéristiques du fluide à  $T_c$  :

$C_p, \mu \cdot \lambda$  Et  $d$

➤ Nombre de Reynolds :  $Re_t = \frac{d_i \cdot G_t}{\mu}$

$$J_H = \frac{h_i \cdot d_i}{\lambda} \cdot \left( \frac{C_p \cdot \mu}{\lambda} \right)^{-1/3} \cdot Q_t^{-1}$$

$$\frac{h_i}{Q_t} = J_H \cdot \frac{\lambda}{d_i} \cdot \left( \frac{C_p \cdot \mu}{\lambda} \right)^{1/3}$$

$$\frac{h_{i0}}{Q_t} = \frac{h_i d_i}{Q_t d_o}$$

• **Calandre :**

➤ Section par calandre :  $a_t = \alpha \frac{D_e}{P} (P - D_{ext}) \cdot B$

➤ Vitesse massique :  $G_{ct} = M'/a_t$

➤ Caractéristiques du fluide à  $t_c$  :

$C_p', \mu' \cdot \lambda'$  et  $d'$

➤ Nombre de Reynolds :  $Re_{ct} = \frac{D_e \cdot G_{ct}}{\mu'}$

$$J'_H = \frac{h_o \cdot D_e}{\lambda'} \cdot \left( \frac{C'p \cdot \mu'}{\lambda'} \right)^{-1/3} \cdot Q_t^{-1}$$

$$\frac{h_o}{Q_{ct}} = J'_H \cdot \frac{\lambda'}{D_e} \cdot \left( \frac{C'p \cdot \mu'}{\lambda'} \right)^{1/3}$$

$$U_p = \frac{h_o \cdot h_{i0}}{h_o + h_{i0}}$$

**Vérification de la résistance d'encrassement**

$$R_s = \frac{U_p - U_s}{U_p \cdot U_s}$$

**IV.4.2. Données de calcul :**

Les données de calcul sont représentées dans le tableau numéro

Tableau IV-4: Paramètres de calcul de l'échangeur EA 807.

	Hydrogène (gaz de recyclage)	Effluent
Débit massique (Kg/h)	m=8761	M=24170
Température entrée °C	t <sub>1</sub> = 64	T <sub>1</sub> =200

IV.4.2.1. Les calculs :

Calcul des températures de la sortie (t<sub>2</sub>, T<sub>2</sub>) :

- ✓ Coté tubes (fluide chaude effluent du réacteur K803).
- ✓ Coté calandre (gaz de recyclage refoulement compresseur GB801 A/B).

$$T_m = \frac{M.T_1 + m.t_1}{M+m}$$

**t<sub>m</sub> = 163.8 °C**

Donc la température minimale de refroidissement de l'effluent sortant à 200°C (en fin de cycle), alors :

**T<sub>2</sub>=164 °C**

IV.4.2.1.1. Bilan thermique :

$$Q = M (H_1 - H_2) = m (h_1 - h_2)$$

Le tableau suivant présente les enthalpies des fluides circulent dans l'échangeur EA 808, en se basant sur la référence. [8]

Tableau IV-5: : l'enthalpies de l'effluent sont déterminer d'après l'annexe (I.36). [8]

	Effluent
Enthalpie entrée (Kcal/kg)	H <sub>1</sub> =195
Enthalpie entrée (Kcal/kg)	H <sub>2</sub> =160

Calcul d'enthalpie  $h_1$  de gaz de recyclage :

- $PM = 14.76$
- $d_{air} : 0.509$

**Tableau IV-6: les chaleurs spécifiques d'après l'annexe (I.51) et (I.52). [8]**

Composition	$M_m$ (Kg/Kmol)	$M_m.PM$	$X_i$ %	$m_i=M_{mi}.PM.X_i$	$Y_i$ %	$C_{pi}$ (a 64°C)	$Y_i. C_{pi}$ (a 64°C)
<b>H<sub>2</sub></b>	2.00	29.52	57.10	16.85	07.20	3.4605	24.91
<b>C<sub>1</sub></b>	16.00	236.16	16.22	38.30	16.37	0.56	09.16
<b>C<sub>2</sub></b>	30.00	442.80	13.02	75.65	32.33	0.45	14.54
<b>C<sub>3</sub></b>	44.10	650.91	08.09	52.65	22.50	0.70	15.75
<b>iC<sub>4</sub></b>	58.10	857.55	01.72	14.74	06.30	0.64	04.03
<b>nC<sub>4</sub></b>	58.10	875.55	01.79	15.35	06.56	0.62	04.06
<b>iC<sub>5</sub></b>	72.10	1064.19	00.92	09.79	04.18	0.59	02.46
<b>nC<sub>5</sub></b>	72.10	1064.19	00.76	08.08	03.45	0.58	02.001
<b>C<sub>6</sub></b>	86	1269.36	00.20	02.53	01.01	0.56	00.56
<b>Total</b>	-----	6472.23	100	233.94	100	8.1605	77.471

$$C_p = \frac{\sum c_{pi} . Y_i}{100}$$

$$C_{p1} = \frac{77.471}{100} = 0.77471$$

Donc :  **$C_{p1} = 0.77471 \text{ Kcal /Kg.}^\circ\text{C}$**

Alors :  $h_1 = C_{p1}.t_1 = h_1 = 0.77471 \times 64$

➔  **$h_1 = 49.58 \text{ Kcal /Kg}$**

Calcul d'enthalpie  $h_2$  de gaz de recyclage :

D'après le bilan thermique on a :

$$Q = M.(H_1 - H_2) = 24170. (195 - 160) = \mathbf{845950 \text{ Kcal/h}}$$

Donc:  $h_2 = h_1 + \frac{Q}{m}$

➔  **$h_2 = 146.62 \text{ Kcal /Kg}$**

A partir de notre calcul on trouve  $h_2 = 146.62 \text{ Kcal/Kg}$  et d'après le tableau ci-dessus, On à la chaleur spécifique de gaz de recyclage à  $t = 135^\circ\text{C}$  égale  $1.097$ , si on calcul l'enthalpie à cette température on trouve  $h_{135^\circ\text{C}} = 148 \text{ Kcal/Kg} \approx 146 \text{ Kcal/Kg}$ . Donc on peut prend  $t_2 = 135^\circ\text{C}$ .

**Tableau IV-7: Calcul des chaleurs spécifiques à  $135^\circ\text{C}$  d'après l'annexe (I.51) et (I.52). [8]**

	<b>C<sub>pi</sub> à <math>135^\circ\text{C}</math></b>	<b>Yi. C<sub>pi</sub></b>
<b>H<sub>2</sub></b>	6.974	50.2128
<b>C<sub>1</sub></b>	00.60	09.822
<b>C<sub>2</sub></b>	00.52	16.8116
<b>C<sub>3</sub></b>	00.81	18.225
<b>iC<sub>4</sub></b>	00.72	04.536
<b>nC<sub>4</sub></b>	00.70	4.592
<b>iC<sub>5</sub></b>	00.65	02.717
<b>nC<sub>5</sub></b>	00.64	2.208
<b>C<sub>6</sub></b>	00.61	0.6161
<b>Total</b>	-----	109.7405

- **Calcul de la surface d'échange :**

$$A = \frac{Q}{U_s' \cdot F \cdot \Delta T_{LM}}$$

a) **Calcul de l'écart moyen de température :**

$$\checkmark \Delta t_1 = (T_1 - t_2) = 65^\circ\text{C}$$

$$\checkmark \Delta t_2 = (T_2 - t_1) = 100^\circ\text{C}$$

$$(\Delta T_{LM}) = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2.3 \log \Delta t_1 / \Delta t_2}$$

$$\Delta T_{LM} = 81^\circ\text{C}$$

b) **Calcul le facteur F :**

$$\checkmark R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = 0.52$$

$$\checkmark E = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = 0.50$$

Donc d'après la figure. V.1.14. [18]

$$F = 0.98$$

c) Estimation du coefficient de transfert sale  $Us'$  : (tableau V.1.8) [18]

$$Us'=200 \text{ Kcal/h.m}^2. \text{ }^\circ\text{c}$$

- Alors la surface d'échange :

$$A = 53.284\text{m}^2$$

Note : selon le type d'échangeurs existants dans l'unité de reformage, on prendre les caractéristiques suivantes à partir de tableau de caractéristique de tube d'échangeurs (V.1,2) [18] :

a. Côté tube :

Tableau IV-8: les caractéristiques d'échangeur cote tube.

