



# MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**

Option : **GÉNIE DES PROCÉDÉS DES MATÉRIAUX**

## THÈME

**Étude et optimisation du rendement du four**

Présenté par

- 1- GHOMRI SABRIA
- 2- GOUAICH CHERIFA

Soutenu le 12 /06 / 2024 devant le jury composé de :

Président :	ZITOUNI Ali	MCA	Université de Mostaganem
Examineur :	MATOUGUI Mohamed	MCA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	CHERID Samira	Pr	Université de Mostaganem
Co-rapporteur :	KESSAS Mohammed	Doctorant	Université de Mostaganem

## **Dédicace**

**Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU de m'avoir donné la force et le courage de bien mener ce modeste travail.**

**Je tiens à dédier cet humble travail à :**

**A ma tendre mère AMINA et mon très cher père SADIK**

**A mon frère : SOULAYMEN**

**A mon binôme : GHOMRI SABRIA**

**A toute ma famille**

**Tous ceux qui m'aiment et que j'aime**

**GOUAICH. CHERIFA**

# Dédicace

Dédicace Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU De m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à dédier cet humble travail à :

- A ma tendre mère OTMANIA et mon très cher père MALIK
- A ma sœur : DOUNIA
- A mes frères : MOHAMED, ABDELHAK

A mon binôme : GOUAICH CHERIFA

A toute ma famille

Tout ceux qui m'aiment et que j'aime

**GHOMRI SABRIA.**

# **Remerciement**

**En premier lieu nous remercions Allah notre créateur, pour nous avoir donné la force et la volonté pour accomplir ce travail.**

**Nos vifs remerciements et notre profonde reconnaissance vont à notre encadante, Pr. CHERID Samira pour avoir dirigé ce travail, pour sa qualité d'écoute, ses nombreux conseils, son aide et son assistance, malgré sa lourde charge pédagogique et toutes ses responsabilités.**

**Nos sincères remerciement, vont également à tout le personnel du complexe GP1/Z pour leur présence, leur disponibilité, leur orientation et l'aide qu'ils nous ont apporté et Nos derniers remerciement a tous les enseignants du département génie des procédés.**

## Résumé

Le terme GPL ou gaz de pétrole liquéfié désigne un mélange d'hydrocarbures, qui sont gazeux aux conditions normales de température et de pression et qui ont la propriété de passer de l'état liquide par un abaissement de température ou de pression ou des deux à la fois. Il s'agit essentiellement de butane et de propane. Cette propriété permet de stocker dans un volume réduit ( $1\text{m}^3$  de GPL liquide occupe un volume de  $225\text{ m}^3$  à l'état gazeux).

Les GPL appartiennent à la famille des paraffines et sont composés essentiellement du  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  avec de faibles proportions de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ , et  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ .

Le gaz de pétrole liquéfié (GPL) est un mélange d'hydrocarbures légers stockés à l'état liquide et issus du raffinage du pétrole (40% des ressources mondiales) et plus généralement du traitement du gaz naturel (60% des ressources mondiales).

Le GPL était autrefois considéré comme un résidu de l'extraction du pétrole et directement brûlé au sommet de torches. Il est dorénavant récupéré par distillation, les fractions les plus nobles servent généralement de carburant pour véhicules en remplacement des essences plus chères et plus polluantes.

**Les mots clé :** Gp1Z, liquéfié, hydrocarbures, raffinage, torches, Refroidissement, réfrigération, séparation, déshydratation.

### ملخص :

يشير مصطلح غاز البترول المسال أو غاز البترول المسال إلى خليط من الهيدروكربونات، التي تكون غازية في ظل ظروف درجة الحرارة والضغط العادية ولها خاصية المرور من الحالة السائلة عن طريق خفض درجة الحرارة أو الضغط أو كليهما في نفس الوقت. إنه في الأساس البوتان والبروبان. تجعل هذه الخاصية من الممكن التخزين في حجم مخفض (1 متر مكعب من غاز البترول المسال السائل يشغل حجم 225 م<sup>3</sup> في الحالة الغازية).

تنتمي غاز البترول المسال إلى عائلة البارافين وتتكون بشكل أساسي من  $\text{C}_3\text{H}_8$  و  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  بنسب منخفضة من  $\text{CH}_4$  و  $\text{C}_2\text{H}_6$  و  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ .

غاز البترول المسال (LPG) هو خليط من الهيدروكربونات الخفيفة المخزنة في حالة سائلة ومستمدة من تكرير النفط (40% من الموارد العالمية) وبشكل أعم من معالجة الغاز الطبيعي (60% من الموارد العالمية).

كان غاز البترول المسال يعتبر ذات مرة بقايا استخراج النفط وحرقت مباشرة في الجزء العلوي من المشاعل. يتم استردادها الآن عن طريق التقطير، وتستخدم أنبل الكسور عموماً كوقود للمركبات لتحل محل البنزين الأكثر تكلفة والأكثر تلويثاً.

كلمات مفتاحية: Gp1Z, مسال، الهيدروكربونات، تكرير، مشاعل، تبريد، انفصال، جفاف.

## **Abstract:**

The term LPG or liquified petroleum gas refers to a mixture of hydrocarbons, which are gaseous under normal temperature and pressure conditions and which have the property of passing from the liquid state by lowering the temperature or pressure or both at the same time. These are mainly butane and propane. This property makes it possible to store in a reduced volume (1m<sup>3</sup> of liquid LPG occupies a volume of 225 m<sup>3</sup> in the gaseous state).

LPGs belong to the paraffin family and are mainly composed of C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> with low proportions of CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, and C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>.

Liquefied petroleum gas (LPG) is a mixture of light hydrocarbons stored in a liquid state and derived from the refining of petroleum (40% of global resources) and more generally from the treatment of natural gas (60% of global resources).

LPG was once considered a residue of oil extraction and burned directly at the top of torches. It is now recovered by distillation, the noblest fractions are generally used as fuel for vehicles to replace more expensive and more polluting gasolines.

**Key words :** Gp1Z, liquefied, hydrocarbons, refining, torches, cooling, refrigeration, separation, dehydration.

# Table des matières

Introduction générale :.....	1
Chapitre 1 : Présentation du complexe GP1Z .....	3
1.1 Introduction.....	4
1.1.1 Définition du Gaz Pétrole Liquéfié (GPL).....	4
1.1.2 La composition chimique du GPL .....	4
1.1.3 L'origine du GPL.....	5
1.2 Comparaison entre les deux phases .....	7
Chapitre 2 Les sections du complexe GP1Z.....	8
2.1 Section de stockage de la charge .....	9
2.2 Section déshydratation .....	9
2.3 Section séparation.....	10
2.4 Section de réfrigération .....	11
2.5 Section de l'huile chaude .....	12
2.5.1 Zone de radiation .....	13
2.5.2 Zone de convection .....	13
2.6 Section de stockage des produits.....	14
2.7 Section de récupération de gaz Evaporés : (Boil Of Gaz) .....	14
Chapitre 3 Description des fours du complexe GP1Z.....	17
3.1 DESCRIPTION GENERALE DES FOURS:.....	17
3.2 Les fours du complexe GP1Z.....	18
3.3 Contrôle et marche des fours.....	19
3.4 Le rôle des fours du complexe GP1Z .....	20
3.5 Le rendement d'un four .....	20
Chapitre 4 section de fluide caloporteur .....	22
4.1 Introduction.....	22
4.2 L'huile TORADA TC 32.....	22

4.3	Propriétés du fluide caloporteur .....	23
	Chapitre 5 calcul du rendement dans la zone de radiation au niveau de la phase I et II .	24
5.1	Introduction.....	25
5.2	Calcul du rendement dans la zone de radiation au niveau de la phase 1.....	25
5.3	Calcul de la chaleur globale fournie par le four (Qf 100) .....	25
5.4	Calcul du pouvoir calorifique inférieur du gaz combustible (LHV): Le pouvoir calorifique	26
5.5	Calcul de la chaleur sensible de gaz combustible (Hf) .....	28
5.6	Calcul de la chaleur sensible de l'air (Ha).....	29
5.7	Calcul de la chaleur sensible des gaz brûlés (Qbrûlés100).....	30
5.8	CALCUL DU RENDEMENT DANS LA ZONE DE RADIATION AU NIVEAU DE LA PHASE II	31
6	Conclusion générale .....	33



# Introduction générale

## Introduction générale :

Aujourd'hui plus de 90 % d'énergie utilisée dans le monde provient de gisement de combustible fossile ou d'uranium.

