



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES



N° d'ordre : M2...../GPE/2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DEMASTER ACADIMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option : Génie des procédés de l'environnement

Thème

Vérification thermique du four D avec les deux rebouilleurs

Présenté par

1- BENHENNI Nouredine.

Soutenu le 29 /06/ 2020 devant le jury composé de :

Président :	M ^r	MEKHATRIA Djilali	Grade :	MCB	Université de Mostaganem
Examineur :	M ^{elle}	DELALI Halima	Grade :	MAA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	M ^{me}	BOUBEGRA Naima	Grade :	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2019/2020



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES



N° d'ordre : M2.../GC/2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DEMASTER ACADIMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option : Génie Chimique

Thème

Vérification thermique du four D avec les deux rebouilleurs

Présenté par

1-BENALIOUA Touhami Nadir

Soutenu le 29 /06/ 2020 devant le jury composé de :

Président :	M ^r MEKHATRIA Djilali	Grade : MCB	Université de Mostaganem
Examineur :	M ^{elle} DELALI Halima	Grade : MAA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	M ^{me} BOUBEGRA Naima	Grade : MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2019/2020

Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier notre **DIEU** de nous avoir donné de la force et de la sagesse pour pouvoir accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier nos familles, nos amis qui nous ont aidé à faire ce travail.

Nous tenons à remercier aussi notre encadreur Madame **BOUBEGRA Naima** enseignante à l'université de Mostaganem pour sa disponibilité et pour son suivi de notre travail et aussi Madame **BOULAKOUD**.

Nous voudrions exprimer nos plus vifs remerciements à tous le personnel de l'unité GP2Z, pour leurs collaborations et leurs accompagnements avec leur savoir-faire et leurs grandes expériences professionnelles.

Nos profonds remerciements et notre gratitude vont aussi aux membres de jury, pour avoir accepté de juger notre travail.

A la fin, nous s'adressons aussi notre remerciement à ceux qui nous ont soutenu et participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parent ma mère et mon père pour leur pousser et motivation, leur amour et leur encouragement.

A mes frères.

A mes amis et mes camarades.

A ma famille et à toute les personnes qui m'ont encouragé et se sont données la peine de me soutenir durant cette formation.

Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieurs.

BENALIOUA Touhami Nadir

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parent ma mère et mon père pour leur pousser et motivation, leur amour et leur encouragement.

A mes frères.

A mes amis et mes camarades.

A ma famille et à toute les personnes qui m'ont encouragé et se sont données la peine de me soutenir durant cette formation.

Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieurs.

BENHENNI Noureddine

Sommaire

Introduction générale	1
CHAPITRE I : Présentation du complexe	
I.1 : Introduction	2
I.2 : Description générale du procédé	2
I.3 : Section.....	3
I.3.1 : Section Séparation	3
I.3.2 : Section réfrigération.....	5
I.3.3 : Section stockage	7
I.4 : les utilités	8
CHAPITRE II : Généralité sur GPL	
II.1 : Définition du GPL.....	10
II. 2 : Les sources d'obtention du GPL	10
II.3 : Les différents utilisations du GPL	11
II.4 : Composition du GPL	12
II.5 : Propriétés et caractéristique des GPL	12
II.6 : Risques liés au GPL	14
II.7 : GPL en Algérie.....	14
CHAPITRE III : Four	
III.1 : Introduction	16
III.2 : Four tubulaire.....	16
III.2.1 : Description générale.....	16
III.2.2 : Bruleurs	18
III.2.3 : Garnissages des parois du four	18
III.2.4 : Différents types de garnissage	18

III.3 : Contrôle et marche des fours.....	19
III.4 : Combustion	19
III.5 : Pouvoir calorifique inférieur et supérieur.....	20
III.6 : Pouvoir comburivore d'un combustible	20
III.7 : Rendement thermique d'un four	20
III.8 : Excès d'air	21
III.9 : La boucle d'huile chaude du complexe GP/2Z	21
III.9.1 : Description du circuit d'huile chaude.....	21
III.9.2 : Équipements principaux de la boucle d'huile chaude.....	22
 CHAPITRE IV : Rappelle sur notion transfert chaleur	
IV.1 : Introduction	23
IV.2 : Définition de la chaleur	23
IV.3 : Modes de transmissions de chaleur	23
 CHAPITRE V : Vérification thermique de four (D) et les deux rebouilleurs	
V.1 : Introduction et problématique.....	26
V.2 : Les calculs	26
V.2.1 : Les données nécessaires pour les calculs	26
V.2.2 : vérification thermique de four (D).....	27
V.2.3 : Vérification thermique des rebouilleurs.....	37
V.3 : Résultat.....	42
Conclusion générale	44

Liste des tableaux et figures :

Liste des figures

Figure I.1. Schéma général du procédé de séparation du GPL	09
Figure II.1 : Consommation du GPL en Algérie	15
Figure III.2.1 : Schéma principal d'un four tubulaire	17
Figure III.9 : Circuit de la boucle d'huile chaude	22
Figure V.B : Schéma de la section de séparation (Cas actuel)	37
Figure.V.B.2 : Schéma de la boucle d'huile avec les deux rebouilleurs des deux colonnes de séparation	39

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Propriétés physico-chimiques du GPL	13
Tableau II.2 : Quantité du GPL produit du raffinage du pétrole brut	14
Tableau V.1: Paramètres et condition de service des fours (cas design)	27
Tableau V.2: Caractéristiques d fluide caloporteur huile TORADA TC (cas design)	27
Tableau.V.3 : Composition du combustible d'alimentation du four	28
Tableau.V.4 : Pouvoir calorifique du combustible d'alimentation du four	29
Tableau.V.5 : Le dédit théorique d'O ₂ nécessaire pour la combustion pour chaque constituant	30
Tableau.V.6 : Composition et débit des fumées de la combustion	32
Tableau.V.7 : Chaleur spécifique des fumées à 20°C et à 350	33
Tableau.V.8 L'enthalpie de la charge GPL	40
Tableau.V.9. L'enthalpie Du distillat	41
Tableau.V.10 : L'enthalpie du résidu	41
Tableau.V.11 : L'enthalpie du condenseur	42

Résumé

Le complexe GP2 / Z est sous la responsabilité de Sonatrach, la société nationale de transport. Qui fait la séparation de GPL pour la production de C3 et C4. Ce dernier fonctionne avec un cycle fermé. Dans ce cycle, il y a le four qui représente une partie essentielle de ce cycle pour chauffer un fluide caloporteur qui est l'huile TORADA TC.

Le four doit supporter l'opération de transfert de chaleur vers le fluide caloporteur, ce qui se fait par les trois modes connus de transfert de chaleur, à savoir : la conduction, la convection et le rayonnement. La source d'énergie provient de la combustion.

L'objectif de cette étude est la possibilité d'utiliser le four D de (12 brûleurs) pour gérer les deux rebouilleurs en cas d'arrêt du deuxième four C (10 brûleurs) ou la construction d'un nouveau complexe à l'avenir tout en gardant le courant quantité de production (174T / h) charge GPL.

Summury

The GP2 / Z complex is the responsibility of Sonatrach, the national transport company. Who does the separation of GPL for the production of C3 and C4. The latter operates with a closed cycle. In this cycle there is the Oven which represents an essential part in this cycle for heating a heat transfer fluid which is TORADA TC oil.

The oven must support the heat transfer operation to the heat transfer fluid, which is done by the three known modes of heat transfer, namely: conduction, convection and radiation. The energy source comes from combustion.

The objective of this study is the possibility of using the oven D of (12 burners) to manage the two reboilers in case of shutdown of the second oven C (10 burners) or the construction of a new complex in the future while keeping the current production quantity (174T / h) GPL load.

ملخص حول المذكرة

ينتمي مركب جي بي 2 إزاد شركة النقل الوطنية من يقوم بفصل جي بي يل لإنتاج بروبان وبوتان وتعمل الأخيرة دائرة مغلقة.

في هذه دائرة يوجد الفرن الذي يمثل جزءاً أساسياً في هذه دائرة لتسخين سائل نقل الحراري تورادا تي سي 32 ويجب أن يدعم الفرن عملية نقل الحرارة إلى مائع نقل الحرارة، والذي يتم من خلال الأساليب الثلاثة المعروفة لانتقال الحرارة، وهي: التوصيل والحمل الحراري والإشعاع.

الهدف من هذه الدراسة هو امكانية استخدام فرن دي 12 شعلة لإدارة الغلايتين في حالة اغلاق الفرن الثاني (10 شعلة) او بناء مجمع جديد في المستقبل مع الحفاظ على التيار كمية الإنتاج (174 طن / ساعة)حمولة).

Introduction générale

Le monde d'aujourd'hui a connu une croissance importante d'utilisation des énergies fossiles tel que le pétrole, mais la crise de ce dernier a donné une importance croissante au gaz naturel comme source d'énergie car c'est la moins polluante et la plus importante des énergies fossiles.

Le GPL est une énergie propre non-renouvelable bien répartie dans le monde. Cette dernière est caractérisée par sa souplesse d'utilisation, abondance relative, qualité écologique, prix compétitive.

Le GPL est connu depuis l'antique, son utilisation s'est généralisée surtout après la seconde guerre mondiale.

Le gaz de pétrole liquéfié (GPL en abrégé) est un mélange d'hydrocarbures légers, stocké à l'état liquide et issu du raffinage du pétrole ou isolé du gaz naturel.

Le gaz de pétrole liquéfié est un mélange composé essentiellement du C_3 et C_4 ainsi des traces de méthane, éthane et pentane et d'autres hydrocarbures insaturés Le GPL peut facilement devenir liquide sous certaines conditions de températures et de pression pour rendre sa manipulation, son transport et son stockage facile.

La capacité actuelle (2020) du complexe GP2Z est maintenue à environ 174 T/h De GPL traités avec deux fours en service 401/6201C/D et les deux splitters 407/6201A/B.

L'objectif de notre étude est la vérification thermique du four D, c.à.d. vérifier la possibilité de travailler avec un seul four (four D) pour alimenter les deux rebouilleurs des deux colonnes de séparation, afin de minimiser l'installation du procédé et de diminuer aussi la consommation énergétique et dernièrement le cout.

I.1 : Introduction

Le complexe GP2/Z est l'un des deux complexes de séparation de GPL dont le but est la production du propane (C_3H_8) et du butane (C_4H_{10}) pour le marché national et international, il appartient à la division liquéfaction de la branche LTH. Ce complexe produit une capacité de 1.8 MT/an de GPL.

Ce complexe est situé à 4 Km de la ville d'Arzew et qui s'étend sur une superficie de 13,5 hectares. Il comporte deux trains (semi-modulaires) et un en arrêt, utilisant le procédé de distillation sous pression pour produire du propane et du butane.

Le complexe GP2/Z est un complexe qui a été construit par une société anglaise G.J.B et mise en marche en mars 1973. Ce dernier a presque 30 ans d'existence, les dates à retenir sont :

- **1970** : Début du projet de construction du complexe par la société anglaise G.J.B.
- **1973** : Première mise en marche du complexe avec une capacité de production de 4 tonnes/an de GPL et condensat.
- **1984** : Arrêt total du complexe à raison de stabilisation des condensats au niveau des champs de sud.
- **1990** : Redémarrage à nouveau du complexe après la réalisation de certaines modifications avec une capacité de production de 642 000 T/an du GPL.
- **1996** : Installation de la salle DCS (Distributed Control System).
- **1999** : extension du complexe en vue de traiter une capacité de 1,8 millions de tonnes par an.

Actuellement, le complexe peut assurer une capacité de production de 1.8 MT/an du GPL.

I.2 : Description générale du procédé

La charge GPL provenant des champs sahariens, est pompée vers le nord à travers des stations de pompage et transite par RTO.

Le GPL (gaz pétroliers liquéfié) est composé principalement du propane et du butane avec une faible teneur en méthane, éthane et pentane.

A l'entrée du complexe, la charge passe dans un filtre pour éliminer toutes sortes d'impuretés et stocker dans 4 sphères de stockage tampon qui assurent la marche en sécurité du complexe en cas du problème au niveau des stations de pompage et du transport.

A la sortie de la sphère, le GPL est envoyé vers la section de déshydratations pour diminuer la teneur en eau dans le GPL (< 1 ppm), puis il est envoyé vers les deux splittes pour être séparé en propane et en butane.

Le propane est récupéré en tête de la colonne puis envoyé vers la section de réfrigération où il est refroidi en trois stades (HP, MP, BP) puis il est stocké comme produit fini commerciale C3C dans un bac de capacité de 70 000 m³ à la pression atmosphérique et avec une température de -42 °C. L'autre partie est utilisée comme reflux vers la colonne.

Le butane obtenu en bas de la colonne est divisé en deux parties. La partie vapeur retourne vers la colonne pour y maintenir la chauffe en fond de colonne. La partie liquide restante du butane passe dans un préchauffeur pour chauffer la charge GPL qui entre dans le splitter puis envoyée vers la section de réfrigération et stockée en tant que produit fini commerciale C4C à une température de -12 °C. le butane est aussi stocké dans deux sphères à la température ambiante pour être utilisé dans le marché national.

