

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERINNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE BLIDA 1



FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEURE
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention de diplôme de Master

Spécialité : Génie chimique

Option : génie catalytique

Thème

Analyse Energétique de l'Unité Reforming Catalytique de la Raffinerie
d'Alger

Réalisé par :

Encadré par : Pr Touil djamel

- Chikhi houssem eddine
- Kebbabi abd erachide

Année universitaire 2016/2017

DEDICACES

Je dédie ce travail :

A celle qui m'a donné le goût de la vie et le sens de la

Responsabilité ... merci MÈRE

A celui qui a toujours été ma source d'inspiration

Et de courage ... merci PÈRE

*A tout ma famille kebbabi avec la famille ben baizid spécialement ma deuxième mère
G. Bahia*

*A tous les enseignants de département de génie des procédés de l'université de Blida
surtout à mon promoteur Pr Touil Djamel.*

A mon binôme et sa famille.

*A tous mes amis et mes collègues du groupe de génie
chimique ; choaib, merwan, abderazak, mestapha , ...*

A tous mes camarades avec lesquels j'ai partagé de grands moments depuis

Mon enfance : Mouloud et mohamed et bilel

à tous ceux qui m'ont connu de près ou de loin.

A mon cher pays « L'ALGÈRE ».

imad

DEDICACES

Je dédie ce travail :

A celle qui m'a donné le goût de la vie et le sens de la

Responsabilité ... merci MERE

A celui qui a toujours été ma source d'inspiration

Et de courage ... merci PERE

A tout ma famille chikhi avec la famille mellouki.

*A tous les enseignants de département de génie des procédés de l'université du blida
surtout à mon promoteur Pr Touil djamal.*

A mon binôme et sa famille.

*A tous mes amis et mes collègues du groupe de génie
chimique ; choaib, merwan, abderazak, mestapha ,.....*

A tous mes camarades avec lesquels j'ai partagé de grands moments depuis

Mon enfance : nasreddine, idris, abdesslam

à Tous ceux qui m'ont connu de près ou de loin.

A mon cher pays « L'ALGERIE ».

chikhi.Houssem

Résumé :

L'objectif de notre travail consiste à faire une étude thermodynamique qui permet l'établissement des bilans énergétiques puis calculer les rendements des fours tubulaires de l'unité reforming catalytique U200 de la raffinerie d'Alger ainsi une comparaison dans les deux cas design et actuel.

Et pour cela, nous avons effectué une simulation à l'aide du logiciel hysys facilitant l'établissement et le calcul le plus complexe des Installations.

Les résultats obtenus montrent que le rendement du four dans les conditions actuelles reste faible par rapport au rendement exigé par le constructeur.

ملخص :

الهدف من عملنا هو إجراء دراسة ديناميكية حرارية التي تمكننا من حساب التوازن الطاقوي ومردودية الأفران الأنوبية الخاص بوحدة إصلاح المحفزات (U200) على مستوى مؤسسة تكرير البترول بالجزائر العاصمة مع إجراء مقارنة بين نتائج حالة التصميم مع نتائج الحالة الراهنة .

قمنا بإجراء محاكاة باستخدام برنامج هايسيس الذي يعمل على تسهيل حسابات التراكيب المعقدة أظهرت النتائج المتحصل عليها أن مردودية الأفران الأنوبية في الحالة الراهنة تبقى ضعيفة بالنسبة إلى حالة التصميم .

ABSTRACT:

The objective of our work is to conduct a thermodynamic study which enables us for the establishment of energy balances and then calculate the yields of the tubular furnaces of the U200 catalytic reforming unit of the refinery of Algiers thus a comparison in both cases design and current.

To do this, we performed a simulation using the hysys software, which facilitates the establishment and the most complex calculation of the installations.

The results obtained show that the efficiency of the furnace under the current conditions remains low compared to the efficiency demanded by the manufacturer.

Remerciements

*NOUS TENONS À REMERCIER LE BON DIEU POUR LE COURAGE ET LA
PATIENCE QU'IL NOUS A OFFERT, AFIN DE RÉALISER SE TRAVAIL.*

*NOUS TENONS À EXPRIMER NOS VIFS REMERCIEMENTS À TOUS NOS
ENSEIGNANTS QUI ONT CONTRIBUÉS À NOTRE FORMATION.*

*EN PARTICULIER NOTRE PROMOTEUR MR TOUIL DJAMAL POUR SES
CONSEILS ET L'AIDE QU'ELLE NOUS APPORTÉE*

*NOUS ADRESSONS NOS SINCÈRES REMERCIEMENTS À TOUS LE PERSONNEL
DE LA RAFFINERIE D'ALGER POUR LEURS CONSEILS.*

NOUS REMERCIONS TOUS NOS AMIS POUR LEURS AIDES.

*NOS REMERCIEMENTS VONT À TOUTE PERSONNE AUX AYANT PARTICIPÉ
DE PRÈS OU DE LOIN À LA RÉALISATION DE CE TRAVAIL.*

*NOS RESPECTS AUX MEMBRES DU JURY, QUI NOUS FERONT L'HONNEUR
D'ACCEPTER ET DE JUGER CE MODESTE TRAVAIL, D'APPORTER LEURS
RÉFLEXIONS ET LEURS CRITIQUES SCIENTIFIQUES.*

Sommaire

Chapitre .I Description de la raffinerie d'Alger.

Introduction.....	2
I.1 Présentation de la raffinerie d'Alger	2
I.1.1 Historique de la raffinerie d'Alger :.....	2
I.2. Situation géographique.....	3
I.3. Capacité de production.....	3
I.4. Principales installations de la Raffinerie	4
I 4.1. Unité 100 de distillation atmosphérique (Topping)	4
I 4.2 Unité 200 de platforming (reforming catalytique) :.....	4
I 4.3 Unité 300 gas-plant (traitement et séparation) :.....	5
I 4.4 Unité de mélange(Ethylation)	5
I 4.5Salle de contrôle :.....	5
I 4 .6 Central thermoélectrique	5
I 4.7 Le laboratoire	5
I 4.9 Station de pompage.....	5
I 4.8 Parc de stockage	5

Sommaire

Chapitre II. Procédé de fonctionnement et Paramètres opératoires de l'Unité Reforming Catalytique (U 200)

Introduction.....	7
II.1 Description de l'unité de reforming catalytique de la raffinerie d'Alger	7
II.1.1 Généralités sur le platforming :	7
II.1.2 Sections catalytique et de stabilisation.....	7
II.1.3 Circuits de la section catalytique.....	9
II.1.4 Circuits de la section stabilisation.....	12
II.2. Paramètres opératoires des Installations consommatrices d'Energie	14
II.2.1 Spécifications des fours et échangeurs.....	14
II.2.2 Paramètres opératoires des fours tubulaires	16

Chapitre.III :Simulation des Fours Tubulaires par le Simulateur HYSYS

Introduction.....	17
III.1 Introduction au logiciel HYSYS	17
III 1.1 Généralités sur la simulation :.....	17
III 1.2 Présentation du logiciel HYSYS	17
III 1.3 Structure générale de HYSYS [2], [5]	17
III 1.4 Choix du modèle thermodynamique :.....	18
III 1.5 Calcul des grandeurs thermodynamiques.....	19
III 1.6. Concepts et caractéristiques du simulateur HYSYS.....	19
III.2 Les Fours tubulaires	20
III 2.1. Processus de transmission de chaleur	21
III 2.2 Construction et Types de fours [3].....	21
III 2.3 Procédure de décokage du four.....	22
III 2.4 Rendement Thermique du Four	22
III.3 Simulation des Fours 202, 203 et 204 de l'unité	26
III 3.1 Données de calcul de simulation.....	26
III 3.2 Résultats de simulation.....	28

Sommaire

CHAP.IV : Résultats et Interprétation

Introduction.....	31
IV.1. Calcul des flux de chaleur des Fours Tubulaires.....	31
IV1.2Interprétation	32.
IV.2. Diagramme des pertes de chaleur des fours tubulaires.....	33
IV2.1Interprétation.....	35

Conclusion générale

Notre stage pratique au niveau de la raffinerie d'Alger nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques, de maîtriser le fonctionnement de l'unité de reforming catalytique (U200) et de relever les paramètres opératoires de fonctionnement des différents fours tubulaires.

D'autre part, la simulation du procédé de fonctionnement des fours tubulaires F202, F203 et F204 est effectué avec convergence des résultats par le logiciel de simulation HYSYS. L'exploitation des résultats de simulation nous ont permis d'établir les bilans énergétiques de ces systèmes énergétivores.

Les principaux résultats montrent que le rendement thermique actuel de ces fours reste faible devant celui du Design du constructeur proposé. D'autre part, la perte énergétique véhiculée par les fumées de combustion est très élevée comparablement aux pertes par les parois. Ceci dénote l'imperfection du processus de combustion du fuel gaz dans les fours.

Pour remédier à ces insuffisances énergétiques, nous préconisons :

- L'amélioration de l'étanchéité du four et le contrôle du taux d'oxygène dans les fumées de combustion afin d'éviter l'entrée d'air parasite et l'excès d'air de combustion
- L'augmentation de la surface d'échange des zones de radiation et de convection par leur entretien et nettoyage intensif afin de réduire la température des fumées
- Installer à la suite de la zone de convection un préchauffeur d'air de combustion, les calories ainsi récupérés permettent d'augmenter la quantité de chaleur libérée ce qui permet une diminution de la consommation du gaz combustible.

Chapitre I

Chapitre I : Description de la
raffinerie d'Alger

Chapitre II

Chapitre II : Procédé de
fonctionnement et Paramètre
opérateurs de l'Unité
Reforming Catalytique (U 200)

Chapitre III

Chapitre.III : Simulation des
Fours Tubulaires par le
Simulateur HYSYS

Chapitre IV

Résultats et interprétations

Annexes

Bibliographie

Introduction

Nous décrivons dans ce chapitre la raffinerie d'Alger, lieu de réalisation de notre mémoire de fin d'études.

I.1 Présentation de la raffinerie d'Alger

La raffinerie d'Alger traite du pétrole brut provenant de Hassi-Messaoud Pour satisfaire la demande sans cesse croissante du centre du pays et exporter les produits tels que **le naphta** et **le fuel-oil**.

La participation de SONATRACH dans les actions de la raffinerie a connu une progression constante, 10 % en juin 1968, 44 % en janvier 1969, 80 % en janvier 1970 et 100 % en janvier 1971. [1]

I.1.1 Historique de la raffinerie d'Alger :

Constructeur : CFP.

Ouverture du chantier : 1960.

- **Mise en service en Février 1964**
 - Démarrage de l'Unité Topping d'une capacité de 2,2 millions de tonnes et approvisionnement de pétrole brut par mer.
 - Démarrage en mars de la même année de l'Unité reforming avec une capacité maximale de 105 m³/h (15.000 bbl/jour).
- **Entre 1970-1972 :**
 - Réalisation d'un pipe à Beni-Mansour (Bouira) alimentant la raffinerie en pétrole brut.
 - Extension du parc de stockage : un bac de brut de 35 000 m³, divers bacs de produits finis et semi-finis d'une capacité de 55.000 m³, une sphère de butane de 3.000 m³.
 - Extension de l'Unité topping avec augmentation de la capacité de traitement à 2,7 millions de tonnes.
 - Extension des tours de réfrigération d'eau.
 - Augmentation de la quantité du catalyseur de 23,5 T à 33,5 Tonnes pour pouvoir traiter le maximum de Naphta produit à l'**Unité topping**. [1]

I.2. Situation géographique

La Raffinerie d'Alger est située à Sidi-Arzine, près de Baraki, à 20 Km à l'est d'Alger, elle s'étend sur une superficie totale de 182 hectares. Cet emplacement a été choisi après étude de l'alimentation des systèmes de refroidissement. En ce qui concerne le choix de la région algéroise, elle se présente comme un futur pôle de développement industriel, en plus elle a l'avantage d'être le plus grand centre de consommation avec une part de 40% à 50% de la demande intérieure. Il apparaît clairement que la production à partir d'Alger sera moins que venant des autres Raffineries. [1]

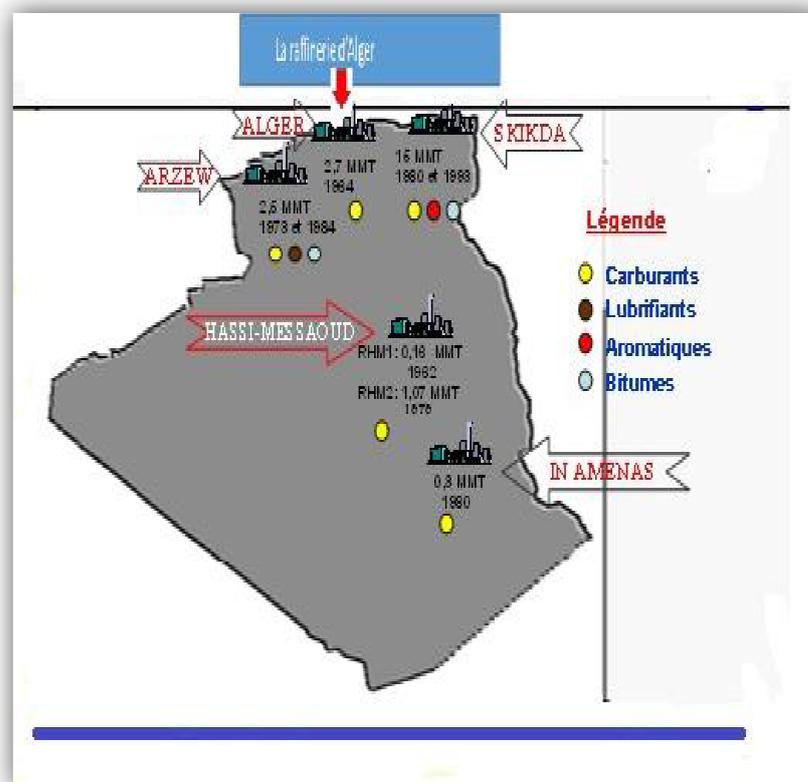


Figure I.1 Situation géographique de la raffinerie d'Alger.

I.3. Capacité de production

Cette raffinerie a pour objectif de traiter le pétrole brut de HASSI-MESSOUAD seul ou mélange avec du condensat provenant des champs de HASSI-R'MEL, afin d'obtenir des coupes pétrolières. L'unité a une capacité de traiter 2.700.000 tonnes par an de brut, soit une allure de 7700 tonnes par jour, pour 350 jours de marche. [1]

- **Réception du brut :**

Depuis janvier 1964, la raffinerie était alimentée en pétrole brut par ballons de stockage (tankers) du port pétrolier de Bejaia au port d'Alger puis par pipe de diamètre 26'' jusqu'au parc de stockage. A partir de 1971, la raffinerie est alimentée en pétrole brut par un oléoduc de diamètre 16'', d'une longueur de 131 km et d'un débit horaire de 500 m³, grâce à un piquage réalisé au lieu dit Beni - Mansour (Bouira) sur le pipe 24'' reliant Hassi-Messaoud au port pétrolier de Bejaia. [1]

I.4. Principales installations de la Raffinerie

Les principales installations de la Raffinerie d'Alger sont :

I 4.1. Unité 100 de distillation atmosphérique (Topping)

Le but de cette unité est de fractionner le pétrole brut en produits finis : Kérosène, gas-oil moteur qui seront directement stockés avant d'être commercialisés, ainsi qu'en produits intermédiaires : solvants léger et lourds et les **GPL**, qui serviront de charge pour l'unité de reforming catalytique et pour l'unité de séparation des gaz. L'unité de distillation atmosphérique comprend :

- Un train de préchauffage ;
- Un ballon de flash ;
- Un four ;
- Une colonne de distillation atmosphérique ;
- Une colonne de stabilisation des naphthas (C104) : qui permet de retirer de l'essence, le butane et les gaz les plus légers (GPL) pour les envoyer vers l'unité gaz-plant.