L'Algérie occupant une position géographique très importante, elle est riche en de nombreuses ressources naturelles exploitées et même non exploitées, elle dépend essentiellement de ces énergies car ses hydrocarbures présentent de très loin le pilier principal de l'économie nationale depuis l'indépendance et donc le pétrole et le gaz sont considérés comme des richesses naturelles considérables, et afin de bénéficier et d'exploiter de ces fortunes la société SONATRACH a été établie, elle exerce ses métiers en Algérie et partout dans le monde .

Le groupe SONATRACH a construit 5 postes de chargements en mer situés au niveau de trois zones séparées :

- 2 situés à Arzew.
- 2 situés à Skikda.
- 1 situé à Bejaia.

Pour l'augmentation de la capacité d'exportation des hydrocarbures.

L'une des plus essentielles ressources demandée de notre temps c'est bien le GPL (gaz du pétrole liquéfié), actuellement la consommation de ce dernier augmente d'une manière significative ainsi qu'il représente une source importante d'énergie considérant son bas taux de pollution comparé à celui des autres combustibles classiques. Il peut être facilement condensé, stocké et utilisé, ce qui fait de lui une énergie idéale pour une large gamme d'applications.

La société Sonatrach utilise tout un système énergétique (forage de pétrole, mines de charbon, d'énormes navires qui assure la distribution du charbon et du pétrole,...) pour la transformer en d'autres énergies, Le besoin de ces énergies augmente très rapidement de plus en plus, et leurs coûts aussi augmentent, et donc cela affecte le prix du produit fini à cause de tout cela l'industrie accorde une grande importance à l'énergie pour cela le complexe GP1Z préoccupé essentiellement l'aspect d'économie d'énergie, tout comme la pollution, le contrôle de qualité... , , sachant qu'au niveau des complexes de GPL d'Arzew qui sont le (GP1/Z, GP2/Z), les besoins en chaleur pour le remouillage et les échanges thermiques sont assurés par une huile minérale locale dit TORADA TC 32 chauffée dans les fours puis envoyée aux utilisateurs.

# Chapitre 1 : Présentation du complexe GP1Z

# Chapitre 1 : Présentation du complexe GP1Z

## 1.1 Introduction

Le complexe de production GPL dénommé GP1Z ou « JUMBO GPL » de l'entreprise nationale SONATRACH est le dernier né des ensembles industriels de la zone d'ARZEW.

Le complexe a été construit dans le cadre d'un contrat clé en main avec le concours d'un consortium japonais IHI-CITON, et a été réceptionné le 02 septembre 1984.

Le complexe a pour mission de produire de Butane, Propane et du mélange Butane /Propane à partir du GPL provenant du grand sud Algérien, complexe Hassi Messaoud, Hassi R'Mel, Ain Amenas...etc.

La capacité annuelle de production de l'usine est de 7,2 millions de tonnes par an.

Le « JUMBO GPL » s'étend sur une surface 120 hectares sur la bande de terre comprise entre la route nationale 11 et le bord de la mer Méditerranée.

Et grâce à sa situation géographique, le GP1Z fait occuper une place de choix à la SONATRACH dans le marché international des G.P.L

### 1.1.1 Définition du Gaz Pétrole Liquéfié (GPL)

L'appellation « Gaz de Pétrole Liquéfiés » ou « GPL » (LPG en anglais) peut qualifier deux gaz à l'état liquide : le propane (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) et le butane (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>). Ce sont tous les deux des hydrocarbures « saturés » qui sont composés de liaisons simples d'atomes de carbone et d'hydrogène, mais il peut être à l'état liquide, dès qu'on le soumet à l'une des conditions suivantes :

- Pression relevée à la température ambiante.
- Pression atmosphérique et température basse.
- Pression modérée et température partiellement basse.

### 1.1.2 La composition chimique du GPL

Le gaz de pétrole liquéfié ou GPL est un mélange gazeux d'hydrocarbures légers composé d'environ 80% de butane (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) et 20% de propane (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) (ce sont des hydrocarbures saturés) à température ambiante et pression atmosphérique.

Les molécules de propane et de butane sont formées respectivement de 3 et 4 atomes de carbone et de 8 et 10 atomes d'hydrogène. Ces atomes sont tous reliés par des liaisons simples (ou covalentes). Cela signifie que tous les atomes liés entre eux mettent en commun un électron de leurs couches externes afin de former des doublets d'électrons qui maintiennent l'attraction

entre les atomes. Le propane et le butane sont naturellement gazeux à pression atmosphérique (1 bar) et à température ambiante (15°C). Ils peuvent toutefois facilement être liquéfiés et sont alors qualifiés de GPL.

Le propane et le butane se différencient l'un de l'autre par la température et la pression auxquelles ils passent de l'état gazeux à l'état liquide. A pression atmosphérique (1 bar), le propane devient liquide en dessous de -42°C tandis que le butane passe à cet état dès que la température descend en dessous de 0°C.

### 1.1.3 L'origine du GPL

Les gaz de pétrole liquéfiés sont obtenus principalement :

- Dans les raffineries de pétrole, en cours de la distillation du pétrole brut.
- Au cours des opérations de dégazolinage du gaz naturel sur les champs de production, pour obtenir les produits condensables (butane et propane).



**Figure 1 : Carte géographique de la zone industrielle.**

Le complexe GP1Z comprend les installations suivantes :

- Les installations de stockage d'alimentation se composent de seize sphères et stockent temporairement la charge et ont une capacité globale de 16 000m<sup>3</sup> et de 1 000 m<sup>3</sup> chacune, Elles sont réparties en quatre groupes comportant chacun quatre sphères et

deux pompes d'alimentation dont trois groupes pour la phase I, et un seul groupe identique pour la phase II.

- Les installations de production comprennent 6 trains dont deux pour la deuxième phase installée réellement et 4 trains pour la phase I et chacun de ces trains est composés des sections suivantes :
  - Section de déshydratation : Cette section permet d'éliminer l'eau contenue dans le GPL d'alimentation, en utilisant des tamis moléculaires.
  - Section de séparation de GPL : Cette section a pour but de séparer le GPL brut en produits commerciaux C3, C4, avec un taux de récupération maximum.
  - Section de réfrigération : Cette section est conçue pour réfrigérer le propane et le butane commerciaux produits dans la section de séparation, les réfrigères jusqu'aux basses températures correspondant au point de saturation liquide et les dirige vers les bacs de stockage à basse température.
  - Section d'huile chaude : La section du fluide caloporteur est utilisée comme source de chaleur, pour les rebouilleurs et les pré-chauffeurs des fractionnateur,
- Les installations de stockage des produits finis comprennent deux sections :
  - Section de stockage des produits : elle comprend six bacs de stockage à basse température d'une capacité de stockage de 70 000 m<sup>3</sup> pour chacun trois pour le (C3) et trois pour le (C4) et cinq sphères de stockage à température ambiante, une pour le propane, trois pour le butane et une pour le pentane, la capacité de chacune est de 5 000 m<sup>3</sup>.
  - Section de récupération de gaz Evaporés (Boil Of Gaz) : Le but de cette récupération est la liquéfaction des gaz d'évaporation pour les renvoyer dans le système de stockage.
- Les installations de chargement de Bateaux à Basse Température :
  - Section de chargement de camions à température ambiante : Dans cette zone s'effectue le chargement du butane et du propane à température ambiante à partir de 4 sphères.

## 1.2 Comparaison entre les deux phases

Les différentes unités de fonctionnement de la phase I et celles de la phase II sont presque identiques. La seule différence majeure réside dans la section de séchage où on dénombre seulement deux colonnes d'adsorption au lieu de trois dans la phase I.

Une en fonctionnement, une en attente et la troisième en régénération.

L'autre différence est que les compresseurs de propane sont entraînés par une turbine à gaz dans la phase I, alors que dans la phase II c'est un moteur électrique qui est utilisé pour cela.

# **Chapitre 2 : Les sections du complexe GP1Z**



## Chapitre 2 : Les sections du complexe GP1Z

### 1.3 Section de stockage de la charge

Cette section est conçue pour maintenir un fonctionnement stable, Elle est destinée aussi pour recevoir soit le flux de recyclage, soit le produit hors spécification revenant des sections en aval.