I.3.1 : Section Séparation

1. Section stockage tampon

A l'entrée du complexe, le GPL subit une détente jusqu'à 19 bar puis il est envoyé vers des sphères de stockages tampon où le débit de stockage de la charge sortante est égal au débit de la charge entrante. Le GPL est stocké à température ambiante et à la pression de 8 bars. En cas d'augmentation de pression, la vanne s'ouvre vers la torche via le ballon de combustible.

Le mélange GPL est pompé des sphères vers l'unité déshydratation pour éliminer les molécules d'eau (la plus grande quantité).

2. Section déshydratation

Cette unité sert à diminuer la teneur en eau dans le GPL qui doit être inférieure à 1 ppm. Cette unité contient les équipements suivants :

- Un coalesceur d'alimentation 440/6203.
- Deux sécheurs (adsorbours) 440/6202/A/B.
- Deux filtres de GPL 440/6205/A/B.
- Un préchauffeur des gaz de régénération 405/6203.
- Un aérocondenseur des gaz de régénération 405/6229.
- Un séparateur des gaz de régénération 410/6214.

La déshydratation est une opération de séchage qui a pour but d'éliminer l'eau libre et l'eau dissoute dans le GPL.

Au départ, la charge GPL est aspirée par les pompes et ensuite acheminée vers le coalesceur où une grande partie de l'eau libre est éliminée du GPL par coalescence des gouttes d'eau en suspension à travers les éléments filtrants puis séparée par gravité.

A la sortie du coalesceur, la charge est envoyée vers l'adsorbeur qui est constitué d'un lit de tamis moléculaire. Ces tamis servent à piéger l'eau contenue dans le GPL puisque l'eau est polaire, elle est attirée par les tamis. Le GPL étant apolaire passe normalement les tamis. Lors du passage de la charge de GPL à travers le lit du tamis moléculaire, l'eau est adsorbée, ensuite éliminée par la chaleur durant le cycle de régénération.

En fin, la charge GPL sort avec une teneur en eau qui est inférieure à 1 ppm et ensuite envoyée vers la section séparation.

3. Section séparation

L'unité de séparation est une unité qui sert à séparer le mélange GPL en 2 produits distincts qui sont le propane et le butane. Cette séparation est basée sur le principe de volatilité, ce qui signifie que le propane le plus volatil est récupéré en tête de la colonne ainsi que le butane le moins volatil est récupéré en bas de colonne (dans le rebouilleur).

La section de séparation contient essentiellement deux trains (deux splitter), chaque train comprend les équipements suivants :

- Un préchauffeur de la charge GPL 405/6201/A/B.
- Une colonne de séparation 407/6201/A/B à 46 plateaux.
- Une batterie d'aérocondenseurs 402/6202/A/B et 405/6204/A/B.
- Un ballon de reflux 410/6201/A/B.
- Deux pompes de reflux 425/6202/A/B.
- Un rebouilleur 405/6224/A/B.

Avant l'entrée de la colonne de séparation, la charge GPL passe par un préchauffeur 405/6201 où elle est préchauffée par le butane qui sort du fond de la colonne c.à.d. le butane qui vient du rebouilleur. La charge entre avec une pression élevée de 22.5 bars.

Le courant GPL préchauffé est introduit dans la colonne de séparation au niveau du 24^{ème} plateaux qui correspond au plateau d'alimentation. Au niveau de ce plateau se fait la séparation, les hydrocarbures légers se séparent du courant d'alimentation d'où le propane se vaporise et il est obtenu au sommet de la colonne. Ce dernier passe par une batterie d'aérocondenseurs 405/6202 et 405/6205 où il est condensé en totalité.

Le propane après sa condensation est récupéré dans un ballon de reflux 410/6201 d'où il est devisé en deux parties. Une partie est aspirée par l'une des pompes de reflux 425/6202 et réintroduite au sommet de la colonne comme un reflux du liquide. L'autre partie va à la section de réfrigération via LV 6226.

Le butane liquide qui est le moins volatil est obtenu dans le fond de la colonne, entre dans le rebouilleur 405/6224 où il subit une vaporisation partielle. La partie qui est vaporisée retourne dans la colonne de séparation au-dessous du 46^{ème} plateaux. La partie liquide du butane est envoyée vers la section réfrigération via la LV 6201 tout en passant par le préchauffeur qui sert à chauffer le GPL entrant dans la colonne.

I.3.2 : Section réfrigération

Le butane et le propane qui sortent de la colonne de séparation vont être refroidis par 5 Schillers, deux chiller pour le butane et trois chiller pour le propane. Ce dernier passe dans une boucle fermée à différentes températures 11,8, - 16,9 et - 40,3 °C. Ces températures correspondent à différents pression là-haut (6 bar), moyen (1.8 bar), base (0.5 bar), tous ce qui est refroidis va être stockés dans les bacs à la pression atmosphérique (1bac pour le propane et 1 bac pour le butane) pour les commercialiser. Le butane est stocké à -12°C et le propane à -42°C. une quantité du propane réfrigéré est utilisé comme un agent de refroidissement de stocke dans un ballon accumulateur 410/6217.

1. Circuit propane commercial

Le propane qui vient des deux ballons de reflux des trains A/B vas être envoyé vers l'aéroréfrigérant puis vers les trois Schiller, au niveau du premier Schiller qui travaille à haute pression, la température va être diminuée de 40°C à 14.5°C. Dans le cas où le propane contient toujours des eaux libres, l'élimination de cette d'eau par déshydratations de garde est obligatoire pour bien garantir que le propane ne contienne plus d'eau dans le but d'éviter toute formation d'hydrates pour éviter le bouchage au niveau des tubes de faible diamètre, la teneur de propane qui sort de la déshydratation ne doit pas dépasser 1ppm. En suite le produit passe par un étage de moyenne pression à travers un deuxième Schiller, d'où il sort à une température de -14,6°C.

Le propane commercial passe ensuite à l'étage BP de réfrigération à travers un troisième Schiller d'où il sort à une température de $-37,7\text{ °C}$.

Le propane réfrigéré passe par un ballon de détente où il est détendu à 0,4 bar pour atteindre la température de -45 °C . Cette dernière température correspond à la température du stockage du propane réfrigéré comme produit fini dans un bac de stockage.

2. Circuit du butane commercial

Le butane commercial sort au fond des deux colonnes de séparation avec une température de 40 °C puis il est acheminé sous contrôle de niveau vers l'aéroréfrigérant d'où il passe par deux étages (HP, BP) des deux Schiller pour le stocker à -12 °C . Le butane entre au niveau du premier étage HP du Schiller avec une température de 40 °C et il sort à 14 °C . Après il passe par le deuxième Schiller de BP d'où sa température va atteindre -11 °C . Finalement le produit réfrigéré va être stocké dans un bac de stockage avec une température de -12 °C .

Le butane ambiant, quant à lui, une partie qui sort de l'aéroréfrigérant est acheminée vers les sphères du butane ambiant. Ces dernières sphères contiennent une vanne de pression qui fait partie du circuit du fuel-gaz. Dans les sphères du butane ambiant, la pression est maintenue à 8 bars.

3. Boucle de réfrigération au propane

Le propane pur est stocké dans le ballon du propane réfrigérant 410/6217 à une pression d'environ 16 bars et à une température avoisinant les 40 °C . Le ballon alimente sous contrôle de niveau les deux Schillers hautes pression côté calandre.

Le propane pur entre respectivement dans les Schillers 405/6205 et 405/6210 à une pression de 6 bars et à une température de $11,8\text{ °C}$, le 1^{er} stade de refroidissement correspond à la haute pression : HP

Le Schiller 405/6205 alimente le Schiller du 2^{ème} stade de refroidissement du propane commercial le 405/6206 et le Schiller 405/6210 alimentent le Schiller du 2^{ème} et dernier stade de refroidissement du butane commercial le 405/6212.

Le propane pur entre respectivement dans les Schiller 405/6206 et 405/6212 à une pression de 1.8 bars et à une température de $-16,9\text{ °C}$. Le 2^{ème} stade de refroidissement correspond à la moyenne pression : MP.

Au niveau du 3^{ème} stade de réfrigération il n'y a que le propane commercial qui est refroidi le butane ayant terminé son cycle. Le Schiller 405/6206 alimente le schiller du 3^{ème} stade de refroidissement du propane le 405/6207 à une pression de 0.5 bars et à une température de – 40.3°C. Le 3^{ème} stade de refroidissement correspond à la basse pression : BP.

A chaque étage, les vapeurs des Schiller sont reprises par le compresseur via des ballons séparateurs qui permettent d'éliminer toutes gouttelettes de liquide entraînées avec les vapeurs de propane. Elles sont comprimées dans un compresseur centrifuge étagé entraîné par une turbine à gaz et refoulées vers les aéroréfrigérant 405/6209/A/B pour être condensées et retournées au ballon 410/6217 pour un nouveau cycle.

I.3.3 : Section stockage

Cette section comprend 2 bacs de stockage pour stocker le propane et le butane commercial réfrigéré. Chaque bac a une capacité de 70 000 m³. Un bac pour le propane (420/6204) et un pour le butane (420/6205). Cette section comprend aussi deux sphères pour le stockage du butane ambiant avec une capacité de 1115 m³ chacune.

Le propane commercial (C3_c) qui arrive depuis le ballon 410/6201 de la section BOG est stocké à l'état liquide dans un bac d'une capacité de 70 000 m³. Ce dernier contient 4 pompes (425/6104A-B-C-D) immergées dans le bac afin d'assurer l'expédition de propane vers les quais de chargement. La pompe 425/4104 D sert à refroidir la ligne d'expédition du (C3_c) à une température de -47 °C.

Le butane commercial (C4_c) passe par les mêmes conditions de stockage, sauf que la température du stockage est de -12 °C.

Le butane ambiant qui a les mêmes propriétés que celle du (C4_c) est stocké dans deux sphères (420/6501E-F) à une pression de 8 bars et à la température ambiante. Les deux sphères du stockage ont une capacité identique de 1115 m³.

1. Bac propane

Ce réservoir assure le stockage du propane à la pression atmosphérique et à une température de -45 °C. Le bac est muni de trois soupapes de sécurité tarées à différents paliers de pression respectivement à 1010, 1030 et 1060 mm H₂O.

2. Bac butane

Ce réservoir a pour but d'assurer le stockage du butane à la pression atmosphérique et à une température de - 12°C. Le bac est muni de trois soupapes de sécurité tarées à différents paliers de pression respectivement à 1010, 1030 et 1060 mm H₂O [1].

I.4 : Les utilités

Ils sont constitués des réseaux suivants :

1. Réseau fuel gaz

Il est destiné à alimenter les fours de rebouilleur, turbines, les pilotes de torches et le stockage de GPL et butane.

2. Réseau d'électricité

Pour les besoins en énergie électrique, le complexe dispose de deux sources d'alimentation, le réseau SONELGAZ et un système de génération interne.

3. Réseau d'air instrument

Un groupe de trois compresseurs entraînés par moteurs électriques assure la fourniture des besoins en air.

4. Réseau gaz inerte (azote)

Ce réseau permet d'assurer les opérations d'inertage des équipements préalablement aux travaux de pénétration et soudure.

