



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DEMASTER ACADEMIQUE

Filière : GÉNIE DES PROCÉDÉS

Option: GÉNIE CHIMIQUE

THÈME

Contribution à l'étude d'optimisation du four au niveau de l'unité

«GP1Z »

Présenté par

- 1- BOUABDELLAH MOHAMMED REDA
- 2- CHOUGRANI MNAOUER SALIM

Soutenu le 03/06/ 2025 devant le jury composé de :

Président :	Terkhi Mohamed Cherif	MCA	Université de Mostaganem
Examineur :	Sefir Yamina	MCA	Université de Mostaganem
Examineur :	Bouacherine Belkacem	MCB	Université de Mostaganem
Rapporteur :	Guermoud Nor Eddine	MCA	Université de Mostaganem

Remerciements

AU TERME DE CE TRAVAIL, NOUS DEVONS REMERCIER TOUT D'ABORD DIEU QUI NOUS A DONNÉ LA FORCE ET LE COURAGE DE SUIVRE NOS ÉTUDES ET D'ARRIVER À CE STADE ET À NOS PARENTS QUI NOUS ONT BEAUCOUP SOUTENUS PENDANT TOUS LE LONG DE NOTRE PARCOURS.

UN GRAND MERCI À MON ENCADREUR DR GUERMOUD NOREDDINE QUI NOUS A BEAUCOUP AIDÉ, SOUTENU ET NOUS A PERMIS D'ARRIVER À CE NIVEAU-LÀ À TRAVERS CES .CONSEILS ET SURTOUT POUR SON TEMPS PASSÉ AVEC NOUS ET SA PATIENCE, SANS LUI ON N'AURAIT PAS PU RÉALISER CE MODESTE TRAVAIL ET POUR SA CONFIANCE EN NOUS.

NOUS TENONS AUSSI À REMERCIER LES MEMBRES DE JURY QUI NOUS ONT FAIT HONNEUR D'EXAMINER CE TRAVAIL.

ENFIN, NOUS RENOUVELONS NOS REMERCIEMENTS À CEUX QUI NOUS ONT AIDÉS DE PRÈS OU DE LOIN POUR RÉALISER CE TRAVAIL SANS OUBLIER LES ENSEIGNANTS QUI ONT CONTRIBUÉS À NOTRE FORMATION.

Dédicaces

En témoignage d'amour et d'affection, je dédie ce modeste travail avec une grande fierté à tous ceux qui me sont chers :

Ma très chère mère qui a œuvré pour ma réussite, par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

Mon très cher père qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.

Qu'Allah vous protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour que je puisse vous combler de bonheur. Et enfin je dédie ce travail à mes meilleures amies.

Résumé :

Dans le but de déterminer les paramètres de fonctionnement des fours des phases I et II et de quantifier la chaleur transmise, nous avons choisi les modèles (train) 100 et 400 qui sont particulièrement représentatifs de la phase I. Toutes les informations techniques concernant ces deux types étaient disponibles. Concernant la phase II, nous avons choisi le train 500 et le train 600, car toutes les informations techniques concernant ces deux modèles étaient à notre disposition.

Nous avons par la suite à une comparaison entre les phases I et II en mettant particulièrement l'accent sur les trains 400 et 600, réputés pour leurs performances hors du commun. On estime que l'utilisation de moteurs électriques est plus sage à long terme, compte tenu de leurs avantages en termes de sécurité, de régularité et de coûts d'entretien.

Mots clés : GPL, hydrocarbures, four, refroidissement, réfrigération, séparation, déshydratation.

Abstract:

In order to determine the operating parameters of the kilns of phases I and II and to quantify the transmitted heat, we chose the models (train) 100 and 400, which are particularly representative of phase I. All the technical information regarding these two types was available.

Regarding phase II, we chose train 500 and train 600, as all the technical information concerning these two models was at our disposal.

We then conducted a comparison between phases I and II, particularly focusing on trains 400 and 600, known for their exceptional performance. It is estimated that the use of electric motors is wiser in the long term, considering their advantages in terms of safety, reliability, and maintenance costs.

Keywords: LPG, hydrocarbons, furnace, cooling, refrigeration, separation, dehydration.

Tableau de matière

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
Introduction générale	2
CHAPITRE I : PRÉSENTATION DU COMPLEXE GP1Z.	3
I.1 INTRODUCTION	4
I.1.1 Qu'est-ce que le Gaz Pétrole Liquéfié (GPL) ?	4
I.1.2 La composition chimique du gaz de pétrole liquéfié	4
I.1.3 L'origine du gaz pétrole liquéfié.....	5
On les obtient principalement :.....	5
I.1.4 Principales installations	6
I.2 Les portions du complexe GP1Z	8
I.2.1 Section déshydratation de charge.....	8
I.2.2 Section déshydratation de garde	10
I.2.3 Section séparation	11
I.2.4 Section réfrigération	13
I.2.5 Section huile chaude	15
I.2.6 Description du processus	15
I.2.6 Section de stockage des produits	16
I.2.7 Section BOG (récupération des gaz évaporés)	17
I.2.8 Section chargement par camion	19
I.2.9 Section chargement par navire.....	19
I.2.10 Section de torche HP et BP	20
CHAPITRE II : DESCRIPTION DE FOUR DU COMPLEXE GP1Z.	20
II.1 Descriptions de four du complexe GP1Z	21
II.1.1 Composants d'un Four: Il comporte,	21
II.1.2 Zone de Rayonnement	21
II.1.3 Zone de Convection	21
II.1.4 Brûleurs	22
II.2 Les fours situés dans l'installation GP1Z	22
II.3 Section de fluide caloporteur	25
II.3.1 Introduction.....	25
II.3.2 L'huile TORADA TC 32	26
II.3.3 Propriétés physico-chimiques de la TORADA TC32	27

CHAPITRE III: CALCUL DU RENDEMENT DANS LA ZONE DE RADIATION POUR LES PHASES I ET II. 27

III.1	Introduction	28
III.2	Calcul du rendement dans la zone de radiation lors de la phase 1	29
	29
III.2.1	Calcul de la chaleur globale fournie par le four (Q_f 100)	29
III.2.2	Calcul du pouvoir calorifique inférieur du gaz combustible(LHV)	29
III.2.3	Calcul de la chaleur sensible du gaz combustible (H_f)	33
III.2.4	Calcul de la chaleur sensible de l'air (H_a)	35
III.2.5	Calcul du débit massique de l'air	36
III.2.6	Calcul du débit volumique de l'air entrant dans le four	36
III.2.7	Calcul du débit molaire d'oxygène	36
III.2.8.	Calcul de la quantité d'eau provenant de l'humidité atmosphérique lors de la combustion	
	38	
III.2.7	Calcul de la chaleur sensible des gaz brûlés ($Q_{brûlés}$)	41
III.2.8	Calcul du rendement dans la zone de radiation au niveau de la phase II	46
III.3	Résultats et discussions	47
CONCLUSION GÉNÉRALE	46
Références bibliographiques	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. 1 : Historique de la construction du complexe GP1Z.

Tableau II.1 : Les propriétés physico-chimiques de la TORADA TC32.

Tableau III.1 : Détermination de la composition de gaz combustible.

Tableau III.2 : Résultats des calculs pour calculer LHV'.

Tableau III.3 : Calcul de la masse volumique (ρ).

Tableau III.4 : Calcul de H_f' .

Tableau III.5 : Chaleur sensible de l'air H_a' [10].

Tableau III.6 : Quantités Stœchiométriques d'oxygène.

Tableau III.7 : Caractéristiques des gaz brûlés.

Tableau III .8 : Résultats obtenus phase I et II.

LISTE DES FIGURES

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

Figure I.2 : Section déshydratation de charge.

Figure I.3 : Section déshydratation de garde.

Figure I.4 : Section de séparation.

Figure I.5: Les équipements de la section de réfrigération.

Figure I.6: Constitution d'un four.

Figure I.7 : Les bacs de stockage (basse température).

Figure I.8 : Les sphères de stockage (température ambiante).

Figure I.9 : Lieu de chargement de camion.

Figure I.10 : Section de chargement de navire.

Figure II.1 : Schéma du four.

Figure II.2 : Schéma extérieur du four.

Figure III.1 : Température de radiation du combustible T_g °C.

Figure III.2 : Variabilité de T_e - Q_{abs} et rendement en fonction des trains.

Liste des abréviations

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié.

GP1/Z: Complexe de séparation du gaz pétrolier liquéfié (Béthioua).

DCS: Distributed Control system.

MCR: Main Control Room.

LCR: Local Control Room.

SCR: Security Control Room.

RTO : Région Transport Ouest.

GN : Gaz Naturel.

PPM : partie par million.

HT : Haute Tension.

MT : Moyenne Tension.

BP : Basse Pression.

MP : Moyenne Pression.

HP : Haute Pression.

PCI : Pouvoir calorifique inférieur.

BOG :Boil Off Gas.

DCS : Digital control system.

XV : Vanne tout ou rien.

LV : Vanne de contrôle de débit.

TC : Vanne de contrôle de température.

FIC : vanne de contrôle de débit.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Actuellement, des centaines de millions d'individus à travers le globe recourent aux gaz de pétrole liquéfiés, souvent désignés sous l'acronyme GPL, et sont tributaires de ceux-ci pour diverses applications: l'industrie, les transports, l'agriculture, la production d'énergie électrique, la cuisine, le chauffage et les activités récréatives. Cependant, rares sont ceux qui savent comment les GPL sont fabriqués, leur origine et quels pays en consomment le plus.

Le gaz de pétrole liquéfié, souvent abrégé en GPL, est un assemblage d'hydrocarbures légers conservé sous forme liquide et dérivé du raffinage du pétrole (40 % des ressources mondiales) ou plus largement de l'exploitation du gaz naturel (60 % des ressources mondiales).

Le GPL contient approximativement 40% de butane (C_4H_{10}) et 60% de propane (C_3H_8). Il s'agit d'un carburant qualifié de propre, dérivé du raffinage du pétrole brut. Sa mise en œuvre présente des bénéfices comparativement au diesel, en contribuant à diminuer de :

- 50% les émissions d'oxyde d'azote,
- 50%celles de monoxyde de carbone.
- 90% des hydrocarbures et particules.

On a alors la Combustion (du latin : combustion, brûlure) est une réaction chimique exothermique, spécifiquement l'oxydation d'un matériau combustible qui libère de l'énergie pouvant être exploitée pour diverses applications. Dans cette réaction qui s'effectue rapidement, les radicaux sont à l'œuvre. La combustion est une technologie universelle. On l'utilise principalement dans la génération de puissance, le transport terrestre, maritime et aérien, la propulsion, le chauffage, le traitement des matériaux et d'autres technologies. Cela se déroule dans le secteur... fours et chaudières expérimentales, fonderies, fours, incinérateurs, moteurs et poêles à usage domestique, tant pour des applications mobiles que fixes.

L'entreprise Sonatrach met en œuvre un ensemble de systèmes énergétiques (exploitation pétrolière, exploitations de charbon, imposants vaisseaux assurant la livraison du charbon et du pétrole,...) pour la conversion en diverses formes d'énergie. La demande pour ces énergies croît de manière exponentielle, tout comme leurs coûts qui augmentent, ce qui influence le tarif du produit final. En raison de tout cela, l'industrie porte une attention particulière à l'énergie, c'est pourquoi le complexe GP1Z se focalise essentiellement sur les aspects d'économie d'énergie, de pollution, de contrôle de qualité... en tenant compte des complexes de GPL d'Arzew tels que le (GP1/Z, GP2/Z).

Les besoins en chaleur pour le remouillage et les transferts thermiques sont fournis par une huile minérale locale appelée TORADA TC 32, qui est chauffée dans des fours puis distribuée aux utilisateurs.

Problématique : Cette tâche a été effectuée au sein du complexe GP1/Z, section four. Nous prévoyons d'examiner l'état des fours des phases I et II, ainsi que de mesurer la chaleur transmise. Durant la première étape, nous avons sélectionné les modèles 100 et 400 qui sont particulièrement représentatifs.

Nous avons accès à toutes les données techniques relatives à ces deux catégories. Dans le cadre de nos calculs pour la phase II, nous avons optés pour les modèles 500 et 600, étant donné que toutes les données techniques relatives à ces deux produits étaient accessibles pour nous. Enfin, nous allons comparer les phases I et II en mettant l'accent sur les références 400 et 600, connues pour leurs performances exceptionnelles. Nous observons que l'efficacité du four du train 600 dépasse largement celle des autres trains, et cela s'explique par le $Q_{\text{Brûlé}}$ plus sa valeur augmente, plus l'efficacité tend à se réduire. Parmi les solutions proposées, il y a la réduction de $Q_{\text{Brûlé}}$ la valeur la plus basse possible et le nettoyage des fours de manière organisée et synchronisée.

Le manuscrit est scindé en 3 chapitres pouvant être décrits succinctement comme suit :

- Dans le premier chapitre, la présentation du complexe GP1/Z.
- Le deuxième chapitre est consacré à la description des fours de complexe GP1/Z.
- Troisième chapitre est dédié à calculer le rendement dans la zone de radiation pour les phases I et II.

En conclusion, le travail se termine par un récapitulatif des résultats majeurs obtenus et une discussion sur les perspectives futures.

**CHAPITRE I: PRÉSENTATION DU COMPLEXE
GP1Z.**

I.1 INTRODUCTION

Le gaz de pétrole liquéfié, également appelé GPL, que l'Algérie se classe parmi les principaux producteurs et exportateurs mondiaux, figure parmi les priorités des stratégies de développement et de la politique énergétique du pays.