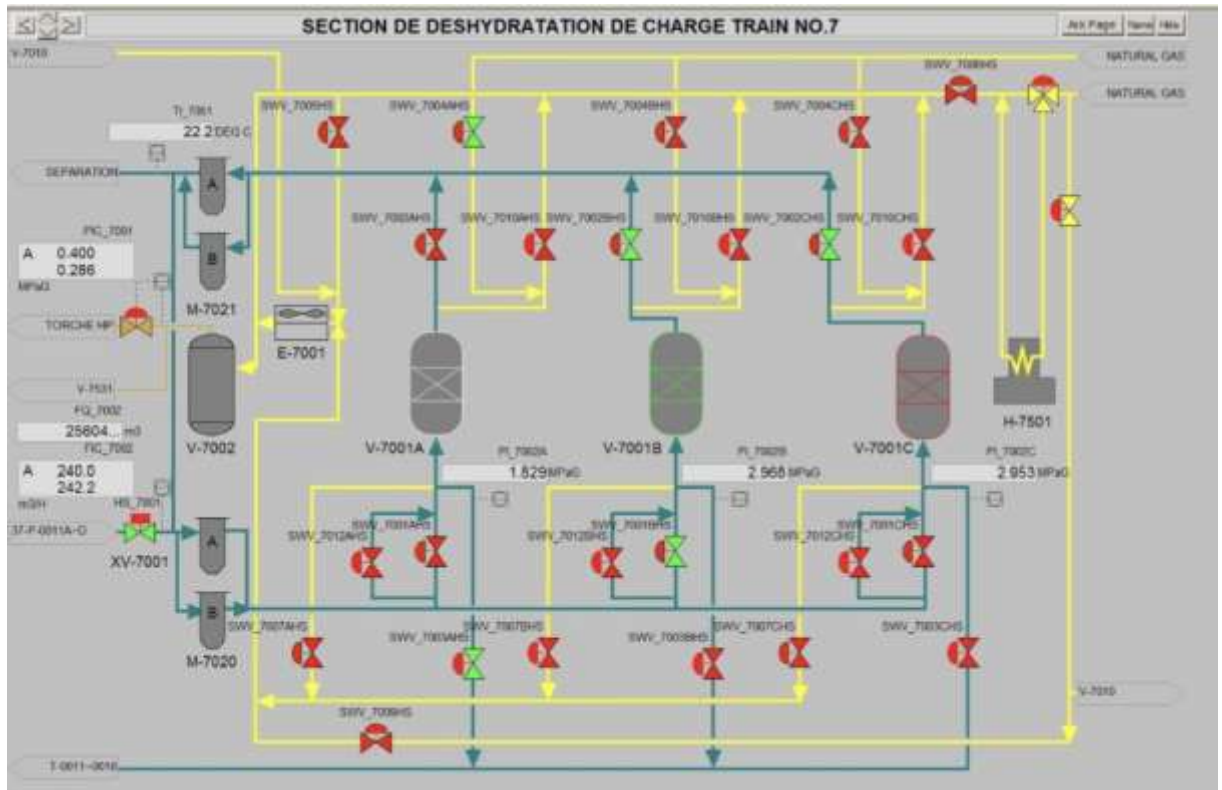
La charge d'alimentation est livré par Région Transport Ouest (RTO) à notre complexe à l'aide de pipe-line en passe d'abord par un collecteur équipé par un contrôleur de pression permettant le maintien d'une pression de service stable puis traverse des filtres chacun muni PDI ( $\Delta P=0,5$ ) afin de signaler l'encrassement , Ensuite le GPL traverse les dégazeurs de la charge afin de séparer et purger les vapeurs du mélange vers les sphères d'alimentation , une fois que la charge est filtrée et dégazée, elle passe alors à travers six démercuriseurs pour réduire sa teneur en Mercure jusqu'à l'ordre de 5 nano-g/Nm<sup>3</sup>.

A l'issue des démercuriseurs la charge passe par des redresseurs pour rendre l'écoulement laminaire afin d'avoir une lecture correcte du débit et de la densité du GPL.

Finalement La charge est stockée dans 22 réservoirs sphérique sous une pression de [18 ~ 22] Kg/cm<sup>2</sup> et une température de [5~ 41.8] ° C et de capacité de 1000 m<sup>3</sup>. Ces derniers sont devisés en 5 blocs et chaque bloc contient 4 Sphères dans la phase I et II et pour la phase III il y a 6 sphères, 3 blocs alimentent les trains de la phase (I) et un bloc pour la phase (II) et l'autre groupe pour la phase (III).

### 1.4 Section déshydratation

Le but de la déshydratation est de réduire la teneur en eau dissoute dans le GPL de 100 à 5 ppm en poids pour éviter, ainsi, la formation de glace et de bouchons de givre dans les parties froides de l'installation.

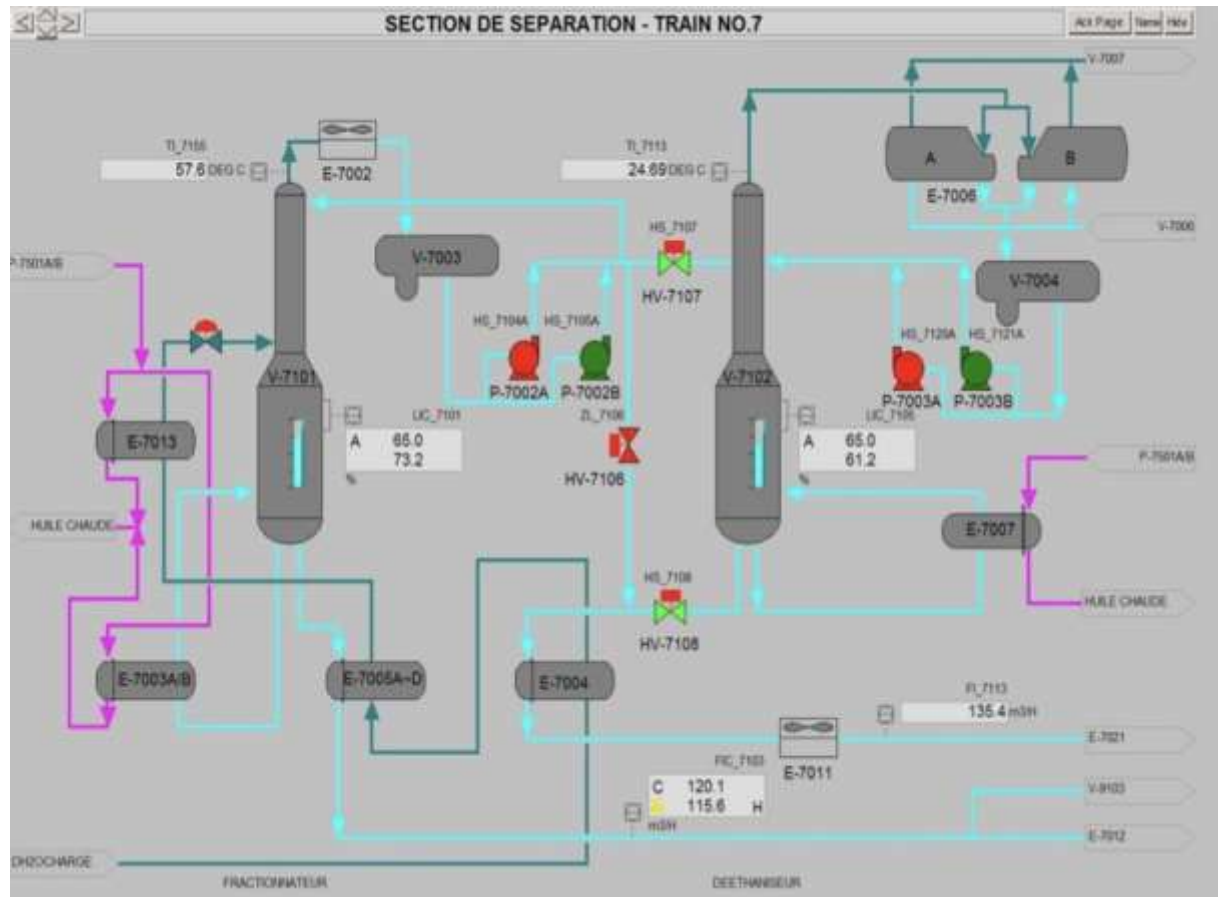


## 1.5 Section séparation

C'est la section qui assure la séparation de GPL en deux produits finis propane et butane, en plus de très faibles quantités d'éthane et de pentane.

Le GPL déshydraté avant de passer au fractionnateur il doit être porté à sa température d'ébullition (71°C), en passant à travers trois préchauffeurs (échangeur de chaleur), le premier est chauffé par le produit de fond du dééthaniseur, le second par les produits de fond du fractionnateur et le dernier par l'huile chaude provenant du four.