	Diamètre extérieur ( $d_{ext}$ )	Diamètre intérieur ( $d_i$ )	La lounge (L)
Type des tubes plain 19.05 BWG14.	19.05mm	14.85mm	16 feet

• Détermination des nombres des tubes estimé  $N'_t$  :

1- Calcul de surface d'échange d'un tube  $a$  :

$$a = \pi \cdot d_{ext} \cdot L = 0,29 \text{ m}^2$$

2- Calcule de  $N'_t$  :

$$N'_t = \frac{A}{a \cdot n_c} = 184 \text{ tubes}$$

Avec le nombre de passes côté calandre  $n_c = 1$

Donc d'après le tableau (V.1.4) [18]

Tableau IV-9: les caractéristiques d'échangeur.

	Nombre de tubes $N_t$	Nombre de passes	Diamètre de calandre	Pas carré normal
Nombre de tubes estimé $N'_t = 184$ tubes	204	4	0.489m	0.025m

- Détermination de coefficient de transfert sale  $U_s$  :

$$U_s = U_s' \cdot \frac{N'_t}{N_t}$$

$$U_s = 180,39 \text{ Kcal/h.m}^2.\text{°C}$$

- Calcul les températures caloriques :

- Calcul de  $F_c$  :

$$F_c = \frac{\Delta T_{LM} - \Delta t_{fr}}{\Delta t_{ch} - \Delta t_{fr}}$$

Avec :

- $\Delta t_{ch} = 65$
- $\Delta t_{fr} = 100$

$$F_c = 0,5$$

Alors :

- Les températures caloriques :

$$\checkmark T_c = T_2 + F_c (T_1 - T_2)$$

$$T_c = 182 \text{ °C.}$$

$$\checkmark t_c = t_1 + F_c (t_2 - t_1)$$

$$t_c = 99,5 \text{ °C.}$$

- Calcul de coefficient de transfert propre  $U_p$  :

a. Côté faisceaux :

➤ Section par passe  $a_t$  :

$$a_t = \frac{N_t}{n_t} \cdot \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}$$

$$a_t = 0,0078 \text{ m}^2$$

➤ **Vitesse massique  $G_t$  :**

$$G_t = \frac{M}{a_t}$$

$$G_t = 3098717,95 \text{ Kg/h.m}^2$$

➤ **Caractéristiques de l'effluent à la température calorique  $T_c$  :**

Le tableau suivant présente les caractéristiques de l'effluent  $\lambda$ ,  $C_p$ ,  $\mu$  et selon la température calorique  $T_c = 182 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Tableau IV-10: caractéristiques de l'effluent à  $T_c$ .**

$T_c$ (°C)	$C_p$ (Kcal/h.m.°C)	$\lambda$ (Kcal/Kg.°C)	$\mu$ (Kg/m.h)
182	0,110	1,047	0,072

D'après les données de tableau N°IV-10 on peut calcul les paramètres suivants :

➤ **Nombre de Reynolds :**

$$Re_t = \frac{d_i \cdot G_t}{\mu}$$

$$Re_t = 6,02 \times 10^5$$

D'après la figure (II.4.10) [8], on tire :

$$J_H = 1000$$

➤ **Calcul de coefficient de film interne/ la viscosité :**

$$\bullet \frac{h_i}{Q_t} = J_H \cdot \frac{\lambda}{d_i} \cdot \left( \frac{C_p \cdot \mu}{\lambda} \right)^{1/3}$$

$$\frac{h_i}{Q_t} = 6935,96$$

$$\bullet \frac{h_{io}}{Q_t} = \frac{h_i d_i}{Q_t d_o}$$

$$\frac{h_{io}}{Q_t} = 5110,71$$

**b. Côté calandre :**

➤ **Espacement par chicanes B :**

$$B = \frac{D_c + D_c}{2}$$

**B = 0,3 m**

• **Calcul de nombre de chicane :**

$$N_c = \frac{L}{B}$$

**N<sub>c</sub> = 16 chicanes**

➤ **Section par passe a<sub>ct</sub> :**

$$a_{ct} = \alpha \frac{D_c}{P} \cdot (P \cdot d_{ext})$$

Avec :

- ✓ Le pas : P = 0,025m.
- ✓ Le diamètre de la calandre : D<sub>c</sub> = 0,489 m.
- ✓ α = 1 (pas carré normal).

**a<sub>ct</sub> = 0,034 m<sup>2</sup>**

➤ **Vitesse massique G<sub>t</sub> :**

$$G'_t = \frac{M}{a_{ct}}$$

**G'<sub>t</sub> = 257676.4 Kg/h.m<sup>2</sup>**

➤ **Calcul du diamètre équivalent D<sub>e</sub> :**

$$D_e = \frac{4.P^2}{\pi.d_{ext}} - d_{ext}$$

**D<sub>e</sub> = 1.65 m<sup>2</sup>**

➤ **Caractéristiques du gaz de recyclage à la température calorique t<sub>c</sub> :**

Le tableau suivant présente les caractéristiques du gaz de recyclage λ, C<sub>p</sub>, μ et selon la température calorique t<sub>c</sub> = 99,5 °C.

**Tableau IV-11: caractéristiques du gaz de recyclage à t<sub>c</sub>.**

t <sub>c</sub> °C	C' <sub>p</sub> (Kcal/h.m.°C)	λ' (Kcal/Kg. °C)	μ' (Kg/m.h)
99,5	0,8618	0.1	0,02

D'après les données de tableau N°IV-11 on peut calcul les paramètres suivants :

➤ **Nombre de Reynolds :**

$$R'_{et} = \frac{d_i \cdot G' \cdot t}{\mu'}$$

$$R'_{et} = 5.92 \times 10^5$$

D'après la figure (II.4.10) (7), on tire :

➤ **Calcul de coefficient de film externe /la viscosité :**

$$\frac{h_o}{Q_{ct}} = J'_H \cdot \frac{\lambda'}{De} \cdot \left( \frac{C' p \cdot \mu'}{\lambda'} \right)^{1/3}$$

$$J_H = 1000$$

On a la même viscosité :

$$\frac{h_o}{Q_{ct}} = 1062.722$$

Donc :  $Q_t = Q'_t = 1$

Alors le coefficient de transfert devient :

- $h_i = 6935.97 \text{ Kcal/h.m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .
- $h_{io} = 5110.71 \text{ Kcal/h.m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .
- $h_o = 1062.72 \text{ Kcal/h.m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

➤ **Calcul du coefficient de transfert propre**

$$U_p \cdot U_p = \frac{h_o \cdot h_{io}}{h_o + h_{io}}$$

$$U_p = 879.77 \text{ Kcal/h.m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

- **Détermination de la résistance d'encrassement  $R_s$  :**

$$R_s = \frac{U_p - U_s}{U_p \cdot U_s}$$

$$R_s = 0.004 \text{ h.m}^2 \cdot ^\circ\text{C/Kcal}$$

**IV.4.3. Résultats :**

D'après le calcul de la surface d'échange, on peut déterminer les dimensions constructives de l'échangeur à placer. Les résultats de calcul sont illustrés dans le tableau suivant :

**Tableau IV-12: Résultats finales de dimensionnement de l'échangeur EA807.**

Paramètre	EA807	
Type d'échangeur	À faisceaux et calandre (tube en U)	
La Quantité de chaleur (Kcal/h)	845950	
La Surface d'échange (m <sup>2</sup> )	53.284	
Nombre de tube	204	
Nombre de chicane	16	
Longueur des tubes (mm)	4876.8	
Pas entre tubes (mm)	25	
Disposition des tubes	Carre normal	
Diamètre extérieur (mm)	Tube	Calandre
	19.05	489
Nombre de passes	4	1
Température calorique (°C)	182	99.5
Reynolds	$6.02 \times 10^5$	$5.92 \times 10^5$
La distance entre deux chicanes (mm)	300	
Résistance l'encrassement hm <sup>2</sup> °c/ kcal	0.004	
Type de matériaux	Acier	

**IV.5. Etude d'amélioration de la température entrée et sortie four BA801 après l'emplacement de l'échangeur EA807 :**

**La température entrée échangeur EA803 A-B (naphta + H<sub>2</sub>) :**

**Tableau IV-13: les donnees avec le calcule La température entrée échangeur EA803 A-B. [7]**

	Naphta +H <sub>2</sub>	Naphta	H <sub>2</sub>
<b>Débit (Kg/h)</b>	19784.6	9275	10509.6
<b>Percentage (%)</b>	100	46.8	53.2
<b>Température actuel °C</b>	137	220	64
<b>Température après l'échangeur EA807 °C</b>	173	220	135

**a. Calcul la température sortie échangeur EA803 A-B (naphta + H<sub>2</sub>) :**

- **Bilan thermique :**

$$Q = M. Cp. (T_1 - T_2) = m. Cp. (t_2 - t_1)$$

**Tableau IV-14: Donnes de calcule la température sortie échangeur EA803 A-B.**

	Densité	Cp (Kcal/Kg. °C)	T <sub>1</sub> entrée (°C)	T <sub>2</sub> sortie (°C)	t <sub>1</sub> entré (°C)	Cp (à t <sub>1</sub> ) (Kcal/K g. °C)	Débit (Kg/h)
<b>Effluent</b>	<b>0.76</b>	<b>0.73</b>	<b>326</b>	<b>160</b>	<b>173</b>	<b>0.78</b>	<b>20830.9</b>

$$Q = M. Cp. (T_1 - T_2)$$

$$Q = 2524288.46 \text{ Kcal/h}$$

$$t_2 = \frac{Q}{m \cdot cp} + t_1$$

**t<sub>2</sub> = 336 °C**

b. Calcul la température sortie échangeur EA801 (entée four BA801) :

$$Q = M. Cp. (T_1 - T_2) = m. Cp. (t_2 - t_1)$$

Tableau IV-15: Données de calcul la température sortie échangeur EA801.