Considérant la demande croissante en GPL, tant au niveau national qu'international, et face à l'importante arrivée de ressources provenant des champs pétroliers, chaque pays élabore ses propres stratégies pour la mise en œuvre d'un programme de développement en vue de prévoir des hausses considérables de production [1].

SONATRACH possède d'importantes installations pour la production, le transport et la séparation des GPL qui facilitent leur valorisation et leur vente sur les marchés locaux et internationaux.

Le sud de l'Algérie est riche en ressources naturelles, notamment les réserves d'hydrocarbures qui donnent lieu à une vaste gamme de produits liés aux gisements de pétrole et de gaz [2].

Pour distinguer ces produits et leurs dérivés, notre pays a alloué les ressources financières nécessaires à l'acquisition et à l'établissement de vastes complexes de traitement, répartis en différentes unités tels que le complexe GP1/Z [1].

I.1.1 Qu'est-ce que le Gaz Pétrole Liquéfié (GPL) ?

Le terme « Gaz de Pétrole Liquéfiés » ou « GPL » (LPG en anglais) se réfère à deux gaz liquides : le propane (C_3H_8) et le butane (C_4H_{10}). Il s'agit de deux hydrocarbures « saturés » constitués de liaisons simples entre atomes de carbone et d'hydrogène, mais ils peuvent se présenter sous forme liquide lorsqu'ils sont soumis à l'une des conditions suivantes:

- Pression mesurée à la température ambiante.
- Basse pression atmosphérique et température.
- Température partiellement basse et pression modérée.

I.1.2 La composition chimique du gaz de pétrole liquéfié

Le GPL, ou gaz de pétrole liquéfié, est une combinaison gazeuse d'hydrocarbures légers qui se compose approximativement de 80% de butane (C_4H_{10}) et de 20% de propane (C_3H_8) (ce sont des hydrocarbures saturés), lorsque la température est ambiante et à la pression atmosphérique. Le propane et le butane sont constitués respectivement de 3 et 4 atomes de carbone, ainsi que de 8 et 10 atomes d'hydrogène [3]. Tous ces atomes sont connectés par des liaisons simples (ou covalentes).

Cela implique que chaque atome lié à un autre partage un électron de sa couche externe, créant ainsi des paires d'électrons qui assurent l'attraction entre les atomes. À une pression atmosphérique (1 bar) et à une température de 15°C, le propane et le butane se présentent sous forme gazeuse. Néanmoins, ils peuvent être aisément transformés en liquide et sont alors désignés comme du GPL. Le propane et le butane se distinguent l'un de l'autre par la température et la pression spécifiques à leur transition de l'état gazeux vers l'état liquide. Sous une pression atmosphérique de 1 bar, le propane se liquéfie lorsque la température tombe en dessous de -42°C, tandis que le butane se transforme en liquide dès qu'elle atteint 0°C.

I.1.3 L'origine du gaz pétrole liquéfié

On les obtient principalement :

Dans les raffineries de pétrole, lors du processus de distillation du pétrole brut. Lors des processus de dégazolinage du gaz naturel sur les sites de production, dans le but d'extraire les produits condensables tels que le butane et le propane.

Le complexe GP1.Z, qui s'étend sur une superficie de 120 hectares, est localisé dans la zone industrielle d'ARZEW. Il se trouve à l'est de la centrale thermique MERS EL HADJAJ et à l'ouest du complexe GL1/Z, situé entre la mer Méditerranée et la route nationale n°1[4] comme le montre la figure 1.

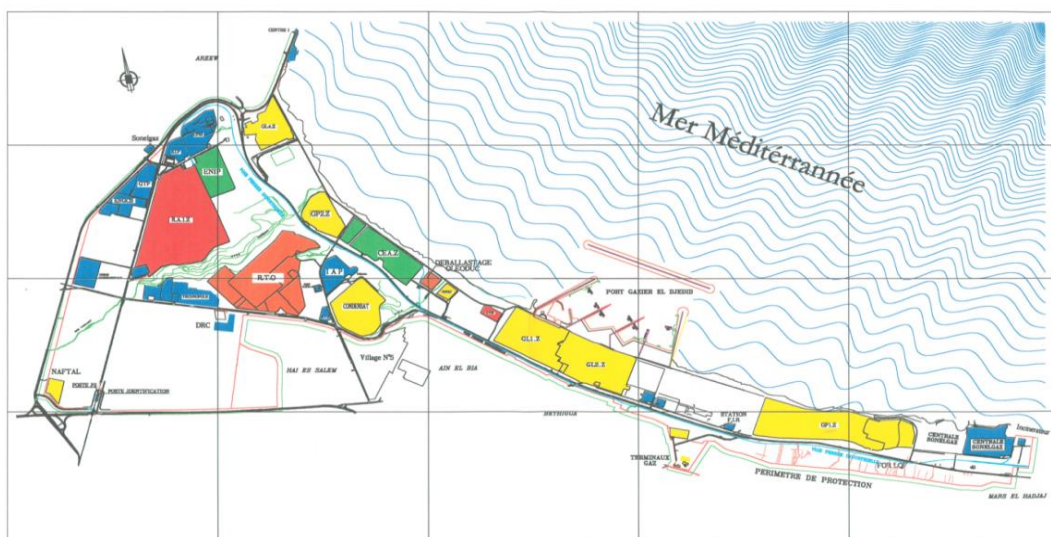


Figure I. 1 : Carte géographique de la zone industrielle [4].

Le tableau suivant décrit l'historique du complexe GP1/Z

Tableau I. 1. L'historique de la construction du complexe GP1Z.

<i>Date</i>	<i>Evènement</i>	<i>Commentaires</i>
11/12/1978	Le contrat de construction passé avec IHI-ITOH JAPON	-
11/10/1980	Ouverture du chantier	-
10/11/1980	Démarrage des travaux	-
12/12/1983	Mise en production de la phase 1	4 trains de traitement GPL produisant au total 4.8 Mt/an
31/12/1983	Inauguration officielle	-
20/02/1984	Chargement du premier navire de propane réfrigéré	-
24/02/1998	Extension phase 2	2 trains de traitement GPL supplémentaires permettant de passer à une production totale de 7.2 Mt/an pour (pour 6 trains)
Avril 2010	Extension phase 3	3 trains de traitement GPL apportant une capacité de production de 3 Mt/an supplémentaire, permettant de passer à une production totale de 9 Mt/an pour (pour 9 trains).

I.1.4 Principales installations

- 22 Sphères de stockage de la charge d'alimentation de 1000m³ chacune.
- 09 Trains de traitement du GPL.
- 02 Unités de reliquéfaction du gaz évaporé.
- 04 Bacs de stockage de propane basse température de 70000 m³ chacun.
- 04 Bacs de stockage de butane basse température de 70000 m³ chacun.
- 04 Sphères de stockage de produits à température ambiante (propane et Butane) de 500 m³ chacune.
- 01 Sphère de stockage gazoline.
- 02 Salles de contrôle.

- 01 Sous-station électrique alimentée par la SONELGAZ.
- 04 Générateurs assurant l'énergie de secours du complexe en cas de coupure de courant.
- 02 Quais de chargement pouvant recevoir des navires d'une capacité variante entre 4000 et 10000 tonnes.
- Une rampe de chargement de camions.
- Une station de pompage d'eau de mer pour le réseau d'incendie.
- Un système de télésurveillance.
- Les installations de production comprennent six 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 [5] :

➤ **Section de déshydratation**

Cette section sert à retirer l'eau présente dans le GPL d'alimentation, grâce à l'emploi de tamis moléculaires.

Section de séparation du GPL : Cette section est conçue pour diviser le GPL brut en produits commerciaux C₃ et C₄, tout en maximisant le taux de récupération.

➤ **Section de réfrigération**

Cette partie est destinée à refroidir le propane et le butane commerciaux produits dans la section de séparation, jusqu'à atteindre des températures basses correspondant au point de saturation liquide, avant de les diriger vers les conteneurs de stockage à basse température.

➤ **Section d'huile chaude**

La portion du fluide caloporteur est employée comme source de chaleur pour les rebouilleurs et les préchauffeurs du fractionnateur

➤ **Les sections de stockage des produits finis comprennent deux parties**

Section de récupération des gaz évaporés (Boil Of Gas) : cette section est destinée à la conversion des gaz d'évaporation en liquides afin qu'ils puissent être réintroduits dans le système de stockage.

➤ **Section de stockage des produits**

Elle contient six bacs de stockage à basse température d'une capacité de 70 000 m³, répartis en trois pour le (C₃) et trois pour le (C₄), ainsi que cinq sphères de stockage à température ambiante, une dédiée au propane, trois au butane et une au pentane,

chacune ayant une capacité de 5000 m³. Les installations de chargement de Bateaux à Basse Température :

- **Zone de chargement de camions à température ambiante**

C'est dans cette zone que se fait le chargement du butane et du propane à température ambiante, utilisant 4 sphères [5].

➤ **Capacité**

Suite au traitement du GPL brut algérien issu des champs gaziers et pétroliers situés dans le sud, le complexe génère une production de 10.800,000 tonnes par an de GPL, notamment du propane, du butane commerciaux et du pentane [5].

1.2 Les portions du complexe GPiZ

1.2.1 Section déshydratation de charge

L'alimentation de la section se fait en GPL brut depuis la section de stockage de la charge. La charge arrive par un collecteur commun, à une pression de 30 bars aux neufs trains. Cette unité a pour objectif la réduction de l'eau dissoute dans la charge GPL de 100 ppm jusqu'à 5 ppm pour éviter la formation du givre au niveau des équipements de la section réfrigération.

La section déshydratation en phase liquide de la charge comprend trois colonnes d'adsorption, contenant des tamis moléculaire et fonctionnant en période de 36 heures.

A tous instant, une colonne est en ligne pour l'adsorption, un deuxième est en régénération, tandis que la troisième est en attente. La durée d'adsorption est de 36 heures, à l'expiration de ce temps, la colonne en réserve est mise en ligne, et la colonne qui était en service passe en régénération (avec un temps de 19 heures). A ce moment-là, la troisième colonne a achevé son cycle de régénération et passe en réserve.

Pendant l'adsorption, l'écoulement à travers la colonne se fait du bas vers le haut. Il faut aussi noter que la section déshydratation de la charge peut travailler sur seulement deux adsorbants, si bien qu'une colonne peut être révisée. Pendant que les deux autres assurent le séchage de la charge, automatique et en séquence sous la commande d'un programme, le Contrôleur Matriciel du cycle.

Pour la description du système, nous admettons que l'adsorbent A à tout juste terminé son cycle d'adsorption. Ainsi que l'adsorbent B vient d'être mise en fonctionnement, et l'adsorbent C est en réserve (figure I.2).

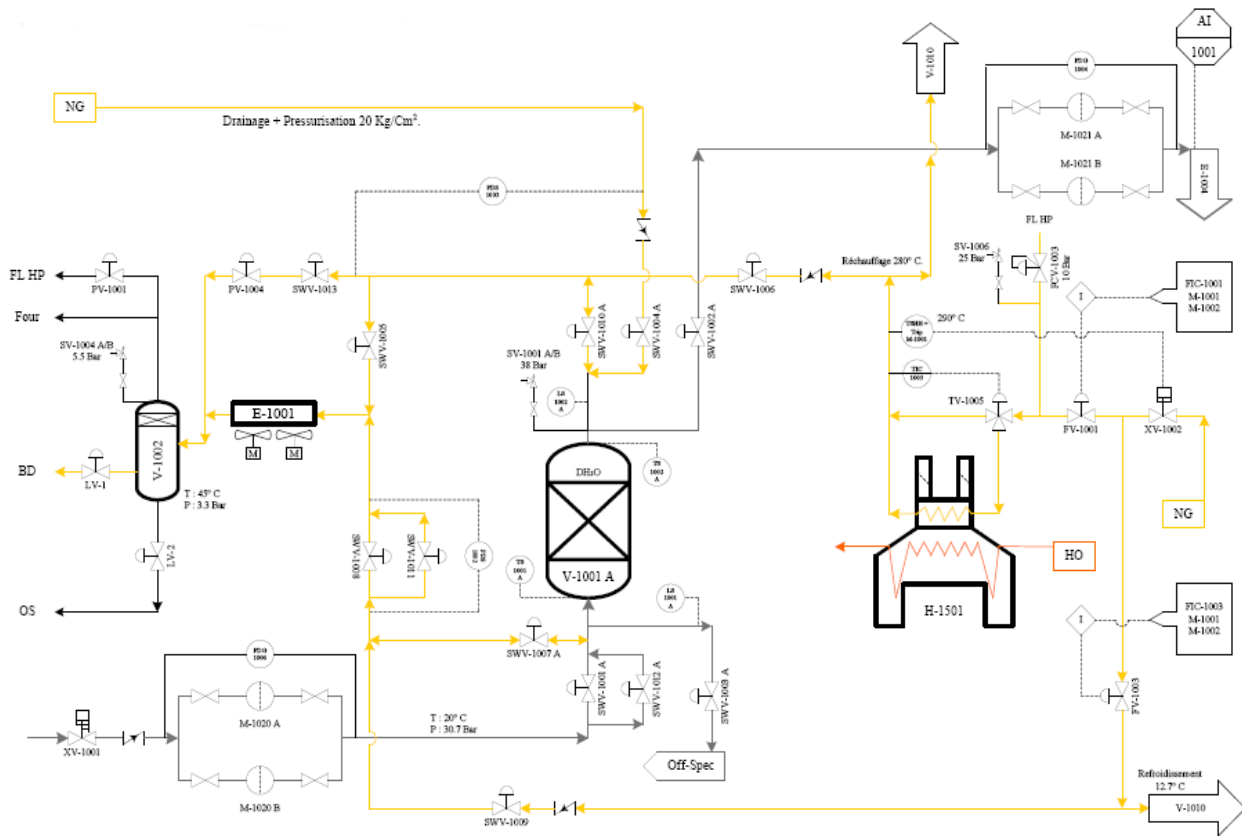


Figure I.2 : Section déshydratation de charge [5].