I 4.2 Unité 200 de platforming (reforming catalytique) :

Cette unité (U 200) a pour objectif d'augmenter l'**indice d'octane** du mélange solvant léger – solvant lourd par les réactions catalytiques pour obtenir à la sortie le "**plat-format**" destiné à la fabrication d'essences. L'unité de reforming catalytique comprend :

- Un train de préchauffage ;
- Un réacteur de garde utilisant un catalyseur pour retenir les poisons contenus dans la charge ;
- Une section catalytique avec trois fours, trois réacteurs, un ballon séparateur ;
- Une section de stabilisation avec une colonne (C202) : pour éliminer et envoyer vers l'unité de gas-plant les GPL contenus dans le plat-format.

I 4.3 Unité 300 gas-plant (traitement et séparation) :

Cette unité a été dimensionnée pour traiter le produit liquide venant des accumulateurs de tête des **débutaniseurs** de l'unité de distillation et de l'unité de reforming afin d'obtenir du propane et du butane commerciaux. Ces derniers vont traverser des systèmes de purification contenant des tamis moléculaires afin de les débarrasser de toute trace d'humidité et de produits sulfurés.

I 4.4 Unité de mélange(Ethylation) :

L'Ethylation est une opération qui permet l'obtention de l'essence normale et super par l'addition du **PTE** au mélange constitué de plat format et de l'essence léger à haut indice d'octane (environ 89 à 96).

I 4.5 Salle de contrôle :

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

I 4.6 Central thermoélectrique :

Elle a pour but d'assurer les besoins énergétiques de la raffinerie, ces derniers sont fournis par des chaudières et des alternateurs et générateur de courant électrique. La raffinerie dispose aussi d'une ligne de courant de secours SONALGAZ utilisée durant les périodes d'arrêt de maintenance.

I 4.7 Le laboratoire

Le produit fini ainsi constitué est échantillonné et sa qualité est contrôlée par le laboratoire de la raffinerie qui en autorise l'expédition.

I 4.8 Parc de stockage

Il est d'une capacité de 290000 m³ dont 105000 m³ pour le pétrole brut et 185000 m³ pour les produits finis et semi finis.

I 4.9 Station de pompage

Une station de pompage permet l'expédition des produits par pipes aux dépôts d'Alger, la chiffa au port pétrolier et l'aéroport d'Alger. [1]

La composition de la charge traitée et des produits sortant pour chaque unité est donné au tableau suivant :

Tableau I.1. Constituants de la charge et des produits d'unités [1]

Unité	La charge	Les produits
U 100	Le pétrole brut	Fioul, Gasoil lourd /léger, Kérosène, Solvant lourd/léger, Essence SR, GPL vers unité 300, Fuel gaz
U200	Solvant lourd/léger de l'unité 100	Fuel gaz, Plat format stabilisé vers stock, - GPL vers unité 300
U300	GPL de l'unité 100 et 200	- Propane et Butane vers stock, Fuel gas

Chapitre II. Procédé de fonctionnement et Paramètres opératoires de l'Unité Reforming Catalytique (U 200)

Introduction

Dans ce chapitre nous décrivons le procédé de l'unité 200 de reforming catalytique et nous donnons les paramètres opératoires actuels et ceux du design correspondants aux installations consommatrices d'énergie.

II.1 Description de l'unité de reforming catalytique de la raffinerie d'Alger

L'unité de reformage catalytique de la raffinerie d'Alger est une unité à lit fixe semi régénératif (procédé UOP), elle est représentée en figure (II.1). [1]

II.1.1 Généralités sur le platforming :

Le platforming est un procédé de reformage catalytique qui utilise comme catalyseur des billes d'alumine imprégnées de platine. C'est un procédé d'amélioration des propriétés des essences obtenues par distillation directe ,qui n'ont pas les caractéristiques requises pour être utilisés dans les moteurs.

Le reformage catalytique a donc pour but d'augmenter l'indice d'octane des fractions légères du brut à forte concentration en paraffines et naphthènes (C₇, C₈, C₉) et des iso paraffines avec réarrangement moléculaire afin d'obtenir des aromatiques.

L'indice d'octane représente une mesure quantitative de l'efficacité de combustion d'une essence ou d'un carburant pur. Le rôle du reforming catalytique est d'optimiser cet indice en vue d'obtenir des essences de bonne qualité utilisable comme carburants.

L'unité de platforming de la raffinerie d'Alger traite le solvant provenant de l'unité de distillation, afin d'obtenir un plat format, base du carburant auto et le GPL qui alimente la section 300. [1]

II.1.2 Sections catalytique et de stabilisation

L'unité platforming est divisée en deux sections :

- **Section catalytique:**

C'est là où se passe les réactions et où se fait le changement ou la transformation des caractéristiques de la charge ; cette zone comporte les fours, les réacteurs et le compresseur.

- **Section de stabilisation :**

Elle comporte une colonne où on fait la stabilisation du produit obtenue ce qui veut dire une élimination des légers de cette fraction afin qu'elle soit plus stable. A la sortie de cette section on obtient un produit de base pour la production des carburants auto (essence normale ou super)

Chapitre II. Procédé de fonctionnement et Paramètres opératoires de l'Unité Reforming Catalytique (U 200)

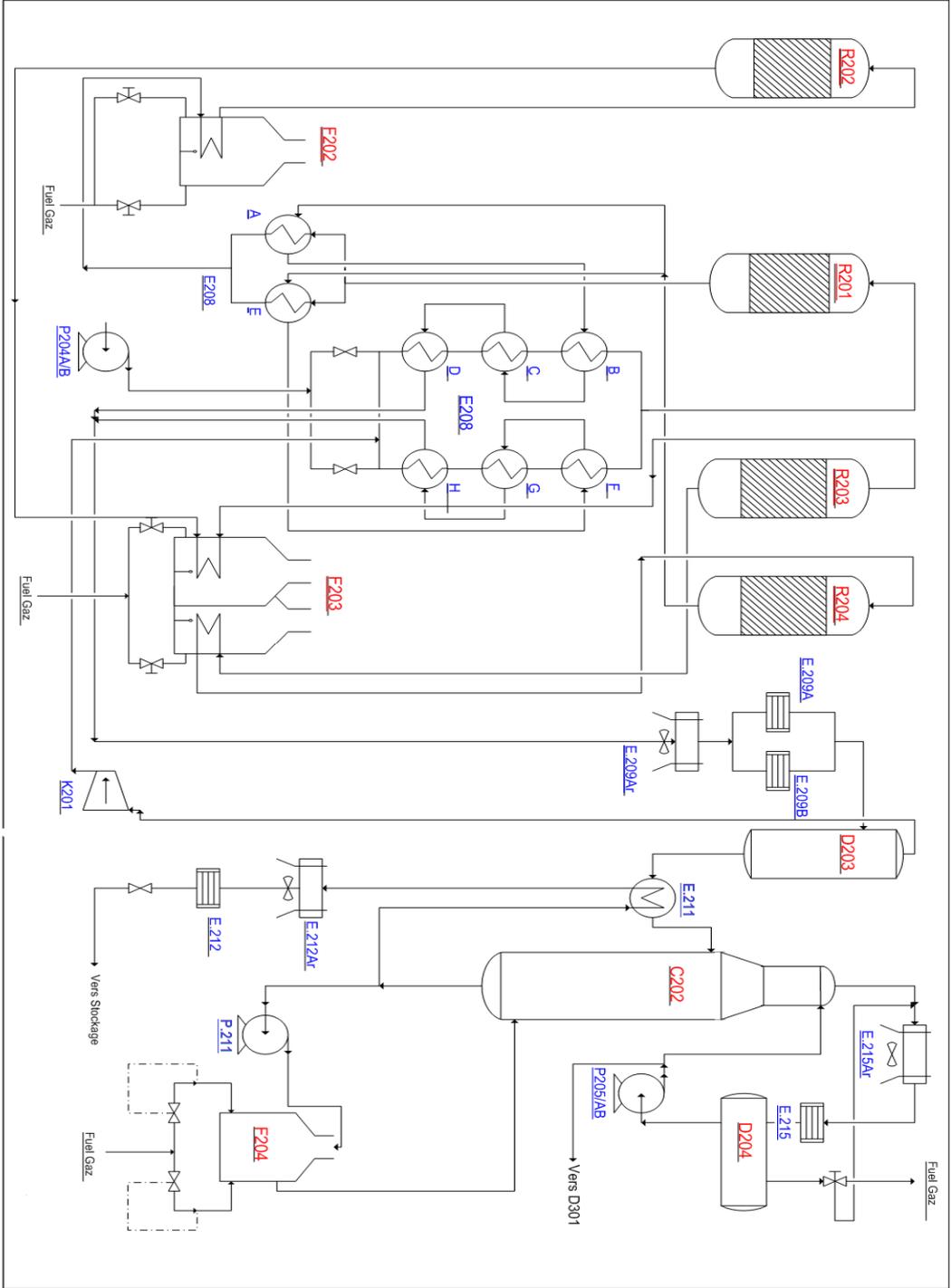


Figure II.1. L'unité de platforming de la raffinerie d'Alger

Chapitre II. Procédé de fonctionnement et Paramètres opératoires de l'Unité Reforming Catalytique (U 200)

II.1.3 Circuits de la section catalytique

▪ Le catalyseur

Un catalyseur est généralement un solide poreux, qui se présente sous forme de bâtonnets ou de bille ; dont le rôle est d'accélérer les transformations chimiques recherchées dans le procédé. Le catalyseur utilisé se présente sous forme de billes homogènes de 1.6 mm de diamètre. Il est constitué par l'alumine imprégnée de platine (0.375%) contenant une quantité de chlore de l'ordre de 0.3% en poids, réduit et sulfuré en usine.

Sur le support du catalyseur a lieu les réactions à caractère acide du type :

- Isomérisation des paraffines en iso paraffines et des naphthène.
- La déshydrocyclisation des naphthènes.

Sur le métal (Pt ou Pt+Re) se développe un nombre important de réactions de transformations, citons :

- La réaction de déshydrogénation des naphthènes en C₆ contenues dans la charge.
- La réaction d'hydrogénation.

Les réacteurs de platforming (R-202, R-203, R-204) sont prévus pour contenir en tout 33200kg de catalyseur au platine du type R11, répartie de la façon suivante :

- R-202 :6600 kg
- R-203 :9960 kg
- R-204 :16600 kg

Cette différence de volume de catalyseur dans les réacteurs s'explique par la différence de vitesse des réactions qui se produisent dans chacun des réacteurs :

- R-202 : Réacteur de déshydrogénation ; très rapide.
- R-203 : Réacteur d'hydrocyclisation et d'isomérisation ; moins rapide.
- R-204 : Réacteur d'hydrocracking ; lente.

On peut dire que le volume de catalyseur contenu dans les réacteurs est inversement proportionnel aux différentes vitesses de réaction. [1]

▪ Le réacteur de garde :

La charge (solvant) venant soit de l'unité 100 soit des bacs A102, A103 et A104 est reprise par la pompe P204A/B et refoulée dans deux batteries parallèles d'échangeurs E208, DCB et 208 FGH. La répartition dans chaque batterie est faite par les FRC.214 et FRC.215, en aval des FRCV est injecté l'hydrogène de recyclage venant du compresseur K.201, dans les E208, la chaleur cédée par l'effluent du troisième réacteur R.204 permet de porter à 357°C la charge du R.201. Le R.201 est un réacteur de garde rempli de 11000 kg d'un

Chapitre II. Procédé de fonctionnement et Paramètres opératoires de l'Unité Reforming Catalytique (U 200)

catalyseur (hydrobon) .Ce catalyseur est à base de cobalt et de molybdène sur un support d'alumine. Le rôle de ce réacteur est de purifier la charge en retenant des contaminants tels que le plomb, Arsenic qui empoisonneraient le catalyseur de platforming en se combinant au platine. Les vapeurs ont très sensiblement la même composition à l'entrée et à la sortie. L'effluent du R.201 entre dans les E208A et E où il est réchauffé de 312°C à 411°C par l'effluent du R204. Il entre ensuite dans le four F202 pour être porté à la température de réaction du platforming. [1]

▪ **Four F 202 :**

Il comprend deux circuits parallèles situés à l'intérieur de la chambre de combustion, ce four est du type à mur radiant, il est caractérisé par la présence d'un grand nombre de brûleurs à gaz à flamme courte répartis en 2 rampes de chaque côté du mur, ce qui permet d'obtenir la température voulue sans risquer les coups de feu sur les tubes.

La température à la sortie des circuits est réglée par les TRC qui agissent sur la pression du gaz alimentant chaque rampe de brûleurs.

Les fumées quittant la chambre de combustion passent dans la zone de convection où se trouvent 264 tubes du générateur de vapeur et 8 tubes du surchauffeur de vapeur.

Les deux circuits du F202 se rejoignent à la sortie du four pour entrer dans le premier réacteur de platforming R.202 sous une pression de 33,8 bars et une température, pouvant atteindre 538°C maximum.

▪ **Four F203**

L'effluent qui quitte le réacteur précédent se trouve à une température d'environ 468°C et une pression de 33,2 bars. Il pénètre ensuite dans le four double F.203 à travers deux circuits, ces deux circuits se rejoignent pour entrer dans le deuxième réacteur R.203, les pressions et températures d'entrée dans ce réacteur sont de l'ordre de 30,2 bars et 532 °C maximum.

Après réaction dans le R.203, elles ne sont plus que de l'ordre de 30 bars et 487°C, de là, l'effluent pénètre une deuxième fois dans le four F.203 à travers deux circuits, à sa sortie l'effluent pénètre dans le 3ème réacteur R.204.

Chapitre II. Procédé de fonctionnement et Paramètres opératoires de l'Unité Reforming Catalytique (U 200)

▪ Circuit Effluent :

L'effluent qui quitte le réacteur précédent sous une pression de 29,6 bars et une température de 505°C va servir au réchauffage du solvant de charge par l'intermédiaire des échangeurs E208 A, B, C, D, E, F, G, H. A la sortie de ces échangeurs l'effluent qui quitte le réacteur R.204, n'est plus qu'à 28 bars et 150°C. Il est alors refroidi par l'aéroréfrigérant E209Ar jusqu'à 49°C et deux réfrigérants à eau E209 A et B jusqu'à 38°C pour entrer ensuite dans le ballon D203 dont le but est de séparer le platformat de l'hydrogène formé au cours des réactions précédentes.

▪ Circuit gaz de recyclage :

Les gaz du ballon D203 (gaz de recyclage) qui sont à 38°C et 28 bars de pression, sont repris par le compresseur K.201 et refoulés vers les deux circuits de charge entre les FRCV 214 et FRCV215 et les échangeurs E208 H et D. [1]

Les circuits de la section catalytique sont représentés en figure II.2, que nous décrivons ci-après.