Fractionnateur	Dééthaniseur	Dépentaniseur
C'est une colonne de fractionnement équipée de 55 plateaux à clapets. C'est dans cette colonne qu'on récupère en tête l'Ethane et le Propane et au fond le Butane et le Pentane.	C'est une colonne de fractionnement équipée de 25 plateaux à clapets. Cette colonne est utilisée pour l'élimination de l'éthane contenu dans le propane.	C'est une colonne de fractionnement équipée de 50 plateaux à clapets. Elle est utilisée pour éliminer le pentane contenu dans le butane

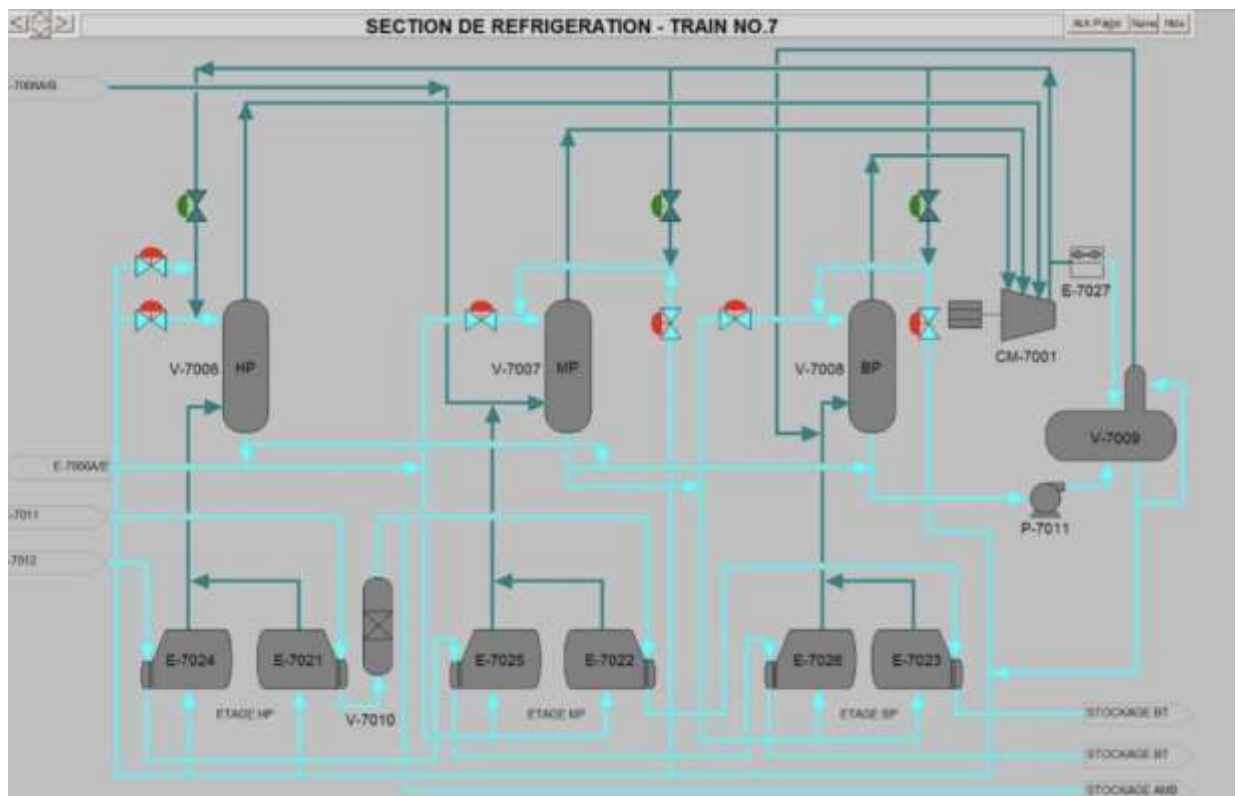


## 1.6 Section de réfrigération

Cette section est réalisée pour le refroidissement du butane et propane les produits finis de la section de séparation à des basses températures de stockage aux points de saturation liquide au voisinage de la pression atmosphérique entre  $-38$  et  $-42^{\circ}\text{C}$  pour le propane et entre  $-8$  et  $-10^{\circ}\text{C}$  pour le butane. Pour réduire la teneur en eau de 5 ppm vers 1 ppm les produits vont passer par un deuxième déshydrateur appelé déshydrateur de garde. Ensuite chacun des deux produits (butane et propane) passent par trois échangeurs "Schiller" suivant un cycle fermé formant une boucle de réfrigération, le propane pur est utilisé comme fluide réfrigérant, ce dernier est évaporé dans les échangeurs de chaleur. Cette évaporation provoque l'abaissement de température du produit à réfrigérer les vapeurs résultantes de l'évaporation du propane réfrigérant dans les Schillers et les condenseurs de têtes du déethaniseur sont collectées dans les trois ballons d'aspiration HP, MP et BP pour être aspirées par le compresseur centrifuge entraîné par une turbine à gaz dans la phase I et par un moteur électrique dans la phase III, puis elles sont condensées dans les condenseurs de type aéro-réfrigérant (E-X027). Les produits finis sont ensuite canalisés vers les bacs de stockage.



Figure 2. Les équipements de la section de réfrigération

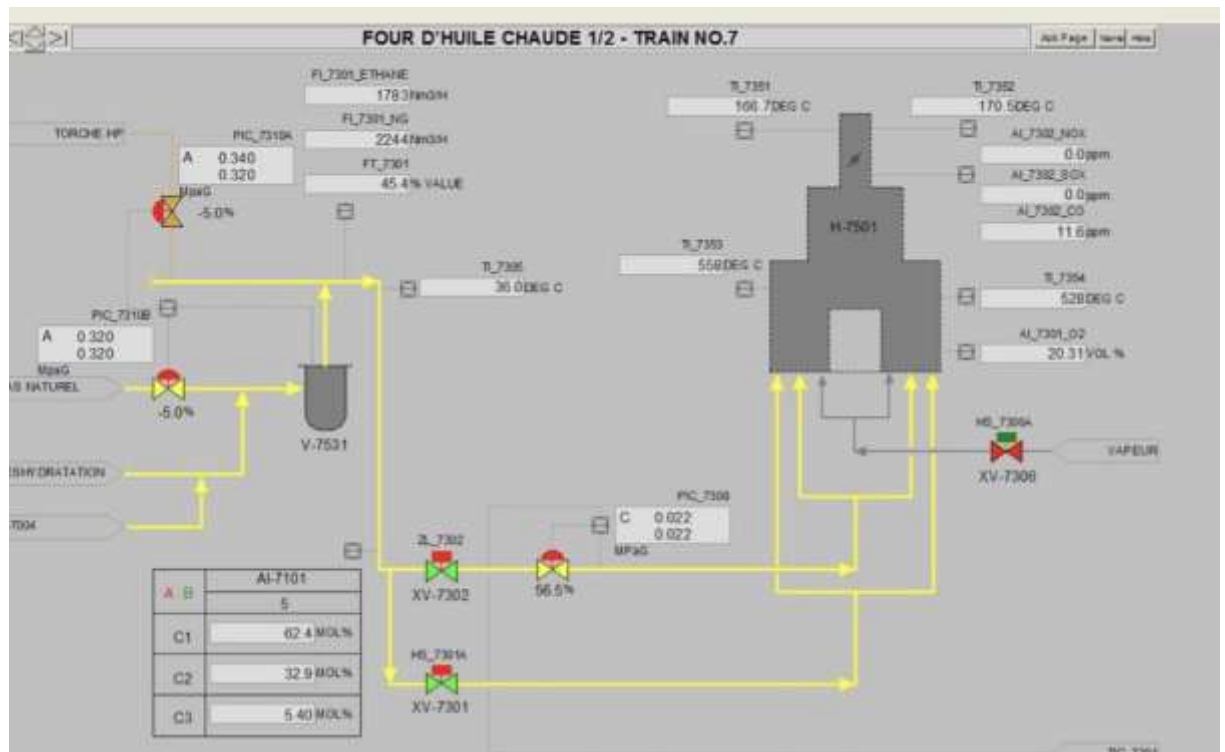


## 1.7 Section de l'huile chaude

L'huile chaude est utilisée comme source de chaleur pour les équipements suivants :

- Le troisième préchauffeur (E-1013).
- Les rebouilleurs de la section séparation : (E-1013A/B, E-1007, E-1009).
- Le gaz naturel de régénération de la section déshydratation.

Le circuit de l'huile est aussi une boucle fermée où les pompes en circulation aspirent l'huile du ballon d'expansion et le refoulent vers le four. Au niveau du four, l'huile est réchauffée par convection ensuite par radiation jusqu'à 180°C pour être dirigée vers différentes utilisations. A son retour l'huile est à la température de 130°C.



### 1.7.1 Zone de radiation

Cette zone est constituée principalement d'une chambre de combustion où se développe la flamme, et des tubes sont directement exposés à cette flamme et ils sont placés devant les parois de cette zone en une rangée et parfois fois en deux rangées.