La régénération respecte les séquences suivantes [6]:

1-Drainage (1 heures)

La vidange du sécheur se fait par l'injection du gaz naturel sous une pression de 20 Kg/Cm², le GPL restant est acheminé vers les sphères de charge.

2-Dépressurisation (30 minutes)

Cette séquence sert à réduire la pression du sécheur de 20 Kg/Cm² à 3 Kg/Cm² et cela fait par l'évacuation de GN contenu dans le sécheur vers à section fuel gaz.

3-Réchauffage (11 heures)

Le réchauffage se fait par le GN chauffé dans le four à une température de 280°C, il passe dans le sécheur du haut vers le bas pour évaporer l'eau dissoute contenue dans les tamis moléculaire.

4-Refroidissement (5 heures)

Le GPL est refroidit par le GN porté à une température de 12 à 45°C et une pression de 3 Kg/Cm².

5-Remise sous pression (30 minutes)

Avant le remplissage de la colonne par le GPL, il faut avoir sa pression de service qui est de 20 Kg/Cm², cette opération se fait par l'introduction de GN à haute pression.

6-Remplissage au GPL (1 heures)

Cette opération consiste à mettre le sécheur en attente, d'où l'adsorbeur est rempli par du GPL.

I.2.2 Section déshydratation de garde

La déshydratation de garde ne concerne que le propane, d'où la teneur d'hydrate ne doit pas dépasser 1 ppm. La durée d'adsorption est de 30 jours, après l'écoulement de ce temps de service, la colonne passe en régénération (avec un temps de 23 heures). La figure I.3 illustre les différentes étapes de la section de déshydratation.

La régénération respecte les séquences suivantes :

1-Drainage (1 heures)

La vidange du sécheur se fait par l'injection du gaz naturel sous une pression de 20 Kg/Cm², le Propane restant est acheminé vers les sphères de charge.

2-Dépressurisation (30 minutes)

Cette séquence sert à réduire la pression du sécheur de 20 Kg/Cm² à 3 Kg/Cm² et cela fait par l'évacuation de GN contenu dans le sécheur vers à section fuel gaz.

3-Réchauffage (14 heures)

Le réchauffage se fait par le GN chauffé dans le four à une température de 280°C, il passe dans le sécheur du haut vers le bas pour évaporer l'eau dissoute contenue dans les tamis moléculaire.

4-Refroidissement (6 heures)

Le Propane est refroidit par le GN porté à une température de 12 à 45°C et une pression de 3 Kg/Cm².

5-Remise sous pression (30 minutes)

Avant le remplissage de la colonne par le propane, il faut avoir sa pression de service qui est de 20 Kg/Cm², cette opération se fait par l'introduction de GN à haute pression.

6-Remplissage au GPL (1 heures)

Cette opération consiste à mettre le sécheur en attente, d'où l'adsorbeur est rempli par du Propane.

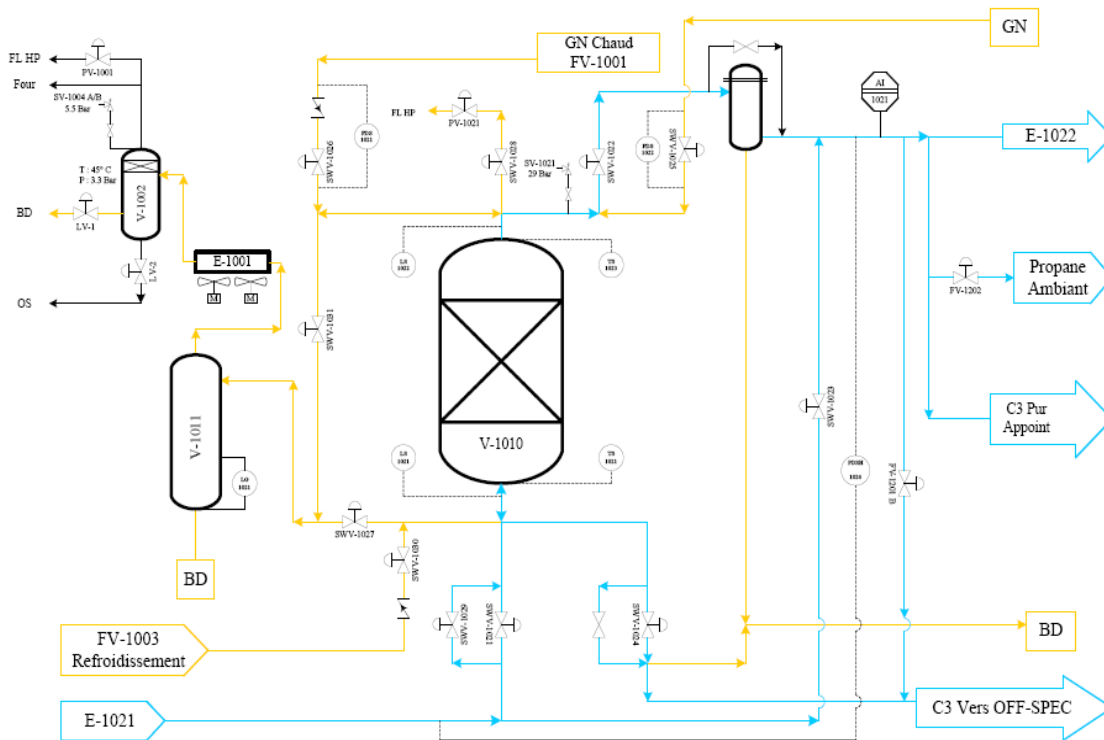


Figure I.3 : Section déshydratation de garde [6].

I.2.3 Section séparation

Le GPL provenant de la section déshydratation, passe tout d'abord par trois (03) préchauffeurs avant qu'il soit introduit dans la section de fractionnement (séparation) à une température de 71°C et à un débit nécessaire de telle manière à obtenir la quantité requise de produits.

1/ Fractionnateur

Il s'agit d'une colonne de séparation dotée de 55 niveaux à clapets. C'est dans cette colonne qu'on recueille d'abord l'éthane et le propane, tandis que le butane et le pentane se trouvent au fond. Le produit principal issu du fractionnateur est dirigé vers les aérocondenseurs, avant d'être acheminé vers le ballon de reflux.

Grâce à la pompe de reflux, le produit condensé dans ce récipient est dirigé vers le dé-éthaniseur (si son orientation est correcte), en garantissant un reflux adéquat vers le fractionnateur.

Le produit qui émerge du bas de la colonne est orienté soit vers la section de réfrigération, soit vers le dépentaniseur (si le pourcentage de pentane dans le butane atteint sa limite maximale), ou bien il traverse les aérocondenseurs avant d'être dirigé vers, soit il passe par les aérocondenseurs et on le dirige vers le stockage ambiant.

2/ Dé-éthaniseur

Il s'agit d'une colonne de séparation dotée de 25 plateaux à clapets. Cette colonne sert à la suppression de l'éthane présent dans le propane. L'éthane se retrouve en haut de la colonne tandis que le propane est récupéré à sa base.

L'éthane est ensuite dirigé vers des condenseurs situés en tête, et une fois condensé et stocké dans son réservoir de reflux, les vapeurs d'éthane sont dirigées soit vers la torche ou le four, selon les résultats des tests effectués en laboratoire. En revanche, l'éthane liquide est exploité comme reflux pour la colonne de dé-éthanisation. Le fond de la colonne pointe vers la section de réfrigération.

3/ Dépentaniseur

C'est une colonne de fractionnement équipée de 50 plateaux à clapets. Cette colonne est utilisée pour éliminer le pentane contenu dans le butane et ceci selon la teneur en pentane de la charge d'alimentation. Elle fonctionne seulement si la teneur en butane dans la charge dépasse 10%.

Chacun des deux produits, propane et butane passent à travers trois refroidisseurs (Schiller) pour être réfrigérés suivant un cycle ouvert par détente successive en trois niveaux de pression HP, MP, et BP par détente du propane (fluide frigorigère) après compression. Les vapeurs résultantes de l'évaporation du propane réfrigérant dans les Schiller, les condenseurs de têtes du dé-éthaniseur 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 II et III, puis elles sont condensées dans les condenseurs de type aéro-réfrigérant (E-X027), pour qu'elles soient collectées dans le ballon accumulateur.

Le propane réfrigéré passe par un dés hydrateur de garde juste après son passage par le premier Schiller, d'où soit il passe par les deux autre Schiller, soit on le dirige directement vers le stockage à température ambiante [7].

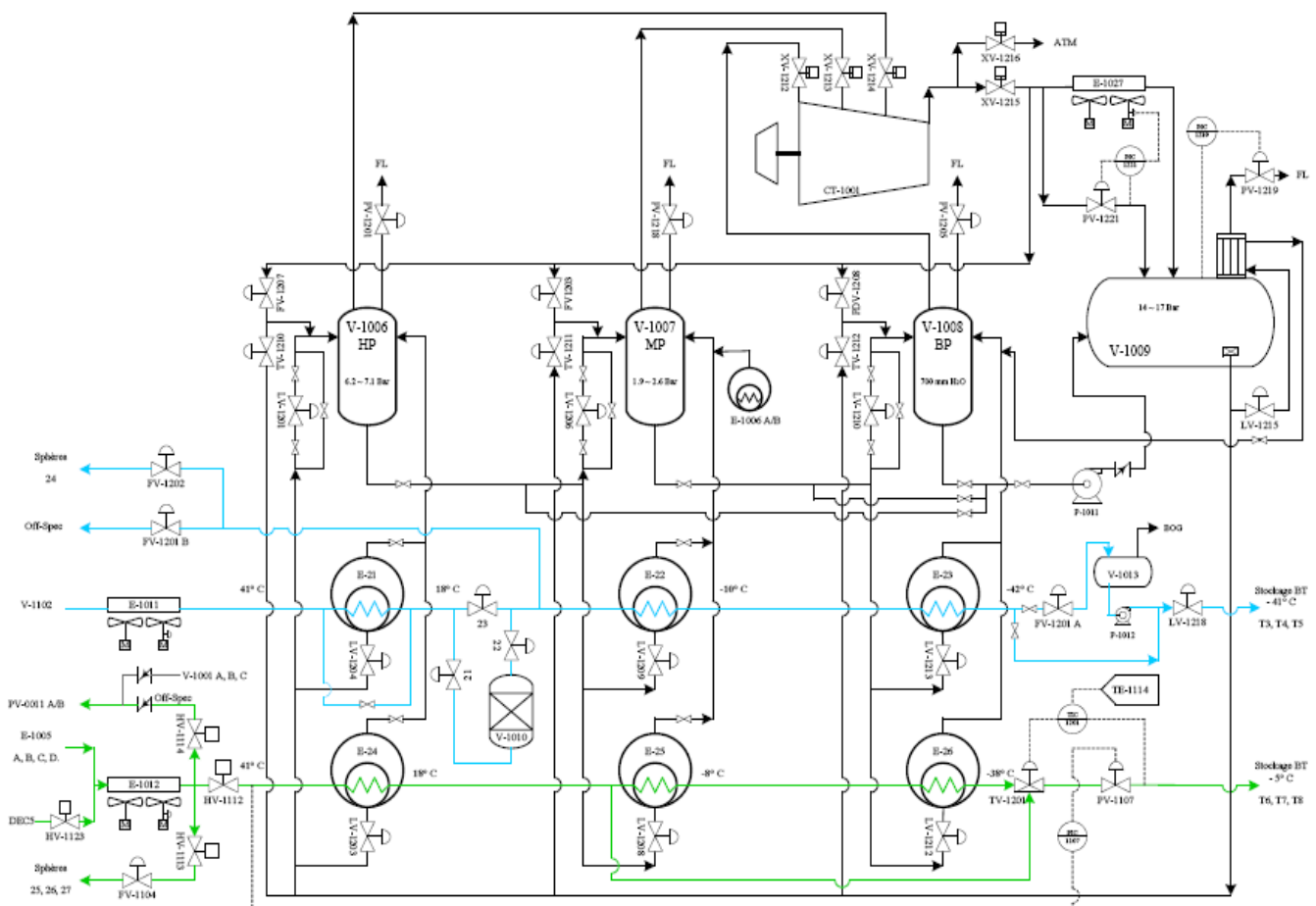


Figure I.5: Les équipements de la section de réfrigération.

I.2.5 Section huile chaude

L'objectif de cette section est de chauffer l'Huile TORADA T/C (Fluide Caloporteur) à 180°C afin d'approvisionner les utilisateurs en huile chaude via des pompes centrifuges. Chaque utilisateur reçoit l'apport calorifique requis, en fonction des besoins du processus de séparation afin de conserver la température désirée déterminée dans chaque section au niveau critique de chaque colonne ; cela permet d'éviter toute perturbation potentielle due aux fluctuations saisonnières de la température ambiante.