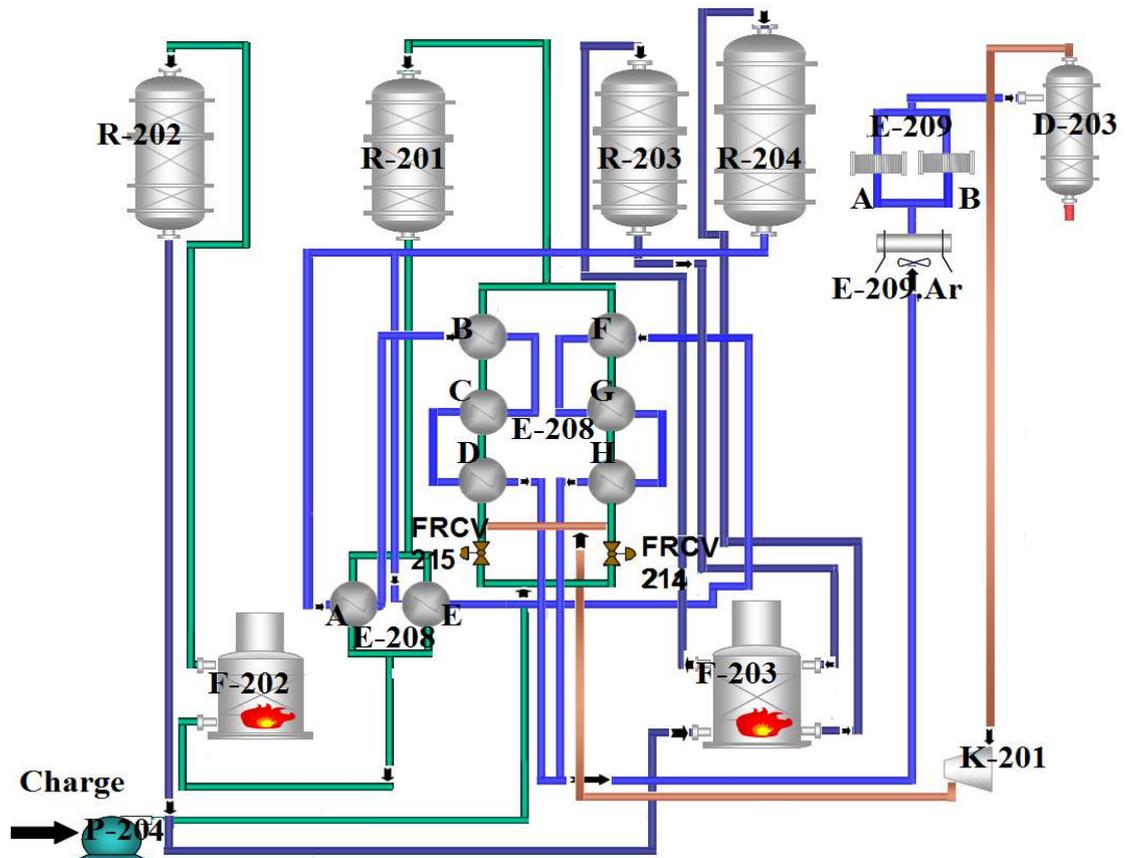


Figure II.2. Schéma du circuit catalytique de l'unité de Platforming

Chapitre II. Procédé de fonctionnement et Paramètres opératoires de l'Unité Reforming Catalytique (U 200)

II.1.4 Circuits de la section stabilisation

Le but de cette colonne C202 (figure II.3) est de stabiliser le plat format c'est-à-dire le débarrasser des butanes et plus légers qui seront traités au gaz plant, l'effluent refroidi du 3ème réacteur sort en fond du ballon D203 passe à travers l'échangeur E211 où il est réchauffé par le platformat stabilisé du fond de la C202 pour pénétrer dans le débutaniseur au niveau du 15ème plateau sous une pression de 21 bars et une température de 152°C.

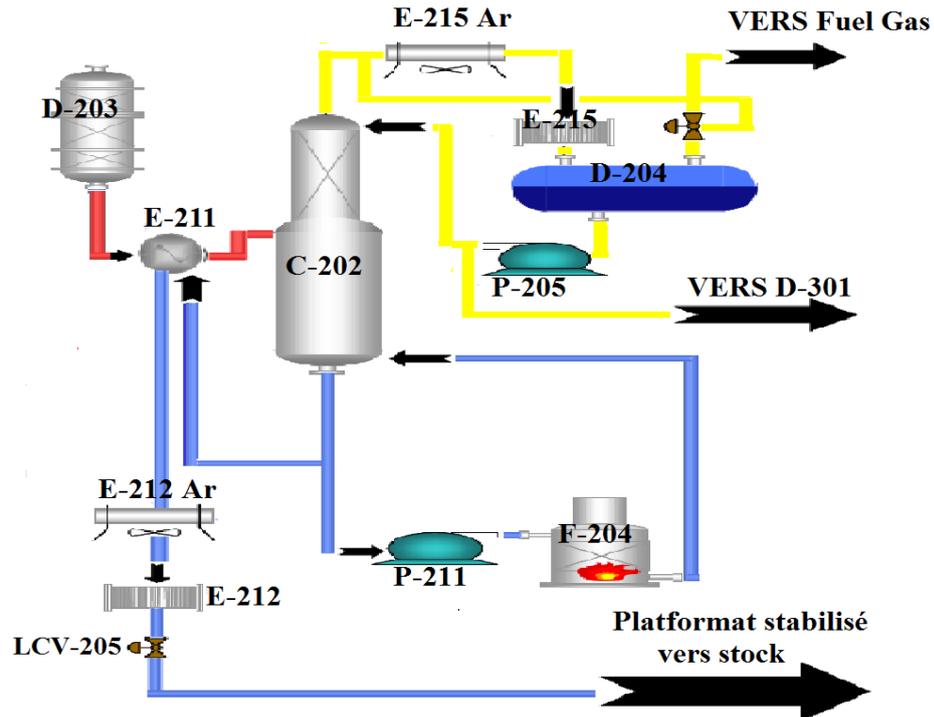


Figure II.3. Débutaniseur C-202 (colonne de stabilisation)

▪ Circuit tête débutaniseur :

Les vapeurs d'hydrocarbures sortant de C202 à 21 bars et 77°C passent par l'aéroréfrigérant E215 Ar où elles sont partiellement condensées. Les produits de E215 Ar à 49°C passent dans le condenseur E215 pour arriver dans le ballon D204 à une température de 38°C, la pression dans ce ballon est maintenue constante, la phase gazeuse en excès s'échappe vers le réseau fuel gaz. La phase liquide reprise par la pompe P205 A ou P205B est envoyée en partie en reflux au sommet du débutaniseur au 30ème plateau qui règle la température de tête de la colonne. L'autre partie de la phase liquide constituée par du butane et les plus légers est envoyée vers le ballon D301 de l'unité de gaz plant.

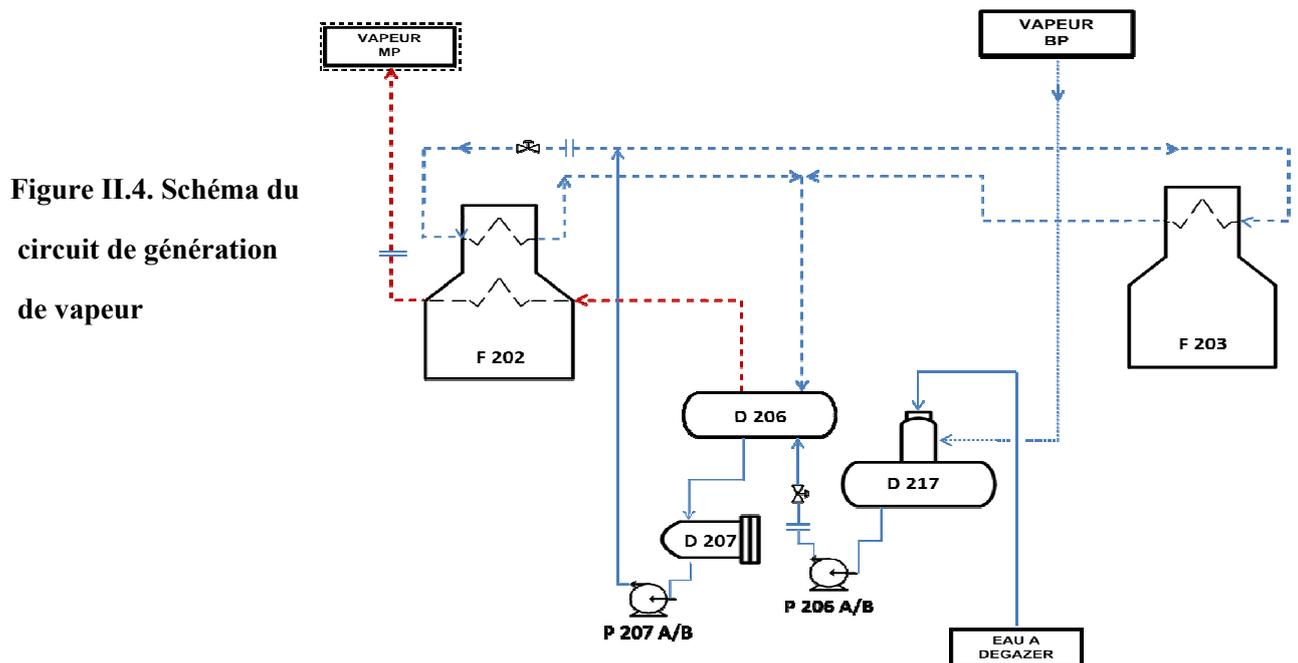
Chapitre II. Procédé de fonctionnement et Paramètres opératoires de l'Unité Reforming Catalytique (U 200)

▪ Circuit fond du débutaniseur

Dans le fond, il y a du platformat stabilisé qui est destiné à l'obtention des essences lourdes et légères. Les conditions opératoires sont maintenues à 260°C et 21bars, ceci pour chasser le butane et les plus légers du liquide ; le produit de fond passe à 247°C par un échangeur de chaleur E-211 où il réchauffe le produit issu de la D-203 (reformat non stabilisé). Il passe dans un aéroréfrigérant à air et après à travers un échangeur de chaleur à eau. Pour permettre une bonne séparation, on maintient une température de 260°C grâce à un système de rebouillage. Il y a une pompe P-211 qui aspire une partie du produit de fond et la refoule vers le F-204 surnommé four rebouilleur, d'où il sort à 271°C et il retourne dans la C-202 sous le plateau n°1 où se vaporisent les constituants les plus volatiles qui contribueront au stripping du platformat.

▪ Circuit de production de vapeur

Les sections de convection des fours F-202 et F-203 du platforming sont partiellement utilisées pour la production de vapeur à moyenne pression (figure II.4). A cet effet l'eau traitée amenée aux limites de l'unité est dégazée dans le dégazeur D-217 avant d'être reprise par la pompe P-206 et envoyée dans le ballon de production de vapeur D-206. Ce ballon reçoit d'autre part un mélange d'eau et de vapeur produite dans les fours F-202 et F-203. l'eau est envoyée du D-206 vers le décanteur de boues D-207 avant d'être reprise par la pompe P-207 et envoyée dans les sections de convection des fours F-202 et F203. Après la détente, la vapeur produite dans le ballon D-206 est envoyée dans la section de convection de F-202 pour obtenir de la vapeur moyenne pression surchauffée qui est envoyée ensuite dans le réseau général de la raffinerie. [1]



Chapitre II. Procédé de fonctionnement et Paramètres opératoires de l'Unité Reforming Catalytique (U 200)

II.2. Paramètres opératoires des Installations consommatrices d'Énergie :

L'unité de reforming catalytique est munie d'équipements et installations consommatrices d'énergie électrique et calorifique et qui diffèrent les uns des autres par leur type et leur rôle. La visite du site industriel de la raffinerie d'Alger et la campagne de relevés des paramètres opératoires actuels des différentes installations de l'unité 200 de reforming catalytique se sont déroulées durant notre stage au sein de cette unité. Elles nous ont permis d'une part d'identifier et déceler les principales contraintes qui ne permettent pas aux installations de fonctionner selon les critères de bonne économie d'énergie et d'autre part d'établir les bilans énergétiques des différentes installations. L'ensemble des paramètres opératoires des installations et équipements fourni et asservi par la chaleur de combustion du Fuel gaz et le transfert de son énergie calorifique est donné aux tableaux ci-après :

II.2.1 Spécifications des fours et échangeurs

Les tableaux II.1 et II.2 donnent respectivement les spécifications des fours et des échangeurs de chaleur utilisés.

Tableau II.1 Spécifications et caractéristiques des fours tubulaires de l'unité 200

Désignation	Procédé	Type du four	Type de brûleurs	Produit à chauffer
F202	Chauffage de la charge de platforming	Cabine à Tubes horizontaux Et à mur Radiant	64 brûleurs à Pré-mélange	Effluent R201
F203 Cellule nord	Chauffage intermédiaire de platforming	Cabine à Tubes Horizontaux	32 brûleurs à Pré-mélange	Effluent R202
F203 Cellulesud	Chauffage intermédiaire de platforming	Cabine à Tubes Horizontaux	12 brûleurs à pré-mélange	Effluent R203
F204 Rebouilleur	Four rebouilleur du C202	Cabine à Tubes Horizontaux	8 brûleurs à Pré-mélange	Reflux de Fond C202

II.2.2 Paramètres opératoires des fours tubulaires

Le tableaux II.3 donnent les données opératoires actuels et ceux du Design pour les fours tubulaires :

Chapitre II. Procédé de fonctionnement et Paramètres opératoires de l'Unité Reforming Catalytique (U 200)

Tableau II.3 Paramètres opératoires des fours tubulaires :

Four		F202	F203	F204		
Cas Actuel	Fuel gaz	Débit (m ³ /h)	2100	2600	1300	
		T (°C)	15	15	15	
		P(kg/cm ²)	2,65	2,9	1,62	
	fumées	T (°C)	860	800	491	
		P(kg/cm ²)	16	16	16	
		%O ₂	≈6	≈6	≈6	
		%CO	≥5000ppm	≥5000ppm	≥5000ppm	
	La charge	%CO ₂	15,4	15,7	14	
		Débit (kg/h)	48000	48000	48000	
		T entrée/T sortie (°C)	420/500	460/500	268/280	
	Vapeur eau	P entrée/P sortie (kg/cm ²)	33,6 /33,1	31,5/31	30/29,6	
		Débit (m ³ /h)	95	95	95	
		T entrée/T sortie (°C)	260/320	270/330	255/290	
	Cas Design	Fuel gaz	P entrée/P sortie (kg/cm ²)	16/15,8	16,2/15,9	16/15,7
			Débit (m ³ /h)	2500	1800	800
T (°C)			15	15	15	
Fumées		P (kg/cm ²)	2,65	2,9	1,62	
		T (°C)	742	671	300	
		P(kg/cm ²)	18	18	18	
		%O ₂	≈6	≈6	≈6	
La Charge		%CO ₂	≥5000ppm	≥5000ppm	≥5000ppm	
		Débit (kg/h)	75000	75000	75000	
		T entrée/T sortie (°C)	443/537	482/532	260/271	
Vapeur eau		P entrée/P sortie (kg/cm ²)	35,1/34,1	33,27/32,36	23,1/21,06	
		T entrée/T sortie (°C)	200 /260	200/260	200/260	
		P entrée/P sortie (kg/cm ²)	15,44/15,09	16,9/15,4	15.6/14.9	

Chapitre.III Simulation des Fours Tubulaires par le Simulateur HYSYS

Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation du simulateur HYSYS utilisé pour la simulation du procédé des Fours tubulaires F202, 203 et 204 identifiés comme équipements les plus énergivores de l'unité reforming catalytique. Les résultats de simulation de ces installations seront présentés pour les cas Actuel et Design. Leur exploitation pour l'établissement des bilans énergétiques et l'évaluation de la performance thermodynamique sera donnés et interprétés aux chapitre IV.