	Densité	Cp (Kcal/Kg. °C)	T <sub>1</sub> entrée (°C)	T <sub>2</sub> sortie (°C)	t <sub>1</sub> entré (°C)	Cp (à t <sub>1</sub> ) (Kcal/K g. °C)	Débit (Kg/h)
<b>Effluent</b>	0.76	0.9	488	352	336	0.84	20830.9

$$Q = M.Cp. (T_1 - T_2)$$

$$Q = 2549702.16 \text{ Kcal/h}$$

$$t_2 = \frac{Q}{m.c_p} + t_1$$

$$t_2 = 489 \text{ °C}$$

c. Calcul la température sortie four BA801 :

1- Détermination  $\Delta T$  de four :

$$\Delta T = T_{\text{sortie}} - T_{\text{entée}}$$

D'après le cas actuel :

$$\Delta T = 504 - 400 = 104 \text{ °C}$$

Alors :

$$T_{\text{ sortie four}} = t_2 + \Delta T$$

$$T_{\text{ sortie four}} = 593 \text{ °C}$$

**IV.6. 7. Interprétation :**

L'étude portant sur l'intégration de l'échangeur EA 807, destiné au préchauffage de l'hydrogène en amont du train de préchauffage de l'unité de reformage catalytique, a permis d'élever la température d'entrée du four BA 801 à 489°C. Cette augmentation visait à améliorer soit la quantité produite de reformât, soit la qualité de ce dernier en termes de taux de NO, afin de fabriquer de l'essence de qualité supérieure.

L'installation de l'échangeur EA807 présente plusieurs avantages. D'une part, elle contribue à soulager le four et à réduire le risque de flamage des tiges. D'autre part, sur le plan économique, elle allège la charge de l'aéro-réfrigérateur EC804 de reformat.

# **RECOMMANDATIONS ET CONCLUSION**

## RECOMMANDATIONS

On recommande de :

- ❖ Installer l'échangeur EA807 en amont le train de préchauffe.
- ❖ Reconstruit les parois réfractaires afin de réduire les pertes de chaleur.
- ❖ L'augmentation de la pouvoir calorifique de fuel gaz.
- ❖ L'augmentation de la surface d'échange de four par augmenter le nombre de tube.
- ❖ Préchauffage d'air de combustion.
- ❖ Eviter les déclenchements électriques.
- ❖ Remplacer le four existant par un autre équipé d'une zone de convection.

## CONCLUSION :

L'Algérie, parmi les producteurs mondiaux de pétrole brut, vise néanmoins l'autosuffisance en matière de production d'essence. Contrairement au pétrole brut, qui est exporté, l'essence est produite principalement pour le marché intérieur en raison de diverses contraintes industrielles qui compromettent sa qualité et sa quantité. Un problème particulier a été identifié à la raffinerie RHM2 à Hassi Messaoud, où l'unité de reforming catalytique rencontre des difficultés thermiques, impactant ainsi l'indice d'octane et la quantité d'essence produite. Cette problématique est en grande partie attribuable au premier four de l'unité, le four BA801, dont les détériorations compromettent son efficacité thermique, en raison notamment de défauts de conception.

Pour résoudre cette situation, une solution a été envisagée : dimensionner un nouvel échangeur de chaleur EA807 pour compléter le système existant. Ce nouvel échangeur serait positionné en amont de la série d'échangeurs, chargé de préchauffer la charge d'hydrogène avant son intégration avec la charge de naphta. Cette initiative visait à significativement améliorer les températures d'entrée et de sortie du four, représentant ainsi une solution idéale pour soulager la charge sur le four et, simultanément, améliorer l'indice d'octane de l'essence produite.

# LES REFERENCES

## Références

- [1] «Rapport de stage,» la division de production de Sonatrach, Hassi Messaoud, 27 aout 2014.
- [2] A. R. e. S. Hadjer, «Production de l'essence sans plomb par amélioration du procédé de reforming catalytique (RHM2).,» chez *MEMOIRE*, OUARGLA, UNIVERSITE DE KASDI MERBAH, 2015/2016, p. 33.34.35..
- [3] «Presentation de la nouvelle raffinerie RHM2 de Hassi Messaoud,» Division Production de Sonatrach, HASSI MESSAOUD, 2007.
- [4] H. M. e. L. Nesrine, «Désulfuration du naphta par l'Hydrotraitement-vérification de l'unité U300/RHM2/HMD,» chez *MEMOURE*, OUARGLA, UNIVERSITE DE KASDI MERBAH OUARGLA, 2021/2022, p. 19.20.32.55.
- [5] G. Abdalla, «Rapport de stage d'induction au service raffinerie département raffinage (réaliser par GAUI Abdallah) .,» Division de production de Sonatrach, HASSI MESSAOUD, 2011.
- [6] «PIERRE LEPRINCE : "le Raffinage du pétrole " Procédés de transformation (tome 3),» chez *PIERRE LEPRINCE : "le Raffinage du pétrole "*, Paris, Edition Technip, 1998, p. 105.115.117.118.
- [7] Piètement et reforming SONATRACH, manuelle opératoire., PARIS: INSTITUT FRANÇAIS DU PETROLE Division Engineering - Ventes, 1974.
- [8] «Le pétrole. « RAFFINAGE ET GENIE CHIMIQUE »,» chez *Tom Whittier 1*, PARIS, PUBLICATIONS DE L'INSTITUT FRANÇAIS DU PETROLE, 1972, p. 778. 88.99.86.87.304.
- [9] «Etude et suivi caractérisation de la production du l'essence sans plomb,» chez *MEMOIRE*, MESSILA, UNIVERSITE DE MOHAMED BOUDIAF, 2020, p. 35. 42.43.45.46.54.55..
- [10] J.-C. GUIBET, «Caractéristiques Des Produits Pétroliers,» PARIS, Docteur ès sciences de l'université de Louvain Coordonnateur carburants à l'Institut français du pétrole Professeur à l'École nationale supérieure du pétrole et des moteurs, Sep.02.2018., p. 3.4..
- [11] G. O. Z. H. M. Chaima, «Amélioration de la qualité de l'essence (nombre d'octane) A la Raffinerie d'adrar ADRAR RA1D.,» chez *MEMOIRE*, EL Oued, Université Echahid Hamma Lakhdar. EL Oued Faculté de Technologie, 2020 / 2021, p. 25.26.27.
- [12] S. Said, Support de cours Chapitre-2 : Procédés de raffinage, Batna: université Batna.
- [13] Cours Fours de raffinerie, Skikda: unervisite de skikda, 2020.
- [14] LE RAFFINAGE DU PÉTROLE 4 MATÉRIELS ET ÉQUIPEMENTS., PARIS: Sous la coordination de Pierre TRAMBOUZE Institut Français du Pétrole, 1999.
- [15] D. M. F.-. Oudina, Échangeur de chaleur. Cour et exercices, universite de mécanique et physique énergétique..
- [16] Chapitre 1 GENERALITES SUR LES ECHANGEURS DE CHALEUR, TELMCEN: Université de Telmcen, 2024.

- [17] B. S. e. T. Mohamed, «OPTIMISATION ET REDIMENSIONNEMENT D'UN ECHANGEUR TUBULAIRE E102 A~F DANS L'UNITE DE TRAITEMENT DE GAZ.,» chez *MEMOIRE*, Boumerdès, Université M'hamed BOUGARA Boumerdès, 2016 - 2017, p. 26.27.28.29..
- [18] C. T. J.-P. Wauquier, *Le pétrole : raffinage et génie chimique. Tome II*, PARIS: PUBLICATIONS DE L'INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE LE RAFFINAGE DU PETROLE2 PROCÉDÉS DE SÉPARATION J.-P. WAUQUIER ÉDITIONS TECHNIP, 1998.