Afin d'assurer la stabilité du système et d'éviter toute perturbation des paramètres de température des colonnes, il est nécessaire que le régulateur de débit de circulation d'huile chaude (FIC-N302) soit majoré par rapport au débit global des utilisateurs de (10 à 15%).

I.2.6 Description du processus

L'huile TORADA TC de densité est acheminée depuis le collecteur d'aspiration d'Huile chaude par les pompes centrifuges (02-P-N501 A/B), à une température légèrement supérieure à 120°C, avec une pression d'aspiration minimum de 1.6 Kg/cm² et une pression de refoulement atteignant 7 Kg/cm². L'huile est ensuite amenée à la zone de convection du four à travers 8 passages pour capter la chaleur des gaz d'échappement. Elle est ensuite répartie en deux groupes de 4 lignes chacun, créant ainsi un serpentin pour diriger l'huile vers la zone de radiation des deux chambres de combustion situées en bas du four, afin d'élever sa température à celle désirée de 180°C. Par la suite, l'huile est extraite du haut du four pour alimenter les rebouilleurs (E-N003 A/B), (E-N007), (E-N009) ainsi que le Préchauffeur final N°3 (E-N013).

Le collecteur d'aspiration des pompes de circulation est relié à la sortie du ballon d'expansion via une conduite de retour d'huile chaude provenant des utilisateurs. Ces pompes sont dotées d'un système d'aspiration utilisant des filtres à panier pour capturer toutes les particules non désirées [8].

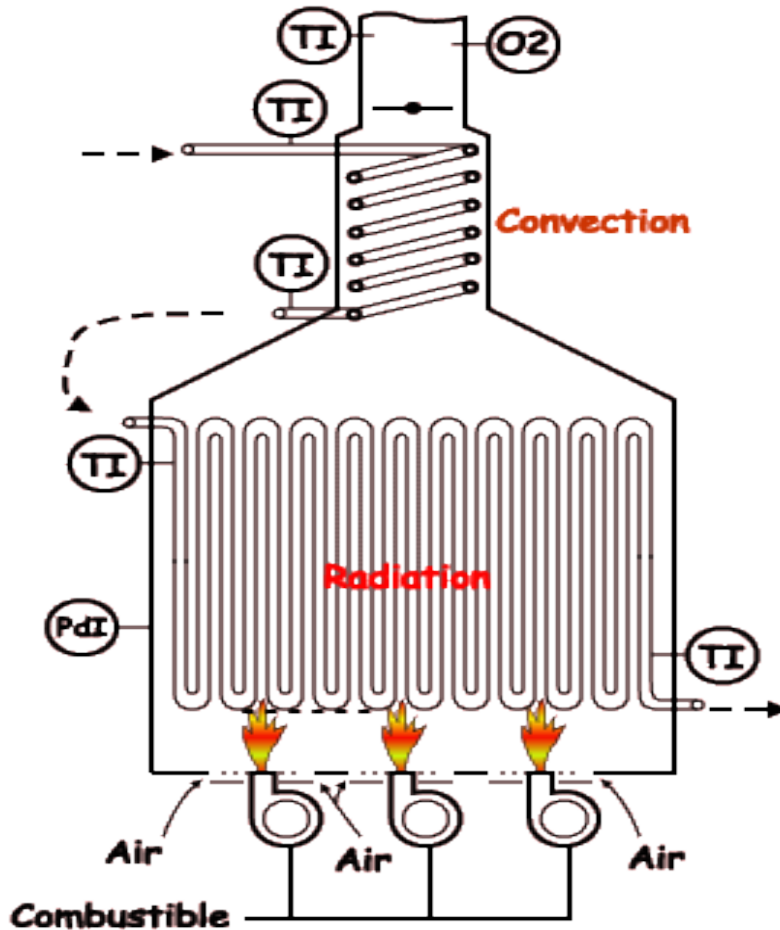


Figure I.6: constitution d'un four.

I.2.6 Section de stockage des produits

Il existe deux types de stockage :

I.2.6.1 Stockage à basse température

Elle est équipée de huit réservoirs de stockage à basse température, quatre dédiés au propane et quatre autres au butane, chacun ayant une capacité de 70 000 m³. Les bacs sont dotés de parois doubles qui assurent le maintien des deux produits à une température de -40°C pour le propane, et de -6°C pour le butane. Les éléments de la phase 3 sont en béton armé plutôt qu'en double mur. Chaque bac est équipé de systèmes de sécurité pour les soupapes, les casses vides et les lignes de GN en cas de baisse de pression à l'intérieur des bacs. De 05 pompes immergées dont 03 pour chargement navires, 01 pour la circulation froide du fluide tout au long de la ligne jusqu'à la jetée, 01 pompe inter parois pour vider le liquide présent entre les parois du bac (figure I.7).

I.2.6.2 Stockage à température ambiante

Cinq sphères de 500 m³ chacune sont à disposition pour le chargement sur camion à température ambiante : une sphère est dédiée au propane, trois au butane et une au pentane (voir figure I.8).

I.2.7 Section BOG (récupération des gaz évaporés)

Cette section comprend une unité de liquéfaction du propane et une unité de liquéfaction du butane. Le but du système de récupération est de rassembler les gaz évaporés et de les réintroduire dans le réservoir de stockage, ce qui permet de maintenir la pression à l'intérieur du réservoir de stockage dans une plage allant de 300 à 800 mmH₂O. Sans perte de produit [9].

Voici les sources de gaz à reliquaire :

- 1-Gaz de détente de l'unité de refroidissement.
- 2-Gaz liquéfiés des réservoirs à basse température.
- 3-Gaz de retour de la jetée.

Le propane évaporé contenant un grand de proportion d'éthane est dirigé vers le ballon d'aspiration du compresseur et provient essentiellement de deux sources.

La première source est la région de stockage à basse température, où les gaz s'évaporent en raison du volume de liquide

stocké dans les réservoirs, où le propane produit déplace la vapeur au furet à mesure qu'il remplit le réservoir, la vapeur détendue venant de la section de réfrigération est introduite directement dans le collecteur des gaz évaporés dans la région de stockage à basse température. La deuxième source des gaz est le chargement navire, ces gaz représentent les vapeurs dégagées par le chargement et les vapeurs déplacées par le liquide chargé [3].

Cette section contient :

- Cinq (05) compresseurs volumétriques de trois étages à moteur électrique pour la Phase 1 et Trois (03) pour la Phase 3, des aéro réfrigérant, ballon accumulateur et (03) Schiller de reliqufaction du propane.
- Trois (03) compresseurs volumétriques à trois étages à moteur électrique, des aéro réfrigérant, ballon accumulateur et deux (02) Schiller de reliqufaction du butane.



Figure I.7 : Les bacs de stockage (basse température).



Figure I.8 : Les sphères de stockage (température ambiante).

I.2.8 Section chargement par camion

C'est une section d'expédition de C₃ et C₄ pour le marché national, elle contient une salle de contrôle, deux balances électroniques et 06 rampes de chargement de camions dont 02 pour C₃ à température ambiante et une pression de 7 bars, 03 rampes pour C₄ à température ambiante et 01 rampe pour Cs elle est isolée pour le moment [4].



Figure I.9 : Lieu de chargement de camion.

I.2.9 Section chargement par navire

C'est une section d'expédition de C₃ et C₄, comme le montre la figure comme le montre la figure I.10, pour le marché international, elle contient deux quais de chargement navires D1 et M6. Les opérateurs doivent suivre tous les instructions du chef de quart sur :

- La quantité de chargement.
- Mesure de sécurité du navire.
- Début et fin de l'opération.
- Compte Rendus à sa hiérarchie
- La capacité des navires variant entre 4 000 et 45 000 tonnes de GPL.



Figure I.10 : Section de chargement de navire.

***I.2.10* Section de torche HP et BP**

Par mesure de sécurité, et afin d'éviter les incendies tous les gaz non brûler passe dans des ballons qu'on l'appelle BLOWDOWN. Les gaz échapper ou craché par les soupapes de sécurité passe dans des ballons pour les préchauffer et diriger soit vers les 02 torche HP ou vers la torche BP [2].

**CHAPITRE II : DESCRIPTION DE FOUR DU
COMPLEXE GP1Z**

II.1 Descriptions de four du complexe GPiZ**II.1.1 Composants d'un Four:** Il comporte,

- Une zone de radiation ou de rayonnement qui constitue la chambre de combustion ou foyer
- Une zone de convection
- Un dispositif de chauffage installé à la base ou sur les flancs de la chambre de combustion, équipé d'un système de contrôle et de sécurité
- Un faisceau tubulaire dans la zone de radiation et potentiellement dans la zone de convection
- Une structure métallique équipée de matériaux réfractaires à l'intérieur
- Un dispositif de préchauffage de l'air
- Un conduit d'évacuation des fumées
- Des souffleries d'air
- Divers accessoires comprenant les dispositifs pour le nettoyage du four, les portes d'accès, les portes anti-explosions, les points de vue, les thermocouples, les analyseurs d'oxygène et divers raccords nécessaires pour assurer le fonctionnement optimal du four [5,6].

II.1.2 Zone de Rayonnement

Elle est revêtue en interne d'un matériau isolant réfractaire. Les tubes, qui se trouvent dans cette région, sont soumis à l'action de la flamme et bénéficient essentiellement d'une chaleur par rayonnement des gaz en combustion. Le rendement est faible étant donné que la température des fumées qui sortent de la zone de radiation est très élevée (700 à 1100 °C).

II.1.3 Zone de Convection

Positionnée à l'emplacement où les fumées sortent de la chambre de combustion, elle se compose d'un ensemble de tubes disposés en parallèle ou en perpendiculaire par rapport au flux des fumées. Dans les deux situations, l'objectif est d'obtenir une vitesse suffisante pour les fumées afin d'accroître le coefficient de transfert. Il est possible de recouvrir ces tubes

d'ailettes pour accroître la surface d'échange. L'efficacité d'un four doté d'une zone de convection dépasse celle d'un four qui ne possède qu'une zone de radiation [7].

II.1.4 Brûleurs

Leur mission consiste à effectuer un mélange précis de l'air et du combustible afin d'accomplir une combustion totale. L'introduction de l'air de combustion dans le four se fait par le biais de volets, ceci en raison de la dépression existante à l'intérieur du four. Le combustible, qu'il s'agisse de gaz ou d'huile, est acheminé vers le centre d'un ouvrage réfractaire par un courant d'air. Ce dernier, grâce à la chaleur qu'il diffuse, garantit la constance de la flamme.

II.2 Les fours situés dans l'installation GP1Z

Les fours du complexe GP1Z (phase I et phase III) sont de technologie « Lummus, Anderson ». Ils fonctionnent avec un taux de transfert élevé et constant, ce qui les rend appropriés pour des capacités moyennes et importantes. Le four utilisé dans le complexe GP1/Z comporte huit passes. Il est doté de deux chambres de combustion où circule le fluide caloporteur, d'une zone de radiation qui assure le transfert thermique par rayonnement et qui est équipée de 15 pilotes, ainsi que 15 brûleurs alimentés par un mélange de gaz naturel et d'éthane récupéré au niveau du dé-éthaniseur du train [1].

Une seconde chambre appelée zone de convection. Elle est propulsée par les gaz brûlés provenant de la zone de radiation. Les deux fours des phases I et III servent à chauffer le fluide caloporteur, qui est l'huile utilisée comme source de chaleur pour les rebouilleurs des colonnes de la section de séparation où se fait la séparation du C₄, C₃ et C₂. L'utilisation du gaz naturel pour chauffer les dés hydrateurs lors de leur régénération, Le gaz naturel récupéré à partir de la section de déshydratation et l'éthane extrait de la section de séparation servent de combustible pour le four. Si une quantité supplémentaire est requise, le gaz naturel frais est automatiquement introduit dans le système de contrôle et fonctionnement des fours comme le montre la figure II.1 [3].