III.1 Introduction au logiciel HYSYS

III 1.1 Généralités sur la simulation :

La simulation est définie comme étant la représentation d'un phénomène physique à l'aide de modèles mathématiques simples permettant de décrire son comportement. La simulation permet de représenter par des modèles mathématiques les différents phénomènes de transfert de masse, d'énergie et de quantité de mouvement qui se produisent dans les différentes opérations unitaires [2]. La simulation peut être classée comme une méthode commode qui ne coûte pas chère et sans intervention sur le procédé réel en cours de fonctionnement. Le développement de l'informatique dans le domaine de simulation, nous permet de résoudre le problème de calcul manuel, en utilisant comme outil des logiciels de simulation. Les simulateurs existants tels que **Aspen plus**, **CHEMCAD**, **HYSIM**, **HYSYS**, **pro-II** sont les plus vendus et qui deviennent de plus en plus indispensables pour concevoir de nouvelles unités et pour optimiser les procédés industriels. Le simulateur HYSYS est l'un des plus performants logiciels de simulation. [5]

III 1.2 Présentation du logiciel HYSYS :

Le logiciel HYSYS permet la simulation des procédés industriels de l'industrie gazière, de raffinage et de la pétrochimie en mode stationnaire et dynamique.

L'utilisateur doit spécifier les constituants du gaz, du liquide ou du mélange. Il choisit un modèle thermodynamique. Il doit aussi spécifier les paramètres nécessaires pour le calcul de chaque opération unitaire. HYSYS résout le schéma de procédé et peut aussi dimensionner quelques équipements.

III 1.3 Structure générale de HYSYS [2], [5]

Le simulateur est utilisé lors de la conception d'un procédé industriel (figure III.1) afin de :

- Établir des bilans de matière et d'énergie d'un procédé industriel.
- Déterminer les performances des équipements de ce procédé

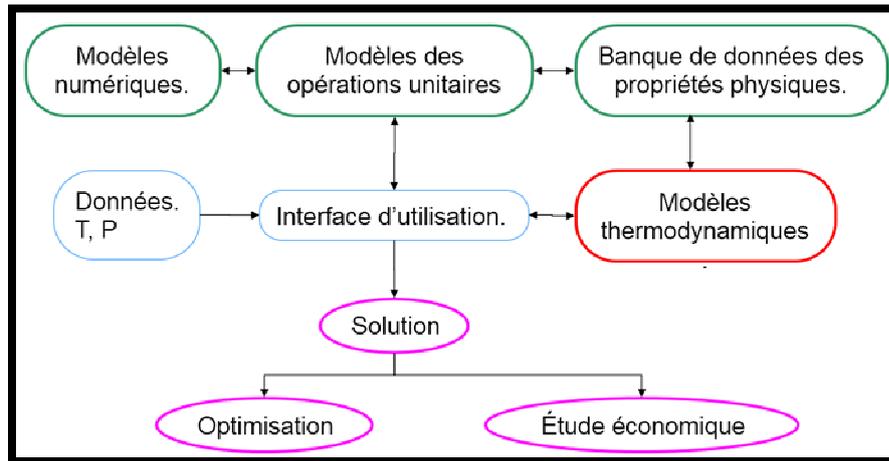


Figure III-1 : Structure générale du Logiciel HYSYS

III 1.4 Choix du modèle thermodynamique :

Pour l'étude des propriétés des gaz réels ou des mélanges les plus complexes, il existe des équations d'état qui relie les paramètres d'équilibre du système particulièrement dans le domaine des hydrocarbures. On sait que le modèle des gaz idéaux est caractérisé en variables molaires par la loi :

$$PV = n RT \tag{III.1}$$

P : la pression du système, T : la température et v : le volume molaire du gaz.

Cette dernière n'est pas valable pour les gaz réels pour cela on utilise le plus souvent un diagramme thermodynamique, un tableau de propriétés thermodynamiques, ou un système d'équations d'état couvrant les diverses zones de pression et température nécessaires. De nombreuses équations d'état ont été proposées et continuent d'être mises au point.

Parmi ces équations on cite : l'équation **Peng Robinson (1976)**, l'équation de **Redlich Kwong**, et celle de **Lee Kesler Plocker** ... etc.

L'équation d'état généralement utilisée dans le cas des hydrocarbures est **Peng Robinson** qui s'écrit :

$$P = \frac{RT}{v - b} - \frac{a}{v^2 + 2bv - b^2} \tag{III.2}$$

$$b = 0.0778 \frac{RT_c}{P_c} \tag{III.3}$$

$$a = 0.45724 \frac{(RT_c)^2}{P_c} [1 + (0.37646 + 1.54226w - 0.26992w^2)(1 - T_r^{0.5})]^2 \tag{III.4}$$

Chapitre.III Simulation des Fours Tubulaires par le Simulateur HYSYS

On y reconnaît un terme de répulsion, qui prend en compte le volume propre des molécules à l'aide du paramètre **b**, ou covolume, d'une part, et un terme d'attraction, ou pression interne, qui est exprimé par le paramètre **a** [2]. Le modèle thermodynamique de Peng-Robinson donne des résultats proches à ceux du design. [5]

III 1.5 Calcul des grandeurs thermodynamiques

Les différents flux de matière étudiés déterminent les produits mis en jeu. Les liquides, pour lesquels on retiendra la charge traitée et les gaz, où il s'agira principalement de l'air humide, du fuel gaz et les fumées de combustion.

Pour ces flux de matière, il s'agira des équations relatives aux mélanges idéaux de corps purs, dont les données sont facilement accessibles à partir des relations de base ci-après.

Pour l'enthalpie spécifique :

$$h = \sum_i X_i h_i \quad (\text{III.5})$$

$$h_i = h_{i(T_0)}^o + \int_{T_0}^T C_{p_i}(T) dT \quad (\text{III.6})$$

i étant l'indice du constituant (i) dans le courant de matière. L'origine des enthalpies des composés gazeux et liquides, est prise à P=1atm et T₀=288K.

La chaleur spécifique moyenne C_{p_i}(T) du composé i liquide et gazeux, fonction de la température, est calculée à l'aide du polynôme suivant :

$$C_{p_i}(T) = a_i + b_i T + c_i T^{-2} \quad (\text{III.7})$$

Où a_i, b_i et c_i sont des constantes spécifiques pour chaque composé i,

III 1.6. Concepts et caractéristiques du simulateur HYSYS

HYSYS est un simulateur de conception orientée-objets. Tout changement spécifié sur un élément est répercuté dans tout le modèle. C'est un logiciel de simulation interactif intégrant la gestion d'événements. C'est-à-dire qu'à tout moment, un accès instantané à l'information est possible, de même que toute nouvelle information est traitée sur demande et que les calculs qui en découlent s'effectuent de manière automatique. Deuxièmement, il allie le concept d'opérations modulaires à celui de résolution non-séquentielle. Non seulement toute nouvelle information est traitée dès son arrivée mais elle est propagée tout au long du Flowsheet (Fig.III.2). [5]

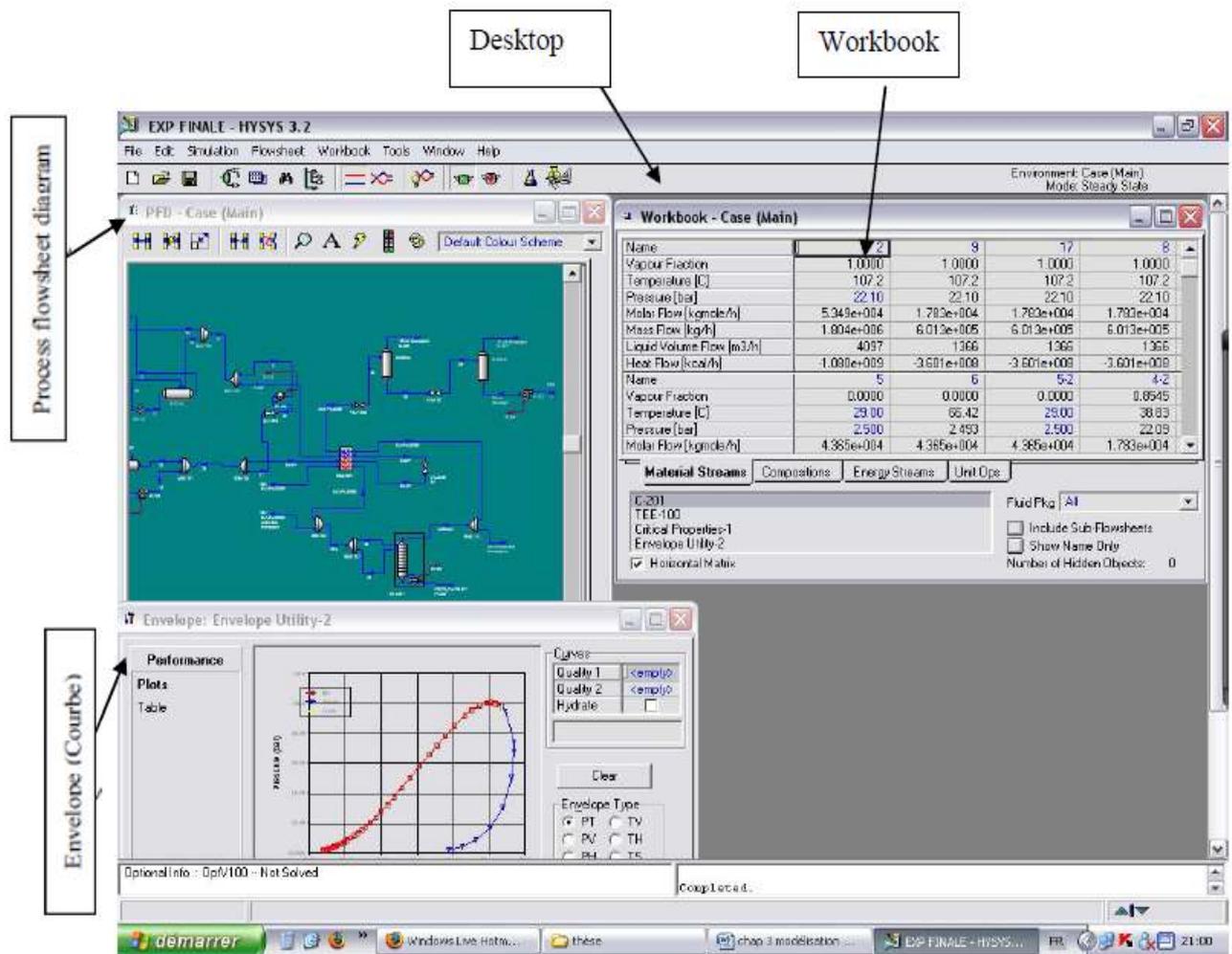


Figure.III.2 : Interface HYSYS et étapes de construction d'un modèle

III.2 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 tubes. Cela justifie l'appellation **four tubulaire** généralement donnée à ce type d'appareil.

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 : réchauffage d'un fluide sans changement de phase, réchauffage d'un fluide avec vaporisation partielle, réchauffage d'un fluide avec réaction chimique. [4]

III 2.1. Processus de transmission de chaleur

Un four tubulaire est conçu et calculé pour permettre de transférer au fluide une quantité de chaleur donnée par heure. Le four doit donc être avant tout agencé en vue de la combustion

Chapitre.III Simulation des Fours Tubulaires par le Simulateur HYSYS

d'une quantité suffisante de combustible. Il devra comporter les brûleurs nécessaires, ceux-ci devront pouvoir être alimentés en combustibles 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. Sous l'effet d'une pression à l'intérieur de l'enceinte de combustion (figure III.3); mesure de la dépression du four (convection naturelle) et réglage du tirage par registre. Cette dépression est elle-même due au tirage de la cheminée. [3]

Les températures obtenues dans les produits de la combustion sont toujours très élevées. Les produits de la combustion cèdent leur chaleur aux tubes par radiation et convection ; à travers les parois des 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.

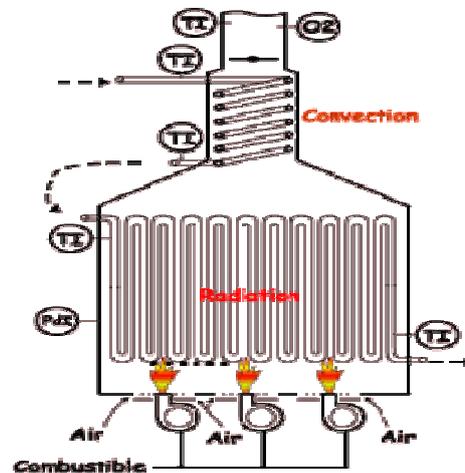


Figure.III.3. Brûleur à air induit sous l'effet de la pression du four

III 2.2 Construction et Types de fours [3]

L'enveloppe métallique du four doit être suffisamment renforcée pour résister aux actions du vent et supporter l'ensemble du faisceau tubulaire. Elle est constituée d'une ossature en charpente et de tôles boulonnées ou soudées sur cette charpente.

Le revêtement des parois intérieures du four est constitué soit d'un mur en briques réfractaires constituée d'argile réfractaire (silicate d'aluminium hydraté) ou terres de diatomées, soit d'une couche de béton réfractaire.

Les matériaux isolants sont généralement sous forme de plaques destinées à constituer des panneaux pour être placés derrière les briques ou béton.

Chapitre.III Simulation des Fours Tubulaires par le Simulateur HYSYS

Les faisceaux tubulaires sont généralement constitués de tubes droits, sans soudure, reliés entre eux par des coudes à 180° soudés sur les tubes et sur des liaisons spéciales, appelées boîtes de retour. Le choix de leur matériau dépend de la résistance à la corrosion par le fluide chauffé, à la résistance à l'oxydation par les fumées chaudes et à la résistance mécanique.

Il existe de nombreuses dispositions des tubes, dans les zones de radiation et de convection, et d'une zone par rapport à l'autre. Il en résulte de nombreux types de fours. On peut toutefois distinguer les différentes catégories suivantes

- **Fours Cabines à tubes horizontaux**

Dans ces fours (figure III.4), 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 partie inférieure des murs latéraux les plus longs ou encore les murs d'extrémités ne recevant pas les tubes. [3]

- **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 présentes donc une symétrie circulaire par rapport au groupe de chauffage (figure III.5). [3]

III 2.3 Procédure de décokage du four.