Le fluide à chauffer circule à l'intérieur de ce faisceau de tubes. La transmission de chaleur s'effectue principalement par radiation. Une fraction de l'échange se fait également par convection entre les fumées et les tubes.

### 1.7.2 Zone de convection

C'est une chambre intermédiaire elle est installée à la sortie des fumées de la chambre de combustion elle est constituée d'un faisceau de tubes, à fin de récupérer la chaleur sensible des fumées, ces derniers circulent à vitesse élevée à travers ce faisceau. Ces tubes peuvent être garnis d'aiguilles, afin d'augmenter la vitesse des fumées et alors la surface d'échange.

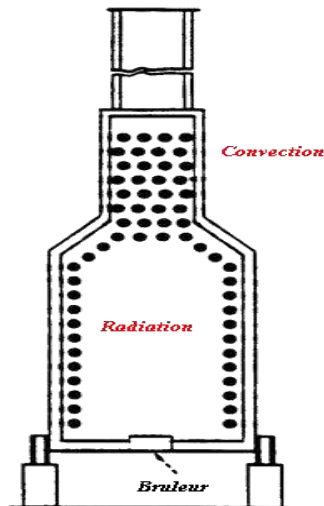


Figure 3. Schéma représente la constitution d'un four

## 1.8 Section de stockage des produits

Elle comprend six bacs de stockage à basse température d'une capacité de stockage de 70 000 m<sup>3</sup> pour chacun trois pour le (C3) et trois pour le (C4) et cinq sphères de stockage à température ambiante, une pour le propane, trois pour le butane et une pour le pentane, la capacité de chacune est de 5 000 m<sup>3</sup>.

## 1.9 Section de récupération de gaz Evaporés : (Boil Of Gaz)

Le but de cette récupération est la liquéfaction des gaz d'évaporation pour les renvoyer dans le système de stockage.

Les installations de chargement de Bateaux à Basse Température

Section de chargement de camions à température ambiante

Dans cette zone s'effectue le chargement du butane et du propane à température ambiante à partir de 4 sphères.



**Figure 4. sphères de stockage**



**Figure 5 Lieu de chargement des camion**



**Figure 6 . Lieu de chargement des navires**

# **Chapitre 3 : Description des fours du complexe GP1Z**



## Chapitre 3 : Description des fours du complexe GP1Z

### III.1 DESCRIPTION GENERALE DES FOURS:

Un four tubulaire est constitué d'une enveloppe métallique de formes diverses, souvent parallélépipède ou cylindrique.

Le four comporte une zone, dite « zone radiation » qui est celle où les tubes sont directement exposés à la flamme et reçoivent la chaleur principalement par radiation des produits de la combustion. En fait, cette zone est à proprement parler, la chambre de combustion où se développe la flamme. C'est en général, devant les parois de cette zone que sont placés les tubes. La plupart du temps en une rangée, parfois en deux rangées.

La zone de convection si elle existe, est installée à la sortie des fumées de la chambre de combustion.

Elle est constituée d'un faisceau de tubes placé en quinconce, perpendiculairement ou parallèlement à la direction des fumées. Dans les deux cas, on cherche à obtenir une vitesse assez grande pour les fumées, de façon à augmenter, le coefficient d'échange.

Les tubes placés en zone de convection ont quelque fois leur surface extérieure, dans la partie en contact avec les fumées, recouverte d'ailettes ou d'aiguilles (studs) qui augmentent considérablement la surface d'échange.

L'enveloppe métallique du four doit être suffisamment renforcée pour résister aux actions du vent et supporter l'ensemble du faisceau tubulaire et de tôles boulonnées ou soudées sur cette charpente. Comme en générale, la chambre de combustion est en dépression par rapport à l'atmosphère du fait du tirage de la cheminée, cette enveloppe doit être suffisamment étanche pour éviter des entrées d'air parasite qui aurait un effet préjudiciable sur le rendement du four.

Les parois intérieures du four sont protégées contre les effets de la température par un garnissage réfractaire et isolant dans un but de réduire les pertes calorifiques à l'extérieur.

Le plancher de la zone de combustion constitue la tôle du four, elle est recouverte d'une couche de produits réfractaires et isolants.

La cheminée de forme cylindre peut être située directement sur le four ou sur une fondation séparée. Pour un rôle de conduire les fumées. Dans l'atmosphère à une hauteur telle qu'elles ne risquent pas de gêner le voisinage, mettre la chambre de combustion en dépression et provoque ainsi l'entrée de l'air nécessaire à la combustion par les volets d'air des brûleurs.

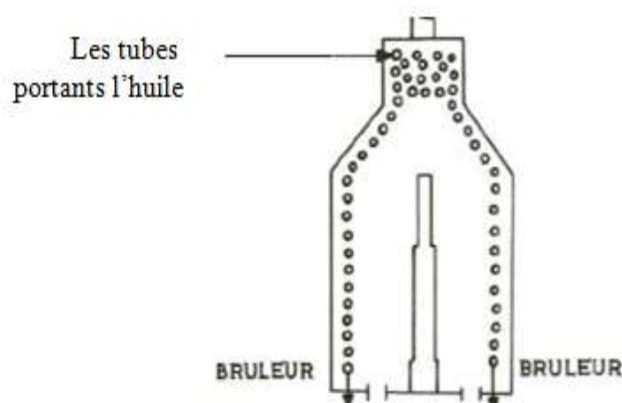
La cheminée est protégée dans sa partie base par une couche de béton réfractaire. Ce qui permet de la construire en acier ordinaire.

### III.2 Les fours du complexe GP1Z

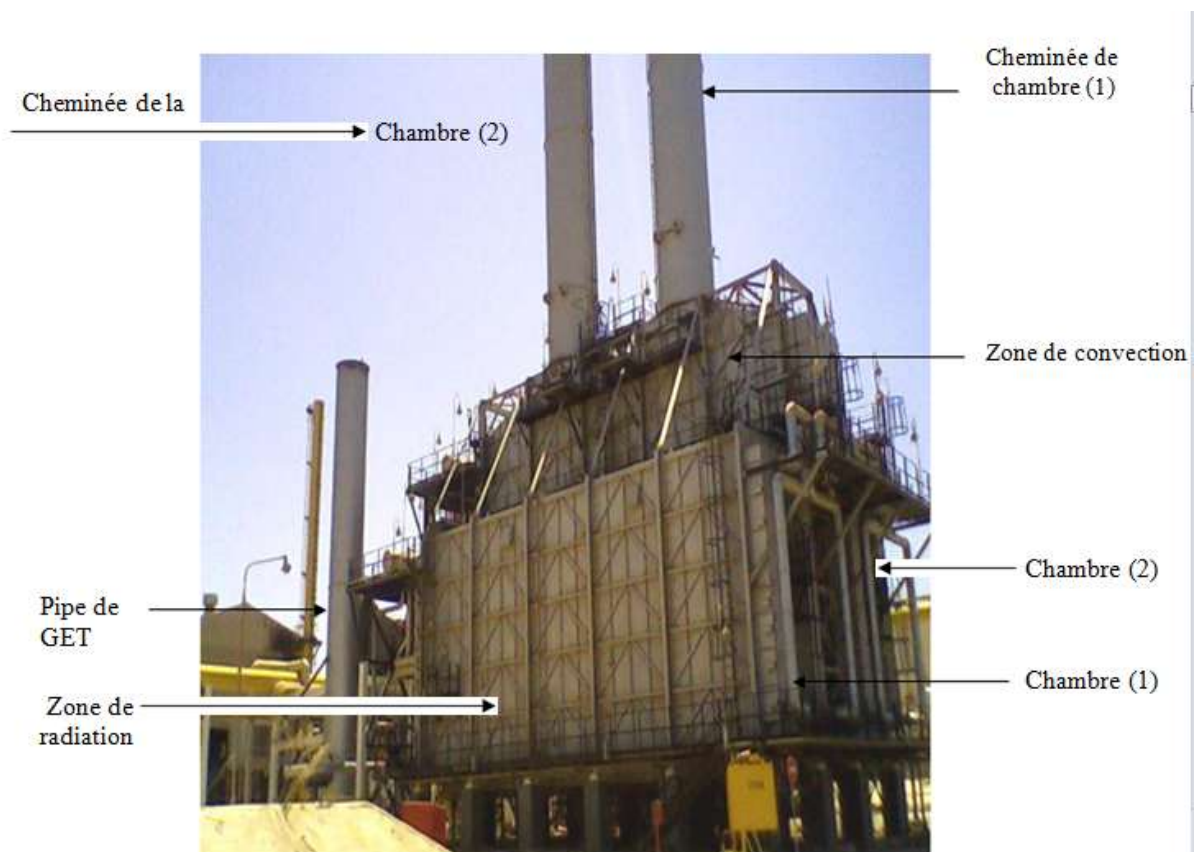
Les fours du complexe GP1Z (phase I et phase III) sont de types «Lummus, Anderson», ces fours se fonctionnent à avec un taux de transfert élevé et régulier et ils sont adaptés pour des capacités moyenne et importantes.