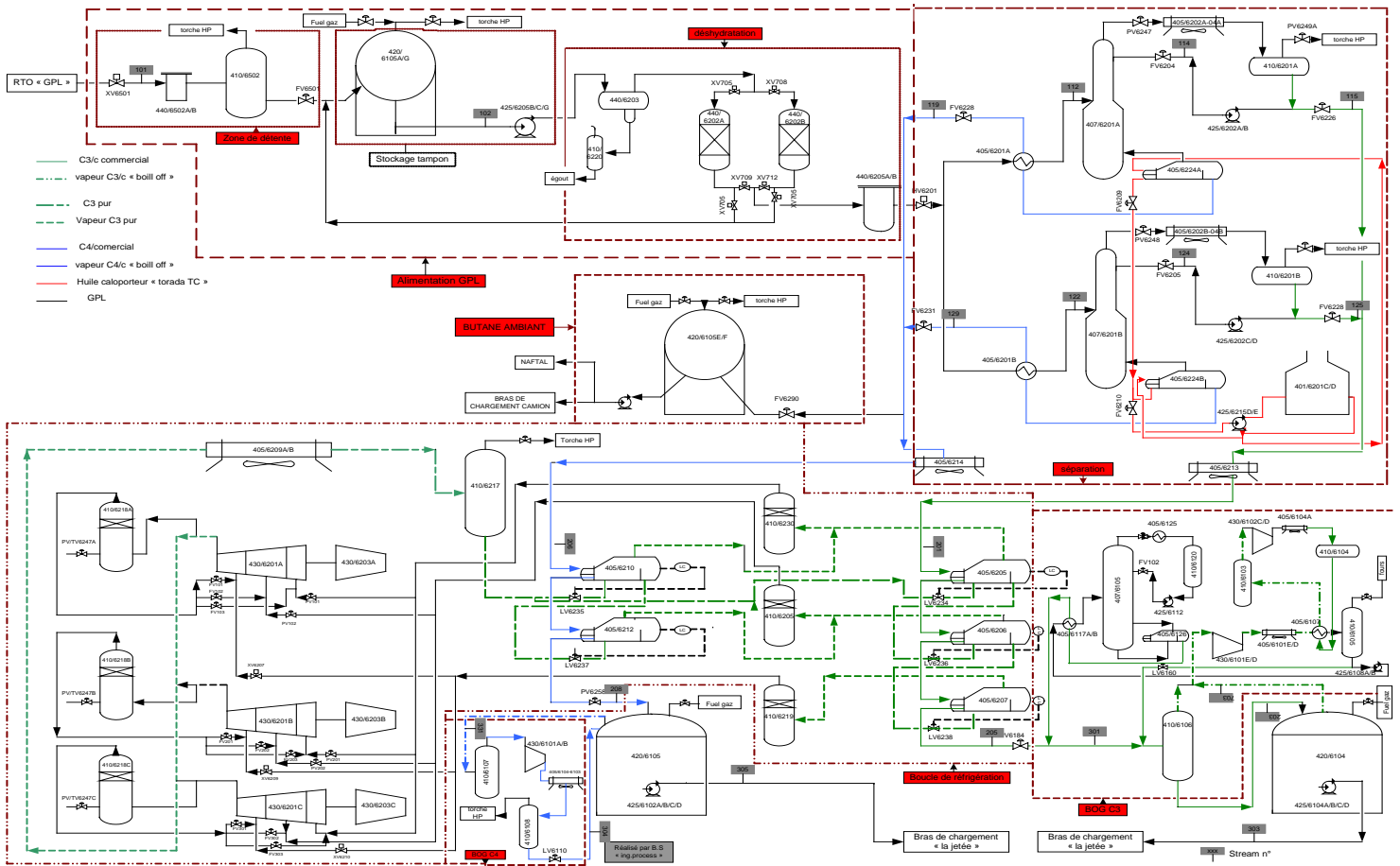
5. Réseau méthanol

Le réseau méthanol (injection du méthanol) est mis en place pour permettre le dégivrage des lignes d'expédition du propane commercial. Le dépôt de givre est provoqué par la présence d'eau (H₂O) aux stades de réfrigération (MP) et (BP) où la température de congélation d'H₂O est facilement atteinte.

6. Réseau d'eau d'incendie

Il est composé d'une bache d'eau incendie avec pompes et d'un bac eau incendie.

Figure I.1. Schéma général du procédé de séparation du GPL.



II.1 : Définition du GPL

Le gaz du pétrole liquéfié ou bien le GPL (LPG en anglais) est un mélange d'hydrocarbures légers 'saturé', il est composé essentiellement du propane (C_3H_8) et du butane (C_4H_{10}). Sa composition chimique varie selon les normes et ses utilisations dans différents pays du monde. Le GPL provient de différentes sources (40 % du raffinage du pétrole, 60 % du gaz naturel).

Dans les conditions normales de température et de pression, le GPL est à l'état gazeux mais il peut se trouver à l'état liquide en passant à l'une des conditions suivantes [2] :

- Pression atmosphérique et température basse.
- Pression élevée et température ambiante.
- Pression modérée et température moyennement basse [3].

Le GPL est un combustible extrêmement inflammable et volatil, plus lourd que l'air. Ce dernier est inodore et incolore, par mesure de sécurité on lui donne une odeur particulière en ajoutant de mercaptans ce qui permet de le détecter en cas de fuite.

Le GPL s'est imposé essentiellement grâce à ses caractéristiques propres, son pouvoir calorifique important et sa souplesse d'utilisation ce qui le rend une énergie non polluante et plus respectueuse à l'environnement grâce à sa pauvreté en soufre.

Le GPL est devenu une énergie plus importante et plus sûre dans ses 30 dernières années, et il peut être utilisé dans différents domaines tels que le transport, la production d'électricité ... etc.

II.2 : Les sources d'obtention du GPL

Le GPL provient essentiellement de deux sources différentes, il est obtenu soit :

À partir de la distillation atmosphérique du pétrole brut (pour moins de 40 %) et fait partie des coupes les plus légères avec un taux de 5 % des produits obtenus : une tonne du pétrole brut après son raffinage peut produire une quantité de 20 à 30 Kg de GPL.

Ou bien à partir des champs de gaz naturel (pour plus de 60 %) : les champs de gaz naturel ont une composition moyenne de 90 % de méthane (CH_4), 5 % de propane (C_3H_8) et 5 % restante d'autres gaz tels que le butane. Le G.N extrait est refroidi dans le but d'obtenir et de séparer les différents constituants. Le GPL est obtenu alors à l'état liquide.

Le GPL peut provenir aussi à partir des unités de : Hassi Messaoud, Hassi Rmel, Ain Amenas.

II.3 : Les différentes utilisations du GPL

De nos jours le GPL est devenu une source d'énergie importante grâce à sa propreté de combustion, son fort pouvoir calorifique ainsi qu'à sa grande pureté. Le GPL est utilisé dans différents domaines tels que : les secteurs industriels, commerciaux, domestiques ou bien aussi dans le domaine des loisirs.

Les GPL sont aussi utilisés comme carburants pour les automobiles, ou comme matière première pour la pétrochimie.

Parmi les différentes utilisations des GPL, on peut citer :

- **La combustion automobile GPL/c**

Dès 1912 le GPL est utilisé comme carburant pour les véhicules mais il a été utilisé comme une source d'alternance. Après les années 80, il est devenu une énergie favorable dans certains pays et permet le développement des voitures équipées de la bicarburation. Le GPL/c possède un indice d'octane élevé ce qui permet sa substitution à l'essence sans qu'il ait une modification au niveau du moteur. Comme le GPL/c produit moins de CO₂ et CO, il est devenu une énergie respectueuse à l'environnement.

- **Climatisation**

Dans le domaine de climatisation il existe deux principes qui peuvent être réalisés :

Les GPL ont une particularité d'absorber la chaleur de l'environnement et de créer le froid.

Un moteur qui fonctionne aux GPL peut entraîner un compresseur qui comprime ce gaz, la détente absorbe de la chaleur et crée du froid.

- **Utilisations industrielles**

Le GPL peut être utilisé dans :

- Le chauffage des bacs d'acide.
- La fabrication de caoutchoucs synthétiques.
- La fabrication de produits insecticides.
- Le ramollissement du plastique avant son formage.

- De nos jours il existe plusieurs appareils qui sont conçus à s'adapter à l'utilisation du GPL.

II.4 : Composition du GPL

Le GPL est composé principalement du propane et du butane. Sa composition chimique varie selon certaines normes et selon aussi son utilisation dans le monde. Ainsi que le GPL en France est composé de 50 % de propane et de 50 % de butane. Aux états unis d'Amérique, le GPL est composé de 95 % de propane et de 5 % de butane.

Mais le GPL peut contenir aussi d'autres composants avec une faible teneur tels que : le méthane, éthane, pentane, propylène et finalement des hydrocarbures insaturés comme le butadiène ou l'acétylène.

II.5 : Propriétés et caractéristique des GPL

Dans les conditions normales de température et de pression les GPL sont à l'état gazeux. Ils peuvent être facilement liquéfiés dans le but de rendre leurs manipulations et leurs transports faciles.

Les propriétés physico-chimiques des GPL tels que : tension de vapeur, poids spécifique, ...etc. dépendent de leur composition en divers hydrocarbures. Le tableau II.1 permet de voir les propriétés physico-chimiques du GPL.

Le GPL est un produit inodore et incolore, avant sa commercialisation et pour des raisons de sécurité on lui ajoute des mercaptans.

Le GPL possède un pouvoir calorifique élevé :

- Pour le propane le PC = 12 200 Kcal/Nm³.
- Pour le butane PC = 11 800 Kcal/Nm³.

Le GPL est un gaz facilement inflammable lorsqu'il est mélangé avec l'air ou bien l'oxygène. Sa limite d'inflammabilité inférieure est relativement basse ce qui le rend dangereux lorsqu'il y a une fuite.

Le GPL est caractérisé par un indice d'octane naturellement élevé, il peut atteindre aisément 98 [2]. Le GPL est non-corrosif vis-à-vis des aciers mais il est habituellement pour l'aluminium, le cuivre et les alliages.

Propriétés	Propane	Butane
Poids moléculaire (g/mol)	44,096	58,123
Point de fusion (°C)	-187,7	-138
Chaleur latente de fusion (kJ/kg)	94,98	80,165
Masse volumique de la phase liquide A 1, 013 bars au point d'ébullition (kg/m ³)	582	601.4
Point d'ébullition (1,013 bars) °C	-42,1	-0,5
Chaleur latente de vaporisation (1,013 bars au point d'ébullition) kJ/kg	425,31	385,6
Pression de vapeur à 21 °C (bar)		
Température critique (°C)	96,6	152
Pression critique (bar)	42,5	37,96
Masse volumique du gaz à 1,013 bars au point d'ébullition (kg/m ³)	2,423	2,7
Facteur de compressibilité (z) à 1,013 bars et 15 °C	1,0193	0,9625
Chaleur spécifique à pression constante (Cp) A 1 bar et 25 °C (kJ/mole. °K)	0,075	0,096
Chaleur spécifique à volume constant (Cv) à 1 bar et 25 °C (kJ/ mole °K)	0,066	0,088
Température d'auto-inflammation (°C)	470	365

Tableau II.1 : Propriétés physico-chimiques du GPL.

II.6 : Risques liés au GPL

Le stockage du GPL se fait fréquemment à l'état liquide sous pression. Cette manière du stockage permet de le stocker dans un volume très réduit. En effet, 250 litres de GPL gazeux peuvent être réduits à 1 litre seulement de GPL liquide. Par conséquent une fuite de gaz peut donner un grand volume de gaz inflammable car il possède une limite d'inflammabilité inférieure approximativement égale à 2 % du volume de gaz dans l'air. Une faible quantité de gaz GPL peut entraîner un immense mélange gazeux inflammable qui peut être allumé par une étincelle ou un élément chaud à distance d'un point de fuite.

Le GPL est un gaz qui a une densité importante par rapport à celle de l'air, de ce fait s'il y'a une fuite il peut se trouver à des niveaux plus bas dans l'environnement. Son évaporation rapide entraîne une chute de température importante du milieu qui peut causer de graves brûlures pour l'être humain.

II.7 : GPL en Algérie

Le GPL est une source d'énergie très importante en Algérie. Cette dernière compte parmi les grands producteurs du GPL, elle est le deuxième exportateur dans le monde. Le GPL en Algérie est transporté via le pipe, reliant différents gisements de gaz du sud du pays afin de les acheminer vers le centre de stockage et de transfert (CSTF) situé à Hassi R'mel.

La production du GPL en Algérie a connu un développement rapide, provenant de trois sources différentes :

- Gisements d'hydrocarbures : 79% des GPL sont produits suite à la séparation du gaz et le traitement du pétrole brut : soit 4,35 millions de tonnes [4].
- Liquéfaction du gaz naturel : 11% des GPL sont obtenus au niveau des complexes de liquéfaction de GL2Z (405.000 tonnes) et GLIK (170.000 tonnes).
- Raffinage du pétrole brut : La production moyenne annuelle de ces raffineries est de l'ordre de 530.000 tonnes (10% des GPL produits).

	SKIKDA	ARZEW	ALGER
GPL	340.000 tonnes	100.000 tonnes	90.000 tonnes
Butane	83%	74%	93%

Tableau II.2 : Quantité du GPL produit du raffinage du pétrole brut.

La consommation du GPL en Algérie est de l'ordre 1.4 millions de tonnes (source NAFTAL) dont 90 % de butane, 5 % de propane et 5 % de GPL carburant (GPL/c).

La consommation nationale du GPL est répartie comme suit :

- 336 000 tonnes dans la région Ouest (24 %).
- 516 000 tonnes dans la région Est (37 %).
- 401 000 tonnes dans la région Centre (29 %).

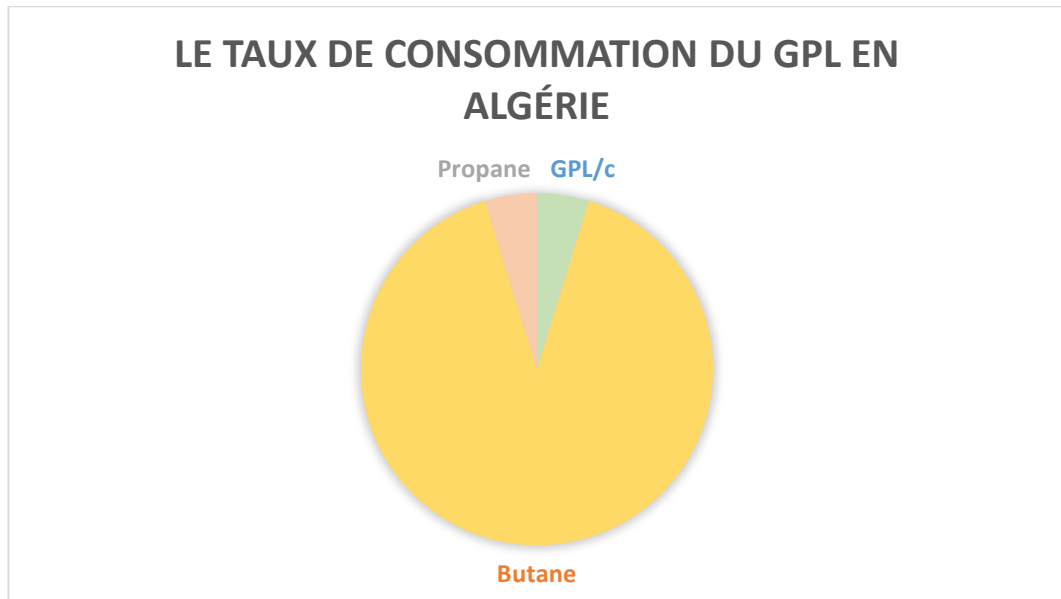


Figure II.1 : Consommation du GPL en Algérie.