Le procédé consiste à nettoyer les dépôts de coke et de sels à l'intérieure des tubes de four par admission de la vapeur et de l'air dans les tubes. Le décokage air-vapeur est composé de deux phases ; Phase de désagrégation et Phase de brûlage. [3]. [4]

III 2.4 Rendement Thermique du Four

Le rendement thermique des fours des installations pétrolières et gazières tient une place capitale dans les paramètres de choix des équipements. La notion du rendement d'un four apparaît par le fait que le débit de chaleur libérée aux brûleurs par la combustion n'est pas intégralement transmis au fluide procédé. La détermination du rendement de four est particulièrement importante car elle conditionne la consommation de combustible. [4]

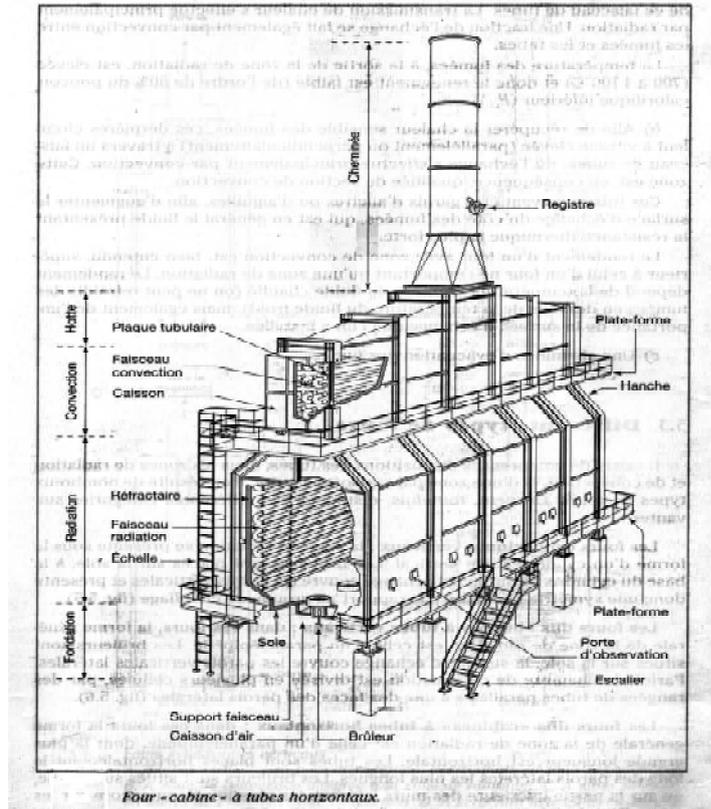


Figure III.4 Four Cabine à tubes horizontaux. [3]

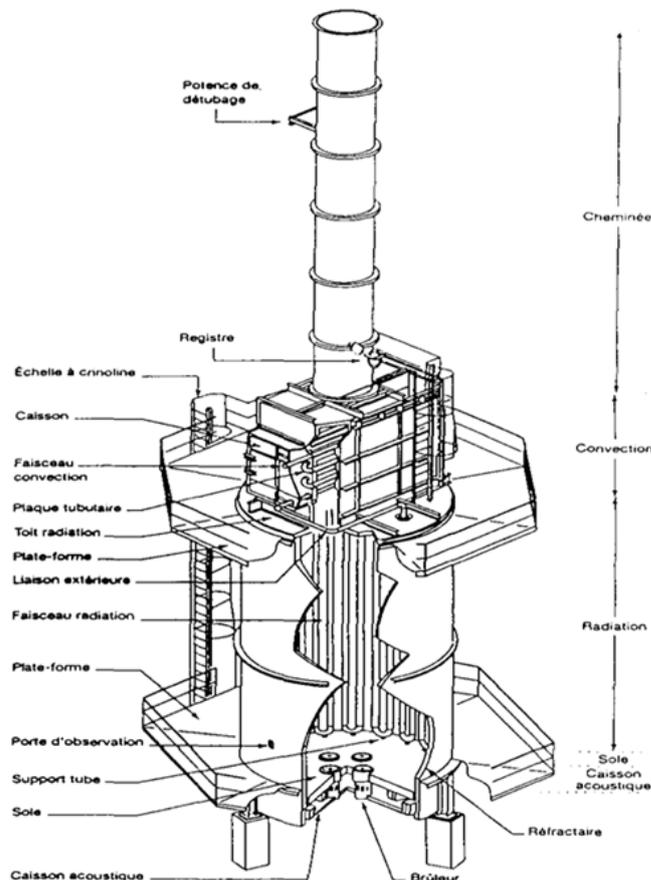
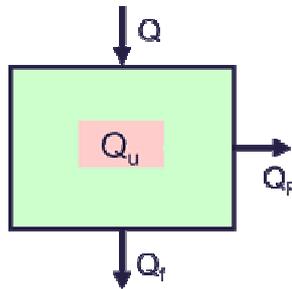


Figure III-5 : Four cylindrique vertical. [6]

Chapitre.III Simulation des Fours Tubulaires par le Simulateur HYSYS

- **Bilan thermique**

Quel que soit le four, l'objectif est de fournir aux produits une quantité de chaleur utile Q_u ou absorbée. Le bilan thermique s'écrit :



$$Q - Q_u = Q_p + Q_f \quad (\text{III.5})$$

- **Pertes thermiques :**

Les Pertes par les parois du four (Q_p) sont dues aux imperfections de l'isolation thermique par les matériaux réfractaires. Dans le cas de fours récents de grandes puissances, elles représentent 1 à 2 % de la chaleur libérée aux brûleurs (Q). Elles peuvent être beaucoup plus importantes dans le cas de fours anciens dont le réfractaire est défectueux. [6]

Les Pertes par les fumées (Q_f) sont évacuées à l'atmosphère avec un débit de chaleur relativement important. Elles représentent entre 5 et 20 % de la chaleur libérée aux brûleurs (figure III.6).

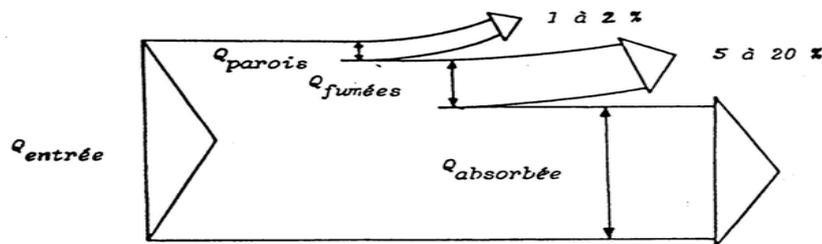


Figure III.6. Pertes thermiques d'un Four tubulaire

Le rendement η d'un four est le rapport de l'énergie utile Q_u à l'énergie Q qu'il faut fournir au four sous forme de combustible [6]

$$\eta = \frac{Q_u}{Q}$$

- **Paramètres d'amélioration du rendement thermique du four**

- *Pertes thermiques aux parois et aux fumées*

- Les pertes thermiques aux parois peuvent être réduites par l'accroissement de l'isolation thermique. Cependant, leur niveau actuel étant faible (1 à 3 %), l'intérêt économique de cette solution est relativement limité.

- La réduction des pertes thermiques aux fumées permet l'économie de combustible utilisé pour réchauffer l'air en excès de la température ambiante à la température des fumées. Elle rencontre cependant comme limite, l'apparition d'imbrûlés dans les fumées auxquels correspondent une perte de chaleur de combustion, un encrassement de la zone de convection réduisant son efficacité, un risque de post-combustion des imbrûlés présentant un danger pour le personnel et le matériel. La réduction de l'excès d'air peut toutefois être obtenue, en utilisant des brûleurs réalisant un bon mélange de l'air et du combustible, en particulier par la turbulence imposée à l'air, de l'air préchauffé qui favorise la combustion, en fin si la température de rejet des fumées est basse, la recherche de la combustion à bas excès d'air présente un intérêt limité.

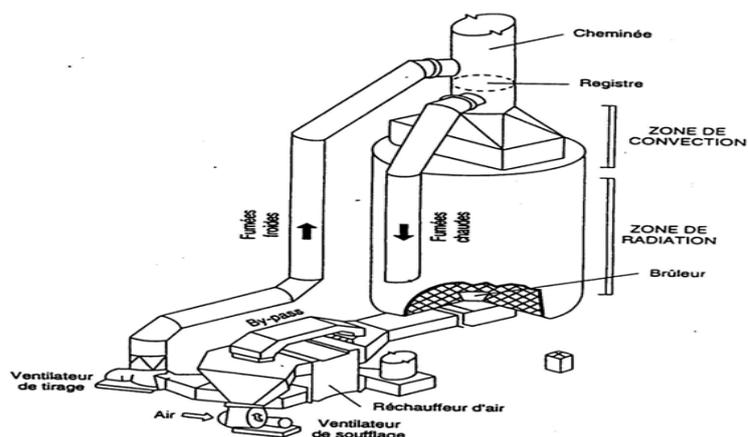
- *Abaissement de la température des fumées*

L'abaissement de la température des fumées est un moyen efficace d'amélioration du rendement du four. Un abaissement de 20°C de température aux fumées correspond à un gain de rendement de l'ordre de 1 %. L'obtention de plus basses températures aux fumées peut être réalisée par **l'extension de la surface de convection** sur le fluide process. Cette solution rencontre comme limite de température de rejet celle d'entrée du fluide à réchauffer. La mise en place d'un service supplémentaire en zone de convection, par exemple, une génération de vapeur est préconisé.

- *Préchauffage de l'air de combustion*

Cette solution présente l'avantage de disposer d'un fluide vraiment froid et utile au procédé de combustion mis en œuvre dans le four lui-même (figure III.7).

Figure III.7. Réchauffeur d'air de combustion d'un four cylindrique [3]



Chapitre.III Simulation des Fours Tubulaires par le Simulateur HYSYS

III.3 Simulation des Fours 202, 203 et 204 de l'unité

La simulation des fours tubulaires F202, 203 et 204 est effectuée au moyen du logiciel HYSYS, pour les données opératoires actuelles et celles du Design. Pour cette simulation, l'équation d'état de SRK **Redlich Kwong** est utilisée, en supposant que le régime de fonctionnement du Procédé est stationnaire.

III 3.1 Données de calcul de simulation

Le calcul de simulation effectué suppose la connaissance de plusieurs données opératoires.

1.1 Composition de la charge et du fuel gaz

La composition chimique de la charge traitée, constituée du solvant lourd et léger, et celle du Fuel gaz (combustible) déterminée par analyse chromatographique est donnée au tableau III.1 et III.2 respectivement.

Tableau III.1 : Composition de la Charge Traitée provenant de l'unité 100 [7]

C-nr	Naphtènes	Paraffines	Aromatiques	Total
3				0.00
4		0.03		0.03
5	0.09	0.49		0.59
6	3.05	6.15	1.18	10.38
7	7.96	11.14	1.77	20.88
8	7.99	13.24	8.01	29.23
9	6.52	12.83		19.35
10	4.42	10.89		15.31
11	0.94	3.19		4.14
Total	30.97	57.97	10.97	99.90

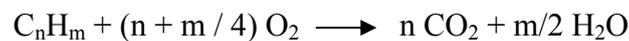
Tableau III.2. Composition du fuel gaz [7]

Constituant	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄ et plus	Total
% molaire	23.18	67.00	6.18	2.48	0.43	0.35	0.06	0.06	0.08	100.00

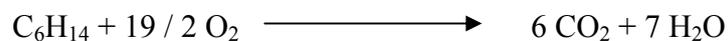
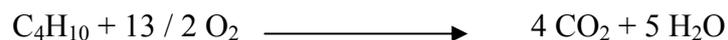
1.2. Combustion du fuel gaz

Pour le calcul, la combustion est supposée complète et les brûleurs assurent un mélange intime entre l'air comburant et le combustible. Les réactions de combustion des différents constituants du fuel gaz sont supposées stœchiométriques. Elles permettent de déterminer la

quantité d'oxygène, et donc d'air nécessaire à la combustion ainsi que la quantité des fumées formées lors de la combustion.



Soit :



Chapitre.III Simulation des Fours Tubulaires par le Simulateur HYSYS

III 3.2 Résultats de simulation

Les résultats de simulation du procédé des différents fours étudiés après leur convergence sont présentés ci-après. Les figures III.8, III.9 et III.10 correspondent aux fours F202, 203 et 204.

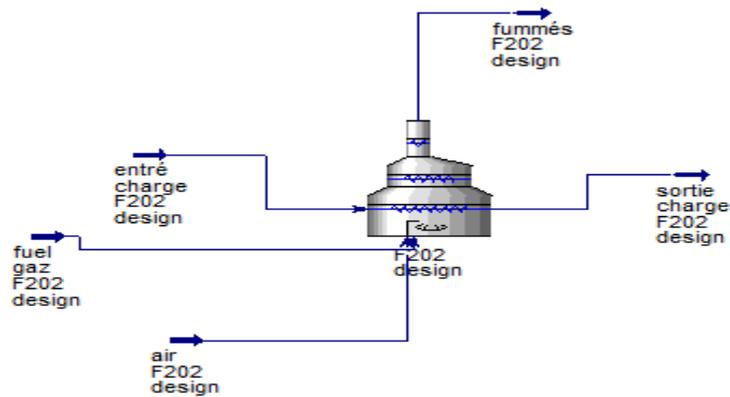


Figure III.8. : Four F202 convergé par le HYSYS.

Tableau III.3.résultats obtenus par logiciel HYSYS pour le four F202 dans le cas actuel et design:

	Paramètres	Entré de la charge	Air	Fuel gaz	Sotie de la charge	Fumées
Cas actuel	T (°c)	420	15	15	500	860
	P (bar)	2.988	1.013	1.53	31.5	14.68
	Q (Mj/h)	2.03535	0.4523	18.092	15.15205	5.20145
Cas design	T (°c)	443	15	15	537	741
	P (bar)	33.3	1.013	1.58	32.43	16.64
	Q (Mj/h)	1.925	0.385	1.5015	14.0525	4.0425

Chapitre.III Simulation des Fours Tubulaires par le Simulateur HYSYS

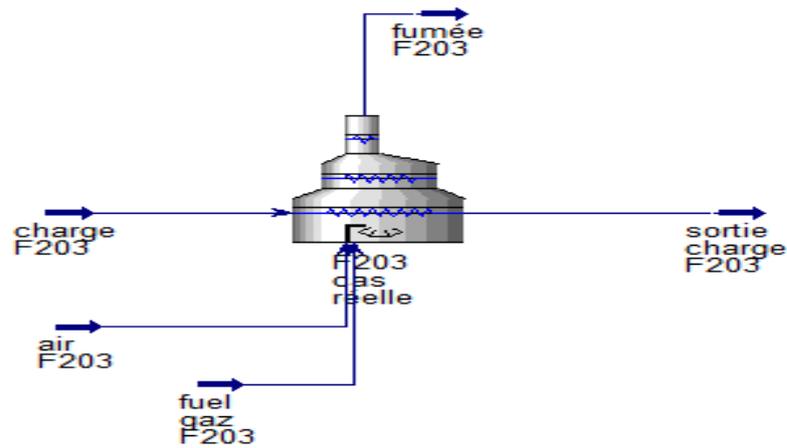


Figure III.9. Four F203 convergé par le HYSYS.