# LES ANNEXES

## RAPPORT DE STAGE RAFFINERIE

RHM2

Désignation	Q <sub>L</sub> Kg/h	Q <sub>V</sub> Kg/h	T° (°C)	d L à T°C	PM V	P eff Bars.
Charge refoulement GA801 AB	15409		219	0,55		28
Gaz de recyclage		8761	64		9,7	28
Charge entrée four BA801		24170	428		23,2	27,3
Charge entrée réacteur K801		24170	545		23,2	25,8
Charge entrée four BA802		24170	475		19,7	25,1
Charge entrée réacteur K802		24170	545		19,7	24,4
Charge entrée four BA803		24170	500		19,7	23,8
Charge entrée réacteur K803		24170	545		19,7	23,2
Reformat sortie K803		24170	545		19,7	22,2
Reformat vers rebouilleur EA802		6415	401		19,7	21,5
Reformat sortie rebouilleur EA802		6415	252		19,7	21,1
Reformat Alimentation séparateur FA801	13555	10235	40	0,72	9,7	20
Gaz de recyclage FA801 vers comp. GB801 A/B		10235	40		9,7	20
Gaz de recyclage vers section prétraitement		1662	64		9,7	28,1
Gaz de recyclage pour régénération du sécheur FA803 vers BA 804		1662	220		9,7	27,9
Gaz de tête ballon de garde du gaz séché vers circuit section prétraitement		1663	40		9,7	27,3
Alimentation Stabilisation DA801	13555	380	163	0,65	53	15,8
Gaz tête DA801		5955	67		47,7	15,3
Gaz ballon de reflux FA802		552	40		38,6	15
Reflux de tête DA801	5043		40	0,49		21
GPL sortie FA802 (GA802 AB) → C1S	552		40	0,49		21
Reformat vers stockage	13383		40	0,76		13,8
Eau Refoulement GA806 amont EC804	7000		40	0,99		11,5

HEURES	CHARGE				FOUR BA 801														RE	
	SURT	TEMPERATURE ENTREE LA NO 8	TEMPERATURE ENTREE FOUR BA 801	PRESSION ENTREE FOUR BA 801	TEMPERATURES								PRESSIONS						TEMPER	
					PEAU DE TUBES								FUMES	ZONE DE RADIATION	ZONE DE CORROSION	THAOT	FUEL OIL VITRE BULLEUSE	ENTREE REACTEUR	SORTIE REACTEUR	
					PASSE A		PASSE B		PASSE C		PASSE D									A
HAUT	BAS	HAUT	BAS	HAUT	BAS	HAUT	BAS	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10			
	T1 801.21	T1 801.02	P1 801	T2 801.4A	T2 801.5A	T2 801.4B	T2 801.5B	T2 801.4C	T2 801.5C	T2 801.4D	T2 801.5D	T200	P1 801	P2 801	A.P	P1 801	T1 801.0A	T1 801.0B		
14	12.1	46	13	223	201	348	203	201	309	303	303	303	303	303	303	303	303	303	303	
15	11.5	44	10	298	290	360	260	260	378	378	378	378	378	378	378	378	378	378	378	
16	12.1	45	10	270	270	360	260	260	378	378	378	378	378	378	378	378	378	378	378	
17	12.1	45	40	270	270	344	264	264	378	378	378	378	378	378	378	378	378	378	378	
18	12.1	45	43	272	272	344	264	264	378	378	378	378	378	378	378	378	378	378	378	

REFORMING																			
0.20	320	3	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320
0.20	315	4	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
0.20	310	5	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310
0.20	305	6	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305
0.20	300	7	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
0.20	295	8	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295
0.20	290	9	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290
0.20	285	10	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285
0.20	280	11	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
0.20	275	12	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275
0.20	270	13	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
0.20	265	14	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265
0.20	260	15	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
0.20	255	16	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
0.20	250	17	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
0.20	245	18	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
0.20	240	19	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
0.20	235	20	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235
0.20	230	21	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
0.20	225	22	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
0.20	220	23	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
0.20	215	24	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215
0.20	210	25	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
0.20	205	26	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205
0.20	200	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
0.20	195	28	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195
0.20	190	29	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
0.20	185	30	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185
0.20	180	31	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
0.20	175	32	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
0.20	170	33	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
0.20	165	34	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
0.20	160	35	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
0.20	155	36	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155
0.20	150	37	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
0.20	145	38	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145
0.20	140	39	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
0.20	135	40	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
0.20	130	41	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
0.20	125	42	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
0.20	120	43	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
0.20	115	44	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
0.20	110	45	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
0.20	105	46	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
0.20	100	47	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.20	95	48	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
0.20	90	49	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
0.20	85	50	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
0.20	80	51	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
0.20	75	52	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
0.20	70	53	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
0.20	65	54	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
0.20	60	55	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
0.20	55	56	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
0.20	50	57	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
0.20	45	58	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
0.20	40	59	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
0.20	35	60	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
0.20	30	61	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
0.20	25	62	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
0.20	20	63	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
0.20	15	64	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
0.20	10	65	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
0.20	5	66	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
0.20	0	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

REFORMING																		
REACTEUR K 801										FOUR BA 802								
PRESSIONS			TEMPERATURES				PRESSIONS			TEMPERATURES								PRESSIONS
ENTREE REACTEUR	SORTIE REACTEUR	A.T	ENTREE FOUR BA 802		SORTIE FOUR BA 802		ENTREE REACTEUR	SORTIE REACTEUR	A.P REACTEUR									

