

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**

Option: **GÉNIE CHIMIQUE**

THÈME

Étude du rendement thermique et récupération du CO₂ dans les fours du complexe GP1/Z

Présenté par

1- M^R. ABUTAIR Nooraldin

2- M^R. KAZI TANI Ilies.

Soutenu le 25 /06/ 2025 devant le jury composé de :

Président :	M ^{DM} H. DELALI	MAA	Université de Mostaganem
Examineur :	M ^R A.DAHMANE	MAA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	M ^{DM} N. HADDOU	MCB	Université de Mostaganem

Remerciements

Je remercie tout d'abord Dieu Tout-Puissant, le Très Miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience pour achever cet humble travail, et dont la volonté est accomplie par les travailleurs et la louange et merci à celui qui nous a guidés sur le droit chemin

Je remercie sincèrement mon encadreur M^{me}. **HADDOU Nabila** enseignante à l'Université de Mostaganem et pour son acceptation de mon offre de superviser mon travail et je la remercie pour sa gentillesse et sa gentillesse éternelles et pour son appréciation et sa compréhension constante de notre situation et merci beaucoup pour vos conseils, votre soutien solide et vos encouragements inspirants.

Mes remerciements particuliers aux membres du jury, M^m **H.DELALI** enseignante à l'Université de Mostaganem pour avoir accepté de présider ce jury et l'enseignant M^r. **A. DAHMANE**, pour l'honneur qu'ils ont fait accepter d'examiner notre travail et de fournir un avis, un commentaire ou des conseils à ce sujet.

Sans oublier nos chers professeurs tout au long des années universitaires et les responsables du département de Génie des procédés merci pour l'aide et les précieuses informations et l'expérience unique et enfin pour le bon traitement

Enfin, un grand merci à mes collègues d'étude pour la belle et amusante compagnie, ainsi que pour les bons souvenirs, en particulier le respect mutuel.

Que Dieu vous bénisse

Résumé

Ce mémoire traite dans le complexe GP1/Z, spécialisé dans le traitement du GPL. Il évalue la performance énergétique des fours, identifie les sources d'émissions de gaz à effet de serre et propose des mesures d'amélioration. L'étude s'aligne avec les objectifs de durabilité de SONATRACH. Une intervention technique sur les fours a permis de réduire significativement la consommation de gaz naturel.

Mots clés : Four, Rayonnement, Convection, Chaleur, Gaz à effet de serre

Abstract

This thesis focuses on the GP1/Z complex, which specializes in LPG processing. It assesses furnace energy performance, identifies greenhouse gas emission sources, and suggests improvements. The study aligns with SONATRACH's sustainability objectives. A technical intervention on the furnaces significantly reduced natural gas consumption.

Keywords: Furnace, Radiation, Convection, Heat, Green house gas.

ملخص

تتناول هذه الأطروحة مجمع GP1/Z، المتخصص في معالجة غاز البترول المسال. وتُقيّم أداء الطاقة للأفران، وتُحدد مصادر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، وتقتراح تدابير للتحسين. وتتوافق الدراسة مع أهداف سوناطراك للاستدامة. وقد أدى التدخل الفني في الأفران إلى خفض استهلاك الغاز الطبيعي بشكل ملحوظ.

الكلمات المفتاحية: الفرن الإشعاع الحمل الحراري الحرارة غازات الاحتباس الحراري

LISTE DES ABREVIATIONS

GPL	Gaz pétrolier liquéfiée	
GP1/Z	Zone de traitement de gaz pétrolier d'Arzew	
GL/Z	Zone de traitement de gaz naturel d'Arzew	
LCR	Local Control Room	
JCR	Jetty Control Room	
BOG	Boil- Off- Gas	
SONATRACH	La Société Nationale pour la recherche, la Production, le Transport, la Transformation et la Commercialisation des Hydrocarbures	
GNL	Gaz naturel liquéfiée	
BP	Basse pression	
HP	Haut pression	
MP	Moyenne pression	
P	pression	bar
T	température	K
N_{rad}	rendement d'un four	-
$Q_{abshuile\ rad}$	chaleur absorbée par l'huile dans la zone de radiation	kcal/h
Q_f	chaleur globale fournie par le four	kcal/h
$Q_{brûlés}$	chaleur des gaz brûlés dans la zone de radiation	kcal/h
$Q_f - Q_{brûlés}$	chaleur fournie par le four dans la zone de radiation.	kcal/hr
L_{HV}	le pouvoir calorifique inférieur du gaz combustible en	Kcal/Kg
H_f	la chaleur sensible du gaz combustible entre une température de référence de 0°C et la température du gaz combustible à l'entrée du four	kcal/kg
H_a	la chaleur sensible d'air entre la température du référence et la température d'air à l'entrée du four.	kcal/kg
F	facteur d'échange	-
ϵ_A	Facteur d'absorption des rangées de tubes	-