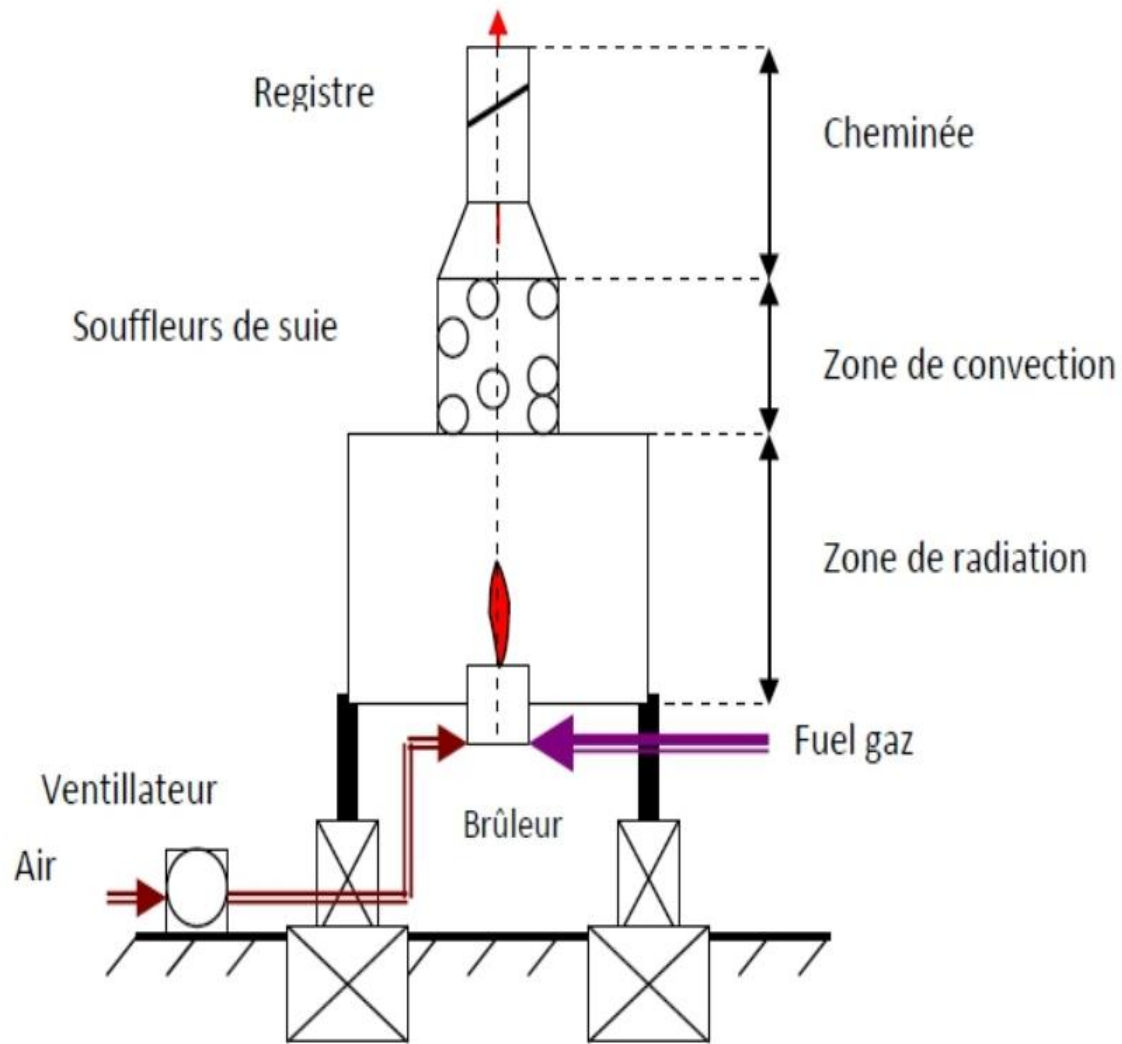


Figure II.1 : Schéma de four.

Pour assurer le fonctionnement optimal des fours, l'excès d'air doit être ajusté lors de l'opération normale. À cet effet, un analyseur d'oxygène est nécessaire pour indiquer la concentration d' O_2 dans les gaz de combustion du four. Les sorties des fours disposent d'indicateurs de température qui doivent afficher la même valeur en cas d'écart important entre les thermocouples. Ainsi, un ajustement manuel de l'excès d'air est nécessaire. Un autre aspect crucial pour le fonctionnement optimal des fours est l'arrêt des brûleurs si le flux dans les tubes cesse. En effet, si le débit du fluide à chauffer devient nul et que l'alimentation des brûleurs est interrompue, il y a un risque que les tubes surchauffent parce qu'ils ne bénéficient plus du refroidissement par le fluide, et cette surchauffe pourrait causer des dommages significatifs [5]. La figure II.2 montre l'aspect extérieur du four utilisé au niveau de la zone du complexe GP1/Z.

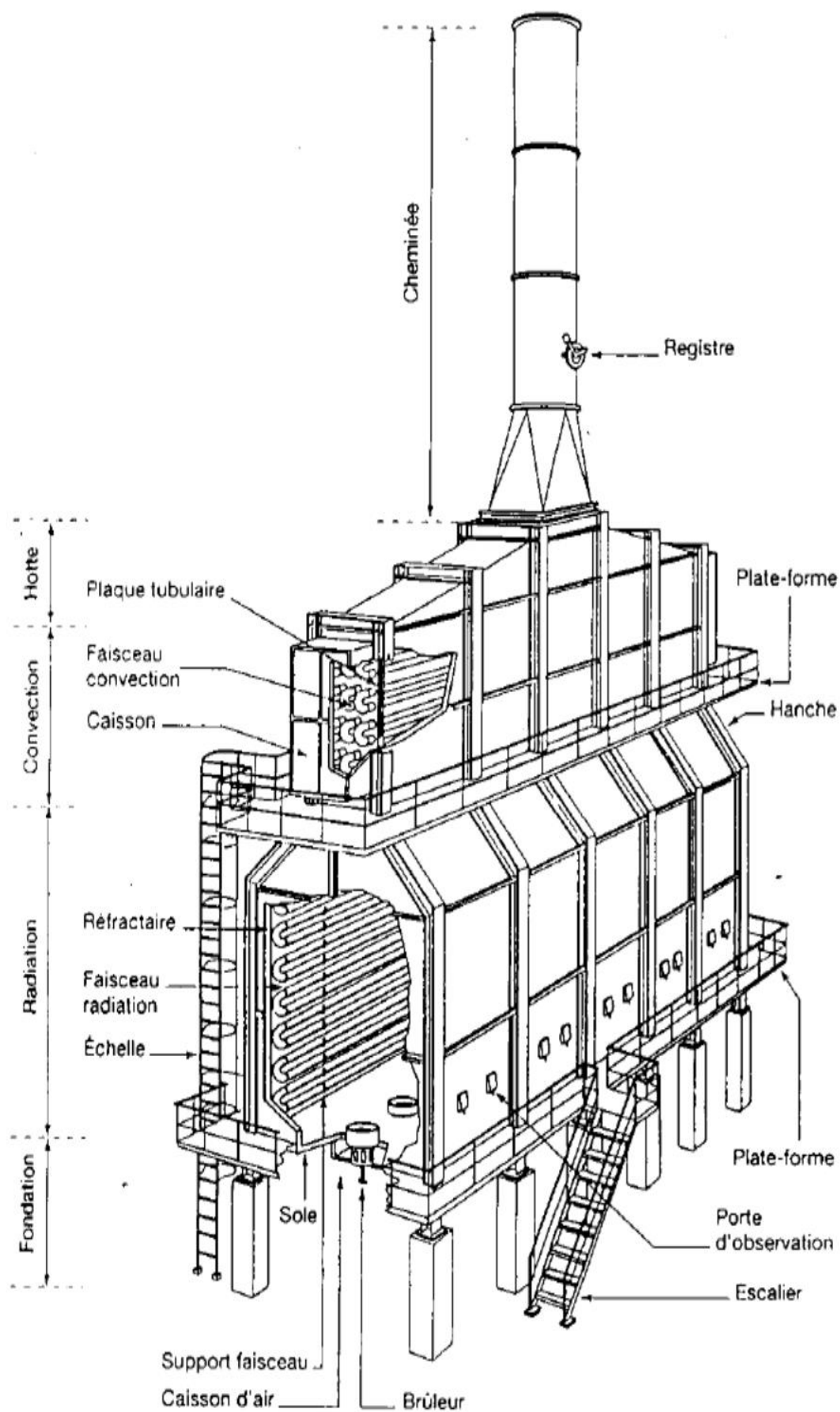


Figure II.2 : Schéma extérieur de four.

Le dispositif de régulation du four s'efforce généralement de réaliser ces buts en gérant un ou plusieurs des paramètres suivants :

- Proportion air/gaz combustible.
- Le degré de chaleur du four.
- La composition des gaz émis par le four.
- La température du gaz qui sort du four.
- La constitution physique et chimique des matériaux de base à l'intérieur du four.
- Température du produit à la sortie.
- La fonction des fours au sein du complexe GP1Z

Dans l'analyse d'un four, l'économie d'exploitation joue un rôle crucial tout comme la notion de rendement qui revêt également une importance considérable.

Le rendement d'un four est établi comme le quotient de la chaleur absorbée par le fluide chauffé et celle libérée lors de la combustion [9].

Une portion habituellement très minime de la chaleur non absorbée est perdue par conduction à travers les murs du four, tandis que les pertes les plus conséquentes se produisent au niveau de la cheminée.

Cependant, il convient de noter que la température des fumées demeure constamment plus élevée que celle de la charge placée dans le four.

II.3 Section de fluide caloporteur

II.3.1 Introduction

Ce chapitre se concentrera sur l'examen des caractéristiques et des propriétés du fluide caloporteur employé au sein de l'installation GP1Z.

Un fluide caloporteur est un liquide conçu pour véhiculer la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température. Le choix du fluide caloporteur se fait en fonction de ses caractéristiques physicochimiques [10]:

- La viscosité
- La capacité thermique volumique.
- La chaleur latente de vaporisation (ou de liquéfaction) lors d'une transition de phase.
- La conductivité thermique.
- Les caractéristiques anticorrosion.
- Le coût. Le choix du fluide caloporteur est également influencé par les conditions météorologiques.

La TORADA TC 32, qui est une huile minérale, est employée comme fluide caloporteur dans le complexe GP1Z.

II.3.2 L'huile TORADA TC 32

C'est une huile minérale pure, finement raffinée qui dispose d'une stabilité remarquable face à l'oxydation et d'une résistance notable à la dégradation thermique en raison de sa fluidité. Grâce à ses propriétés thermodynamiques exceptionnelles, les bénéfices majeurs de l'utilisation de cette qualité par rapport à des huiles plus visqueuses sont :

- Résistance accrue au craquage.
- Atteinte du régime turbulent beaucoup plus rapide.
- Moins d'énergie requise pour sa circulation dans les circuits.

La TORADA TC 32 est employée dans les systèmes de transfert thermique par circulation où la température maximale de l'huile ne transcende pas 320°C dans les installations hermétiques. Elle est également préconisée pour le rinçage des carters et des conduites [9].

II.3.3 Propriétés physico-chimiques de la TORADA TC32

Tableau II.1. Les propriétés physico-chimiques de la TORADA TC32 [11].

Densité à 15 °C à 20°C	0.863
	0.865
Viscosité cinématique (constante) à 40°C à 100°C	35.2
	5.25
Indice de viscosité	96
Point d'éclair vase clos (°C)	223
Point d'éclair vase ouvert (°C)	200
Point d'écoulement (°C)	-12
Pression de vapeur à 150°C à 200°C à 250°C	< 0,1 mmHg < 7 mmHg < 45 mmHg
Indice d'acidité (mg KOH/g)	0.02
Solubilité dans l'eau	insoluble
Capacité calorifique (kcal /kg °C) à 20°C à 320°C	0.451 0.712
Température d'auto inflammation (°C)	270
Point de feu (°C)	220

***CHAPITRE III: CALCUL DU RENDEMENT DANS
LA ZONE DE RADIATION POUR LES PHASES I
ET II.***

III.1 Introduction

Nous envisageons d'examiner l'état des fours des phases I et II, et de déterminer la chaleur transférée. En phase I, nous avons sélectionné les trains 100 et 400, qui sont les plus caractéristiques, et toutes les données techniques relatives à ces deux modèles étaient à notre disposition. Dans le cadre de nos calculs pour la phase II, nous avons opté pour le train 500 et le train 600, étant donné que toutes les données techniques relatives à ces deux modèles étaient accessibles [12].

Identification de la composition du gaz combustible « Train100 et 400 et 500 et 600 »: La méthode suivante sera utilisée pour établir cette composition, en tenant compte que les débits de GN et de l'éthane sont extraits du DCS [8].

Tableau III.1.Détermination de la composition de gaz combustible [12].

Composants	Xi% (molaire) GN	Xi% (molaire) dééthanniseur	Débit dans le GN	Débit dans l'éthane	Débit dans gaz combustible	Xi % (massique)
N₂	5,66	0	7,075	0	7,075	4,5566
H₂	0	0	0	0	0	0
CO₂	0,23	0	0,2875	0	0,2875	0,1851
H₂O	0	0	0	0	0	0
CH₄	83,56	15,76	104,45	4,7702	109,2202	70,343 0
C₂H₆	7,7	73,7	9,625	22,3074	31,9324	20,566 0
C₃H₈	1,92	10,54	2,4	3,1902	5,5902	3,6003
iC₄H₁₀	0,27	0	0,3375	0	0,3375	0,2173
nC₄H₁₀	0,43	0	0,5375	0	0,5375	0,3461
iC₅H₁₂	0,09	0	0,1125	0	0,1125	0,0724
nC₅H₁₂	0,09	0	0,1125	0	0,1125	0,0724
C₆H₁₄	0,05	0	0,0625	0	0,0625	0,0402
TOTAL	100	100	125	30,2678	155,2678	100
Débit GN Nm³/h	2800					
Débit éthane Nm³/h	678					

III.2 Calcul du rendement dans la zone de radiation lors de la phase 1

Le rendement d'un four concernant la zone de radiation représente un rapport énergétique qui compare la quantité de chaleur que l'huile absorbe dans cette zone à la quantité de chaleur qui y est délivrée. L'évaluation du rendement dans la zone de radiation sera minutieusement expliquée sur le train100, tandis que pour le second train, les résultats seront fournis directement puisqu'ils sont effectués de la même façon [13].

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{Q_f - Q_{brulés}}$$

Tel que :

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

❖ Train100

III.2.1 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 :

$$Q_f = LHV + H_f + H_a$$

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/ h.
- H_f : La chaleur sensible de gaz combustible en Kcal/h.
- H_a : La chaleur sensible de l'air en Kcal/ h.

III.2.2 Calcul du pouvoir calorifique inférieur du gaz combustible(LHV)

Le pouvoir calorifique (LHV) sera calculé comme suit :

$$LHV = LHV' \times (\text{débit massique de combustible})$$

- LHV' : Pouvoir calorifique du gaz combustible par rapport à 1Kg de ce gaz en Kcal/Kg.