REFORMING																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
S U B S T A N C E	REACTEUR K 003										EFFLUENT DE K 001				SEPARATEUR FA 001		COLONNE DE STABILISATION CA 001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	TEMPERATURES					PRESSIONS					TEMPERATURE EFFLUENT EN AMONT DU REACTEUR K 001	TEMPERATURE EFFLUENT EN AMONT DU REACTEUR K 002	TEMPERATURE EFFLUENT EN AMONT DU REACTEUR K 003	TEMPERATURE EFFLUENT EN AMONT DU REACTEUR K 004	TEMPERATURE EFFLUENT EN AMONT DU REACTEUR K 005	TEMPERATURES												D E F																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	ENTREE REACTEUR	SORTIE REACTEUR	A T	LIT DE CATALYSEUR HAUT	LIT DE CATALYSEUR BAS	LIT DE CATALYSEUR BAS	ENTREE REACTEUR	SORTIE REACTEUR	A T	REACTEUR						REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR	REACTEUR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39	T40	T41	T42	T43	T44	T45	T46	T47	T48	T49	T50	T51	T52	T53	T54	T55	T56	T57	T58	T59	T60	T61	T62	T63	T64	T65	T66	T67	T68	T69	T70	T71	T72	T73	T74	T75	T76	T77	T78	T79	T80	T81	T82	T83	T84	T85	T86	T87	T88	T89	T90	T91	T92	T93	T94	T95	T96	T97	T98	T99	T100	T101	T102	T103	T104	T105	T106	T107	T108	T109	T110	T111	T112	T113	T114	T115	T116	T117	T118	T119	T120	T121	T122	T123	T124	T125	T126	T127	T128	T129	T130	T131	T132	T133	T134	T135	T136	T137	T138	T139	T140	T141	T142	T143	T144	T145	T146	T147	T148	T149	T150	T151	T152	T153	T154	T155	T156	T157	T158	T159	T160	T161	T162	T163	T164	T165	T166	T167	T168	T169	T170	T171	T172	T173	T174	T175	T176	T177	T178	T179	T180	T181	T182	T183	T184	T185	T186	T187	T188	T189	T190	T191	T192	T193	T194	T195	T196	T197	T198	T199	T200	T201	T202	T203	T204	T205	T206	T207	T208	T209	T210	T211	T212	T213	T214	T215	T216	T217	T218	T219	T220	T221	T222	T223	T224	T225	T226	T227	T228	T229	T230	T231	T232	T233	T234	T235	T236	T237	T238	T239	T240	T241	T242	T243	T244	T245	T246	T247	T248	T249	T250	T251	T252	T253	T254	T255	T256	T257	T258	T259	T260	T261	T262	T263	T264	T265	T266	T267	T268	T269	T270	T271	T272	T273	T274	T275	T276	T277	T278	T279	T280	T281	T282	T283	T284	T285	T286	T287	T288	T289	T290	T291	T292	T293	T294	T295	T296	T297	T298	T299	T300	T301	T302	T303	T304	T305	T306	T307	T308	T309	T310	T311	T312	T313	T314	T315	T316	T317	T318	T319	T320	T321	T322	T323	T324	T325	T326	T327	T328	T329	T330	T331	T332	T333	T334	T335	T336	T337	T338	T339	T340	T341	T342	T343	T344	T345	T346	T347	T348	T349	T350	T351	T352	T353	T354	T355	T356	T357	T358	T359	T360	T361	T362	T363	T364	T365	T366	T367	T368	T369	T370	T371	T372	T373	T374	T375	T376	T377	T378	T379	T380	T381	T382	T383	T384	T385	T386	T387	T388	T389	T390	T391	T392	T393	T394	T395	T396	T397	T398	T399	T400	T401	T402	T403	T404	T405	T406	T407	T408	T409	T410	T411	T412	T413	T414	T415	T416	T417	T418	T419	T420	T421	T422	T423	T424	T425	T426	T427	T428	T429	T430	T431	T432	T433	T434	T435	T436	T437	T438	T439	T440	T441	T442	T443	T444	T445	T446	T447	T448	T449	T450	T451	T452	T453	T454	T455	T456	T457	T458	T459	T460	T461	T462	T463	T464	T465	T466	T467	T468	T469	T470	T471	T472	T473	T474	T475	T476	T477	T478	T479	T480	T481	T482	T483	T484	T485	T486	T487	T488	T489	T490	T491	T492	T493	T494	T495	T496	T497	T498	T499	T500	T501	T502	T503	T504	T505	T506	T507	T508	T509	T510	T511	T512	T513	T514	T515	T516	T517	T518	T519	T520	T521	T522	T523	T524	T525	T526	T527	T528	T529	T530	T531	T532	T533	T534	T535	T536	T537	T538	T539	T540	T541	T542	T543	T544	T545	T546	T547	T548	T549	T550	T551	T552	T553	T554	T555	T556	T557	T558	T559	T560	T561	T562	T563	T564	T565	T566	T567	T568	T569	T570	T571	T572	T573	T574	T575	T576	T577	T578	T579	T580	T581	T582	T583	T584	T585	T586	T587	T588	T589	T590	T591	T592	T593	T594	T595	T596	T597	T598	T599	T600	T601	T602	T603	T604	T605	T606	T607	T608	T609	T610	T611	T612	T613	T614	T615	T616	T617	T618	T619	T620	T621	T622	T623	T624	T625	T626	T627	T628	T629	T630	T631	T632	T633	T634	T635	T636	T637	T638	T639	T640	T641	T642	T643	T644	T645	T646	T647	T648	T649	T650	T651	T652	T653	T654	T655	T656	T657	T658	T659	T660	T661	T662	T663	T664	T665	T666	T667	T668	T669	T670	T671	T672	T673	T674	T675	T676	T677	T678	T679	T680	T681	T682	T683	T684	T685	T686	T687	T688	T689	T690	T691	T692	T693	T694	T695	T696	T697	T698	T699	T700	T701	T702	T703	T704	T705	T706	T707	T708	T709	T710	T711	T712	T713	T714	T715	T716	T717	T718	T719	T720	T721	T722	T723	T724	T725	T726	T727	T728	T729	T730	T731	T732	T733	T734	T735	T736	T737	T738	T739	T740	T741	T742	T743	T744	T745	T746	T747	T748	T749	T750	T751	T752	T753	T754	T755	T756	T757	T758	T759	T760	T761	T762	T763	T764	T765	T766	T767	T768	T769	T770	T771	T772	T773	T774	T775	T776	T777	T778	T779	T780	T781	T782	T783	T784	T785	T786	T787	T788	T789	T790	T791	T792	T793	T794	T795	T796	T797	T798	T799	T800	T801	T802	T803	T804	T805	T806	T807	T808	T809	T810	T811	T812	T813	T814	T815	T816	T817	T818	T819	T820	T821	T822	T823	T824	T825	T826	T827	T828	T829	T830	T831	T832	T833	T834	T835	T836	T837	T838	T839	T840	T841	T842	T843	T844	T845	T846	T847	T848	T849	T850	T851	T852	T853	T854	T855	T856	T857	T858	T859	T860	T861	T862	T863	T864	T865	T866	T867	T868	T869	T870	T871	T872	T873	T874	T875	T876	T877	T878	T879	T880	T881	T882	T883	T884	T885	T886	T887	T888	T889	T890	T891	T892	T893	T894	T895	T896	T897	T898	T899	T900	T901	T902	T903	T904	T905	T906	T907	T908	T909	T910	T911	T912	T913	T914	T915	T916	T917	T918	T919	T920	T921	T922	T923	T924	T925	T926	T927	T928	T929	T930	T931	T932	T933	T934	T935	T936	T937	T938	T939	T940	T941	T942	T943	T944	T945	T946	T947	T948	T949	T950	T951	T952	T953	T954	T955	T956	T957	T958	T959	T960	T961	T962	T963	T964	T965	T966	T967	T968	T969	T970	T971	T972	T973	T974	T975	T976	T977	T978	T979	T980	T981	T982	T983	T984	T985	T986	T987	T988	T989	T990	T991	T992	T993	T994	T995	T996	T997	T998	T999	T1000	T1001	T1002	T1003	T1004	T1005	T1006	T1007	T1008	T1009	T1010	T1011	T1012	T1013	T1014	T1015	T1016	T1017	T1018	T1019	T1020	T1021	T1022	T1023	T1024	T1025	T1026	T1027	T1028	T1029	T1030	T1031	T1032	T1033	T1034	T1035	T1036	T1037	T1038	T1039	T1040	T1041	T1042	T1043	T1044	T1045	T1046	T1047	T1048	T1049	T1050	T1051	T1052	T1053	T1054	T1055	T1056	T1057	T1058	T1059	T1060	T1061	T1062	T1063	T1064	T1065	T1066	T1067	T1068	T1069	T1070	T1071	T1072	T1073	T1074	T1075	T1076	T1077	T1078	T1079	T1080	T1081	T1082	T1083	T1084	T1085	T1086	T1087	T1088	T1089	T1090	T1091	T1092	T1093	T1094	T1095	T1096	T1097	T1098	T1099	T1100	T1101	T1102	T1103	T1104	T1105	T1106	T1107	T1108	T1109	T1110	T1111	T1112	T1113	T1114	T1115	T1116	T1117	T1118	T1119	T1120	T1121	T1122	T1123	T1124	T1125	T1126	T1127	T1128	T1129	T1130	T1131	T1132	T1133	T1134	T1135	T1136	T1137	T1138	T1139	T1140	T1141	T1142	T1143	T1144	T1145	T1146	T1147	T1148	T1149	T1150	T1151	T1152	T1153	T1154	T1155	T1156	T1157	T1158	T1159	T1160	T1161	T1162	T1163	T1164	T1165	T1166	T1167	T1168	T1169	T1170	T1171	T1172	T1173	T1174	T1175	T1176	T1177	T1178	T1179	T1180	T1181	T1182	T1183	T1184	T1185	T1186	T1187	T1188	T1189	T1190	T1191	T1192	T1193	T1194	T1195	T1196	T1197	T1198	T1199	T1200	T1201	T1202	T1203	T1204	T1205	T1206	T1207	T1208	T1209	T1210	T1211	T1212	T1213	T1214	T1215	T1216	T1217	T1218	T1219	T1220	T1221	T1222	T1223	T1224	T1225	T1226	T1227	T1228	T1229	T1230	T1231	T1232	T1233	T1234	T1235	T1236	T1237	T1238	T1239	T1240	T1241	T1242	T1243	T1244	T1245	T1246	T1247	T1248	T1249	T1250	T1251	T1252	T1253	T1254	T1255	T1256	T1257	T1258	T1259	T1260	T1261	T1262	T1263	T1264	T1265	T1266	T1267	T1268	T1269	T1270	T1271	T1272	T1273	T1274	T1275	T1276	T1277	T1278	T1279	T1280	T1281	T1282	T1283	T1284	T1285	T1286	T1287	T1288	T1289	T1290	T1291	T1292	T1293	T1294	T1295	T1296	T1297	T1298	T1299	T1300	T1301	T1302	T1303	T1304	T1305	T1306	T1307	T1308	T1309	T1310	T1311	T1312	T1313	T1314	T1315	T1316	T1317	T1318	T1319	T1320	T1321	T1322	T1323	T1324	T1325	T1326	T1327	T1328	T1329	T1330	T1331	T1332	T1333	T1334	T1335	T1336	T1337	T1338	T1339	T1340	T1341	T1342	T1343	T1344	T1345	T1346	T1347	T1348	T1349	T1350	T1351	T1352	T1353	T1354	T1355	T1356	T1357	T1358	T1359	T1360	T1361	T1362	T1363	T1364	T1365	T1366	T1367	T1368	T1369	T1370	T1371	T1372	T1373	T1374	T1375	T1376	T1377	T1378	T1379	T1380	T1381	T1382	T1383	T1384	T1385	T1386	T1387	T1388	T1389	T1390	T1391	T1392	T1393	T1394	T1395	T1396	T1397	T1398	T1399	T1400	T1401	T1402	T1403	T1404	T1405	T1406	T1407	T1408	T1409	T1410	T1411	T1412	T1413	T1414	T1415	T1416	T1417	T1418