Le four utilisé dans le complexe GP1/Z est à huit passes, il comprend deux chambres de combustion là où le fluide caloporteur passe, une zone de radiation transfère de chaleur par rayonnement équipée par 15 pilotes et 15 brûleurs utilisant comme gaz combustible un mélange entre le gaz naturel et l'éthane récupéré au niveau du dééthaniseur du train. Une deuxième chambre dite zone de convection elle est alimentée par les gaz brûlés de la zone de radiation.

Les deux fours des deux phases (I et III) sont utilisés pour le chauffage du fluide caloporteur qui est l'huile utilisée comme source de chaleur pour les rebouilleurs les colonnes de la section de séparation où on sépare le C4, C3 et C2, Le chauffage du gaz naturel utilisé pour la régénération des déshydrateurs, Le gaz naturel récupéré de la section de déshydratation et l'éthane extrait de la section de séparation sont utilisés comme combustible pour le four ; en cas de besoin supplémentaire de carburant ; le gaz naturel frais est automatiquement injecté au



four. [28-29]



**Figure 7. Les fours de la phase I du complexe GP1Z**

#### Contrôle et marche des fours

Pour le bon fonctionnement des fours, l'excès d'air doit être réglé pendant la marche normale, pour cela il faut un analyseur d'oxygène en indique la teneur d'O<sub>2</sub> dans les fumées de la combustion du four.

Les sorties des fours sont équipés par des indicateurs de températures qui doivent transmettre la même valeur s'il y'a un grand écart entre les thermocouples donc il faut procéder au réglage manuel de l'excès d'air.

Un autre point très important concernant le bon fonctionnement des fours c'est l'arrêt des bruleurs en cas d'arrêt de la circulation dans les tubes en effet, si le débit de fluide à réchauffer devient nul étant que l'alimentation des brûleurs soit coupée, les tubes risquent d'être surchauffés car ils ne sont plus refroidis par la circulation du fluide et cette surchauffe peut provoquer des dégâts importants.

Le système de contrôle du four essaie généralement d'atteindre ces objectifs en contrôlant l'un ou plusieurs des paramètres suivants:

Rapport air/gaz combustible.

La température du four.

La composition de gaz en sortie du four.

La température de gaz en sortie du four.

La composition physique et chimique des matières premières dans le four.

Température du produit en sortie.

Le rôle des fours du complexe GP1Z

Les deux fours celui de la phase I et celui de phase II sont utilisés pour :

Le chauffage du fluide caloporteur qui est l'huile utilisée comme source de chaleur pour les rebouilleurs les colonnes de la section de séparation où on sépare le C4, C3 et C2.

Le chauffage du gaz naturel utilisé pour la régénération des déshydrateurs.

Le gaz naturel récupéré de la section de déshydratation et l'éthane extrait de la section de séparation sont utilisés comme combustible pour le four ; en cas de besoin supplémentaire de carburant ; le gaz naturel frais est automatiquement injecté au four.

Le rendement d'un four

L'économie d'exploitation est un facteur prépondérant dans l'étude d'un four aussi la notion de rendement est elle d'importance.

On définit le rendement d'un four comme le rapport entre la quantité de chaleur absorbée par la fluide réchauffé et celle dégagée par la combustion.

Une partie en général très faible de la chaleur non absorbée est perdue par conduction à travers les parois du four, les pertes les plus importantes sont les pertes à la cheminée.

Il faut toutefois signaler que la température des fumées reste toujours supérieure à la température de la charge dans le four.

# **Chapitre 4 section de fluide caloporteur**

## Chapitre 4 section de fluide caloporteur

### IV.1 Introduction

Dans ce chapitre on va étudier les caractéristiques et les propriétés du fluide caloporteur utilisé au niveau du complexe GP1Z,

D'abord un fluide caloporteur est un fluide chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température, le fluide caloporteur est choisi suivant des propriétés physico-chimiques :

- La viscosité.
- La capacité thermique volumique.
- La chaleur latente de vaporisation (ou de liquéfaction) en cas de changement de phase.
- La conductivité thermique.
- Les propriétés anticorrosives.
- Le coût.

Ainsi que des conditions climatiques interviennent sur le choix du fluide caloporteur.

Le fluide caloporteur utilisé au niveau de complexe GP1Z c'est la TORADA TC 32 qui est une huile minérale.

### IV.2 L'huile TORADA TC 32

C'est une huile pure, thermiquement stable elle est utilisée comme source de chaleur pour les rebouilleurs et les préchauffeurs finaux de la section séparation, elle est recommandée aussi pour le rinçage des carters et des canalisations.

Du fait de sa fluidité, l'huile TORADA TC 32 présente d'excellentes caractéristiques thermodynamiques.

Les principaux avantages obtenus par l'emploi de cette qualité d'huile par rapport à des huiles plus visqueuses sont:

- Meilleure résistance au craquage.
- Régime turbulent atteint beaucoup plus rapidement.
- Plus faible énergie nécessaire à sa circulation dans les circuits.

Cette huile est spécialement formulée pour offrir une longue durée de service et une excellente efficacité thermique dans une variété d'application industrielle tout en résistant au

dégradations causées par l'air et par les variations importants de température. Elle peut être aussi utilisée à jusqu'à des températures atteignant 320°C dans les systèmes clos.

### IV.3 Propriétés du fluide caloporteur

Désignation TORADA T.C → (densité = 0.804 à  $T^{\circ} = 124^{\circ}\text{C}$ ).

2- Point d'ébullition Inférieur (IBP →  $367^{\circ}\text{C}$ ).

3- Point d'ébullition Final (EP) →  $462^{\circ}\text{C}$ .

4-Point d'écoulement →  $-9^{\circ}\text{C}$ .

5-Point d'éclair →  $207^{\circ}\text{C}$ .

6-Durée de vie → Moyenne

7- Conductivité thermique à 20°C (w/m.k) → 0,1465 (excellent)

8- Indice de viscosité → 96

9-Risque d'incendie → Faible

10-Toxicologie → Faible

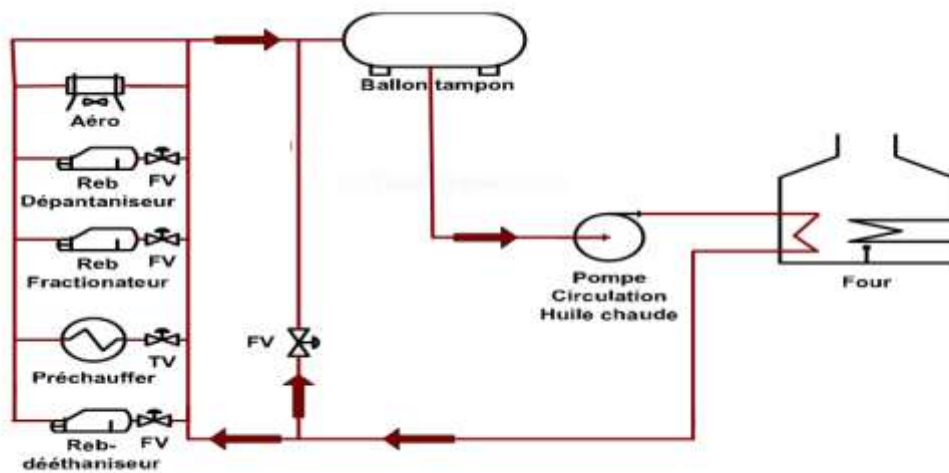


Figure 9. Schéma de la boucle huile chaude –Phase I

# **Chapitre 5 : Calcul du rendement dans la zone de radiation au niveau de la phase I et II**



## Chapitre 5 : Calcul du rendement dans la zone de radiation au niveau de la phase I et II

### V.1 Introduction

On se propose, afin de vérifier l'état des fours des deux phases I et II, et de calculer la chaleur échangée. Dans la phase I, nous avons choisi les trains 100 et 400 qui sont les plus représentatifs et nous avons tous les informations techniques sur ces deux trains étaient disponibles.

Pour nos différents calculs au niveau de la phase II, nous avons choisi les trains 500 et 600 car toutes les informations techniques sur ces deux trains étaient disponibles.