III.2.2.1 Calcul de LHV'

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

- **Xi_{massique}** : Composition massique de chaque composant de gaz combustible.
- **PCI**: Pouvoir calorifique de chaque composant de gaz combustible à 0° C en kcal /Kg.
- **Mi** : Masse molaire de chaque composant en Kg/kmol.
- **Xi (molaire)** : Composition molaire de chaque composant de gaz combustible.

Tableau III.2 : Résultats des calculs LHV'.

COMPOSANTS	Xi% (molaire)	Mi (Kg/Kmol)	Xi(molaire) *MI	Xi% (massique)	PCI (kcal/kg)	Xi(massique) ×PCI
N ₂	0	28	0	0		0
He	0	4	0	0		0
CO ₂	0.08	44	3,52	0,00156278		0
H ₂ O	0	18	0	0		0
CH ₄	55.78	16	892,48	0,39623513	11950	4735,00977
C ₂ H ₆	37,59	30	1127,7	0,50066596	11400	5707,5919
C ₃ H ₈	6,3	44	214,2	0,09509856	11000	1046,08418
iC ₄ H ₁₀	0	58	0	0	10900	0
nC ₄ H ₁₀	0,25	58	14,5	0,00643758	10900	70,1695969
iC ₅ H ₁₂	0	72	0	0	10700	0
nC ₅ H ₁₂	0	72	0	0	10700	0
C ₆ H ₁₄	0	86	0	0	10600	0
TOTALE	100		2252,4			11558,8554

➤ **Exemple de calcul pour le CH₄ :**

$$X_{i(\text{massique})} = \frac{x_i(\text{mol}) \times M_i}{\sum x_i(\text{mol}) \times M_i} = \frac{55,78 \times 16}{2252,4} = 0.39623513$$

$$X_{i(\text{massique})} \times \text{PCI} = 0.39623513 \times 11950 = 4735.00977$$

$$\text{LHV}'(100) = 11558,8554 \text{ Kcal/ h.}$$

III.2.2.2 Calcul du débit massique du combustible

Ajustement du flux de combustible : Le débit du combustible fourni par le FI2301_NG au niveau du DCS correspond à un débit basé sur une composition du gaz naturel ayant une densité de 3.305Kg/m³. Étant donné que le four utilise un mélange de gaz naturel et d'éthane comme combustible, il est nécessaire de corriger le débit de ce gaz lu au FI2301_NG.

$$Q = \frac{K \times A \times \Delta p}{\rho}$$

- **Q**: Débit de gaz combustible (m³/h).
- **K** : Coefficient d'orifice de l'élément des mesures.
- **A** : superficie de l'orifice exprimée en m².
- **Δ p** : chute de pression à travers l'orifice.
- **ρ**: densité (Kg/m³).
- Les constantes K, A, Δ p sont des valeurs fixes.

III.2.2.3 La masse volumique du gaz combustible

$$\rho = \frac{P \times M}{R \times T \times Z}$$

- **P** : pression du carburant exprimée en KPA.
- **M**: masse molaire du combustible exprimée en Kg par kilo mole.
- **R** : la constante des gaz parfaits correspond à 8.314 KJ / Kmol k.
- **T**: température du combustible à l'entrée du four exprimée en Kelvin (DCS inclus en annexe I).
- **Z** : le facteur de compressibilité du carburant à la pression P et à la température T.

Tableau III.3 .calcul de masse volumique (ρ).

Variables de gaz combustible	Train 100
P (k pascal)	395,53
M (Kg / Kmol)	23,154
Z	0.98
ρ(Kg/m³)	3.84

$$\rho = \frac{P \times M}{R \times T \times Z} = \frac{395.53 \times 23.154}{8.31 \times 292.75 \times 0.98} = 3,84$$

- **Q(GN)** : le débit pour un combustible de composition de gaz naturel de masse volumique de 3.305Kg/m³.

III.2.2.4 La variation du débit en fonction de la masse volumique

La relation suivant elle donne selon (DCS) :

$$\frac{Q(comb)}{Q(GN)} = \frac{\rho(GN)}{\rho(comb)}$$

Le débit de GN est relevé du DCS :

$$Q_{GN} = 2800 \text{Nm}^3 / \text{h}.$$

Donc :

$$Q_{combustible} = 2409,896 \text{ (m}^3 / \text{h)}.$$

III.2.2.5 Le pouvoir calorifique inférieur du gaz (LHV)

Sera donc égal à :

$$\text{LHV} = \text{LHV}' \times (\text{Débit massique de combustible})$$

$$\text{LHV}(100) = 11558.8554 \times 2409,896 = 27855639,393 \text{ Kcal / h}.$$

III.2.3 Calcul de la chaleur sensible du gaz combustible (H_f)

La chaleur sensible se rapporte à la quantité de chaleur présente dans le combustible avant toute transformation ou réaction, et elle est fonction de la température du combustible. On la définit de la manière suivante :

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

- H_f' représente la chaleur spécifique sensible du gaz combustible.

III.2.3.1 Calcul de la chaleur sensible spécifique (H_f')

Il s'agit de la capacité calorifique sensible du gaz combustible par rapport à 1 kg de ce dernier, calculée à partir de l'équation suivante :

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

- X_i _{massique} : contribution massique de chaque composant dans le gaz combustible.
- H_i : enthalpie de chaque composant entre la température standard de 0°C et la température du combustible lorsqu'il pénètre dans le four (T).

$$H_i = C_{p_i} \times dT$$

$$C_{p_i} = B_i + 2 C_i T + 3D_i T^2 + 4E_i T^3 + 5F_i T^4$$

On aura :

$$H_i = (B_i + 2 C_i T + 3D_i T^2 + 4E_i T^3 + 5F_i T^4) dT.$$

$$H_i = B_i (T - T_1) + C_i (T^2 - T_1^2) + D_i (T^3 - T_1^3) + E_i (T^4 - T_1^4) + F_i (T^5 - T_1^5).$$

H_f' : Chaleur sensible de gaz combustible.

C_{p_i} : Capacité calorifique de chaque constituant en kJ /kg °C.

B_i, C_i, D_i, E_i, F_i : Des constantes pour chaque constituant i.

T_1 : Température de référence est de 0 °C.

T : Température de gaz combustible à l'entrée du four.

$$X_i (\text{mass}) = \frac{x_i M_i}{\sum x_i M_i}$$

Tableau III.4. Calcul de H_f' [14].

COMPOSANTS	$X_i\%$ (molaire)	M_i (Kg/Kmol)	$X_i(\text{molaire})$ $\times M_i$	$X_i\%$ (massique)	H_i (Kj/Kg)	$H_i \times x_i$ (mol)
N_2	0	28	0	0	19,7112	0
He	0	4	0	0	0	0
CO_2	0.08	44	0,0352	0,15202557	15,7936	0,02401031
CH_4	55.78	16	8,9248	38,5453917	41,9171	16,1571104
C_2H_6	37,59	30	11,277	48,7043275	32,2007	15,6831344
C_3H_8	6,3	44	2,772	11,9720135	30,6018	3,66365162
iC_4H_{10}	0	58	0	0	30,5211	0
nC_4H_{10}	0,25	58	0,145	0,62624169	31,2381	0,195626
iC_5H_{12}	0	72	0	0	29,8784	0
nC_5H_{12}	0	72	0	0	30,4036	0
C_6H_{14}	0	86	0	0	30,0455	0
Total	100		23,154	100		35,7235327

$$H_f = 35,7235327 \text{ KJ/Kg}$$

$$\frac{35,7235327}{4,18} = 8,54629 \text{ Kcal /Kg}$$

$$H_f = 8,54629 \text{ Kcal /Kg de combustible.}$$

III.2.3.2 Calcul de la chaleur sensible du gaz combustible (H_f)

Pour le train 100, 100K mole de combustible brûlé dégagent une chaleur notable de 8,54629 kcal/kg de combustible. En considérant que le calcul du débit massique de combustible a déjà été effectué précédemment [11]:

$$H_f = H_f' \times Q_{(\text{comb})}$$

$$H_f = 8,54629 \times 2409,896 = 20595,69319 \text{ Kcal / h.}$$

III.2.4 Calcul de la chaleur sensible de l'air (Ha)

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

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

Où **Ha'** représente la sensible de l'air par rapport à 1kg d'air.

$$Ha' = \sum Xi (\text{masse}) \times Hi$$

Avec:

- **Xi (mass)** : fraction massique de composant dans l'air.
- **Hi**: enthalpie des composés de l'air entre la température de référence 0°C et la température à l'entrée du four (T).

On note que les Hi ont été déjà calculés (**Tableau III.5**) :

$$Ha' = X_{O_2} \times Ho_2 + X_{N_2} \times H_{N_2}$$

Tableau III.5.Chaleur sensible de l'air Ha' [10].

COMPOSANTS	xi% (molaire)	Mi (kg/kmol)	Xi (mol) × Mi	Xi% (mass)	Hi (kJ/kg)	Hi × Xi (kJ/kg)
N2	79	28	22,12	76,6990291	19,7112	15,118299
O2	21	32	6,72	23,3009709	17,3501	4,04274175
TOTAL			28,84	100		19,16104078

Exemple de calcul:

$$Xi = \frac{xi \times Mi}{\sum xi \times Mi}$$

$$Xi (O_2) = \frac{6,72}{28,84} = 0,23300.$$

III.2.4.1 Calcul de la chaleur sensible de l'air par rapport à 1kg d'air

$$0,23300 \times H_i = 0,23300 \times 17,3501 = 4,04274 \text{ (kJ/kg) de O}_2.$$

$$\sum X_i \times H_i = 19,16105 \text{ (kJ/kg) d'air.}$$

$$\frac{19,16105}{4,18} = 4,58398 \text{ Kcal/kg d' air}$$

$$Ha' = 4,58398 \text{ kcal / kg d'air.}$$

$$Ha' = 4,58398 \text{ kcal/kg d'air.}$$

III.2.5 Calcul du débit massique de l'air

Le débit massique d'air est déterminé par la formule suivante:

$$Q_{m \text{ air}} = \frac{Q_{\text{vair}} \times M_{\text{air}}}{22,4}$$

- Q_{vair} : Le débit volumique d'air (Nm^3/h).
- $Q_{m \text{ air}}$: Le débit massique d'air.
- M_{air} : masse molaire d'air.

Q_{vair} : représente le flux volumique d'air entrant dans le four additionné de l'humidité de cet air (Nm^3/h).

III.2.6 Calcul du débit volumique de l'air entrant dans le four

Pour calculer le débit, il est nécessaire d'évaluer la quantité d'oxygène qui pénètre dans le four. Cette méthode servira à calculer le débit d'air [15]:

$$\text{Débit volumique d'air entrant} = (\text{débit molaire d'air}) \times V_m$$

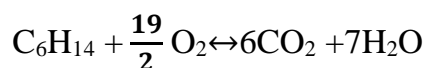
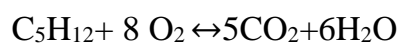
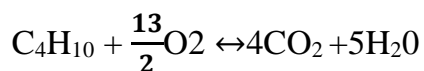
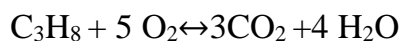
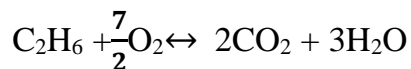
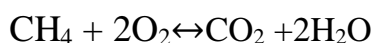
V_m : volume molaire.

Avec:

$$\text{Débit molaire d'air} = \frac{\text{débit molaire de O}_2}{0,21}$$

III.2.7 Calcul du débit molaire d'oxygène

Les principales réactions chimiques qui se produisent lors de la combustion dans le four sont les suivantes :



Pour 100Kmol de combustible brûlé avec un surplus d'air de 15% et une proportion d'oxygène dans l'air de 21%, nous obtiendrons ce qui suit:

Tableau III.6 : Quantités Stœchiométriques d'oxygène.

composant	Xi% (molaire)	Consommation Stœchiométrique d'O ₂
Méthane CH₄	83.0000	140.6860
Ethane C₂H₆	7.1000	71.9810
Propane C₃H₈	2.2500	18.0015
i-Butane iC₄H₁₀	0.4000	1,41124
n-Butane nC₄H₁₀	0.6000	2.2496
i-Pentane iC₅H₁₂	0.1200	0.5792
n-Pentane nC₅H₁₂	0.1500	0.5792
n-Hexane nC₆H₁₄	0.1800	0.3819
CO₂	0.2100	2.0000
Nitrogène	5.8000	0
Hélium	0.1900	0
TOTAL	100.0000	237.86964

En tenant compte d'un surplus de 15% en oxygène (norme acceptable), pour assurer une combustion totale, il nous faudrait alors un flux additionnel d'oxygène de :

$$\text{Débit d'oxygène} = 0.15 \times 237.86964 = 35,680446 \text{ mol /h.}$$

La quantité totale d'oxygène nécessaire pour brûler 100Kmol/h de combustible sera donc égale à :

$$237,86964 + 35,680446 = 309,55 \text{Kmol/h.}$$

Ce qui est équivalent à une quantité d'air dont le débit molaire sera :

$$\text{Débit molaire d'air} = \frac{309,55}{0,21}$$

$$\text{Débit molaire d'air} = 1474,04762 \text{ Kmol / h.}$$

Pour chaque 100Kmol de combustible utilisé par le train 500, il nous faut :

$$1474,04762 \text{ Kmol d'air.}$$

$$\text{Débit volumique d'air entrant} = 1474,04762 \times 22.4$$

$$\text{Débit volumique d'air entrant} = 33018,66669 \text{ Nm}^3 \text{ /h.}$$

III.2.8. Calcul de la quantité d'eau provenant de l'humidité atmosphérique lors de la combustion

Selon l'équation d'Antoine :

$$\ln(p_{\text{sat}}) = A - \frac{B}{C+T}$$

A, B, C : coefficients d'Antoine spécifiques à la substance.