III.1 : Introduction

Le four est un équipement conçu et calculé qui permet de transférer au fluide froid appelé caloporteur une quantité d'énergie uniquement sous forme de chaleur définie par heure. Le débit et les températures d'entrée et sortie étant fixés 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 thermiques.

Le four doit supporter l'opération de transfert de chaleur au fluide caloporteur dans les conditions requises sans se détériorer. Les échanges thermiques se font à la fois par les trois modes connus de transfert de chaleur à savoir : la conduction, la convection et le rayonnement. La source d'énergie provient de la combustion.

Il existe deux types de four : four à chauffage direct et four à chauffage indirect.

- 1. Four à chauffage direct :** est un four où la quantité de chaleur des fumées produites par la combustion d'un combustible liquide ou gazeux est directement cédée au fluide froid (caloporteur) qui circule à l'intérieur d'un serpentin tubulaire.
- 2. Four à chauffage indirect :** est un four où la quantité de chaleur qui réchauffe le fluide froid se transmet d'une manière indirecte, c.à.d. le fluide froid qui circule dans un faisceau tubulaire baignent dans un fluide chaud. Ce dernier est chauffé directement par les fumées des combustibles.

III.2 : Four tubulaire

III.2.1 : Description générale

Un four tubulaire est un four qui est constitué principalement d'une enveloppe métallique de formes diverses, principalement d'une forme cylindrique ou parallélépipédique.

Le four est constitué principalement de deux zones distinctes, une zone radiation et une zone de convection.

- 1. Zone de radiation :** Cette zone est constituée d'une chambre de combustion et d'un faisceau tubulaire où le fluide caloporteur circule. Le transfert de chaleur dans cette zone est assuré principalement par le rayonnement où le faisceau tubulaire est exposé directement à la flamme, mais le transfert par convection existe aussi dans cette zone où une grande quantité de chaleur sera absorbée par

le fluide froid. La convection constitue entre 5% à 40% de la chaleur échangée dans cette zone.

- 2. Zone de convection :** Cette zone constitue un rôle essentiel dans la récupération de la chaleur des fumées sortante de la zone de radiation. Cette zone n'est autre qu'un échangeur à courants croisés qui joue le rôle d'un pré chauffeur d'huile et en même temps un récupérateur de la chaleur sensible des fumées qui s'échapperont par la suite vers l'atmosphère. Dans cette zone le rayonnement n'est pas exclu et joue un rôle non négligeable (entre 10% à 20% de la chaleur absorbés dans cette zone se fait par rayonnement).

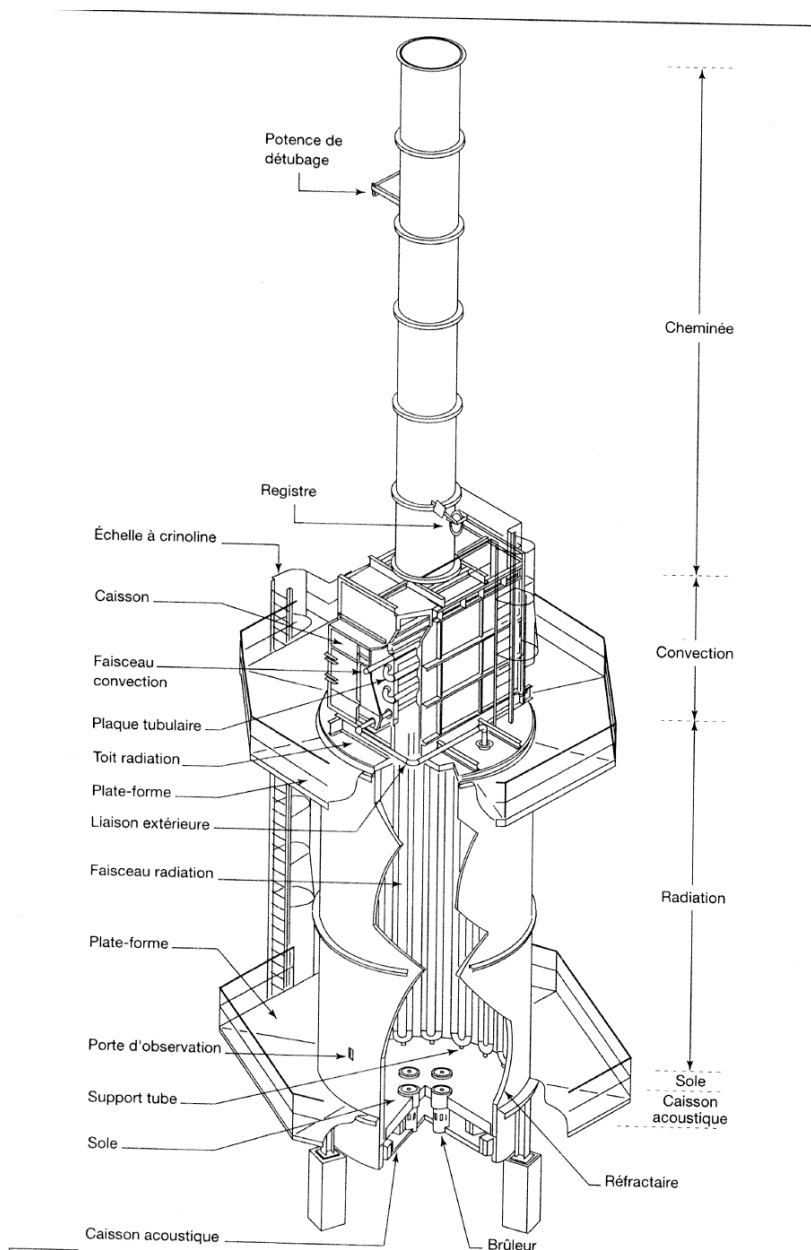


Figure III.2.1 : Schéma principal d'un four tubulaire.

III.2.2 : Brûleurs

Le brûleur constitue l'élément noyau du four, il joue un rôle important vu que c'est lui l'équipement de chauffe. Il a pour but d'amener le combustible en présence de l'air de combustion et de libérer la chaleur contenue dans ce combustible suivant les lois connues de combustion. Le brûleur doit assurer le mélange intime entre le combustible et le comburant selon les conditions propres à chaque combustible (niveau de température, mélange stœchiométrique etc..).

La fonction générale des brûleurs est d'approvisionner le foyer du four en combustible et en comburant, dans les conditions autorisant l'inflammation, afin de permettre une combustion aussi complète que possible.

Le brûleur a pour rôle aussi de créer le mélange intime entre le comburant et le combustible afin de provoquer une combustion complète de ce dernier. L'air de combustion est introduit par des volets d'air réglables du fait de la dépression qui règne dans le four.

Il existe plusieurs types de brûleurs constituant la partie essentielle des équipements de chauffe :

- Brûleurs à air induit.
- Brûleurs à air forcé sans préchambre de combustion.
- Brûleurs à air forcé à haute intensité avec préchambre de combustion.
- Brûleurs à air forcé à haute intensité et à impulsion de flamme avec préchambre de combustion.

III.2.3 : Garnissages des parois du four

Le four est un équipement essentiel d'une unité pétrochimique, ce dernier est constitué d'une enveloppe métallique. Cette dernière est revêtue intérieurement d'un garnissage isolant et réfractaire.

Un garnissage isolant et réfractaire est caractérisé par :

- Une conductivité thermique faible.
- Résistance mécanique élevée.
- Une bonne résistance aux variations de la température.

III.2.4 : Différents types de garnissage

1. Matériaux utilisables au contact des fumées

Il existe plusieurs types de garnissage nous citons au-dessous quelques-uns :

- Briques réfractaires.
- Béton réfractaire isolant.
- Fibres céramiques.
- Matelas de fibres fixées sur les parois.

2. Tirage

Le tirage veut dire l'écoulement des fluides qui permet :

- D'amener l'air nécessaire à la combustion au combustible.
- D'assurer la circulation des fumées sur la surface de chauffe.
- D'évacuer les fumées au-dessus des sols.

Le tirage se distingue aux deux types tirage naturel ou forcé.

- **Tirage naturel** : est effectué sans ventilateur.
- **Tirage mécanique ou forcé** : est effectué à l'aide d'un ventilateur.

Si le tirage est positif, l'air tendra à entrer dans le circuit des fumées, le résultat ne sera qu'un refroidissement des fumées préjudiciable à l'efficacité mais la structure du four sera sauvegardée.

III.3 : Contrôle et marche des fours

Les fours sont des équipements importants dans l'industrie chimique et nécessitent une surveillance importante pour diminuer le risque d'explosion. Les fours d'aujourd'hui sont équipés des régulateurs automatiques pour contrôler la température de la sortie du fluide à chauffer puisque le débit du combustible est asservi à cette température.

Si la circulation d'huile à l'intérieur des tubes s'est arrêtée, il faut immédiatement arrêter les brûleurs afin d'éviter la surchauffe des tubes et ainsi leurs dégradations. La dégradation des tubes peut causer l'explosion du four.

III.4 : Combustion

La combustion dans les fours pétroliers classiques se fait dans une chambre appelée également zone de rayonnement. Le faisceau absorbant en radiation étant disposé le long des

murs réfractaires est donc soumis au rayonnement direct de la flamme qui se développe très souvent entièrement dans la chambre [5].

La combustion s'effectue à l'aide de brûleurs à pulvérisation de vapeurs capables de brûler des combustibles liquides et gazeux aux caractéristiques variables et très différentes.

La combustion se fait suivant les équations de réactions classiques avec des excès d'air variant de 10% à 40% selon les équipements de chauffe.

III.5 : Pouvoir calorifique inférieur et supérieur

On appelle pouvoir calorifique supérieur « PCS » la quantité de chaleur exprimée en kilocalories dégagée par la combustion à pression constante normale de 760 mm hg d'un kilogramme (ou d'un m³) de combustible.

On appelle pouvoir calorifique inférieur (PCI) la quantité de chaleur dégagée dans les mêmes conditions que le PCS, mais en admettant que la vapeur provenant de la réaction de combustion n'est pas condensée.

Les deux valeurs sont liées pour les gaz et les liquides par les relations respectives suivantes en négligeant la contraction du mélange combustible et comburant [5] :

- $PCI = PCS - 10.9 n$: pour les gaz, avec n étant le nombre de moles H₂O.
- $PCI = PCS - 53 H$: pour les liquides, avec H étant le % massique de l'hydrogène du combustible.

III.6 : Pouvoir comburivore d'un combustible

C'est le volume d'air (V_{air}) nécessaire et suffisant exprimé en m³ pour assurer la combustion complète de l'unité de quantité de combustible. Il est exprimé en m³/kg ou m³/m³.

III.7 : Rendement thermique d'un four

Le rendement thermique d'un four dépend des pertes thermiques à travers les parois du four ainsi que de l'épaisseur et la matière réfractaire isolante.

Les pertes de chaleur les plus importantes sont celles dues au rejet à la cheminée de fumées chaudes. Celles-ci sont le résultat de deux facteurs ; le débit de fumée et leur température.

Le débit de fumée s'accroît avec l'excès d'air. Il y a donc lieu de fonctionner avec un excès d'air aussi faible que possible tout en veillant à obtenir une combustion complète.

Un excès trop bas peut conduire à des pertes par imbrûlés.

La température des fumées constitue le facteur principal des pertes de chaleur d'un four. Pour refroidir les fumées, il est nécessaire de disposer d'un fluide froid à réchauffer.

III.8 : Excès d'air

Pour avoir une combustion complète, c.à.d. sans présence d'oxyde de carbone dans la fumée sortante du four, il est nécessaire d'introduire dans le four une quantité supérieure à celle strictement nécessaire à la combustion.

III.9 : La boucle d'huile chaude du complexe GP/2Z

III.9.1 : Description du circuit d'huile chaude :

Le circuit du fluide caloporteur **TORADA TC 32** se fait en boucle fermée. A partir du ballon tampon, la TORADA TC 32 est pompée vers les deux fours (C/D) par l'une des pompes de circulation.

La **TORADA TC 32** rentre en zone de convection pour être préchauffée par la chaleur des fumées montantes puis chauffée à la température requise au niveau des faisceaux de la zone de radiation.

La température à la sortie du four est contrôlée à l'aide d'une vanne automatique de contrôle de débit du fuel gaz de combustion. Le débit du fluide caloporteur à travers le four est contrôlé à l'aide des vannes de débits situées respectivement à la sortie du rebouilleur de la colonne A et à la sortie du rebouilleur de la colonne B. La **TORADA TC 32** cède sa chaleur au niveau des rebouilleurs A/B puis retourne au ballon tampon.