ACTIVITE AMONT  
 DIRECTION REGIONALE  
 HASSI MESSAOUD  
 DIRECTION EXPLOITATION  
 SERVICE CONTROLE

**ANALYSES EFFECTUEES POUR LE TEST - RUN RHM 2**

CHROMATOGRAPHIE DES GAZ  
 15/09/02 à 12h30

	C1	C2	C3	IC4	IC4	nC4	IC5	nC5	C6	H2	D/air	PM
FA 301	14.76	8.90	4.15	0.61	0.55	0.03	0.05			70.95	0.311	9.02
FA 302	7.58	17.12	16.07	4.72	5.69	10.11	13.84	0.19	24.68	1.291	37.43	
FA 801	12.52	11.07	7.00	1.92	1.85	0.39	0.17	traces	65.08	0.425	12.32	
FA 802	-	3.79	19.64	18.33	27.28	0.64	0.14		30.18	1.292	37.47	

14/09/02 à 9h30

	C1	C2	C3	IC4	nC4	IC5	nC5	C6	C7	N2	CO2	PCS	PCI	D/air	PM
FA 990	48.53	8.79	17.14	7.26	13.91	1.39	0.63	0.06	0.02	1.95	0.32	16475	14980	1.1209	32.51



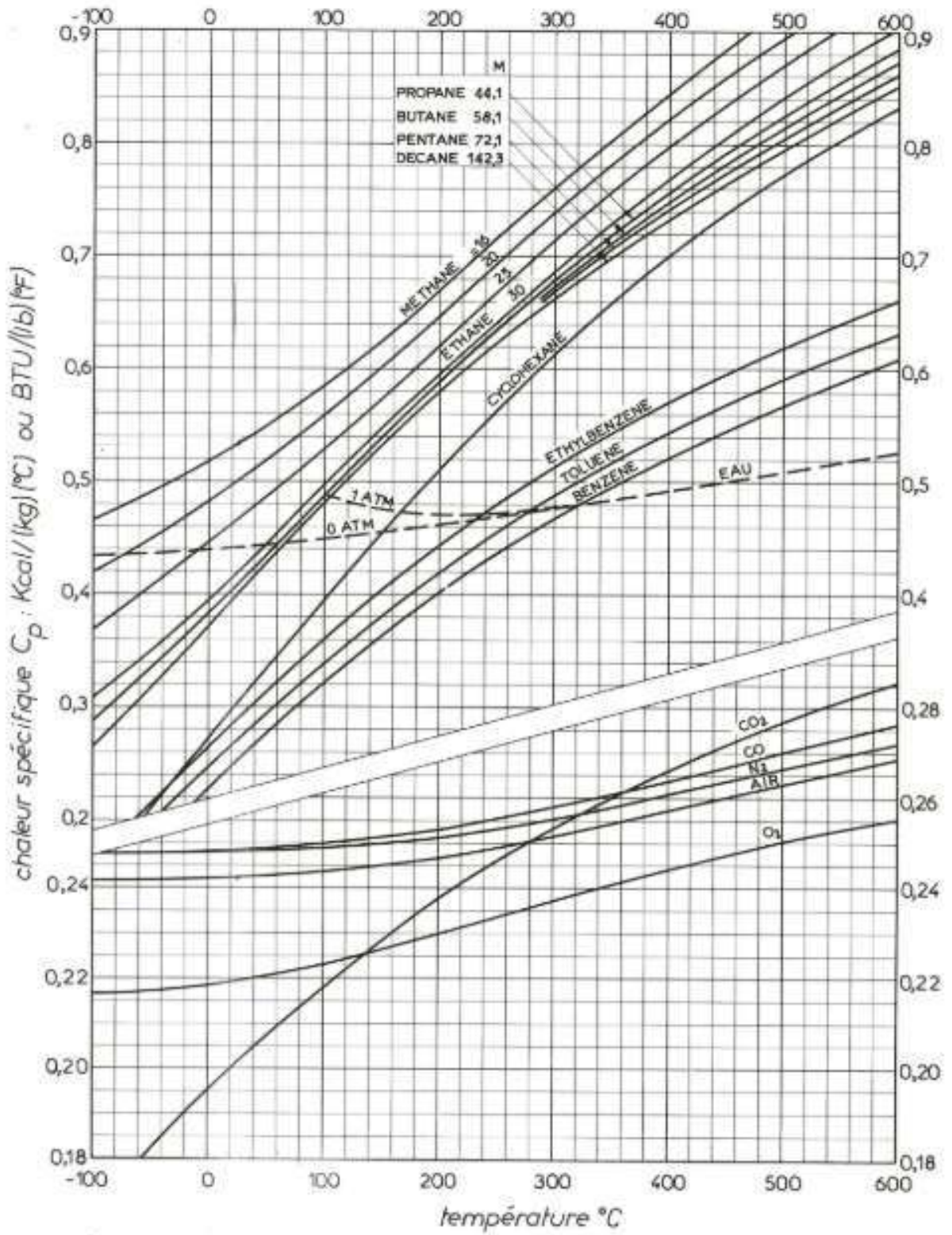


Fig. 152 — Chaleur spécifique des hydrocarbures gazeux et de quelques gaz courants sous pression atmosphérique.