La formule suivante sert à calculer la pression partielle de l'eau à partir de l'humidité relative et de la pression de saturation de l'eau à une température donnée :

$$P_p(\text{H}_2\text{O}) = \frac{H \times P_{\text{sat}}}{100}$$

On a la loi des gaz parfait pour composant :

Pour l'air sec :

$$P_{\text{as}} \times V = n_{\text{as}} \times RT \quad (1)$$

Pour la vapeur d'eau :

$$P_p(\text{H}_2\text{O}) \times V = n_{\text{vap}} \times RT \quad (2)$$

P_{as} : la pression partielle de l'air sec.

P_p(H₂O) : Pression partielle de l'eau en Kg/cm².

n_{as} : le nombre de mole de l'air sec.

n_{vap} : le nombre de mole de vapeur d'eau.

V : volume totale de mélange.

R : constante.

T : la température absolue.

Le rapport du mélange :

$$X = \frac{nvap}{nas}$$

En divisant l'équation (2) par (1) :

$$\frac{Pp(H_2O) \times V}{Pas \times V} = \frac{n \text{ vap} \times RT}{n \text{ as} \times RT}$$

$$\frac{Pp(H_2O)}{Pas} = \frac{n \text{ vap}}{n \text{ as}}$$

$$X = \frac{Pp(H_2O)}{Pas} \quad (3)$$

Selon la loi de Dalton sur les pressions partielles :

$$P_{as} = P_{(atm)} - P_p(H_2O) \quad (4)$$

En substituant l'expression (4) dans (3) :

$$X = \frac{Pp(H_2O)}{P_{(atm)} - Pp(H_2O)}$$

Par conséquent le rapport des volumes dans les conditions normales est égal :

$$\frac{Vv(Nm^3)}{Vas(Nm^3)} = \frac{n \text{ v}}{n \text{ as}} = X$$

Si nous considérons ($V_{as(Nm^3)} = 1$), alors ($V_{v(Nm^3)}$) est directement égale au rapport de mélange molaire :

$$\text{La quantité d'eau en Nm}^3 \text{ dans 1Nm}^3 \text{ d'air} = \frac{Pp(H_2O)}{p(atm) - Pp(H_2O)}$$

P_{sat} : pression de saturation Kg/cm².

P_{atm} : Pression atmosphérique.

T : Température ambiante en °C.

H : Humidité en %.

On a :

$$T = 19^{\circ}\text{C}.$$

$$H = 80\%.$$

$$P_{\text{atm}} = 1.0322 \text{ Kg/cm}^2.$$

Application numérique :

$$\ln p_{\text{sat}} = 11.960884 - \frac{3970.5981}{232.92492 + 19} = -3.8.$$

$$P_{\text{sat}} = 0,02237 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_p(\text{H}_2\text{O}) = \frac{H \times P_{\text{sat}}}{100} = \frac{80 \times 0,02237}{100} = 0,017896 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$\text{La quantité d'eau en Nm}^3 \text{ dans 1Nm}^3 \text{ d'air} = \frac{0,017896}{1.0322 - 0,017896} = 0,01764$$

On obtient : 0,01764 Nm³ /Nm³ d'air.

$$\text{L'humidité dans l'air entrant} = 0,01764 \times 33018,66669 = 582,44280 \text{ Nm}^3 / \text{h}.$$

L'humidité contenue dans l'air entrant est égale à 582,44280 Nm³ /h.

$Q_{\text{vair}} = \text{débit volumique d'air entrant dans le four} + \text{l'humidité d'air entrant en (Nm}^3/\text{h)}.$

$$\text{Débit volumique d'air} = 582,44280 + 33018,66669 = 33601,11597 \text{ Nm}^3 / \text{h}.$$

$$Q_{\text{m air}} = \frac{Q_{\text{vair}} \times M_{\text{air}}}{22,4}$$

$$M_{\text{air}} = 28,84 \text{ g/mol}.$$

$$\text{Débit molaire d'air} = \frac{33601,11597}{22,4}$$

$$\text{Débit molaire d'air} = 1500,04982 \text{ Kmole} / \text{h}.$$

- Ce flux molaire d'air a été déterminé pour 100 Kmole de carburant. Pour 122.1411 Kmole de carburant, on recevra 1832.17735 Kmole/h d'air.

$$\text{Débit d'air en (Kg/h)} = 1832,17735 \times 28,84 = 52839,994774 \text{ Kg/h}.$$

$$\text{Débit mass d'air} = 52839,994774 \text{ kg/h}.$$

- Suite aux calculs de Ha' et le débit massique d'air il résulte la valeur de Ha :

$$\mathbf{Ha = Ha' \times (\text{débit mass d'air})}$$

- $\mathbf{Ha} = 4,58398 \times 52839,994774$
- $\mathbf{Ha} = 242217,47924 \text{ kcal/h}.$

Ce qui donne une quantité de chaleur fournie par le four :

$$Q_f = LHV + H_a + H_f$$

$$Q_f = 27855639,393 + 242217,47924 + 20595,69319$$

$$Q_f = 28118816,56543 \text{ Kcal/h.}$$

III.2.7 Calcul de la chaleur sensible des gaz brûlés ($Q_{\text{brûlés}}$)

$$Q_{\text{brûlés}} = Q'_{\text{brûlés}} \times (\text{Débit massique des gaz brûlés}).$$

$Q_{\text{brûlés}}$: la chaleur des gaz brûlés en Kcal/h.

$Q'_{\text{brûlés}}$: la chaleur des gaz brûlés calculée par rapport à 1Kg des gaz brûlés.

III.2.7.1 Calcul de la chaleur sensible des gaz brûlés ($Q'_{\text{brûlés}}$)

C'est la chaleur des gaz brûlés calculée par rapport à 1Kg des gaz brûlés :

$$Q'_{\text{brûlés}} = \sum X_i \text{ massique} \times H_i$$

$X_i \text{ massique}$: fractions massiques des gaz brûlés.

H_i : enthalpie de composant des gaz brûlés calculée entre la température T_g et la température de référence.

III.2.7.2 Calcul de l'enthalpie H_i

L'équation intégrée dans les chapitres précédents servira à calculer les H_i :

$$H_i = B_i \times (T_g - T_1) + C_i \times (T_g^2 - T_1^2) + D_i \times (T_g^3 - T_1^3) + E_i \times (T_g^4 - T_1^4) + F_i \times (T_g^5 - T_1^5)$$

T_1 : température de référence est de 0 °C.

T_g : température du combustible dans la zone de radiation.

B_i, C_i, D_i, E_i, F_i : constantes pour chaque constituant i .

III.2.7.3 Calcul du rapport $\frac{Q_f}{F \times A}$

III.2.7.3.1 Calcul du F

Le facteur d'échange FA sera calculé suivant l'équation suivante:

Cette équation est adaptée du livre « ASHRAE Handbook – Fundamentals ».

$$F = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon A} + \frac{A}{A+AR} \times \left(\frac{1}{\epsilon_f} - 1\right)}$$

ϵA : Coefficient d'absorption des rangées de tubes, incluant : ϵA équivaut à $0,86m^2$.

A : Superficie équivalente à celle du corps noir pour les tubes, $A=254,81m^2$.

AR : Superficie des réfractaires non recouverts, $AR=273,4m^2$.

ϵ_f : Coefficient d'émission de la flamme, $\epsilon_f=0,57$.

$$F = \frac{1}{\frac{1}{0,86} + \frac{254,81}{254,81+273,4} \times \left(\frac{1}{0,57} - 1\right)} = 0,6550$$

Le rapport :

$$\frac{Q_f}{F \times A} = \frac{28118816,56543}{0,6550 \times 254,81} = 168476,47635 \text{ Kcal / m}^2 \text{ h} = 168,476 \text{ Th /m}^2 \text{ h.}$$

III.2.7.4 Calcul de la température de pseudo flamme (T_{pf})

La formule suggérée par Lobo et Evans a été utilisée pour déterminer la température de pseudo flamme, on a adaptés cette équation du livre « ASHRAE Handbook – Fundamentals » :

$$T_{pf} = \frac{LHV' + Hf' + Ha' \times \left(\frac{Q_{m \text{ air}}}{Q_{m \text{ comb}}}\right)}{C_p \times \left(\frac{Q_{m \text{ air}}}{Q_{m \text{ comb}}}\right)}$$

Où :

C_p : capacité calorifique des gaz brûlés entre la température de référence de 0°C et la température estimée T_g , sans prendre en compte la quantité d'eau présente dans l'air.

$Q_{m \text{ comb}}$: Débit massique de combustible.

$Q_{m \text{ air}}$: Débit massique d'air.

$T_{pf} = 1900^\circ\text{C}$

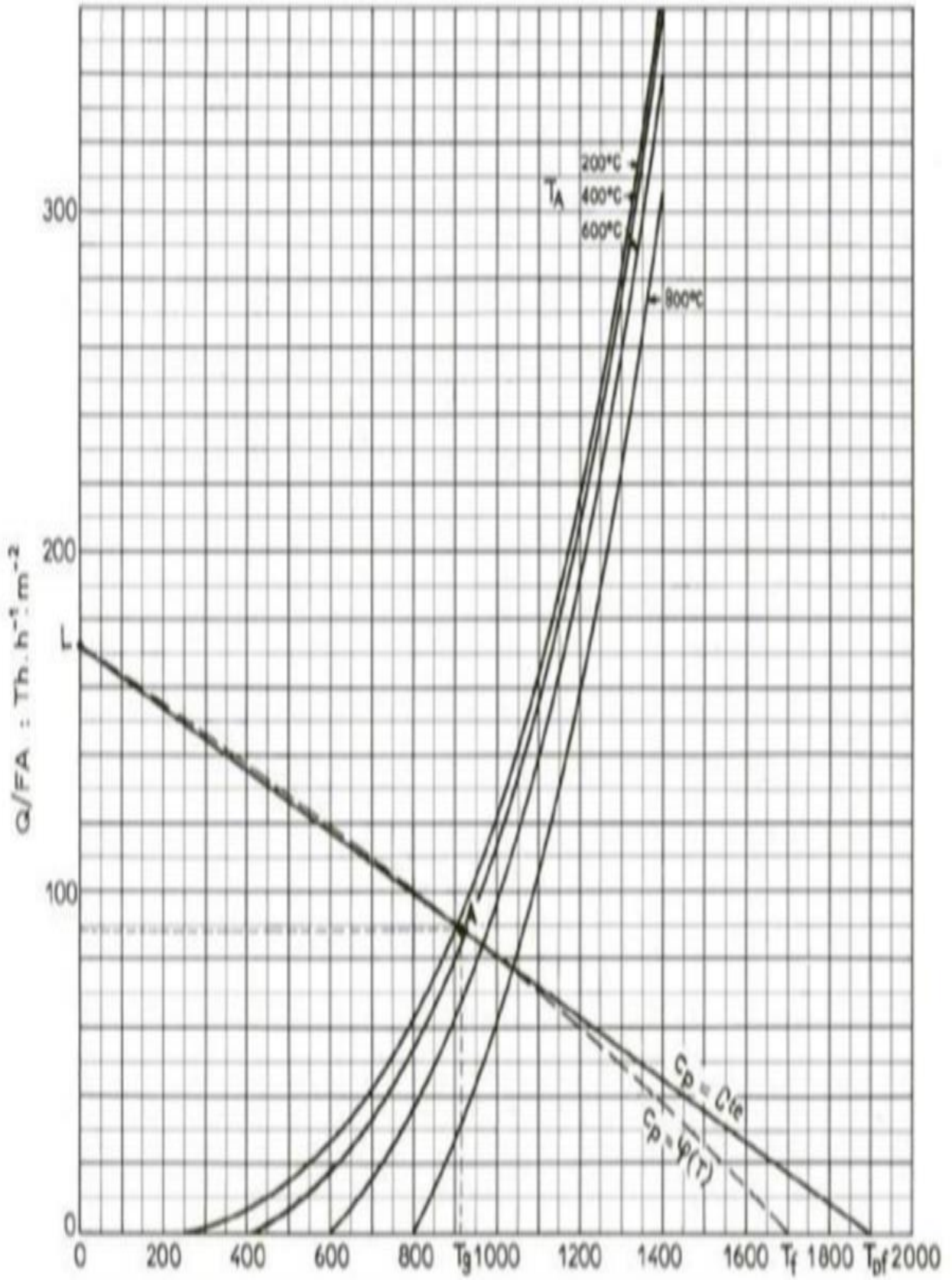


Figure III.1. Température de radiation du combustible T_g $^{\circ}C$.

Comme le montre la figure III.1, on détermine la température T_g du gaz combustible à l'emplacement de la zone de radiation en fonction de T_{pf} , du ratio Q_f/FA et de la température des tubes du four T_{tube} . Elle devrait être. Egale à celle présumée, en admettant une différence de 25°C [16].

Vérification du T_g supposée

La confirmation de T_g est effectuée conformément à la (Figure III.1) après plusieurs itérations, et la température obtenue est :

$T_g = 920^\circ\text{C}$.