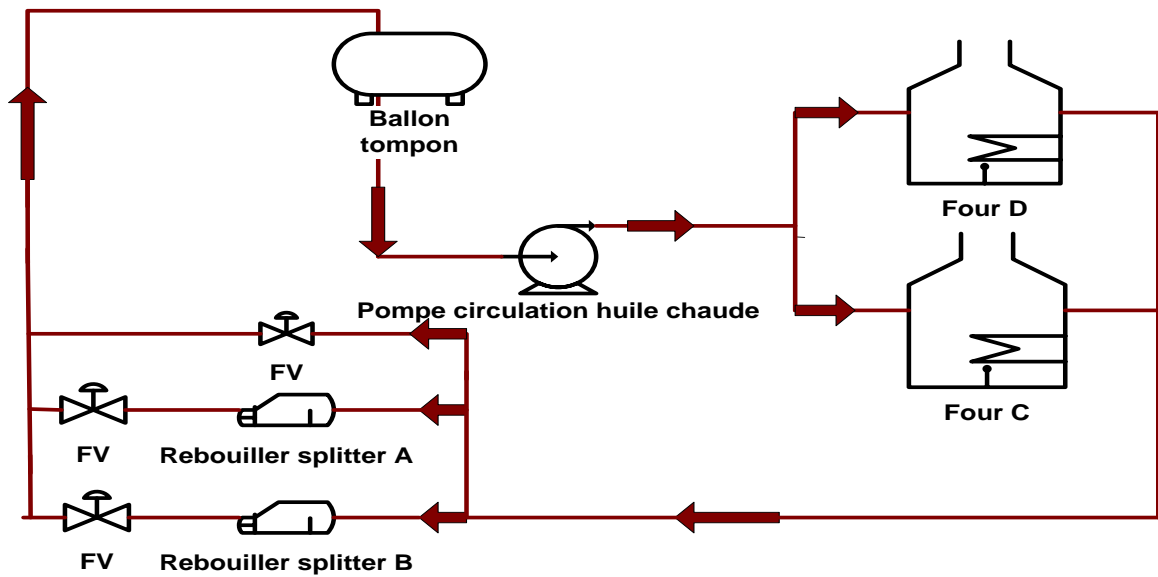


Figure III.9 : Circuit de la boucle d'huile chaude.

III.9.2 : Équipements principaux de la boucle d'huile chaude

- **Un four C d'huile chaude** : avec les capacités nominales de 104.75 GJ/h et un débit de 1200m³/hr Il est constitué de 10 brûleurs avec une température de sortie de 190°C.
- **Un four D est nouvellement installé** : avec les capacités nominales de 130 GJ/hr et un débit de 1200m³/hr il est constitué de 12 brûleurs avec une température de sortie de 190°C.
- **Un ballon accumulateur** de l'huile TORADA TC avec capacité de 100 m³
- **Une pompe de circulation de l'huile caloporteur** qui fonctionne avec les paramètres suivants :
 - Débit= 1200m³/hr.
 - Pression d'aspiration : 1,3 bar. Pression de refoulement : 16 bars.

IV.1 : Introduction

Le transfert de chaleur est une science qui étudie les différents processus de transmission de chaleur, Cette science est liée intimement à la thermodynamique, et donne la possibilité de dire comment il faut construire un appareil quelconque.

Les problèmes de transfert de chaleur interviennent presque dans toutes les installations chimiques et de raffinage, tant à l'échelle industrielle qu'au laboratoire, ce phénomène est utilisé pour chauffer ou refroidir les matières premières, les produits finis ou les semi-produits et en plus pour la séparation des mélanges d'hydrocarbures et pour la condensation des vapeurs.

En optimisant la vitesse de transfert de chaleur dans les équipements, on peut réduire le coût des installations.

IV.2 : Définition de la chaleur

La chaleur c'est une forme d'énergie échangée entre deux corps, ce transfert s'effectue sous forme d'énergie mécanique microscopique, correspondant au degré d'agitation des molécules, Ainsi lorsqu'un corps reçoit de la chaleur, l'agitation de ses molécules a tendance à s'intensifier, ce qui se traduit la plupart du temps par une augmentation de température de ce corps.

Lorsqu'il existe entre deux corps ou parties d'un corps, une différence de température, il y a tendance à l'égalisation des températures par échange de chaleur, les mécanismes de transfert de chaleur sont complexes, on se contentera de donner ici quelques idées simples à propos des trois (3) modes de transmission habituellement Bien différenciés soit très imbriqués dans la plupart des cas.

IV.3 : Modes de transmissions de chaleur

L'expérience montre que deux corps isolés de l'ambiance a température différente échangent de l'énergie sous forme de chaleur jusqu'à disparition complète de leur différence de température. Cet échange peut se faire de 3 façons :

- **La conduction :**

S'il y a contact physique entre les molécules des corps contigus et immobiles on parle de conduction. Le transfert de chaleur correspond alors à la transmission d'une énergie cinétique due aux chocs élastiques des molécules

fluides, aux oscillations longitudinales molécules de solides non conducteurs d'électricité ou aux mouvements des électrons dans les autres cas. Les lois fondamentales du transfert de chaleur par conduction sont en complète analogie avec celles de la conduction électrique. Elle est régie par la loi de **FOURIER** :

$$\Phi = \frac{dQ}{dA.d\tau} = -\lambda \frac{dT}{dX} \quad (\text{kcal /hm}^2)\dots\dots\dots\text{IV.3.A}$$

$$dQ = \frac{-\lambda dT}{dX} * A \quad \dots\dots\dots \text{IV.3.B}$$

Avec :

- λ : conductivité thermique du solide.
- Φ : flux de chaleur.
- Q : quantité de chaleur transmise.
- dx : épaisseur.
- dT : différence de température.
- A : surface perpendiculaire au flux ϕ .

• **La convection**

On parle de transfert par convection, s'il s'agit de fluides en mouvement et que la transmission de chaleur accompagne le déplacement de filets d'un seul fluide ou s'opère par mélange des deux fluides.

Ce mode de transfert est donc essentiellement régi par les lois des écoulements des fluides, ainsi que par celles de la conduction. La formule de la transmission de chaleur par convection est donnée par la loi de **NEWTON** :

$$Q = h * F * \Delta t \quad (\text{Kcal /h}) \dots\dots\dots (\text{IV.3.C}).$$

- h : coefficient de transfert de chaleur ; h est fonction de (Re, μ , Cp, P....).
- F : surface d'échange (m²).
- ΔT : différence de température (°C).

• **Le rayonnement**

Tout corps porté à une température supérieure au zéro absolu (0°K) rayonne, dans toutes les directions, une énergie sous forme d'ondes électromagnétiques.

Inversement tout corps est susceptible d'absorber tout ou une partie d'une énergie électromagnétique analogue à celle qu'il serait susceptible d'émettre. Cette forme de transfert de chaleur ne nécessite donc, entre les corps considérés aucun support matériel et s'identifie parfaitement à la propagation de la lumière, c'est à dire à l'optique. Elle est régie par la loi de **BOLTZMANN** :

$$Q = F * ST^4 \dots\dots\dots IV.3.D$$

Avec :

- S : constante égale à $4,96*10^{-8}$ (Kcal/m²hK⁴).
- F : surface d'échange (m²).

V.1 : Introduction et problématique

Le complexe GP2Z est un complexe qui fait la séparation du GPL pour la production du C₃ et C₄. Ce dernier fonctionne avec un cycle fermé. Dans ce cycle il y'a le Four qui représente une partie essentielle dans ce cycle pour chauffer un fluide caloporteur qui est l'huile TORADA TC.

Ce complexe travaille avec deux fours (C) et (D), ces deux derniers donnent une efficacité thermique suffisante pour traiter une quantité de GPL de 174T/h avec des compositions en produits finis (97.54 % en propane et 98.33% en butane).

Dans notre étude, nous avons supposé que le four (D) est capable de donner une capacité thermique pour le cycle d'huile chaude pour assurer la chauffe des deux rebouilleurs du splitters A/B pour traiter la même quantité GPL.

En vue de vérifier la puissance du four D et son rendement vis à vis des deux colonnes ainsi que sa capacité de traitement, nous avons entrepris une série de calculs au niveau du four D et des deux rebouilleurs des colonnes par des bilans de matières et des bilans thermiques. Tout en vérifiant ensuite les données affichées sur l'écran DCS (Digital Control System).

Nous voudrions rappeler ici quelques notions relatives à la combustion et que nous aurons à utiliser par la suite dans le calcul du four.

Les composants principaux du Système d'huile chaude sont : ballon d'expansion d'huile chaude (410/6211), 02 pompes de circulation d'huile chaude (425/6215D/E), le filtre d'huile chaude (440/6204) et 02 fours d'huile chaude (401/6201C/D).

Pour effectuer le calcul d'un four on doit nécessairement calculer :

- La combustion.
- Le bilan thermique.
- La zone de radiation.
- La zone de convection.
- La cheminée

V.2 : Les calculs :

- **Les données nécessaires pour les calculs :**

Tableau V.1: Paramètres et condition de service des fours (cas design)

	Four D	
Fluide		Huile TORADA TC
Débit (Max)	Kg/h	861.000
Perte de pression allouée	MPa	0, 3
Perte de pression calculée	MPa	0,26
Densité flux chaleur moyenne calculée	Kcal/h.m ²	31.986
Température maximum de film interne	°C	300
Facteur d'encrassement	m ² °C/W	0,000215
Rendement (design)	%	85,5
PCI (design)	Kcal/kg	11407,1
Débit fuel gaz	Kg/h	2900

Tableau V.2: Caractéristiques d fluide caloporteur huile TORADA TC (cas design).

		Four 401/6201C		Four 401/6201D	
		Condition entrée	Condition Sortie	Condition entrée	Condition Sortie
Température	°C	120	175	132	190
Pression	MPa	1,4	1,12	1,5	1,24
Masse volumique	Kg/m ³	807	773	800	764
Viscosité cinématique	Cst	4,2	1,9	3,5	1,6
Chaleur spécifique	Kcal/kg°C	0,54	0,59	0,55	0,60
Conductivité thermique	Kcal/hm°C	0,1078	0,1045	0,1071	0,1036
Chaleur spécifique moy	Kcal/kg°C	0,560		0,575	

a) Vérification du rendement du four D (cas design):

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{Q_L}$$

Q_{abs} : quantité de chaleur absorbée (Kcal/h).

Q_L : quantité de chaleur libérée (Kcal/h).

- **La quantité de chaleur absorbée par la charge (TORADA TC):**
 - **Calcul de la quantité de chaleur absorbée:**

$$Q_{abs} = m * Cp_{moy} * (T_S - T_E)$$

Avec :

M : débit massique de l'huile

$$Q_{abs} = 861000 * 0,575 * (190-132).$$

$$Q_{abs} = 28714350 \text{ kcal/h}$$

- **Calcul de la quantité de chaleur libérée:**

$$Q_L = PCI * D_{FG}$$

Avec :

PCI : pouvoir calorifique inférieur du fuel gaz ($PCI=11407,1$).

D_{FG} : débit du fuel gaz.

$$Q_L = 11407,1 * 2900$$

$$Q_L = 33080590 \text{ Kcal/hr}$$

Donc :

$$H = (28714350) / (33080590) = 0,86$$

H = 86%.

b) Calcul du rendement du four D (cas actuel) :

- **Calcul de la quantité de chaleur libérée par le combustible :**

Tableau.V.3 : Composition du combustible d'alimentation du four.

Composant	Yi %mol [ANALYSE]	Mi*Yi	Wi % poids
N ₂	2,6485	0,742	2,583
CO ₂	0,3285	0,145	0,503
C ₁	45,739	7,338	25,548

C ₂	16,311	4,905	17,076
C ₃	33,7525	14,884	51,820
IC ₄	0,4365	0,254	0,883
NC ₄	0,784	0,456	1,587
Total	100	28,722	100

$$Q_L = D_{FG} * PCI_{FG}$$

Q_L : La quantité de chaleur calorifique libérée par le combustible.

D_{FG} : Débit du fuel gaz alimentant les brûleurs, égal à 1000 Kg/h.

PCI_{FG} : Pouvoir calorifique inférieur du fuel gaz tel que

$PCI_{FG} = \text{somme} (PCI * Wi)$.

Tableau.V.4 : Pouvoir calorifique du combustible d'alimentation du four.

Composant	Wi % poids	PCI (Kcal/Kg)	Wi*PCI
N ₂	2,583	0	0
CO ₂	0,503	0	0
C ₁	25,548	11957	3054,774
C ₂	17,076	11355	1938,980
C ₃	51,82	11075	5739,065
IC ₄	0,883	10890	96,159
NC ₄	1,587	10940	173,618
Total	100		11002,596

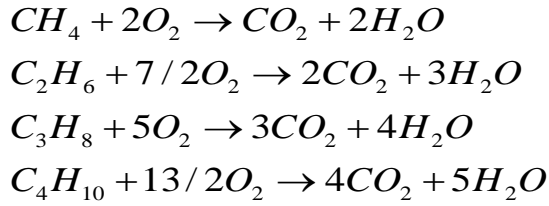
$$PCI_{FG} = 11002,596 \text{ Kcal / Kg}$$

$$Q_L = 1000 * 11002,596.$$

$$Q_L = 11002596 \text{ Kcal/h}$$

- **Calcul de la quantité de chaleur de l'air nécessaire à la combustion :**

En partant des réactions stœchiométriques de combustion du fuel gaz, nous déterminerons la quantité d'air nécessaire à la combustion.



o Détermination de la quantité d'air théorique

Le débit d'air théorique de combustion :

$$D_{O_2} = D_{FG} * \%mol * \mu_i$$

μ_i : Coefficients stœchiométriques des composés.