### V.2 Calcul du rendement dans la zone de radiation au niveau de la phase 1

Le rendement d'un four au niveau de la zone de radiation est un rapport énergétique, de quantité de chaleur absorbée par l'huile dans la zone de radiation sur sa quantité de chaleur fournie dans cette zone.

Le calcul de rendement dans la zone de radiation sera bien détaillé sur le train100, et au niveau du second train les résultats seront donnés directement car ils se font de la même manière.

$$N_{rad} = \frac{Q_{abs\ huile\ rad}}{Q_f - Q_{brûlés}}$$

Tel que :

- $Q_{abs\ huile\ rad}$  : chaleur absorbée par l'huile dans la zone de radiation.
- $Q_f$  : chaleur globale fournie par le four.
- $Q_{brûlés}$  : chaleur des gaz brûlés dans la zone de radiation.
- $Q_f - Q_{brûlés}$  : chaleur fournie par le four dans la zone de radiation.

#### ❖ Train100

### V.3 Calcul de la chaleur globale fournie par le four ( $Q_f$ 100)

La chaleur fournie par le four a été calculée selon la formule suivante :

$$Q_f = LHV + H_f + H_a$$

## Conclusion générale

Pour déterminer cette chaleur  $Q_f$ , on doit calculer LHV,  $H_f$ ,  $H_a$  où :

- LHV : PCI, Pouvoir calorifique inférieur du gaz combustible en Kcal/hr.
- $H_f$  : La chaleur sensible de gaz combustible en Kcal/h.
- $H_a$  : La chaleur sensible de l'air en Kcal/hr.

## V.3 Calcul du pouvoir calorifique inférieur du gaz combustible (LHV) : Le pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique (LHV) sera calculé comme suit :

- $LHV = LHV' \cdot (\text{débit massique de combustible})$ .
- LHV' : Pouvoir calorifique du gaz combustible par rapport à 1Kg de ce gaz en Kcal/Kg.

Calcul de LHV' :

$$LHV' = \sum XI (\text{massique}) PCI_i$$

- $XI_{\text{massique}}$  : Composition massique de chaque composant de gaz combustible
- $PCI_i$  : Pouvoir calorifique de chaque composant de gaz combustible à 0° C en kcal /Kg (annexe V) ;  $M_i$  : Masse molaire de chaque composant en Kg/Kmole (annexe VI).
- $X_i$  (molaire) : Composition molaire de chaque composant de gaz combustible.

COMPOSANTS	$X_i\%$ (molaire)	$M_i$ (Kg/Kmole)	$X_i$ (molaire) $M_i$	$X_i\%$ (massique)	PCI <sub>i</sub> (Kcal/Kg)	$X_i$ (massique) PCI <sub>i</sub>
N2	0	28	0	0		0
He	0	4	0	0		0
CO2	0.08	44	0,035	0,152		0
H2O	0	18	0	0		0
CH4	55,78	16	8,925	38,545	11957	4608,8724
C2H6	37,59	30	11,28	48,704	11355	5530,3763
C3H8	6.3	44	2,772	11,972	11075	1325,9004
IC4H10	0	58	0	0	10890	0
NC4H10	0.25	58	0,145	0,6262	10940	68,5108
IC5H12	0	72	0	0	10797	0
NC5H12	0	72	0	0	10825	0
C6H14	0	86	0	0	10825	0
<b>TOTAL</b>	100		23,15			11534

$$X_i (\text{massique}) = \frac{X_i (\text{molaire})M_i}{\sum X_i (\text{molaire})M_i} = n_{C4H10} = \frac{0,145 \cdot 58}{23,15 \cdot 58} = 0,6262$$

- $0,6262 \cdot PCI_i = 0,6262 \cdot 10940 = 68,5108$ .
- $68,5108 + \sum X_i (\text{massique}) PCI_i = 11 534$ .

## Conclusion générale

---

- LHV'100 =11534 k cal / h r.

Calcul du débit massique du combustible :

$$Q = K * A (\Delta p / p)$$

- Q: débit du gaz combustible (m3/hr).
- K: coefficient de orifice de element de mesures.
- A: surface de orifice en m2.
- $\Delta p$ : pert e de charge à travers orifice.
- P: masse volumique (Kg/m3).

Les paramètres K, A,  $\Delta p$  son des constants.

La masse volumique du gaz combustible :

$$P = \frac{PM}{RTZ}$$

Variables de gaz combustible	Train 100
P (Kpa)	395,53
M (Kg/Kmole)	23,154
T° (K)	292,75
Z	0,98
P (Kg/m <sup>3</sup> )	3,8473

- P : pression du combustible en KPA.
- M : masse molaire du combustible en Kg/K mole.
- R : constante des gaz parfaits est égale à de 8.314 Kj/K mole k.
- T : température du combustible à l'entrée du four en °K (DCS joints en annexe I).
- Z : coefficient de compressibilité du combustible à P et à T.
- $P = PM/RTZ = 395,53 * 23,154 / 8,31 * 292,75 * 0,98 = 3,84$
- Donc  $Q = 2334,6927$

Le pouvoir calorifique inférieur du gaz (LHV) sera donc égal à :

- LHV =11534 \* 2335.6927.

## Conclusion générale

- LHV100 = 26,9390 MK cal / h r.

### V.5 Calcul de la chaleur sensible de gaz combustible (Hf)

La chaleur sensible est la quantité de chaleur emmagasinée dans le combustible avant de subir une quelconque transformation ou réaction, elle dépend de la température du combustible. Elle est calculée comme suit :

$$H_f = H_f' * (\text{débit massique du combustible})$$

- $H_f'$  est la chaleur sensible spécifique du gaz combustible.

Calcul de la chaleur sensible spécifique ( $H_f'$ ) :

C'est la chaleur sensible de gaz combustible par rapport à 1Kg de ce gaz, elle calculée par la formule suivante :

$$H_f' = \sum X_i (\text{masse}) * H_i$$

- $X_i$  massique : composition massique de chaque constituant dans le gaz combustible ;
- $H_i$  : enthalpie de chaque constituant entre la température de référence 0°C et la température du combustible à l'entrée du four (T).

COMPOSANTS	$X_i\%$ (molaire)	$M_i$ (Kg/Kmole)	$X_i$ (molaire) $M_i$	$X_i\%$ (massique)	$H_i$ (Kj/Kg)	$H_i$ $X_i$ (molaire)
N2	0	28	0	0	19,7112	
He	0	4	0	0	0	0
CO2	0,08	44	0,0352	0,152025568	15,7936	0,0240
CH4	55,78	16	8,92548	38,54539172	41,9171	16,1571
C2H6	37,59	30	11,277	48,70432755	32,2007	15,6831
C3H8	6,3	44	2,772	11,97201347	30,6018	3,6636
IC4H10	0	58	0	0	30,5211	0
NC4H10	0,25	58	0,145	0,626241686	31,2381	0,1956
IC5H12	0	72	0	0	29,8784	0
NC5H12	0	72	0	0	30,4036	0
C6H14	0	86	0	0	30,0455	0
<b>TOTAL</b>	100		23,154	100		35,7236

$$X_i (\text{massique}) = \frac{X_i (\text{molaire}) M_i}{\sum X_i (\text{molaire}) M_i} = \text{C2H6} = \frac{338,31}{694,62} = 0,4870$$

- $0,4870 * P_{C_i} = 0,4870 * 32,2007 = 15,681 + \sum H_i X_i (\text{molaire}) = 35,7236$
- $H_f' = 35,7236 \text{Kj/kg}$  de combustible
- $35,7236 / 4,18 = 8,55$
- $H_f' 100 = 8,55 \text{K cal /kg}$  de combustible

## Conclusion générale

Au niveau du train100, 100 mole de combustible brûlé, libèrent une chaleur sensible de 8.55 k cal / kg de combustible.

En prenant compte que le débit massique de combustible a été déjà calculé avant, on obtient :

- $H_f = 8.55 * 2335.6927$
- $H_{f100} = 19982,0607 \text{ k cal / h r}$

## V.6 Calcul de la chaleur sensible de l'air (Ha)

la chaleur sensible de l'air sera calculée suivant la formule:

$$Ha = Ha' * (\text{débit massique d'air})$$

Calcul de la chaleur sensible d'air (H'a):

$$Ha' = \sum X_i (\text{masse}) H_i$$

Avec:

- $X_i$  (masse): fraction massique de composant dans l'air ;
- $H_i$ : enthalpie des composés de l'air entre la température de référence 0°C et la température à l'entrée du four (T).