$T_1 = 273.15^\circ\text{K}$; $T_g = 920^\circ\text{C} = 1193.15^\circ\text{K}$

T_g : la température de gaz combustible au niveau de la zone de radiation.

$Hi_{O_2} = 945,2722 \text{ KJ/Kg}$.

$Hi_{N_2} = 1021,8240 \text{ KJ/Kg}$.

$Hi_{CO_2} = 1053,9198 \text{ KJ/Kg}$.

$Hi_{H_2O} = 1948,9851 \text{ KJ/Kg}$.

Tableau III.7 : Caractéristiques des gaz brûlés.

gaz brûlé	Xi molaire	Mi (kg / kmol)	Xi Mi	Xi massique	Hi (kj/kg)	Xi Hi (kj/kg)	Débit (Kmol/h)
O₂	2,4765	32	0,79248	0,02850451	945,2726	26,9445345	35,3806
N₂	71,6796	28	20,070288	0,72190310	1021,824	737,657917	1024,0221
CO₂	8,7973	44	3,870812	0,13922825	1053,9198	146,735416	125,6804
H₂O	17,0463	18	3,068334	0,11036413	1948,9851	215,098041	243,5259
Total	100		27,801914			1126,43591	1428,6091

$Q'_{brûlés} = 1126,43591 \text{ kJ/kg}$.

$Q'_{brûlés} = 269,48 \text{ kcal/kg des brûlés}$.

III.2.7.5 Calcul du débit des gaz brûlés

En cas de combustion complète, 100 Kmol de combustible produisent 1428.6091 Kmol d'éléments brûlés. De plus, pour 122.4751 Kmol de combustible (provenant du DCS), on obtiendrait 1749.6907 Kmol d'éléments brûlés [14].

**Le débit des brûlés en Kg/ h = (débit des brûlés en Kmol/h) × (masse molaire des brûlés
Eng /Kmol).**

Débit des brûlés en Kg/ h = 1749,6970 × 27,8020

Débit des brûlés = 48645,07599 Kg/h.

Il résulte donc :

$$Q_{\text{brûlés}} = Q'_{\text{brûlés}} \times (\text{Débit massique des gaz brûlés}).$$

$$Q_{\text{brûlés}} = 269,48 \times 48645,07599 = 13108824,89 \text{ Kcal / h.}$$

III.2.7.6 Calcul de la chaleur absorbée par l'huile dans la zone de radiation

La quantité de chaleur absorbée par l'huile TORADA est donnée par l'expression suivante :

$$Q_{\text{abs}} = P_{\text{huile}} Q_v \int_{T_e}^{T_s} 0.435T + 0.000433T^2 \text{ [9]}$$

$$P (\text{g/cm}^3) = 0.8825 - 0.00063 T (\text{°C}).$$

$$P = 769.1 \text{ Kg/m}^3.$$

Ces valeurs ont été prises du DCS :

$$T_e = 160^\circ\text{C}$$

$$T_s = 180^\circ\text{C.}$$

$$Q_v = 1101 \text{ m}^3/\text{h.}$$

$$Q_m = 8.471 \text{ 105kg/h.}$$

$$Q_{\text{abs}} = 10.27 \text{ 10}^6\text{kcal/h.}$$

III.2.7.6 Calcul du rendement dans la zone de radiation au niveau de la phase I

❖ Train 100

$$\eta = \frac{12,76 \times 10^6}{28118816,56543 - 13108824,89} = 0,6842$$

$$\eta_{100} = 68,42\%$$

❖ Train400

Toutes les opérations de calcul effectuées sur ce train se dérouleront rapidement, étant donné que ses méthodes de calcul sont identiques à celles du train100.

$$\text{LHV}_{400} = 23912197 \text{ kcal/h.}$$

$$\text{H}_{f400} = 18589,7749 \text{ kcal/h.}$$

$$\text{H}_{a400} = 182893,555 \text{ kcal/h.}$$

$$\text{Q}_f = 24.1136 \times 10^6 \text{ kcal/h.}$$

$$\text{Q}_{\text{brûlés}400} = 11.1308 \times 10^6 \text{ kcal/h.}$$

$$\text{Q}_{\text{abs}400} = 9.9318 \times 10^6 \text{ kcal/h.}$$

$$\eta_{400} = \frac{9,9318}{24,1138 - 11,1308} = 76,50\%$$

III.2.8 Calcul du rendement dans la zone de radiation au niveau de la phase II

❖ Train 500

$$\text{LHV}_{500} = 27250949,19 \text{ kcal/h.}$$

$$\text{H}_{f500} = 23044,99036 \text{ kcal/h.}$$

$$\text{H}_a = 213860,7794 \text{ kcal/h.}$$

$$\text{Q}_f = 27487854,96 \text{ kcal/h.}$$

$$\text{Q}_{\text{brûlés}500} = 13108824,89 \text{ kcal/h.}$$

$$\text{Q}_{\text{abs}500} = 12,76 \times 10^6 \text{ kcal/h.}$$

$$\eta_{500} = \frac{12,76 \times 10^6}{27487854,9 - 13108824,8} = 88,74 \%$$

❖ **Train600**

$LHV_{600} = 24319830 \text{ kcal/h.}$

$H_{f600} = 18613,5629 \text{ kcal/h.}$

$H_{a600} = 185817,15 \text{ kcal/h.}$

$Q_{f600} = 24.5242 \times 10^6 \text{ kcal/h.}$

$Q'_{brulés600} = 262.95 \times 10^6 \text{ kcal/Kg des brûlés.}$

$Q_{abs600} = 12.63 \times 10^6 \text{ kcal/h.}$

$$\eta_{600} = \frac{12,63}{24,5242 - 262,95} = 94.36\%$$

III.3 Résultats et discussions

Les résultats concernant les principaux paramètres des fours dans les trains de la phase I et II sont regroupés dans le tableau suivant et illustres par la figure III.2 :

Tableau III.8 : Résultats obtenus phase I et II.

Paramètre des fours	Phase 01		Phase 02	
	Train 100	Train 400	Train 500	Train 600
Te (°C)	154	159	154	155,5
Ts (°C)	180	180	180	180
Q_f × 10⁶ (Kcal/h)	28.1188	24.1136	27.4878	24.5242
Q_{brulés} × 10⁶ (kcal/h)	13.1088	11.1308	13.1088	11.2043
Q_{abs} × 10⁶ (Kcal / h)	10.27	10.08	12.76	12.63
η%	68.42	77.65	88.74	94.36

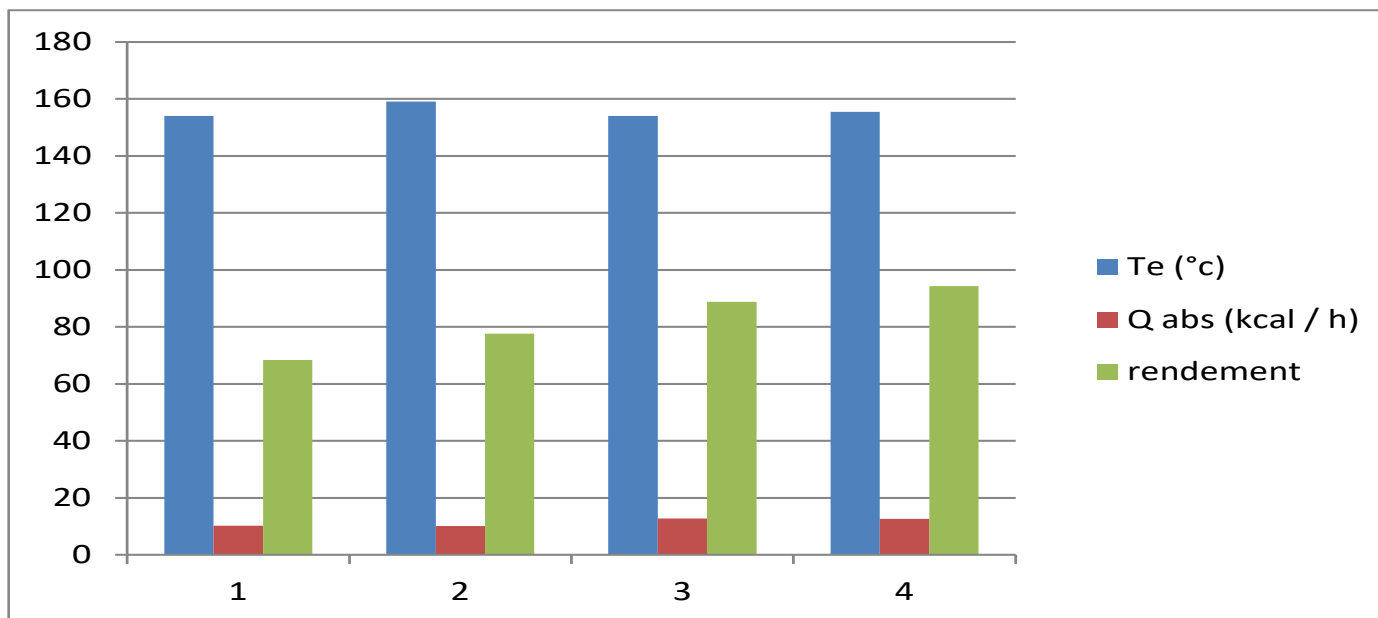


Figure III.2. Variabilité de T_e - Q_{abs} et rendement en fonction des trains.

Pour faciliter la comparaison entre les phases I et II, nous focaliserons notre attention sur les trains 400 et 600, connus pour leurs performances exceptionnelles.

Une distinction marquante se trouve dans la chaleur que l'huile absorbe. Le train 400, qui opère à une température d'entrée élevée dans la zone de radiation, nécessite moins d'absorption thermique. Inversement, le train 600 qui reçoit l'huile TORADA à une température inférieure, capture une quantité plus importante de chaleur. Nous remarquons que la performance du train 600 est meilleure que celle des autres trains, et la raison en est $Q_{Brûlé}$ plus la valeur est petite, plus la performance est importante, et inversement. Parmi les options suggérées, on trouve la minimisation du $Q_{Brûlé}$ à son niveau le plus bas et l'organisation et la synchronisation du nettoyage des fours.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion

Le complexe GP1/Z, qui fait partie des installations les plus dynamiques de la société nationale de transformation et de commercialisation des hydrocarbures (SONATRACH), a pour mission principale la liquéfaction des gaz pétroliers issus du vaste sud algérien. Ce complexe comprend diverses installations qui participent à ce processus de liquéfaction. Parmi elles, certaines ont besoin d'une certaine quantité de chaleur pour opérer, comme le rebouilleur du fractionnateur et le préchauffeur. Ces derniers absorbent cette chaleur d'une huile TORADA TC 32. Cette huile est chauffée dans un four jusqu'à atteindre une température de 180°C. Notre recherche se concentre sur le suivi de cette huile dans la catégorie d'huile chaude, et nous analysons l'évolution des paramètres de cette huile en fonction de la température. Dans les zones de chauffage du four, un calcul du coefficient de transfert thermique par convection est réalisé. Les données indiquent que l'huile conserve sa fluidité même à des températures élevées, détient des propriétés appropriées pour un transfert thermique optimal et ne se dégrade pas lors du chauffage.

Références bibliographiques

- [1] : Manuel d'exploitation, section de séparation, projet de sécurisation et de fiabilisation du complexe GP2/Z, activité AVAL, Sonatrach 2007.
- [2] Analyses des fumées du four T20, laboratoire UTBS, SONATRACH, division production, direction régionale Hassi-Mess aoud direction exploitation service contrôle, aout 2016
- [3] : P.WITHIER, raffinage et génie chimique, TOMI et TOMII, édition technique 1972.
- [4] :G.MONNOT, la combustion dans les fours et les chaudières. Editions technique, Institut Français de pétrole (IFP).
- [5]: Ramirez W.F, Logiciel Math Works MATLAB, Computational Methods for Process Simulation, Second Edition Page 53
- [6] : J.LENOGEUS, Etude des fours pétroliers et pétrochimiques. Editions technique, institut Français de pétrole (IFP).
- [7]: ZdeněkJegla, JiříVondál,JiříHájek.Article: Standards for fired heater design : An assessment based on computational modeling, Science Direct, Volume 89, 5 October2015, Pages 1068-1078
- [8]: Gavin Towler, Ray Sin not, Chemical Engineering Design Principles, Practice and Economics of plant and process Design, second Edition. Pages 1181 & 1182 64
- [9] : Analyses des fumées du four T20, laboratoire UTBS, SONATRACH, division production, direction régionale Hassi-Mess aoud direction exploitation service contrôle, aout 2016
- [10] : LAMIRI Kamel, ISSIAKHEM Mourad, TOUIL Djamel, rapport d'audit énergétique unité CPF de RHOURE NOUSS, APRUE 2016
- [11] : BALIOUZE Khadîdja, Mémoire de master "Stratégie et développement de l'industrie gazière à l'horizon 2040", UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2014
- [12] : IEA, Key World Energy Statistics, International Energy Agency,www.iea.org, August 2011 – (Rapport de 2011).
- [13] : Manuel Opérateur du CPF, volume I (description du procédé) SONATRACH, SNCLAVALAIN, installations de traitement de Rhourde Nouss QH
- [14]: Ramirez W.F, Logiciel Math Works MATLAB, Computational Methods for Process Simulation, Second Edition Page 536
- [15] : AIE 2016 : Agence d'information sur l'énergie www.iea.org –(Rapport de 2016)
- [16] : Jean-Pierre WAUQUIER le pétrole, RAFFINAGE ET GENIE CHIMIQUE Tome1, Edition 1972, page 306)