Masse molaire de fuel gaz = 27.77 kg/Kmol.

D_{FG} (molaire) = 1000/27.77 = 36.01 Kmol/h.

Tableau.V.5 : Le débit théorique d'O₂ nécessaire pour la combustion pour chaque constituant

Constituants	Yi (%mol)	μ_i	Débit O2 (Kmol/h)
CH ₄	38,22	2	27,53
C ₂ H ₆	13,62	7/2	17,16
C ₃ H ₈	28,20	5	50,77
C ₄ H ₁₀	1,02	13/2	2,39
TOTAL			97,85

Le débit théorique d'O₂ nécessaire pour la combustion

Débit O₂ (combustible) = 97,85 Kmol/h

Pourcentage moyen de l'excès d'air est de 15%

Débit O₂TOT = Débit O₂ (combustible) + 0,15*97,85

Débit O₂TOT = 112,53 Kmol/h

Débit d'air = Débit O₂ (combustible)/0,21

Débit d'air = 465,95 Kmol/h

Débit total de l'air avec un excès de 15% est :

DairTOT = 465,95 + 465,95*0.15 = 535,84 Kmol/h

DairTOT = 535,84 Kmol/h.

DairTOT (kg/h) = 535,84 * Mair

DairTOT (kg/h) = 535,84 * 29

DairTOT = 15539,36 Kg/h.

La quantité de chaleur de l'air nécessaire à la combustion

$$Q_{\text{air}} = D_{\text{air}} * C_p * (T_2 - T_1)$$

$$C_p = 0,25 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}, T_1 = 0^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{air}} = 15539,36 * 0,25 * (20 - 0) = 77696,8 \text{ Kcal/h.}$$

Donc la quantité de chaleur libérée par le combustible

$$Q_{\text{FG}} = Q_L + Q_{\text{air}}$$

$$Q_{\text{FG}} = 11002596 + 77696,8$$

$$Q_{\text{FG}} = 11080292,8 \text{ Kcal/h.}$$

- **Calcul de la quantité de chaleur emportée par les fumées:**

D'après les réactions de combustion on obtient le tableau suivant :

Tableau.V.6 : Composition et débit des fumées de la combustion.

Composi- tion	Mi (Kg/Kmol)	Yi (%mol)	Mi*Yi	Débit (kmol/h)
CO ₂	44,01	9,41	4,154	66.44
H ₂ O	18,0153	16,05	2,9	95.93
N ₂	28,0134	71,9	20,17	368.1
O ₂	31,9988	2,5	0,79	14.68
TOTAL		100	28,014	545.15

Selon les réactions de combustion :

$$D_{CO_2} = D_{FG} [(Y_{CH_4}) + (Y_{C_2} * 2) + (Y_{C_3} * 3) + (Y_{iC_4} * 4) + (Y_{nC_4} * 4)]$$

$$D_{H_2O} = D_{FG} [(Y_{CH_4} * 2) + (Y_{C_2} * 3) + (Y_{C_3} * 4) + (Y_{iC_4} * 5) + (Y_{nC_4} * 5)]$$

Avec $D_{FG} = 36,01$ Kmol/h

On a 79% de N₂ dans l'air donc :

$$D_{N_2} = 0,79 * D_{air}$$

$$D_{O_2} = 0,15 * D_{O_2 \text{ (combustible)}}$$

Débit massique des fumées :

$$D_f = 545,15 \text{ Kmol/h (débit molaire des fumées).}$$

$$M_{\text{fumées}} = \sum Y_i * M_i = 28,014 \text{ Kg/Kmol}$$

Débit des fumées : $D_f \text{ (Kg/h)} = D_f \text{ (Kmol/h)} * M_{\text{fumées}}$

$$D_f \text{ (Kg/h)} = 545,15 * 28,014.$$

$$D_f = 15271,83 \text{ Kg/h}$$

- **Chaleur spécifique des fumées:**

La chaleur spécifique des fumées est déterminée à partir de **20°C** et **350°C**

D'après le tableau de la chaleur spécifique des corps purs :

Tableau.V.7 : Chaleur spécifique des fumées à 20°C et à 350.

Composition	C _{pi} (Kcal/Kmol °C) à 350°C	C _{pi} (Kcal/Kmol °C) à 20°C
CO ₂	10,193	8,777
H ₂ O	8,395	7,986
N ₂	7,027	6,935
O ₂	7,873	7,546

La chaleur spécifique des fumées à chaque température est donnée par la relation suivante :

$$C_{p_f} = \sum C_{p_i} \cdot Y_i$$

$$C_{p_f(350^\circ\text{C})} = 7.553 \text{ Kcal/Kmol } ^\circ\text{C}$$

$$C_{p_f(20^\circ\text{C})} = 7.281 \text{ Kcal/Kmol } ^\circ\text{C}$$

La chaleur spécifique des fumées est calculée à partir de la moyenne des chaleurs spécifiques

$$C_{p_{f_{moy}}} = \frac{C_{p_f(350^\circ\text{C})} + C_{p_f(20^\circ\text{C})}}{2}$$

$$C_{p_{f_{moy}}} = 7.41 \text{ Kcal/Kmol}^\circ\text{C}$$

- **La quantité de chaleur emportée par les fumées:**

$$Q_f = 545,15 \cdot 7,41 \cdot (350 - 20)$$

$$Q_f = 1333055,29$$

Donc les déperditions par les fumées représentent environ 12% (de la chaleur dégagée Q_f / Q_{FG})

Les pertes à travers les parois sont de l'ordre de 2,5%

Le rendement thermique du four :

$$\eta = 100 - (\% \text{ pertes fumées} + \% \text{ pertes des parois})$$

$$\eta = 100 - (12 + 2,5) = 85,5$$

$$\eta = 85,5$$

A partir du rendement calculé, on déduit la quantité de chaleur absorbée (Q_{abs}) :

$$Q_{abs} = 11080292,8 \cdot 0,855$$

$$Q_{abs} = 9473650,344 \text{ Kcal/h.}$$

c) Calcul de la chaleur transmise par radiation et par convection:

Calcul de la quantité de chaleur transmise par radiation :

Wilson, Labo et Hottel proposent la formule suivante permettant de calculer la fraction de la chaleur libérée par les surfaces froides d'une chambre de combustion :

$$R = \frac{1}{1 + \frac{G^* \sqrt{Q / A_{RT} \epsilon_A}}{6940}}$$

Avec :

R : Fraction de la chaleur libérée qui est absorbée par radiation.

G^* : rapport du poids d'air de combustion au poids de combustible.

$$G^* = 15539,36 / 1000 = 15,53$$

Q : chaleur libérée par la combustion = 11080292,8 Kcal/h

A_{RT} : aire des parois réfractaires devant lesquelles sont montées les tubes.

Avec :

$$A_{RT} = L * N * C \quad [2]$$

$$A_{TUBE} = N * \pi * D * L = \pi * A_{RT} * D / C$$

A_{TUBE} : Surface totale des tubes

$$A_{RT} = \frac{C * A_{TUBE}}{\pi * D}$$

L : Longueur de tube=13,69 m
 N: Nombre de tubes= 72
 C : Entraxe tube = 304,8 mm
 D : diamètre du tube = 168,3 mm

$$A_{TUBE} = 3,14 * 0,1683 * 19,69 * 72$$

$$A_{TUBE} = 521 \text{ m}^2$$

Donc

$$A_{RT} = \frac{0.3048 * 521}{3,14 * 0.1683}$$

$$A_{RT}=300$$

ϵ_A : Facteur d'adsorption des faisceaux tubulaires généralement $\epsilon_A = 0,889=0,9$
 A.N :

$$R = \frac{1}{1 + \frac{15.53 \sqrt{11080292.8 / 300.5 * 0.9}}{6940}}$$

$$R=68,96$$

Donc Chaleur absorbée par radiation $Q_r=0,6557*11080292,8=7640969,91\text{Kcal/h}$

- **Calcul de la quantité de chaleur transmise par convection :**

Chaleur absorbée en zone de convection $Q_{cov} = Q_{abs} - Q_{rad}$

$$Q_{cov} = 9473650,344 - 7640969,91$$

$$Q_{cov} = 1832680,434 \text{ Kcal/h}$$

Cette quantité de chaleur correspond à 16,65% de la quantité de chaleur dégagée

$$\eta = 68,96 + 16,65$$

Donc :

$$\eta = 85,61\%$$

Ce qui confirme le résultat précédent

Si on vérifie le calcul avec la même méthode que le cas design

$$\eta = 86\%$$

Cette valeur du rendement est presque la même à celle calculée précédemment (85,61%)

V.B : Vérification thermique des rebouilleurs :

Dans chaque train on a deux rebouilleurs, les deux rebouilleurs A et B sont de même type.

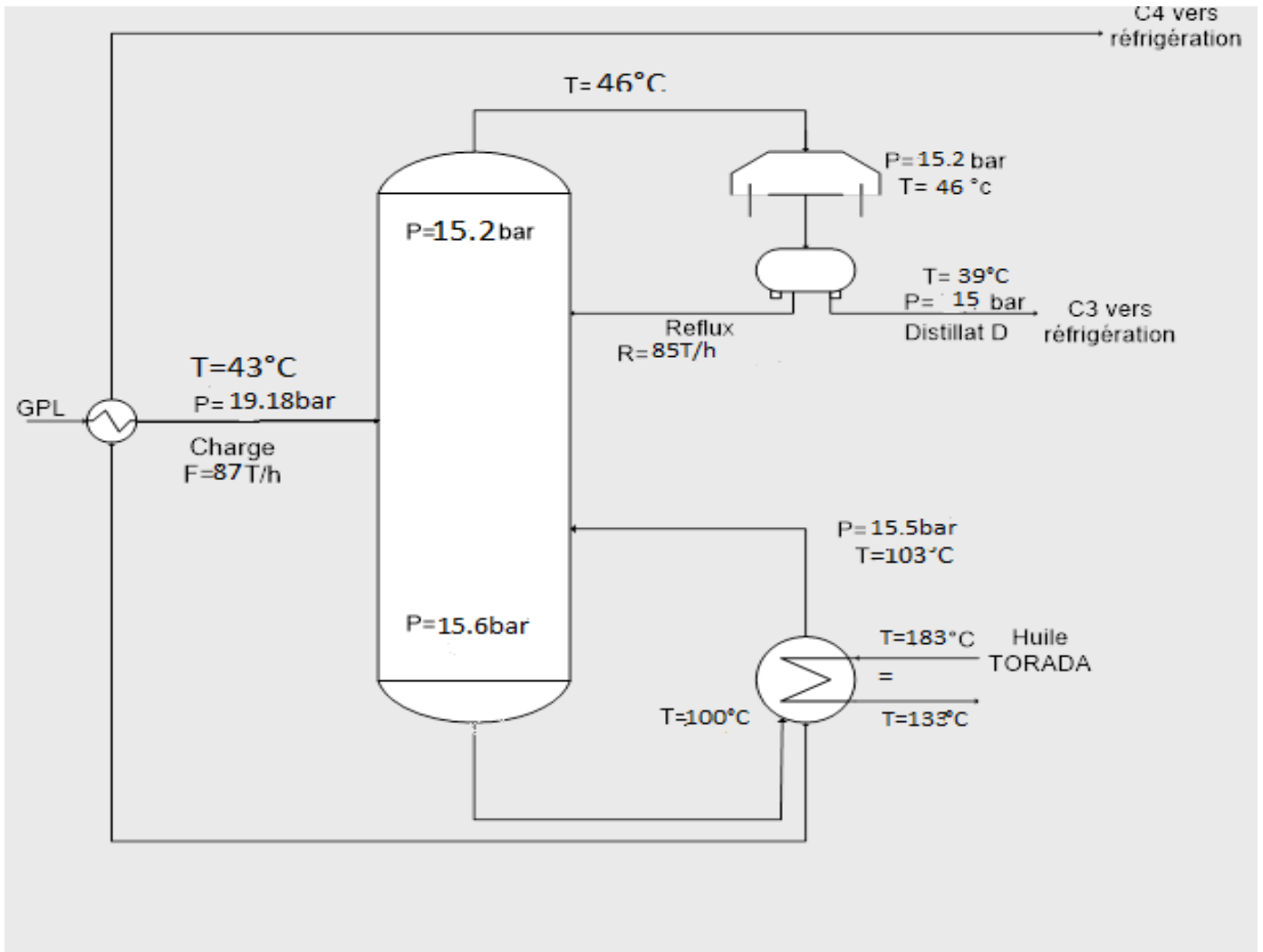


FIGURE.V.B :Schéma de la section de séparation (cas actuel)

Nous vérifions si la quantité de chauffe apportée par le four (D) est suffisante pour les deux rebouilleurs de fond de colonnes (A/B), afin d'avoir un taux de vaporisation important et permettant d'avoir des produits finis de grande pureté.