Tableau III.4.résultats obtenus par logiciel HYSYS pour le four F203 dans le cas actuel et design:

	Paramètres	Entré de la charge	Air	Fuel gaz	Sotie de la charge	Fumées
Cas actuel	T (°c)	460	15	15	500	800
	P (bar)	29.88	1.013	1.53	29.39	14.68
	Q (Mj/h)	2.068	0.367	14.664	12.596	5.264
Cas design	T (°c)	482	15	15	537	671
	P (bar)	31.61	1.03	1.82	30.27	16.64
	Q (Mj/h)	1.6685	0.7333	13.0143	12.18005	3.50385

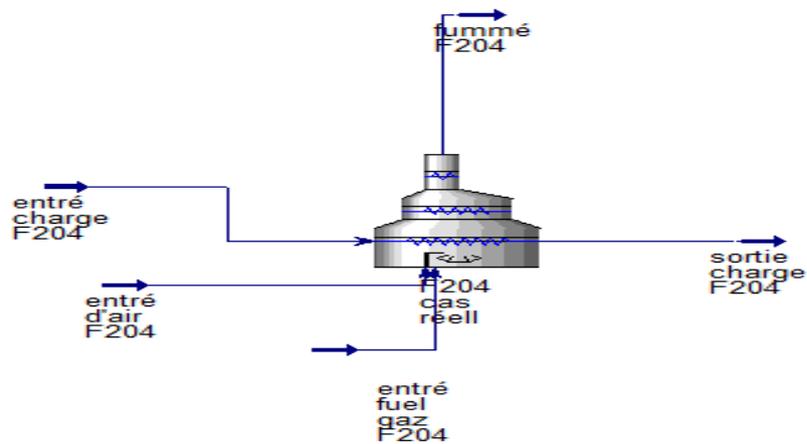


Figure III.10. Four F204 convergé par le HYSYS.

Tableau III.5.résultats obtenus par logiciel HYSYS pour le four F204 dans le cas actuel et design:

	Paramètres	Entré de la charge	Air	Fuel gaz	Sotie de la charge	Fumées
Cas actuel	T (°c)	268	15	15	280	491
	P (bar)	28.41	1.03	0.5754	28.01	14.68
	Q (Mj/h)	1.092	0.2184	6.4896	5.772	2.1216
Cas design	T (°c)	260	15	15	271	300
	P (bar)	21.64	1.013	0.57	19.64	16.64
	Q (Mj/h)	0.9669	0.2051	6.153	6.2409	1.4064

Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats de calcul de simulation des fours tubulaires F202, 203 et 204. L'exploitation de ces résultats permet l'établissement des bilans énergétiques des différents systèmes étudiés et l'évaluation de leur performance énergétique dans les conditions actuelles de fonctionnement.

IV.1. Calcul des flux de chaleur des Fours Tubulaires

A partir des tableaux de simulation des différents systèmes étudiés présentés en chapitre III, les tableaux suivants IV.1, IV.2 et IV.3 donnent les flux de chaleurs en (MJ/h) des différents courants de matière à l'entrée et à la sortie des fours tubulaires F202 , F203 et F204

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{charge entrée}} + Q_{\text{fuel gaz}} + Q_{\text{Air}} \quad (\text{IV.1})$$

$$Q_{\text{utile}} = Q_{\text{charge sortie}} - Q_{\text{charge entrée}} \quad (\text{IV.2})$$

$$Q_{\text{parois}} = Q_{\text{total}} - (Q_{\text{utile}} + Q_{\text{fumée}}) \quad (\text{IV.3})$$

$$Q_{\text{perte totale}} = Q_{\text{parois}} + Q_{\text{fumée}} \quad (\text{IV.4})$$

Tableau IV.1 Flux de chaleur du Four 202

Fux de Chaleur (MJ/h)	Cas actuel	Cas design
Q utile	13.11	12.12
Q fumée	5.20	4.04
Q parois	2.26	1.15
Q perte totale	7.46	5.20
Q fuel gaz	18.09	15.15
Q total	20.57	17.32
Rendement thermique	72.5%	80%

Tableau IV.2. Flux de chaleur du Four 203

Flux de chaleur (MJ/h)	Cas actuel	Cas design
Q_{utile}	10.52	10.51
$Q_{\text{fumée}}$	5.26	3.5
Q_{parois}	1.30	0.7
Q_{perd}	6.57	4.2
$Q_{\text{fuel gaz}}$	14.66	13.01
Q_{total}	17.09	14.71
Rendement	71.7%	80.75%

Tableau IV.3. Flux de chaleur du Four 204

Flux de Chaleur (MJ/h)	Cas actuel	Cas design
Q_{utile}	4.68	5.27
$Q_{\text{fumée}}$	1.12	1.41
Q_{parois}	1.00	0.64
Q_{perd}	2.12	2.04
$Q_{\text{fuel gaz}}$	6.48	6.15
Q_{total}	7.8	7.32
Rendement thermique	72.1%	85.7%

IV1.2Interprétation

Le rendement moyen des fours dans les conditions actuelles de l'ordre de 72% reste faible par rapport au rendement proposé pour le design du constructeur, de l'ordre de 81%. Les fours 202 et 203 consomment presque 85% de la chaleur totale fournie par le fuel gaz. Aussi, la consommation du fuel gaz est élevée par rapport à celle du Design, soit en moyenne 13 MJ/h contre 11.5 MJ/h. Cette différence de consommation du combustible est due à la faible température de la charge à l'entrée dans le cas actuel par rapport au Design.

IV.2. Diagramme des pertes de chaleur des fours tubulaires

La répartition des pertes de chaleur des fours dans les cas Actuel et Design peuvent être représentées en figures IV.1, IV.2 et IV.3. La fraction de chaque nature de perte thermique est donnée par :

$$\left\{ \begin{array}{l} \% \text{ pertes par les fumées} = \frac{Q_{\text{fumées}}}{Q_{\text{totale}}} \\ \% \text{ pertes par les parois} = \frac{Q_{\text{parois}}}{Q_{\text{totale}}} \\ \% \text{ absorbée} = \frac{Q_{\text{utile}}}{Q_{\text{totale}}} \end{array} \right.$$

Tableau IV.4. Répartition des Pertes de Chaleur (F202) :

Répartition des pertes de Chaleur	Cas actuel	Cas design
% fumées	25.28	23.33
% Paroi	11	6.6
%Absorbé	63.73	70

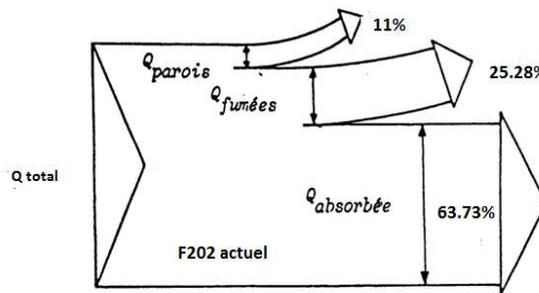


Figure IV.1 diagramme des pertes de chaleur pour F202

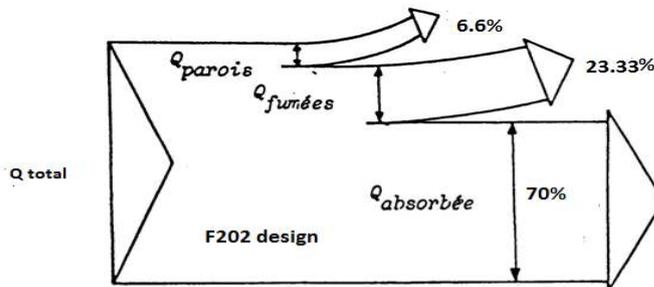


Tableau IV.5. Répartition des pertes de chaleur (F203) :

Pertes de chaleur	Cas actuel	Cas design
% fumées	30.8	23.79
% Paroi	7.63	4.75
% Absorbé	61.55	71.44

Figure IV.2 Diagramme Pertes de Chaleur F203

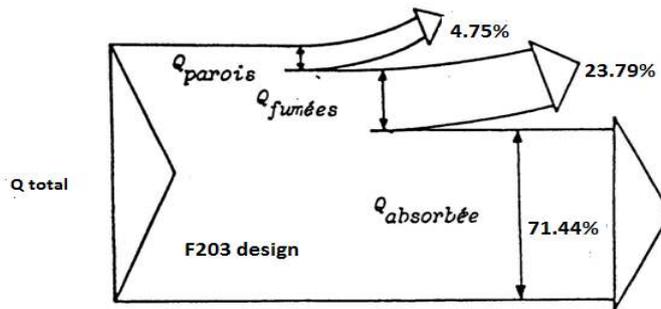
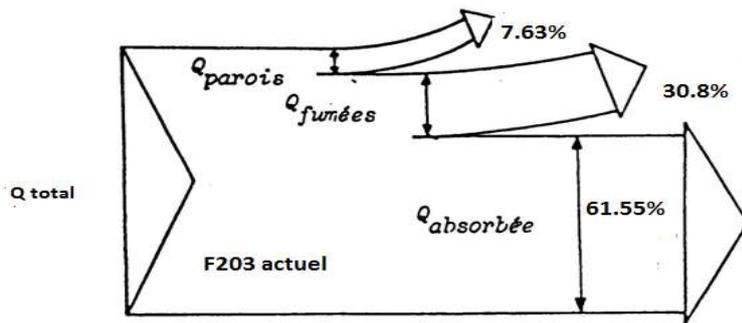


Tableau IV.6. Répartition des pertes de Chaleur (F204) :

Pertes de chaleur	Cas actuel	Cas design
% fumées	28.33	19.20
% Paroi	12.8	8.7
% Absorbé	60	72

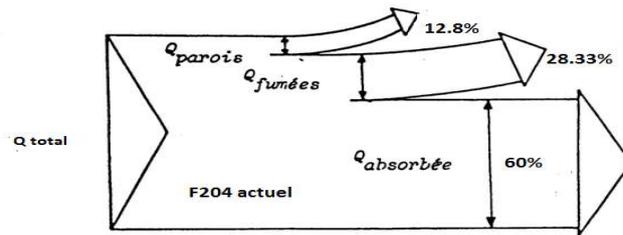
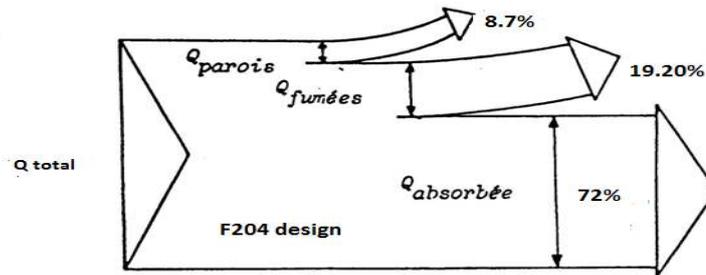


Figure IV.3 Diagramme pertes de Chaleur F204



IV2.1 Interprétation

La répartition des pertes de chaleur des fours tubulaires dans les conditions actuelles montrent que quel que soit le four étudié la perte par les fumées représente la part importante de ces pertes, soit en moyenne une perte de 28% contre 10.5% pour les pertes par les parois. Cette observation reste valable pour le cas du Design, à un degré moindre.

L'optimisation de la combustion se fait au niveau des brûleurs et plus particulièrement au niveau de la quantité d'air introduite pour la combustion du gaz. En effet, il faut savoir que plus l'excès d'air est important plus le rendement de combustion est faible et par conséquent plus la température des gaz d'évacuation et les pertes par ces gaz sont élevées. Pour que la combustion soit complète et optimisée, il faut choisir le plus petit excès d'air pour lequel la combustion est complète c'est-à-dire avec une teneur en monoxyde de carbone (CO) nulle. Les données actuelles de combustion du gaz fuel dans le four font apparaître plusieurs dysfonctionnements qui peuvent être notamment attribué :

- A l'absence d'analyse d'O₂ dans les gaz d'évacuation
- A l'insuffisance d'instrumentation de mesure, d'analyse et de contrôle de régulation d'air et de combustible
- Au mode de fonctionnement des installations d'aspiration d'air de combustion et de gaz d'évacuation ne sont pas modulés en fonction de la puissance calorifique.

De plus, pour une meilleure intensification du processus de combustion et de transfert thermique dans la zone de radiation, il est recommandé d'augmenter le contrôle de la combustion avec une planification d'un réglage optimal des brûleurs actuels ou l'utilisation de nouveaux brûleurs à haute impulsion à bas NO_x.

Aussi, le rétrécissement constaté de la partie amont des tubes de la zone de convection rend le passage des fumées difficile et non uniforme, par conséquent un transfert de chaleur faible dans cette zone, d'où la rénovation et la réparation de cette partie permet l'augmentation du transfert de chaleur et en conséquence la réduction des pertes de chaleur par les fumées.

D'autre part, la comparaison des pertes par les parois du cas actuel (10.5%) à ceux du design (6.5%) conduit à conclure que l'état du réfractaire des murs des fours reste en général satisfaisant.

Introduction

Le pétrole brut a pris une place importante dans l'économie mondiale car ses produits forment avec le gaz naturel plus de 60% des besoins énergétiques mondiaux.

Le raffinage du pétrole brut désigne l'ensemble des traitements et transformations visant à tirer du pétrole des produits énergétiques tels que les carburants et les combustibles, et des produits non énergétiques tels que les matières premières pétrochimiques, les lubrifiants, les bitumes et les paraffines qui ont une haute valeur commerciale. [6].

La transformation du pétrole brut nécessite des procédés physiques ou chimiques que l'on peut classer en trois catégories, les procédés de séparation, les procédés de conversion et les procédés d'épuration. La plus parts des étapes de ces procédés nécessitent un apport d'énergie calorifique très important. Dans la plupart des installations, l'apport de l'énergie thermique requis par le procédé, se fait par l'intermédiaire des fours à chauffage direct dans lesquelles, l'énergie produite par la combustion est transmise directement au fluide à réchauffer, qui circule dans le serpent tubulaire ou dans un faisceau de tubes. [3].

Durant notre stage de fin d'études à l'unité de reforming catalytique (U200) de la raffinerie d'Alger, nous nous sommes intéressés à l'analyse énergétique des fours tubulaires F 202, 203 et 204.

L'objectif de notre travail est de modéliser le procédé de fonctionnement de ces fours par le logiciel HYSYS, d'établir leurs bilans énergétiques et d'en déduire leur performance énergétique dans les conditions actuelles.

La méthodologie de travail suivie est ;

- Maitrise du procédé de fonctionnement (stage dans l'unité)
- Mesures et relevés des données opératoires fiables de fonctionnement de ce procédé
- Modélisation du procédé en utilisant le logiciel HYSYS
- Analyse énergétiques des Fours 202, 203 et 204 de l'unité 200 de la raffinerie d'Alger

Listes des figures

Chapitre. I Description de la raffinerie d'Alger

Figure I.1 Situation géographique de la raffinerie d'Alger.....3

Chapitre II. Procédé de fonctionnement et Paramètres opératoires de l'Unité Reforming Catalytique (U 200)

Figure II.1. L'unité de platforming de la raffinerie d'Alger.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.2. Schéma du circuit catalytique de l'unité de Platforming**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.3. Débutaniseur C-202 (colonne de stabilisation).....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.4. Schéma du circuit de génération de vapeur 14

Chapitre.III Simulation des Fours Tubulaires par le Simulateur HYSYS

Figure III-1 : Structure générale du Logiciel HYSYS.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure.III.2 : Interface HYSYS et étapes de construction d'un modèle.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure.III.3. Brûleur à air induit sous l'effet de la pression du four.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.4 Four Cabine à tubes horizontaux.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III-5 : Four cylindrique vertical.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.6. Pertes thermiques d'un Four tubulaire.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.7. Réchauffeur d'air de combustion d'un four cylindrique.....26

Figure III.8. : Four F202 convergé par le HYSYS.28

Figure III.9. Four F203 convergé par le HYSYS.....29

Figure III.10. Four F204 convergé par le HYSYS.....30

Chapitre. IV résultats et interprétations

Figure IV.1 Figure IV.3 Diagramme pertes de Chaleur F204.....33

Listes des figures

Figure IV.2 Figure IV.3 Diagramme pertes de Chaleur F204.....	34
Figure IV.3 Figure IV.3 Diagramme pertes de Chaleur F204.....	35

Nomenclature

le naphta :est un liquide transparent ,issu de la distillation de pétrole .

le fuel-oil :résidu de la distillation du pétrole .