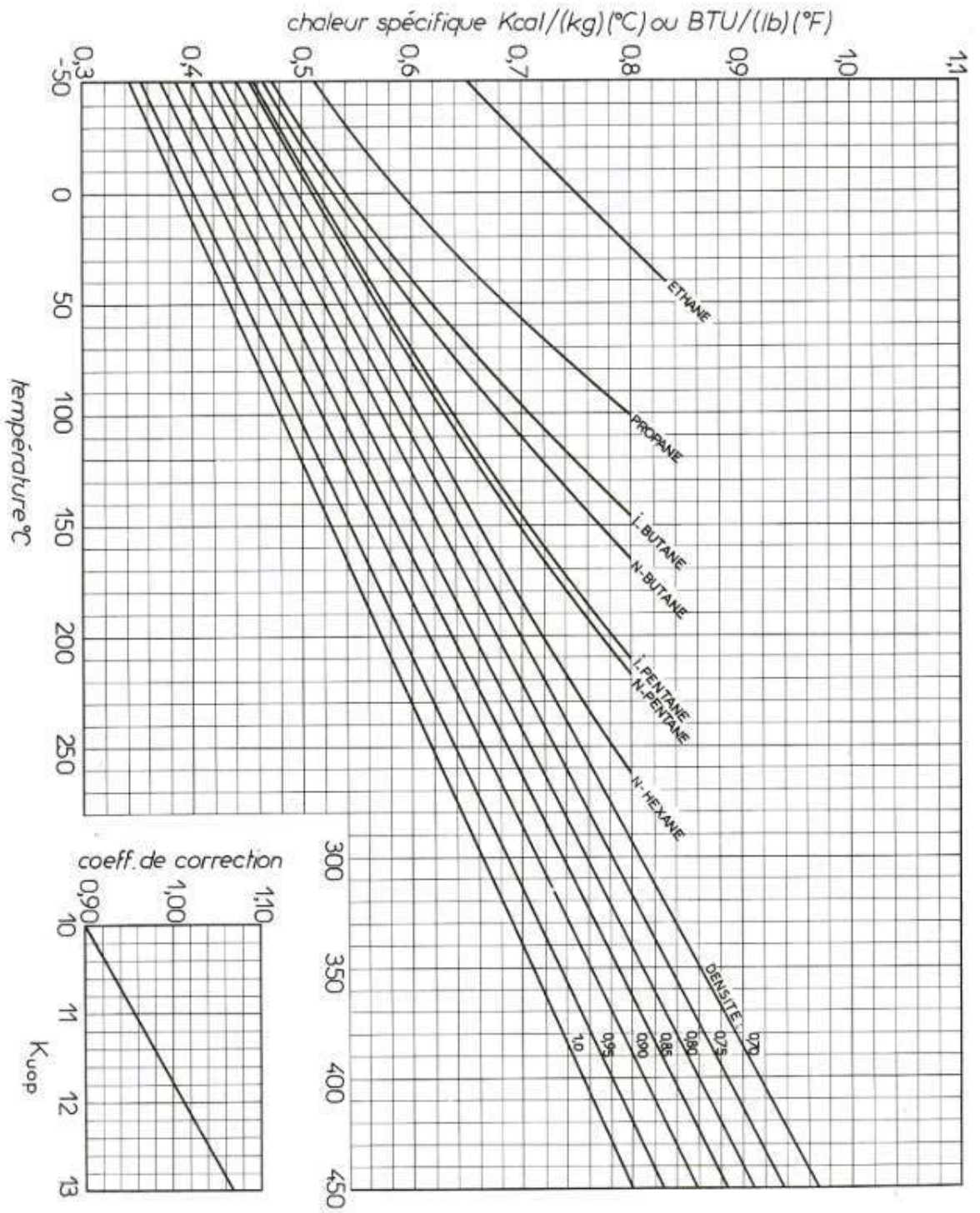
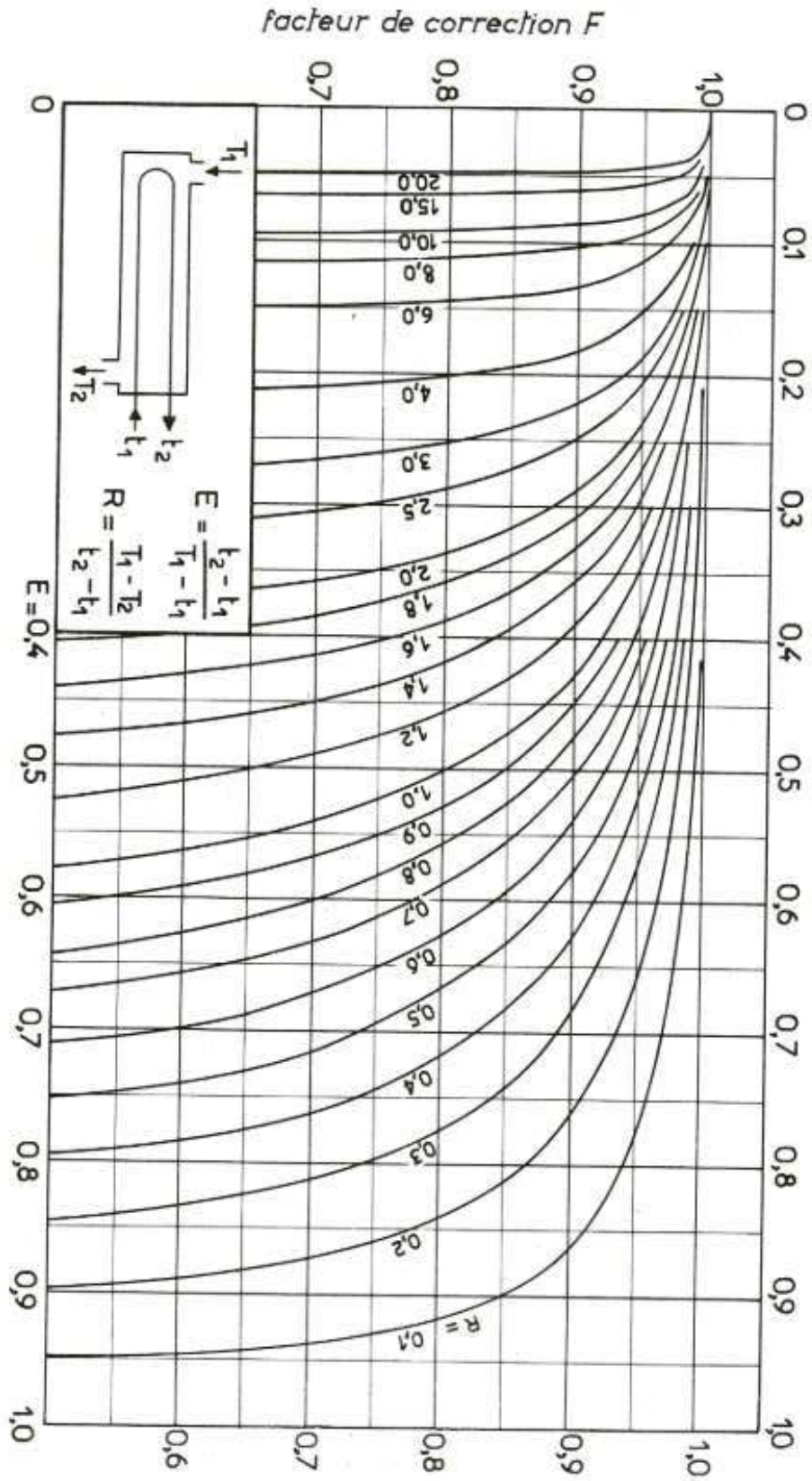


Fig. 1.51. — Chaleur spécifique des hydrocarbures et fractions pétrolières liquides.



a. une passe côté calandre, deux passes (ou plus) côté tubes.

TABLEAU V.1.8  
COEFFICIENTS DE TRANSFERT SALE U<sub>s</sub><sup>(1)</sup>

ÉCHANGEURS		U <sub>s</sub>	
FLUIDE CHAUD	FLUIDE FROID	kcal/h.m <sup>2</sup> .°C	BTU/hr. ft <sup>2</sup> .°F
Eau . . . . .	Eau . . . . .	1 250 - 2 500	250 - 500
Solutions aqueuses . . . . .	Solutions aqueuses . . . . .	1 250 - 2 500	250 - 500
Hydrocarbures légers <sup>(2)</sup> . . . . .	Hydrocarbures légers . . . . .	200 - 370	40 - 75
Hydrocarbures moyens <sup>(2)</sup> . . . . .	Hydrocarbures moyens . . . . .	100 - 300	20 - 60
Hydrocarbures lourds <sup>(2)</sup> . . . . .	Hydrocarbures lourds . . . . .	50 - 200	10 - 40
Hydrocarbures légers . . . . .	Hydrocarbures légers . . . . .	150 - 300	30 - 60
Hydrocarbures lourds . . . . .	Hydrocarbures lourds . . . . .	50 - 200	10 - 40
RÉFRIGÉRANTS			
Eau, méthanol, ammoniacque et solutions aqueuses . . . . .	Eau . . . . .	1 250 - 2 500	250 - 500
Hydrocarbures légers . . . . .	Eau . . . . .	370 - 730	75 - 150
Hydrocarbures moyens . . . . .	Eau . . . . .	250 - 610	50 - 125
Hydrocarbures lourds . . . . .	Eau . . . . .	25 - 730	5 - 75
Gaz . . . . .	Eau . . . . .	10 - 250	2 - 50
Eau . . . . .	Saumure . . . . .	500 - 1 000	100 - 200
Hydrocarbures légers . . . . .	Saumure . . . . .	200 - 500	40 - 100
RÉCHAUFFEURS			
Vapeur d'eau . . . . .	Eau, méthanol, ammoniacque . . . . .	1 000 - 3 400	200 - 700
Vapeur d'eau . . . . .	Solutions aqueuses : $\mu < 2$ cPo . . . . .	1 000 - 3 400	200 - 700
Vapeur d'eau . . . . .	Solutions aqueuses : $\mu > 2$ cPo . . . . .	500 - 2 500	100 - 500
Vapeur d'eau . . . . .	Hydrocarbures légers . . . . .	500 - 1 000	100 - 200
Vapeur d'eau . . . . .	Hydrocarbures moyens . . . . .	250 - 500	50 - 100
Vapeur d'eau . . . . .	Hydrocarbures lourds . . . . .	30 - 300	6 - 60
Dowtherm . . . . .	Gaz . . . . .	25 - 250	5 - 50
Dowtherm . . . . .	Gaz . . . . .	20 - 200	4 - 40
Dowtherm . . . . .	Hydrocarbures lourds . . . . .	30 - 300	6 - 60