Les rebouilleurs utilisés sont de type « KETTLE » reliés à la colonne par :

- Une ligne venant du fond de la colonne amenant le liquide vers le rebouilleur.
- Une ligne retournant la vapeur générée au-dessus du niveau liquide.

La vaporisation a lieu à l'extérieur des tubes, un niveau liquide est maintenu dans la calandre de l'échangeur, et une zone de désengagement des vapeurs permet de séparer gaz et liquide.

Si des vapeurs non condensables ou des composés non vaporisables sont présents, ils s'accumuleront dans le rebouilleur KETTLE, un événement est alors nécessaire pour en limiter l'accumulation.

Les rebouilleurs assurent une vaporisation partielle du butane de fond de colonne en vue d'y maintenir la température au fond de la colonne.

Les rebouilleurs KETTLE sont des échangeurs de chaleur à faisceaux et calandre très efficaces (pouvant atteindre 80% de vaporisation). Le fluide caloporteur (l'huile TORADA dans notre cas), passe à l'intérieur des tubes parallèles en forme d'épingles, constituant un faisceau logé dans la calandre. L'autre fluide à chauffer (produit de fond de colonne) passe à l'extérieur des tubes. Ces rebouilleurs sont à niveau, la circulation se fait par gravité.

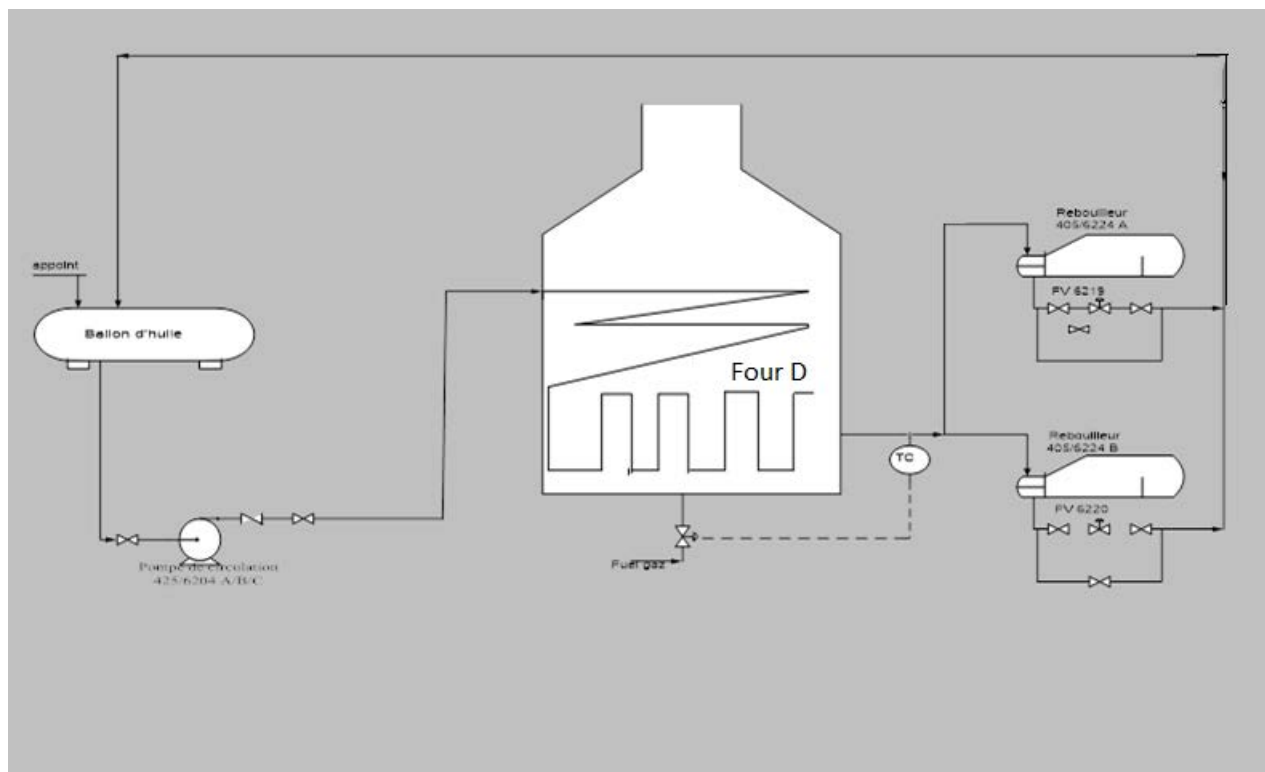


FIGURE.V.B.2 : Schéma de la boucle d'huile avec les deux rebouilleurs des deux colonnes de séparation.

V.B.a : Calcul de la quantité de chaleur de l'alimentation Q_f :

Remarque : les paramètres actuels d'exploitation sont pris à partir du DCS et les analyses des produits sont obtenues à partir des bulletins du laboratoire.

Pour calculer le Q_c et le Q_B on doit faire des bilans de matière et des bilans thermiques.

F : débit de la charge GPL pris à partir du DCS=87 T/h

T : température de la charge GPL=43°C

P : pression de la charge GPL=19.1bars

Tableau.V.8 L'enthalpie de la charge GPL.

Composition	X_i (%mol)	M_i	$M_i * X_i$	W_i (%poids)	H_i (kcal/Kg)	$H_i * X_i$
C ₁	0,24	16,043	0,0385032	0,078	265,233	0,207
C ₂	1,34	30,07	0,402938	0,818	235,364	1,926
C ₃	60,26	44,097	26,572852	53,976	148,148	79,964
iC ₄	13,64	58,123	7,9279772	16,103	124,253	20,009
nC ₄	24,26	58,123	14,1	28,642	120,669	34,562
IC ₅	0,21	72,15	0,15	0,307	126,643	0,389
nC ₅	0,05	72,15	0,036	0,073	128,638	0,094
Total	100		49,2305	100		137,15437

Donc l'enthalpie de la charge GPL est $H_F = 137,15437$ Kcal/Kg

$$Q_F = F * H_F = 87000 * 137,15437$$

$$Q_F = 11932430,3 \text{ Kcal/h.}$$

Calcul des débits distillat D et résidu w**Bilan global :**

$$F=D+W \text{ (1)}$$

Bilan partiel sur C3

$$X_F F = X_D D + X_W W \text{ (2)}$$

De (1) et (2) :

$$X_F F = X_D (F - W) + X_W W$$

$$W = F \frac{X_F - X_D}{X_W - X_D}$$

$$W = 39388,872 \text{ Kg/h}$$

$$D = 47611,128 \text{ Kg/h}$$

Calcul du taux de reflux TR

$$TR = R / D$$

Sachant que le reflux pris à partir du DCS R= 87000 Kg/h

$$\Rightarrow Tr = 60000 / 50890.5 \quad T_r = 87000 / 47611,128$$

$$T_r = 1,82$$

Calcul de la quantité de chaleur distillat Q_D

A T=29°C

Tableau.V9. L'enthalpie Du distillat.

Composition	Xi (%mol)	Mi	Mi*Xi	Xi (%poids)	Hi (kcal/Kg)	Hi*Xi
C ₁	0.26	16,043	0,041	0,095	255,675	0,243
C ₂	1.78	30,07	0,535	1,220	229,391	2.800
C ₃	97.45	44,097	42,972	98.008	133,811	131.145
iC ₄	0.46	58,123	0,267	0,609	113,501	0,692
nC ₄	0.05	58,123	0,029	0,066	106,332	0,07
Total	100		43,845912	100		134,95166

$$H_D = 134,95166 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$Q_D = H_D * D$$

$$Q_D = 134,95166 * 47611,128$$

$$Q_D = 6425200,7 \text{ Kcal/h7}$$

Calcul de la quantité de chaleur du résidu Q_w :

A T=100°C

Tableau.V.10 : L'enthalpie du résidu.

Composi- tion	Xi (%mol)	Mi	Mi*Xi	wi (%poids)	Hi (kcal/kg)	Hi*Xi
C ₃	0,9925	44,097	0,437	0,753	242,533	1,827
iC ₄	36,185	58,123	21,031	36,200	210,275	76,121
nC ₄	62,0125	58,123	36,043	52,039	145,759	90,428
iC ₅	0,6575	72,15	0,816	0,816	148,148	1,209
nC ₅	0,1525	72,15	0,110	0,189	150,230	0,284
Total	100		58,097	100,000		169,87139

$$H_w = 169,87139 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$Q_w = H_w * W$$

$$Q_w = 6691042,6 \text{ Kcal/h.}$$

Calcul de la quantité de chaleur du condenseur Q_c

$$A \ T=43^\circ\text{C} \ P=12,9 \text{ bar.}$$

Tableau.V.11 : L'enthalpie du condenseur.

Composition	X_i (%mol)	M_i	$M_i * X_i$	X_i (%poids)	H_i (kcal/kg)	$H_i * X_i$
C ₁	0,26	16,043	0,041	0,095	265,233	0,252
C ₂	1,78	30,07	0,535	1,220	238,949	2,916
C ₃	97,45	44,097	42,972	98,008	222,222	217,795
iC ₄	0,46	58,123	0,267	0,609	123,059	0,750
nC ₄	0,05	58,123	0,029	0,066	119,474	0,079
	100		43,638	100,000		221,79433

$$H_c = 221,79433 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$V_n = L_r + D$$

$$V_n = 85000 + 47611,128$$

$$V_n = 132611,13 \text{ kg/h.}$$

$$Q_c = V_n * (H_n - H_D)$$

$$Q_c = 11516304 \text{ kcal/h}$$

Bilan thermique:

$$F * H_F + Q_B = D * H_D + W * H_w + Q_c$$

$$Q_B = Q_c + Q_D + Q_w - Q_F$$

$$Q_B = 12700118 \text{ kcal/h.}$$

Interprétation des résultats :

- **Pour les conditions actuelles:**

La quantité de chaleur nécessaire :

$$\text{Pour les 2 splitter : } Q_{BS T} = Q_B * 2 = 12700118 * 2 = 25400236 \text{ kcal/h}$$

Si on compare $Q_{abs} = 9473650.344 \text{ Kcal/h}$ (fournie par le four D dans le cas actuel) avec la somme des deux quantités de chaleur fournies aux deux rebouilleurs $Q_{BS T} = Q_B * 2 = 25400236 \text{ kcal/h}$.

On constate qu'elle n'est pas suffisante pour alimenter juste les deux rebouilleurs des 2 splitter.

Donc pour démarrer les deux rebouilleurs dans le cas actuel on a besoin :

$$\Delta Q = 25400236 - 9473650,344.$$

$$\Delta Q = 15926585,656 \text{ Kcal/h.}$$

- **Pour les conditions design:**

Pour les 2 splitter : $Q_{BS T} = Q_B * 2 = 13600000 * 2 = 27200000 \text{ Kcal/h}$

$Q_{abs} = 28714350 \text{ kcal/h}$ (fournie par le four D)

Dans ce cas, le four D peut assurer la chauffe des deux rebouilleurs des 2 splitter (A/B).

A partir de ces résultats obtenus, nous envisagerons la possibilité de changer les paramètres actuels du fonctionnement (juste le four D) par d'autres paramètres et avec une même étude que celle que nous avons faite pour traiter la charge actuelle.

Si nous travaillons avec la charge maximale du four D, ce dernier peut assurer facilement la chauffe des deux rebouilleurs des deux splitters (A/B).

Conclusion Générale

A la fin de notre modeste travail, nous concluons que nous avons fait une étude sur la vérification thermique du four D, ainsi la quantité de chaleur qui peut être produite à l'heure actuelle dans le but de respecter la sécurité des appareils et des limites maximales supportées par l'huile d'absorption de chaleur, afin de ne pas diminuer ses propriétés physiques et chimiques.

L'objectif de cette étude est la possibilité d'utiliser le four D (12 brûleurs) pour gérer les deux rebouilleurs en cas d'arrêt du deuxième four C (10 brûleurs) ou de construction d'un nouveau complexe à l'avenir tout en conservant la quantité de production actuelle (174T/h) charge GPL.

D'après cette étude nous concluons les points suivants :

- Dans les conditions actuelles du travail du four D, il n'est pas capable de gérer les deux rebouilleurs des deux colonnes de séparation.
- Pour que le four D (12 brûleurs) soit capable de gérer les deux rebouilleurs, il faut qu'il travaille avec les conditions suivantes :
 - $D_{FG} = 2566 \text{ Kg/h}$. Avec un débit du fuel gaz max supportable par le four D est 2900kg/h.
 - $D_{\text{huile}} = 770000 \text{ kg/h}$. Avec un débit d'huile max supportable par le four D est 861000kg/h.

Ce travail de fait d'étude nous a permis d'exercer les différentes méthodes de calculs pour le dimensionnement du four et de la colonne ainsi d'appliquer les différents bilans matière et thermique, et aussi de connaître beaucoup mieux les normes et le fonctionnement industriels.