CFP : Compagnie Française des Pétroles

l'Unité topping :c'est l'unité de distillation atmosphérique.

GPL : le gaz de pétrole liquéfié.

plat-format :

l'indice d'octane :mesure la capacité de l'essence à résister aux cognements durant la combustion.

débutaniseurs :colonne pour séparer le butane du reste des hydrocarbures .

PTE :(Plomb Tétra-Ethyle)

Listes de figures

Chapitre. I Description de la raffinerie d'Alger

Figure I.1 Situation géographique de la raffinerie d'Alger.....	3
---	---

Chapitre II. Procédé de fonctionnement et Paramètres opératoires de l'Unité Reforming Catalytique (U 200)

Figure II.1. L'unité de platforming de la raffinerie d'Alger.....	8
Figure II.2. Schéma du circuit catalytique de l'unité de Platforming.....	9
Figure II.3. Débutaniseur C-202 (colonne de stabilisation).....	12
Figure II.4. Schéma du circuit de génération de vapeur	14

Chapitre.III : Simulation des Fours Tubulaires par le Simulateur HYSYS

Figure III-1 : Structure générale du Logiciel HYSYS.....	18
Figure.III.2 : Interface HYSYS et étapes de construction d'un modèle.....	20
Figure.III.3. Brûleur à air induit sous l'effet de la pression du four	21
Figure III.4 Four Cabine à tubes horizontaux.	23
Figure III-5 : Four cylindrique vertical.....	23
Figure III.6. Pertes thermiques d'un Four tubulaire	24
Figure III.7. Réchauffeur d'air de combustion d'un four cylindrique	26
Figure III.8. : Four F202 convergé par le HYSYS.....	28
Figure III.9. Four F203 convergé par le HYSYS.....	29
Figure III.10. Four F204 convergé par le HYSYS.....	30

CHAP.IV : Résultats et Interprétation

Figure IV.1 diagramme des pertes de chaleur pour F202.....	33.
Figure IV.2 Diagramme Pertes de Chaleur F203.....	34
Figure IV.3 Diagramme pertes de Chaleur F204.....	35

BIBLIOGRAPHIE

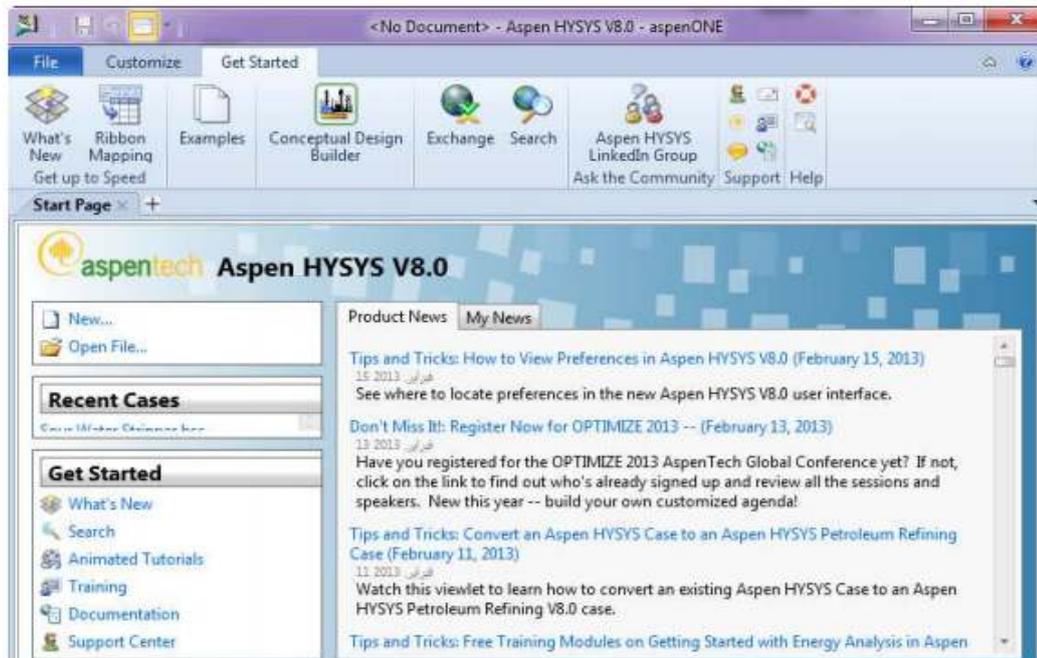
- [1] Manuel opératoire de l'unité de reforming catalytique U200 de la raffinerie d'Alger R1AG.
- [2] N.REBAI. «Simulation des procédés, Initiation au simulateur HYSYS », IAP école de Boumerdès, 2008.
- [3] P. WUITHIER : Raffinage et génie chimique, Tome II 2^{ème} édition 1972 –Paris.
- [4] Cours de fours, Mr benahmed (GRP), IAP Skikda 2012/2013.
- [5] ETUDE DES PERFORMANCES D'UN TURBO-EXPANDER Encadré par : PR.BOUMEDDANE Réalisé par :Bouali abderauf et Bourabia youcef (2015/2016) génie mécanique université de blida
- [6] Calcul du four F101 de l'unité de distillation atmosphérique U100 de la raffinerie d'Alger(RA1G) Réalisé par : Mr A.GRIOU et Mr F.SAADI encadré par : Mr M. BOUKABACHE promotion : 2012/2013 école de Skikda.

Manuel d'utilisation de HYSYS

Démarrage de HYSYS

Pour démarrer, cliquez sur Menu Démarrer aller vers : Aspen Tech >>Process Modeling V8.x >>>> Aspen HYSYS >>Aspen HYSYS

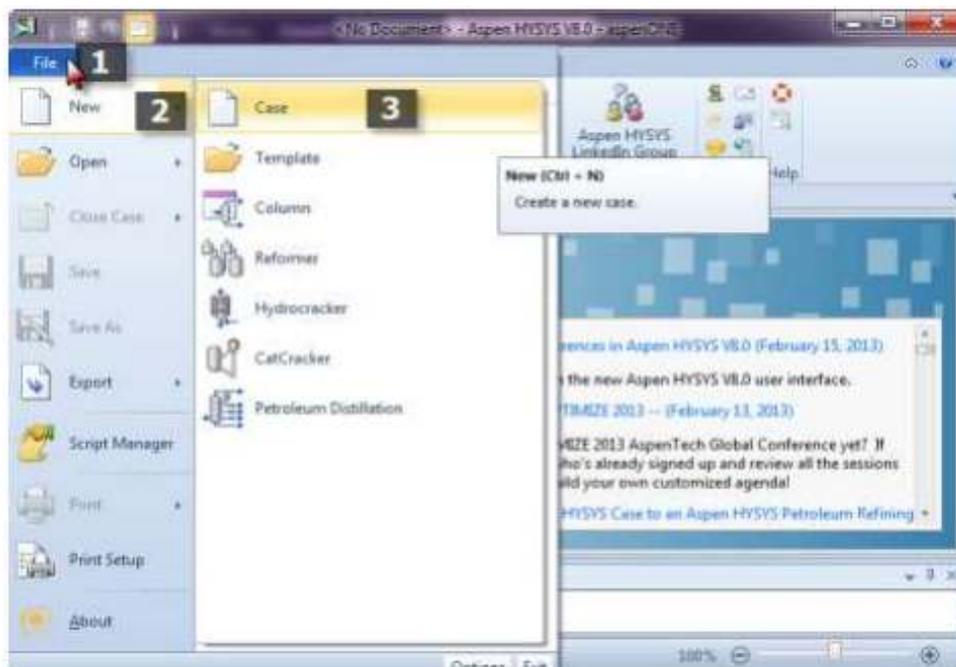
On obtient la fenêtre suivante:



Remarque :on a utilise le logiciel HYSYS de version 8.x

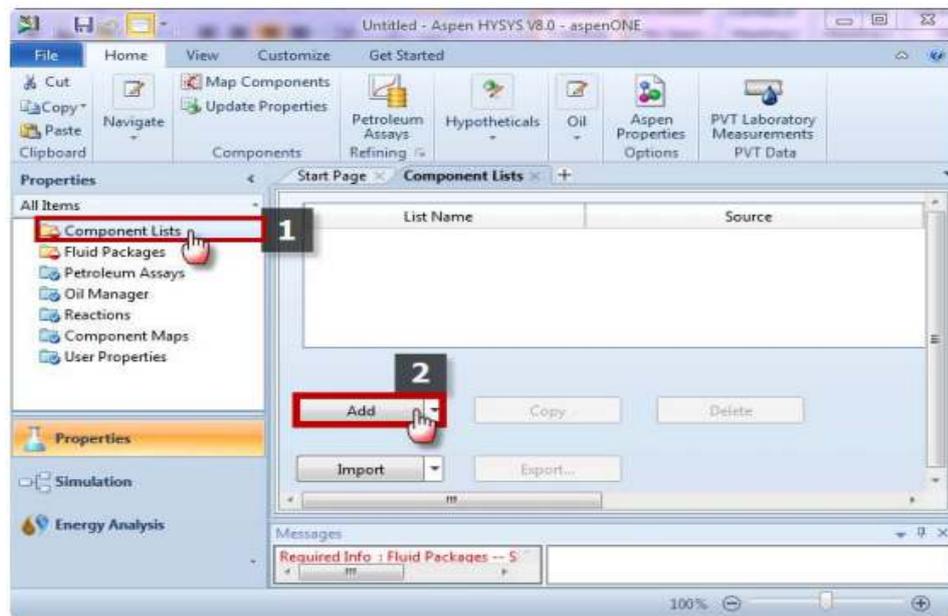
1-Création d'un fichier :

Cliquer sur le bouton : File>> New>> Case

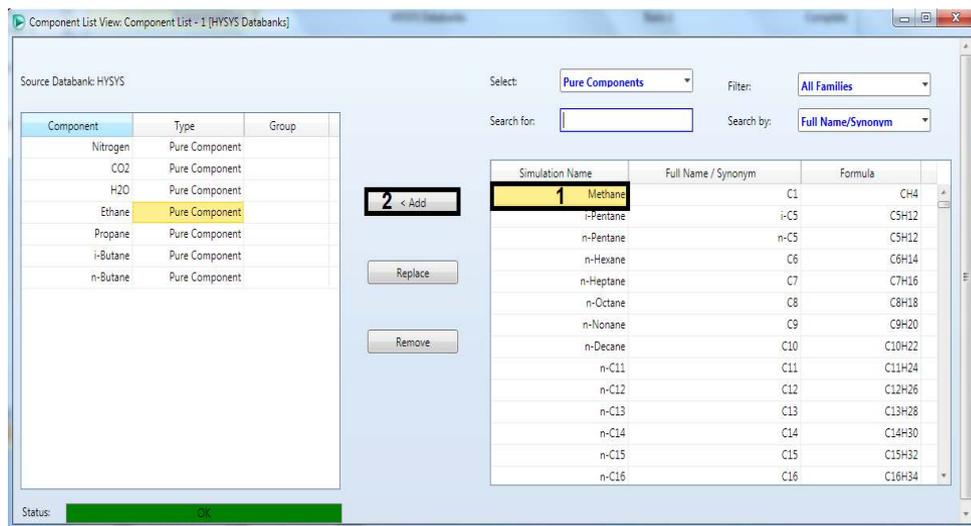


Manuel d'utilisation de HYSYS

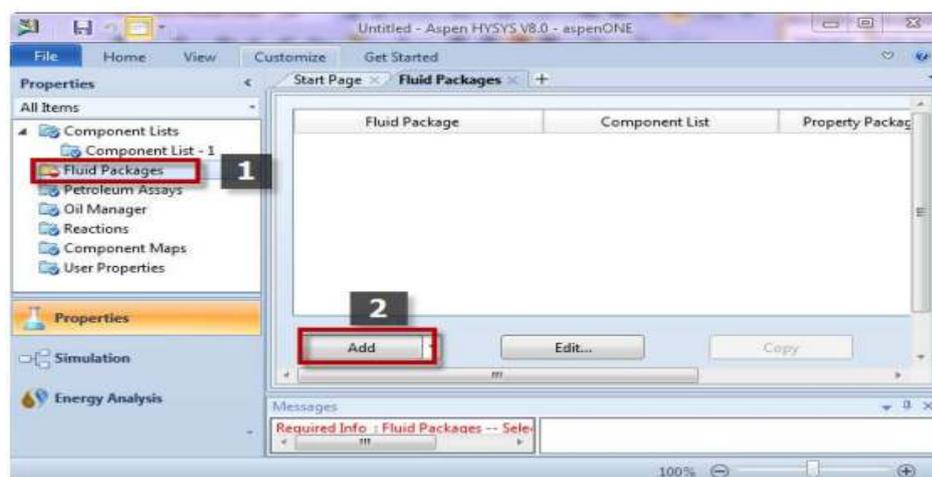
2-Créer une liste de constituants :



- Rajouter à la liste le constituant sélectionné

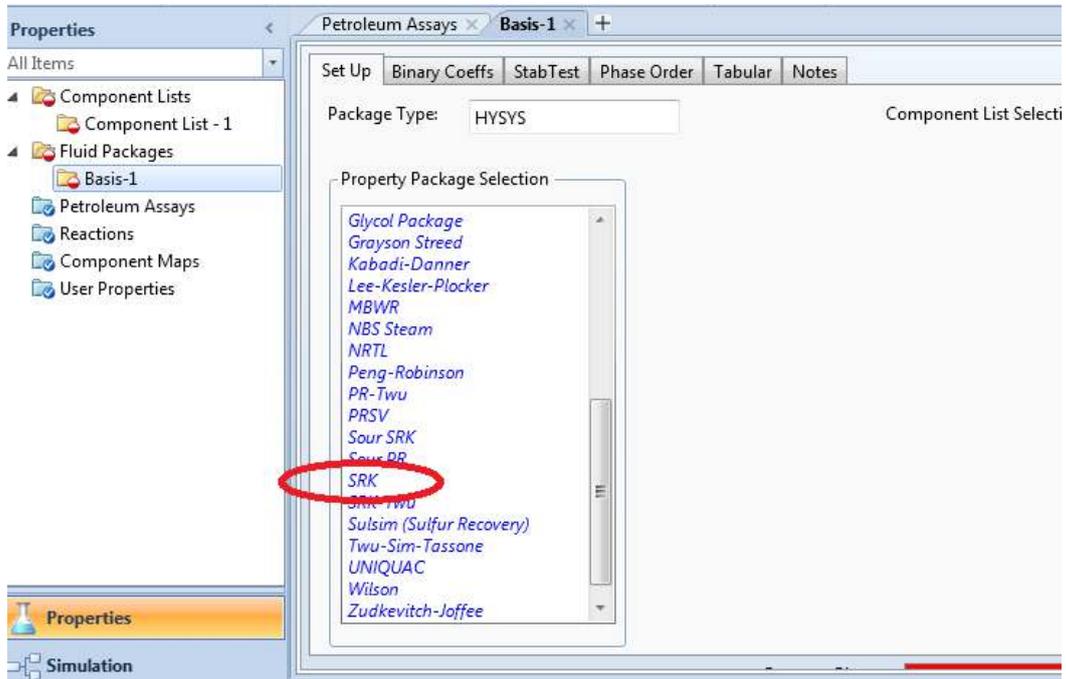


3-Choisir modelé d'équation d'état:

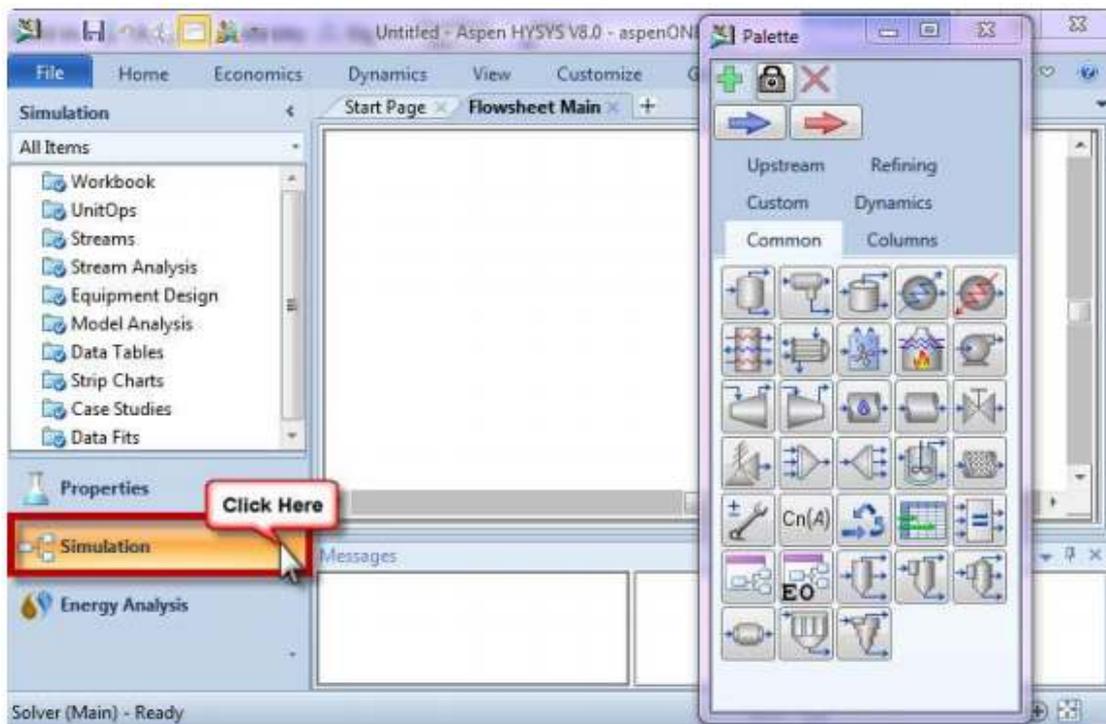


Manuel d'utilisation de HYSYS

- Dans ce cas, sélectionner SRK

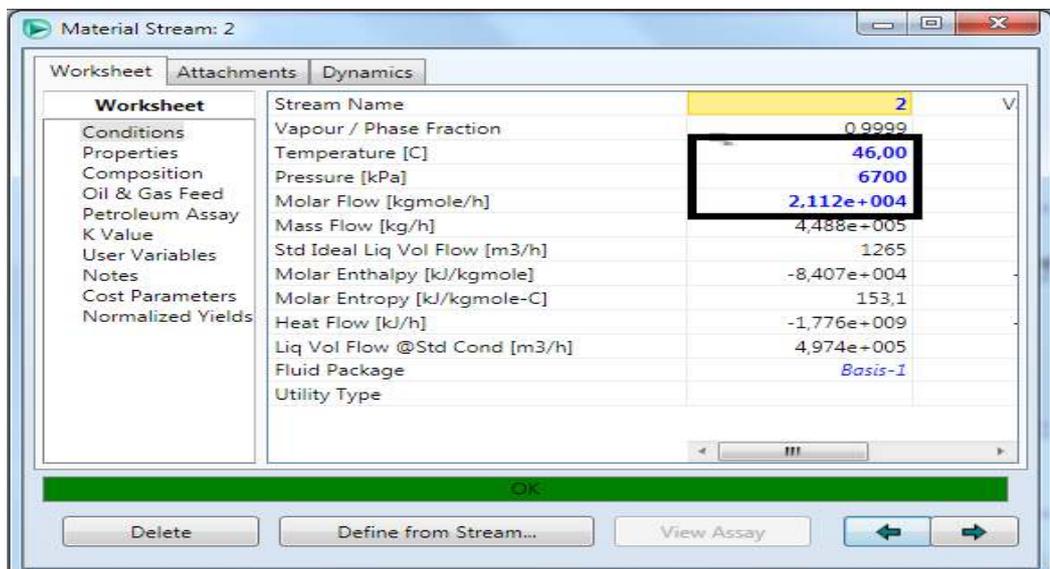
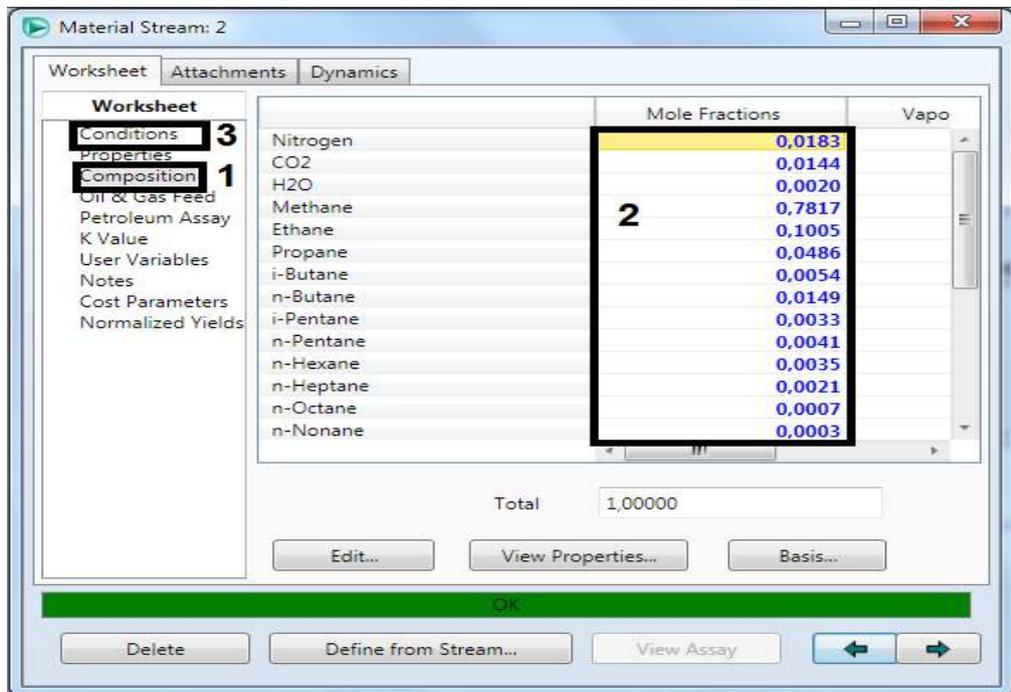
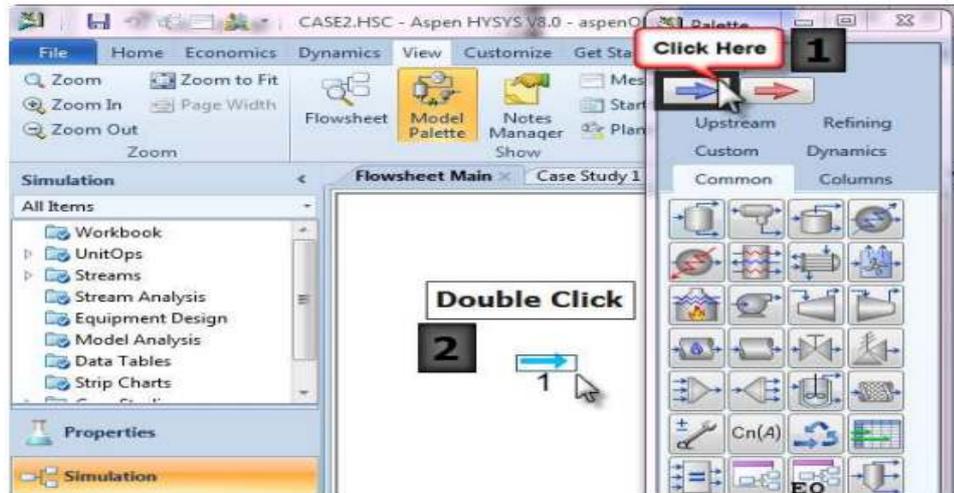


4- Cliquer sur le bouton Enter Simulation:



Manuel d'utilisation de HYSYS

5-Composants du procédé, Entrée Les Conditions Opératoires :

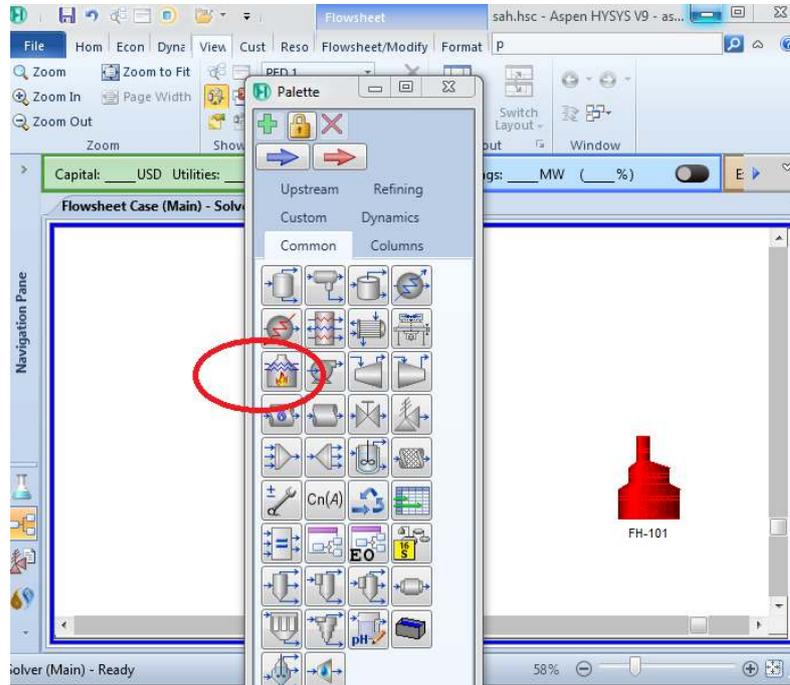


Manuel d'utilisation de HYSYS

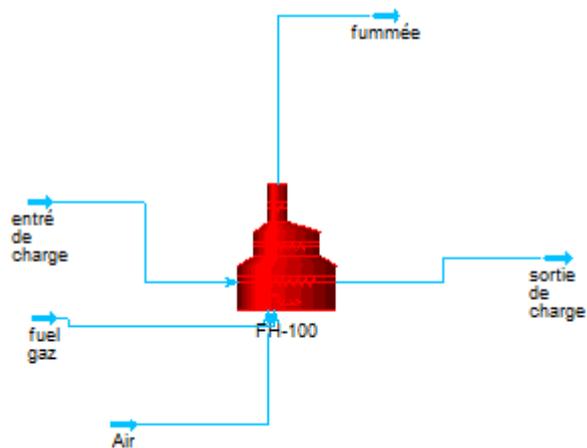
Présentation générale d'une opération unitaire :

1. Par Exemple FOUR:

Dans la palette :



2. connectez les entrées +les sorties de fours



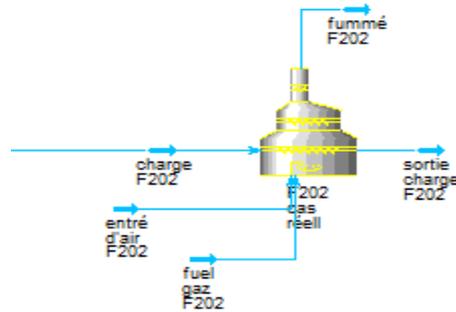
Manuel d'utilisation de HYSYS

3. Précision les paramètres d'entrée :

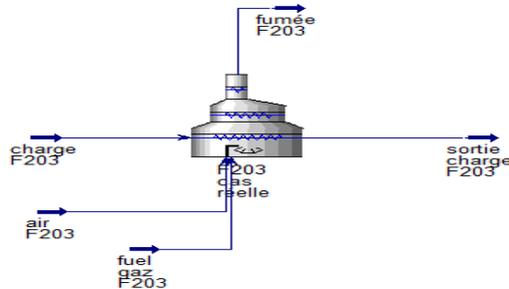
- Les analyses au laboratoire de la raffinerie d'Alger montre que les pourcentages de la charge entré avec le fuel gaz (gaz de Hassi Rmel +le gaz process) est données dans le tableau ci-après .
- On obtient l'air est de : 21% d'oxygène et 79% d'azote.

	entré charge F204	air F204 design	fuel gaz f204 desic
Cyclopentane	0,0014	0,0000	0,0000
Cyclohexane	0,0406	0,0000	0,0000
Myclohexane	0,0909	0,0000	0,0000
Eyclohexane	0,0799	0,0000	0,0000
n-Pcyhexane	0,0579	0,0000	0,0000
n-Bcyhexane	0,0353	0,0000	0,0000
Pent-CC6	0,0068	0,0000	0,0000
n-Butane	0,0006	0,0000	0,0018
n-Pentane	0,0076	0,0000	0,0090
n-Hexane	0,0800	0,0000	0,0008
n-Heptane	0,1247	0,0000	0,0000
n-Octane	0,1301	0,0000	0,0000
n-Nonane	0,1122	0,0000	0,0000
n-Decane	0,0858	0,0000	0,0000
n-C11	0,0229	0,0000	0,0000
Benzene	0,0169	0,0000	0,0000
Toluene	0,0215	0,0000	0,0000
E-Benzene	0,0846	0,0000	0,0000
Ethane	0,0003	0,0000	0,0618
Methane	0,0000	0,0000	0,6700
Propane	0,0000	0,0000	0,0248
Hydrogen	0,0000	0,0000	0,2318
H2O	0,0000	0,0000	0,0000
Oxygen	0,0000	0,2100	0,0000
Nitrogen	0,0000	0,7900	0,0000
CO	0,0000	0,0000	0,0000
CO2	0,0000	0,0000	0,0000

Présentation d'un four non convergé :



Présentation d'un four convergé :



Selon la méthode de résolution et les données disponibles, peut spécifier :

Méthode 1

1. Le flux, la température et la pression d'entrée sont connus.
2. Spécifier la pression de sortie.
3. Spécifier une des deux efficacités (isentropique ou polytropic).
4. Hysys calcule l'énergie nécessaire, la température de sortie et l'autre efficacité.

Méthode 2

1. le flux, la température et la pression d'entrée sont connus.
2. Spécifier une des efficacités (isentropique ou polytropic).
3. Spécifier l'énergie attachée au compresseur (duty).
4. Hysys calcule la pression et la température de sortie, ainsi que l'autre efficacité.

Méthode 3

1. Le flux, la température et la pression d'entrée sont connus.
2. Spécifier l'efficacité (isentropique ou polytropic).
3. Spécifier la température de sortie.
4. Hysys calcule la pression de sortie, l'énergie nécessaire et l'autre efficacité.