COMPOSANTS	$X_i\%$ (molaire)	$M_i$ (Kg/Kmole)	$X_i$ (molaire) $M_i$	$X_i\%$ (massique)	$H_i$ (Kj/Kg)	$H_i$ $X_i$ (Kj/Kg)
N2	79	28	22,12	76,6990	19,7112	15,1183
O2	21	32	6,72	23,3009	17,3501	4,0427
<b>TOTAL</b>	100		23,154	100		19,161

$$X_i = \frac{X_i M_i}{\sum X_i M_i} = N_2 = \frac{22,12 * 28}{28,84 * 28} = 0,76699$$

- $0,76699 * H_i = 0,76699 * 19,7112 = 15,1183 + \sum X_i H_i = 19,161 \text{ k j / Kg d' air}$
- $19,161 / 4,18 = 4,58 \text{ K cal / kg}$
- $Ha'_{100} = 4,58 \text{ Kcal/kg d'air}$

Calcul du débit massique d'air:

- Le débit massique d'air est déterminé par la formule suivante :
- Le débit massique de l'air =  $Q_v \text{ air} * M_{air}$
- $Q_v \text{ air}$  : débit volumique d'air (Nm<sup>3</sup>/hr);
- $M_{air}$  : masse molaire d'air.
- Débit d'air en Kg/hr =  $1552,962131 * 28,84$  ( où  $M_{air} = 28.84 \text{ Kg/Kmole}$  ).

## Conclusion générale

- Débit massique d'air = 44787,4278 Kg/hr.
- $H_a = 205305,3139$  Kcal/hr

Ce qui donne une chaleur fournie par le four égale à :

- $Q_f = 27.1643$  MK cal / hr

## V.7 Calcul de la chaleur sensible des gaz brûlés ( $Q_{brûlés100}$ )

- $Q_{brûlés100} = Q'_{brûlés100} * (\text{débit massique des gaz brûlés})$ .
- $Q_{brûlés100}$  : la chaleur des gaz brûlés en Kcal/hr.
- $Q'_{brûlés100}$  : la chaleur des gaz brûlés calculée par rapport à 1Kg des gaz brûlés.

Calcul de la chaleur sensible des gaz brûlés ( $Q'_{brûlés100}$ ) : C'est la chaleur des gaz brûlés calculée par rapport à 1Kg des gaz brûlés :

$$Q'_{brûlés100} = \sum X_i \text{ massique} * H_i$$

- $X_i$  massique : fractions massiques des gaz brûlés ;
- $H_i$  : enthalpie de composant des gaz brûlés calculée à la température  $T_g$ .

COMPOSANTS	Débit (Kmol/hr)	$X_i$ (molaire)	$M_i$ (Kg/Kmol)	$X_i M_i$	$X_i$ % massique	$H_i$ (Kj/Kg)	$X_i H_i$ (Kj/Kg)
O2	41,4375	2,4888	32	0,7964	2,8562	923,1119	26,3663
N2	1195,1101	71,7809	28	20,0986	72,0805	997,7443	719,1793
CO2	150,94	9,0657	44	3,9889	14,3056	1025,857	146,7561
H2O	277,4522	16,6643	18	2,9995	10,7575	1901,0540	204,5064
<b>TOTAL</b>	1664,9398	100		27,8836			1096,8

- $0,02856 * H_i = 0,02856 * 923,1119 = 26,3663 + \sum X_i H_i = 1096,8$
- $1096,8 / 4,18 = 262,39$  k cal / kg des brûlés
- $262,39 / 21,33 = 12,3009$  M k cal / hr

On résulte que:

- $Q_{brûlés100} = 12,3009$  MKcal/hr
- $Q_{abs 100} = 10.2715$  MKcal/hr

Calcul du rendement:

$$N_{rad 100} = \frac{10.27}{27.1922 - 12.3009} = 68.97\%$$

### ❖ Train400

Tous les calculs au niveau de ce train seront faits d'une façon brève car toutes ses méthodologies de calcul sont identiques à celles de train100.

- LHV400 = 23912197Kca
- Hf400 = 18589,7749cal/hr
- Ha400 = 182893,555Kcal/hr
- Qf = 24.1136MKcal/hr
- Q brûlés400 = 11.1308MMKcal/hr
- Qabs400 =9.9318MKcal/hr

$$N \text{ rad } 400 = \frac{9.9318}{24.1138 - 11.1308} = 76.50 \%$$

## V.8 CALCUL DU RENDEMENT DANS LA ZONE DE RADIATION AU NIVEAU DE LA PHASE II

### ❖ Train 500

- LHV500 =25.7561MKcal/hr.
- Hf500 =19982,0607Kcal/hr.
- Ha = 212248,418 Kcal/hr.
- Qf = 27.9898MKcal/hr.
- Qbrûlés500 = 13.1089MKcal/hr.
- Qabs 500=12.76MKcal/hr.

Calcul du rendement :

$$N \text{ rad } 500 = \frac{12.76}{27.9898 - 13.1089} = 85.74\%$$

### ❖ Train600

- LHV600 =24319830Kcal/hr.
- Hf600 = 18613,5629cal/hr.
- Ha600 =185817,15 Kcal/hr.

## Conclusion générale

- $Q_f 600 = 24.5242 \text{ MKcal/hr.}$
- $Q'_{\text{brûlés}600} = 262.95 \text{ Kcal/Kg des brûlés.}$
- $Q_{\text{abs}600} = 12.63 \text{ MKcal/hr.}$

$$N_{600\text{rad}} = \frac{12.63}{24.5242 - 11.2046} = 94.36\%$$

Phase Variantes	Phase 1		Phase 2	
	Train 100	Train 400	Train 500	Train 600
Te rad(°C)	160	159	154	155,5
Ts rad(°C)	180	180	180	180
Qf (MKcal/hr)	27,1922	24,1136	27,9898	24,5242
Q brûlés (Mkcal/hr)	12,3009	11,1308	13,1089	11,2043
Q abs (MKcal/hr)	10,2715	10,08	12,76	12,63
$\eta_{\text{rad}} \%$	68,97	77,65	85,74	94,36

La comparaison entre les deux phases I et II sera faite entre les trains 400 et 600, car leurs rendements sont idéaux par rapport aux autres trains des deux phases.

Le train 400 a une chaleur absorbée par l'huile inférieure à celle absorbée par l'huile au nv du train 600 car sa température d'entrée dans la zone de radiation est très élevée et pour cela l'échange de chaleur sera très faible, par contre dans le train 600 l'huile TORADA absorbe plus de chaleur parce que sa température d'entrée dans cette zone est basse.



# Conclusion générale

# Conclusion générale

Les énergies non renouvelables sont issues de sources dont les stocks s'épuisent car ils se renouvellent moins vite qu'on ne les consomme. Aujourd'hui, les sources d'énergie primaire sont les plus utilisées dans le monde. Il s'agit principalement du pétrole, du charbon, du gaz naturel et du nucléaire. Ceci suppose que toute perte d'énergie quel que soit sa nature et sa dimension peut avoir un impact direct sur les coûts d'exploitation et les produits finis. L'objectif de tout complexe comme le nôtre est d'assurer ses objectifs de production, en toute sécurité et au moindre coût.

L'étude économique vient compléter notre travail sur le gaz naturel consommé par les fours comme combustible pour chaque boucle d'huile au niveau de phase I et phase II tel que le moteur électrique consomme légèrement moins qu'une turbine à gaz, le coût de l'électricité par rapport à celui du gaz naturel reste quand même très excessif et que l'option retenue la quantité journalière ainsi que le prix du gaz naturel pour la phase II sont inférieurs par rapport à phase I ainsi les moteurs électriques répondent beaucoup plus à un souci de stabilité, de facilité et de sécurité de l'opération et présente les avantages suivants:

- Stabilité de fonctionnement du four.
- Coûts de maintenance très réduits dus à la simplicité de l'équipement et à la facilité de l'opération.
- Rapidité de la mise en service.

### **Bibliographie**

- [1] J.LENOGEUS, Etude des fours pétroliers et pétrochimiques. Editions technique, institut français de pétrole (IFP).
- [2] WUITTIER, Raffinage et génie chimique (tome II).
- [3] G.MONNOT, la combustion dans les fours et les chaudières .Editions technique, Institut français de pétrole (IFP).
- [4] T.G.BORRAS, BOILER AND FURMANCE.
- [5] Catalogue mécanique IHI (GP1Z.
- [6] Manuel opération (volume I).
- [7] Hydrocarbon processing, juin 1989.
- [8] Hydrocarbon processing, juillet2003.
- [9] JEAN-CHARLES SISI, Principes Thermodynamique. Éditions McGRAW.HILL.