Références bibliographiques :

[1] : Techniques de l'ingénieur.

[2] : Chouat, Chahinez etude de l'unité GTFT en mode turn down, janvier 2017 ; 61p.

[3] : dimensionnement d'une batterie d'échangeurs E201. Octobre 2015, 72P.

[4] : I. Benhamed & M. Mami Optimisation des paramètres de service des colonnes de séparation du complexe GP2Z, Mémoire de fin d'étude. U.S.T.O Oran MB.

[5] : J.LE NOGES étude des fours pétrolier et pétrochimique .

Date d'échantillonnage du : 01-03-2019 Au : 26-03-2020

Type d'analyse : Analyse des GAZ

Repère d'échantillonnage : GN

Date	Heure	N2	C1	C2	C3	IC4	NC4	IC5	NC5	C6	CO2	HE	Total	Observation
01-11-2019	08.00	5.636	83.531	7.482	1.893	0.27	0.412	0.092	0.11	0.151	0.243	0.18	100	
02-11-2019	08.00	5.38	84.162	7.342	1.822	0.256	0.383	0.078	0.079	0.091	0.227	0.18	100	
03-11-2019	08.00	5.647	83.738	7.377	1.862	0.288	0.398	0.084	0.089	0.097	0.24	0.18	100	
04-11-2019	08.00	5.454	83.921	7.349	1.879	0.266	0.411	0.093	0.114	0.097	0.236	0.18	100	
05-11-2019	08.00	5.632	83.641	7.565	1.883	0.264	0.389	0.07	0.018	0.177	0.183	0.178	100	
06-11-2019	08.00	5.535	84.069	7.25	1.834	0.257	0.381	0.075	0.091	0.092	0.236	0.18	100	
07-11-2019	08.00	5.606	83.929	7.265	1.851	0.259	0.399	0.093	0.111	0.048	0.259	0.18	100	
08-11-2019	08.00	5.271	84.112	7.379	1.822	0.256	0.39	0.085	0.116	0.14	0.249	0.18	100	
09-11-2019	08.00	5.6	83.949	7.207	1.879	0.26	0.372	0.082	0.098	0.12	0.253	0.18	100	
10-11-2019	08.00	5.586	84.16	7.148	1.837	0.254	0.387	0.08	0.087	0.034	0.247	0.18	100	
11-11-2019	08.00	5.493	83.962	7.303	1.867	0.265	0.409	0.088	0.093	0.11	0.23	0.18	100	
12-11-2019	08.00	5.857	84.33	7.099	1.661	0.21	0.291	0.046	0.049	0.073	0.204	0.18	100	
13-11-2019	08.00	5.782	84.138	7.126	1.76	0.235	0.349	0.066	0.067	0.07	0.227	0.18	100	

14-11-2019	08.00	5.69	84.054	7.144	1.821	0.25	0.374	0.075	0.087	0.084	0.241	0.18	100	
15-11-2019	08.00	5.589	84.081	7.194	1.824	0.253	0.385	0.076	0.09	0.081	0.247	0.18	100	
16-11-2019	08.00	5.568	84.108	7.162	1.839	0.257	0.394	0.079	0.094	0.073	0.246	0.18	100	
17-11-2019	08.00	5.497	84.042	7.211	1.849	0.258	0.393	0.092	0.105	0.136	0.237	0.18	100	

	Four D	
Fluide		Huile TORADA TC
Débit (Max)	Kg/h	861.000
Perte de pression allouée	MPa	0,3
Perte de pression calculée	MPa	0,26
Densité flux chaleur moyenne calculée	Kcal/h.m ²	31.986
Température maximum de film interne	°C	300
Facteur d'encrassement	m ² °C/W	0,000215
Rendement (design)	%	85,5
PCI (design)	Kcal/kg	11407,1
Débit fuel gaz	Kg/h	2900

		Four 401/6201C		Four 401/6201D	
		Condition entrée	Condition Sortie	Condition entrée	Condition Sortie
Température	°C	120	175	132	190
Pression	MPa	1,4	1,12	1,5	1,24
Masse volumique	Kg/m ³	807	773	800	764
Viscosité cinématique	cst	4,2	1,9	3,5	1,6
Chaleur spécifique	Kcal/kg°C	0,54	0,59	0,55	0,60
Conductivité thermique	Kcal/hm°C	0,1078	0,1045	0,1071	0,1036
Chaleur spécifique moy	Kcal/kg°C	0,560		0,575	

Approuvé
(Approved Issue)

M L (A)

14-Jul-06	2
30-Jun-06	1
30-May-06	0

SONATRACH	3
環ブコア	1
環ブE部	
環ブ設計(船橋)	
環ブ設計(野袋)	1
環ブ設計(電気)	

PM	EM
<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>

Equip. Eng'g Dept. (IPEC)	
<i>D. Umeda</i>	-

土建部	2	18-Jul-06	Approved Issue	<i>I. A. / S. Tsutaki</i>	<i>K. Sawa</i>	<i>N. Okumura</i>
環ブ調	1	6-Jun-06	For Approval	S. Tsutaki	K. Sawa	N. Okumura
環ブ調品	0	23-May-06	For Inquiry	S. Tsutaki / K. Sawa	-	N. Okumura
環ブ理予	NO.	DATE	DESCRIPTION	PREP'D / CHECKED	CHECKED	APPROVED

環ブ建	
IPEC 配管	
IPEC 機器	1
IP1	
控	1
合計	8
配布先	
発行元	

SONATRACH-Activité AVAL -Complexe GP2.Z
Projet de Sécurisation et de Fiabilisation
du Complexe GP2.Z



Fired Heater Data Sheet for 401/6201D

環ブE部 TEL +81-3-6204-7612	IHI Engineering Dept. Environment & Plant	JOB NO. 5011-112	DRAWING NO. B0200-2502	REV. 2	/
--------------------------------	---	---------------------	---------------------------	-----------	---

DIRECT FIRED HEATER DATA SHEET (2/9)

1 CUSTOMER	SONATRACH	ITEM NO.	401/6201D
2 LOCATION	Arzew Industrial Area, Algeria (Sea Front)		
3 SERVICE	Four d'Huile Chaude D (Hot Oil Heater D)		
4 NUMBER REQUIRED	1 Unit		
5 TOTAL DUTY PER HEATER			
6 TYPE	VERTICAL CYLINDRICAL		
7 MANUFACTURE			
8 CASE	GOVERNING CASE (100% NORMAL OPERATION (Winter))		

9 PROCESS DESIGN CONDITIONS			
10 HEATER SECTION	-	Radiation/Convection	
11 SERVICE	-	Hot Oil Heating	
12 HEAT ABSORPTION	GJ/h	130 (*1)	
13 FLUID	-	TORADA-TC Oil (*2)	
14 FLOW RATE (Maximum)	kg/h	861,000	
15 FLOW RATE, BPD	BPD		
16 PRESSURE DROP (ALLOWABLE)	MPa	0.3	
17 PRESSURE DROP (CALCULATED)	MPa	0.26	
18 AVERAGE FLUX DENSITY (ALLOWABLE)	kW/m ²		
19 AVERAGE FLUX DENSITY (CALCULATED)	kW/m ²	37.2	
20 MAXIMUM FLUX DENSITY	kW/m ²		
21 VELOCITY LIMITATION	m/s		
22 MAXIMUM ALLOWABLE INSIDE FILM TEMPERATURE	°C	300	
23 FOULING FACTOR	m ² °C / W	0.000215	
24 CORROSION OR EROSION CHARACTERISTICS	-	Organic Sulfur (0.46wt%)	
25			
26 INLET CONDITIONS:			
27 TEMPERATURE	°C	132.0	
28 PRESSURE	MPaG	1.4	
29 LIQUID FLOW	kg/h	861,000	
30 VAPOR FLOW	kg/h		
31 LIQUID DENSITY	kg/m ³	800	
32 VAPOR MOLECULAR WEIGHT	-		
33 VISCOSITY (LIQUID/VAPOR)	mN-s/m ²	2.57	
34 SPECIFIC HEAT (LIQUID/VAPOR)	KJ/Kg-C	2.25	
35 THERMAL CONDUCTIVITY (LIQUID/VAOR)	W/m-C	0.125	
36			
37 OUTLET CONDITIONS:			
38 TEMPERATURE	°C	190.0	
39 PRESSURE	MPaG	1.14	
40 LIQUID FLOW	kg/h	861,000	
41 VAPOR FLOW	kg/h		
42 LIQUID DENSITY	kg/m ³	782	
43 VAPOR MOLECULAR WEIGHT	-		
44 VISCOSITY (LIQUID/VAPOR)	mN-s/m ²	1.16	
45 SPECIFIC HEAT (LIQUID/VAPOR)	KJ/Kg-C	2.51	
46 THERMAL CONDUCTIVITY (LIQUID/VAOR)	W/m-C	0.121	
47			

48 Remarks			
49	1. (*1) 20-100% (20GJ/h -180GJ/h) Operation shall be considered.		
50	2. (*2) Refer to Sheet-9		
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			

DIRECT FIRED HEATER DATA SHEET (3/9)

COMBUSTION DESIGN CONDITIONS

		Natural Gas	Off Gas(Case-1)	Off Gas(Case-2)	Off Gas(Case-3)
*TYPE OF FUEL					
*EXCESS AIR	%				
GUARANTEED EFFICIENCY	% (LHV)	84%			
CALCULATED EFFICIENCY	% (LHV)	85.5%			
RADIATION LOSS	% OF HEAT RELEASE (LHV)	2.5%			
FLUE GAS TEMPERATURE (LEAVING RADIANT SECTION)	°C	800			
FLUE GAS TEMPERATURE (LEAVING CONVECTION SECTION)	°C	240			
FLUE GAS MASS VELOCITY THROUGH CONVECTION SECTION	kg/m ² -s				
DRAFT AT BRIDGE WALL	mmH ₂ O	-2			
DRAFT AT BURNERS	mmH ₂ O	-12			
*AMBIENT AIR TEMPERATURE	°C	4 ~ 38			
*ALTITUDE (ABOVE SEA LEVEL)	m	10			
CALCULATED HEAT RELEASE	J/hr (LHV)	152			
VOLUMETRIC HEAT RELEASE	J/hr m ³				

FUEL CHARACTERISTICS

		Natural Gas	Off Gas(Case-1)	Off Gas(Case-2)	Off Gas(Case-3)
*TYPE OF FUEL					
FLOW RATE	kg/hr (Min./Max.)	(*)	0 / 1,100(*2)	0 / 1,550(*2)	0 / 830(*2)
*HEATING VALUE	HHV	kJ/Nm ³	45,600	66,200	68,700
	LHV	kJ/Nm ³	41,600	61,100	63,600
*SPECIFIC GRAVITY			0.67	0.971	1.012
*H/C RATIO (by Weight)					
*TEMPERATURE AT BURNER	°C (Min./Max.)	4/38	4/40	4/40	4/40
*VISCOSITY@	25 °C	mPa-s	0.011	0.010	0.009
	40 °C	mPa-s	0.011	0.010	0.010
*FUEL PRESSURE AVAILABLE AT BURNER	MPaG	0.3	0.3	0.3	0.3
*ATOMIZING STREAM PRESSURE	MPaG	None	None	None	None
*VANADIUM CONTENT (FOR LIQUID FUELS)	ppm	None	None	None	None
*SODIUM CONTENT (FOR LIQUID FUELS)	ppm	None	None	None	None
*SULFUR CONTENT	wt %	None	None	None	None
*GAS MOLECULAR WEIGHT		19.40	28.14	29.31	27.15
COMPOSITION					
	C1 [mol %]	84.21	24.13	17.34	30.05
	C2 [mol %]	9.07	65.53	70.76	60.73
	C3 [mol %]	3.36	10.34	11.90	9.22
	iC4 [mol %]	0.76	0.00	0.00	0.00
	nC4 [mol %]	0.82	0.00	0.00	0.00
	iC5 [mol %]	0.20	0.00	0.00	0.00
	nC5 [mol %]	0.11	0.00	0.00	0.00
	C6+ [mol %]	0.05	0.00	0.00	0.00
	CO2 [mol %]	0.61	0.00	0.00	0.00
	N2 [mol %]	0.81	0.00	0.00	0.00
		100.00	100.00	100.00	100.00

MECHANICAL DESIGN CONDITIONS

GENERAL		STACK LIMITATIONS	
*PLOT LIMITATIONS		*OTHER LIMITATIONS	
*TUBE LIMITATIONS			
*REQUIRED DRAWINGS			
*STRUCTURAL DESIGN DATA WIND LOAD		SEISMIC FACTOR	
*LIST OF APPLICABLE STANDARDS OR SPECIFICATIONS:			

Notes

- (*) Fuel Gas shall be used for short of Off Gas Duty.
- Required flow rate of natural gas and required pressure at burner shall be specified by vendor.
- (*) Flow rate of Off Gas changes from Minimum to Maximum Flow Rate.

IHI Engineering Dept.
Environment & Plant

JOB NAME
Projet de Sécurisation et de Fiabilisation du Complexe GP2.Z
JOB NO. 5011-112 REV.
DRAWING NO. B0200-2502 2