TABLEAU V.1.2  
CARACTÉRISTIQUES DES TUBES D'ÉCHANGEURS

DIAMÈTRE EXTÉRIEUR (in et mm)	BWG	ÉPAISSEUR (mm)	DIAMÈTRE INTÉRIEUR (cm)	SECTION (cm <sup>2</sup> )	SURFACE (m <sup>2</sup> /m)		POIDS (kg/m)
					extérieure	intérieure	
1/2 in (12,7 mm)	14	2,10	0,848	0,565	0,0399	0,0266	0,600
	16	1,65	0,940	0,694		0,0295	0,490
	18	1,24	1,021	0,819		0,0321	0,384
3/4 in (19,05 mm)	10	3,40	1,224	1,177	0,0598	0,0384	1,436
	12	2,77	1,351	1,434		0,0424	1,216
	14	2,10	1,483	1,727		0,0466	0,963
	16	1,65	1,575	1,948		0,0495	0,774
	18	1,24	1,656	2,154		0,0520	0,597
1 in (25,4 mm)	10	3,40	1,859	2,714	0,0798	0,0584	2,024
	12	2,77	1,986	3,098		0,0624	1,696
	14	2,10	2,118	3,523		0,0665	1,324
	16	1,65	2,210	3,836		0,0694	1,057
	18	1,24	2,291	4,122		0,0720	0,811
1 1/4 in (31,75 mm)	10	3,40	2,494	4,885	0,0997	0,0783	2,604
	12	2,77	2,616	5,375		0,0822	2,158
	14	2,10	2,743	5,909		0,0862	1,682
	16	1,65	2,845	6,357		0,0894	1,340
	18	1,24	2,921	6,701		0,0918	1,024
1 1/2 in (38,1 mm)	10	3,40	3,124	7,665	0,1197	0,0981	3,185
	12	2,77	3,251	8,300		0,1021	2,634
	14	2,10	3,378	8,962		0,1061	2,039
	16	1,65	3,480	9,512		0,1093	1,622
	18	1,24	3,556	9,931		0,1171	1,237

TABLEAU V.1.4  
DISPOSITION DES TUBES EN CARRÉ

D <sub>c</sub> calandre		Tubes : 3/4" P = 1"				Tubes : 1" P = 1 1/4"				Tubes : 1 1/4" P = 1 9/16"			
		nombre de passes : n <sub>c</sub>				nombre de passes : n <sub>c</sub>				nombre de passes : n <sub>c</sub>			
(in)	(cm)	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
8	20,3	26	20	20		16	14						
10	25,4	52	40	36		32	26						
12	30,5	76	68	68	60	45	40	24	36	12	10	16	16
13 1/4	33,7	90	82	76	70	56	52	48	44	24	22	22	22
15 1/4	38,7	124	116	108	108	76	68	68	64	30	30	35	31
17 1/4	43,9	166	158	150	142	112	96	90	82	40	37	48	44
19 1/4	48,9	220	204	192	188	132	128	122	116	53	51	64	56
21 1/4	54,0	270	246	240	234	166	158	152	148	73	71	82	78
23 1/4	59,1	324	308	302	292	208	192	184	184	90	86	102	96
25	63,5	394	370	356	346	252	238	226	222	112	106	123	115
27	68,6	460	432	420	408	288	278	268	260	135	127	146	140
29	73,7	526	480	468	456	326	300	294	286	160	151	174	166
31	78,8	640	600	580	560	398	380	368	358	188	178	202	193
33	83,8	718	688	676	648	460	432	420	414	220	209	238	226
35	88,9	824	780	766	748	518	488	484	472	252	244	268	258
37	94,0	914	886	866	838	574	562	544	532	287	275	304	293
39	99,0	1024	982	968	948	644	624	612	600	322	311	342	336

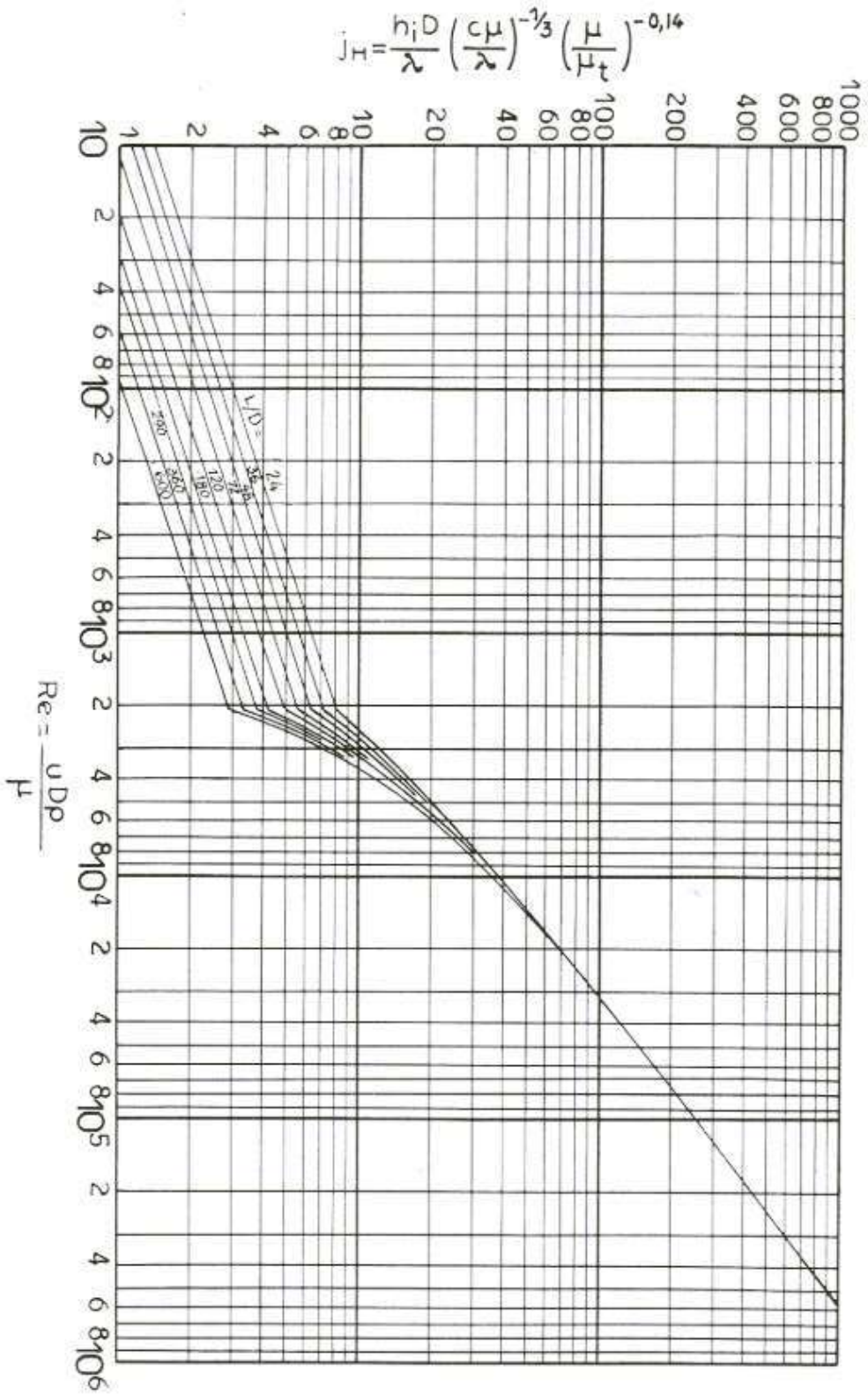


Fig. II.4.10. —  $j_H = Nu \cdot Pr^{-1/3} (\mu/\mu_t)^{-0,14}$  en fonction du nombre de Reynolds.

**ملخص:** يتمركز هذا العمل حول معالجة مشكلة الحرارة في وحدة إعادة التشكيل الوسيط للبنزين ويتم ذلك من خلال إضافة مبادل حراري EA807 إلى قطار التبادل الحراري للوحدة .

هذه الإضافة تهدف إلى تحسين جودة البنزين وزيادة رقم الأوكتان، وهي بمثابة الهدف الرئيسي لهذه الدراسة.

**الكلمات المفتاحية:** المادة المشكلة (روفورما)، البنزين، مباد حراري، الفرن، درجة الحرارة، التحسين رقم الاكتان.

**Résumé :** Ce travail se concentre sur la résolution du problème de température dans l'unité de reformage intermédiaire d'essence. Cela se fait en ajoutant un échangeur de chaleur EA807 au train d'échange de chaleur de l'unité.

Cet ajout vise à améliorer la qualité de l'essence et à augmenter l'indice d'octane, et constitue l'objectif principal de cette étude.

**Mots clés :** matériau formé (reformat), essence, échangeur de chaleur, four, température, amélioration de l'indice de l'octane.

**Abstract:** This work focuses on addressing the temperature problem in the gasoline intermediate reforming unit. This is done by adding a heater exchanger EA807 to the heat exchange train of the unit.

This addition aims to improve the quality of gasoline and increase the octane number, and it serves as the main goal of this study.

**Keywords:** formed material (reformat), gasoline, heat exchanger, furnace, temperature, improvement the octane number.