A	Surface du corps noir équivalent à la surface d'absorption des tubes	m^2
AR	Surface des réfractaires nus	m^2
ϵ_f	Facteur d'émission de la flamme.	-
A_{RT}	surface du plan d'absorption.	m^2
S_R	surface des tubes latéraux corrigée par le facteur d'absorption (ϵ_{Atl})	m^2
S_S	surface des tubes supérieurs corrigée par le facteur d'absorption (ϵ_{Ats})	m^2
ϵ_{Atl}	est le facteur d'absorption des tubes latéraux	-
ϵ_{Ats}	facteur d'absorption correspondant à une rangée de tubes sans réfractaires.	-
PP_{H_2O}	pression partielle de l'eau sans considérer l'humidité d'air	Kg/cm^2
PP_{CO_2}	pression partielle de gaz carbonique.	Kg/cm^2
C_p	capacité calorifique des gaz brûlés entre la température de référence $0^\circ C$ et la température estimée T_g sans tenant compte la quantité d'eau entrante dans l'air.	$kJ/kg \text{ } ^\circ C$
C_{pi}	capacité calorifique de chaque composé des gaz brûlés.	$kJ/kg \text{ } ^\circ C$
PCI_i	Pouvoir calorifique de chaque composant de gaz combustible à $0^\circ C$	$kcal /Kg$
M_i	Masse molaire de chaque composant	$Kg/Kmole$
$X_{i(molaire)}$	Composition molaire de chaque composant de gaz combustible.	-
H_f	est la chaleur sensible spécifique du gaz combustible.	$kacl/ Kg$
H_i	enthalpie de chaque constituant entre la température de référence $0^\circ C$ et la température du combustible à l'entrée du four (T).	Kj/kg
$Q_{v \text{ air}}$	débit volumique d'air (Nm^3/hr).	Nm^3/hr
C_{p1}	capacité calorifique calculée à la température $0^\circ C$.	$(kj/kg.K)$
C_{pg}	capacité calorifique calculée à la température T_g estimée.	$(kj/kg.K)$

$Q_{abs\ conv}$	Chaleur absorbée par l'huile dans la section de convection.	kcal/h
$Q_{gazbrulésconv}$	Chaleur dégagée par les gaz brûlés dans la zone de convection	kcal / hr
Q'_{conv}	Chaleur contenue dans les gaz brûlés dégagés vers	kacl/ Kg
Q_{conv*}	Chaleur sensible de gaz brûlés dans la zone de convection	kacl/ Kg
$Q'_{sensible\ conv}$	Quantité de gaz brûlés la combustion	kg
$Q'_{conv100}$	Chaleur sensible de gaz brûlés dans la zone de convection	kcal/kg
tCO ₂ e	tonnes de dioxyde de carbone équivalent (tonnes)	-
tonnei	tonnes d'émissions du polluant i	-
PRGi	Potentiel de Réchauffement Global du composé i	--
DA	données sur les activités : Consommation en Energie (thermie)	-
FE	facteurs d'émission = des constant de chaque constituant	-
GES	Gaz a effet de serre	

Liste des figures

Figure. I.1. Plan de situation du complexe GP1/Z	1
Figure. I.2. Principales installations du complexe GP1/Z	3
Figure. I.3. Procédé de fabrication GP1/Z	4
Figure. I.4. Four industriel	7
Figure. I.5. Elément constitutive du four	8
Figure. II.1. Température de radiation du combustible T_g °C	17
Figure.II.2. Entraxe des tubes par rapport au diamètre C/d	20
Figure.II.3. ε_f en fonction de p,L et T_{tubes}	22
Figure.II.4. Pression (en atm.ft) par rapport facteur d'émission de la flamme ε_f	37
Figure.III.1. Trois aspects développement durable	46
Figure.III.2. définition de l'effet de serre (green house gaseffect)	49
Figure.III.3. Empreinte Carbone : Tonnes équivalent CO ₂ émises à l'atmosphère.....	51
Figure.III.4. Categories combustion	52
Figure.III.5. Cartographie des GES dans un train de GNL.....	52
Figure.III.6. Graphe comparative avant et après l'intervention.....	57

Liste des tableaux

Tableau. II.1. Epaisseur utile de la couche de gaz	23
Tableau. II.2. Calcul le Pouvoir calorifique massique en Kcal/Kg.....	26
Tableau. II.3. Calcul des H_i	28
Tableau. II.4. Calcul d' H_f	28
Tableau. II.5. Calcul de H_a'	29
Tableau. II.6. débit molaire d'oxygène pour 100 kmole de gaz combustible.....	30
Tableau. II.7. Composition du l'air.....	33
Tableau. II.8. Les débits des gaz brûlés. (Pour 100 kmole de gaz combustible)	34
Tableau. II.9. Les X_i molaire sans prendre compte l'humidité de l'air	36
Tableau. II.10. Calcul des C_p des gaz brûlés	39
Tableau. II.11. Les résultats du H_i pour atteindre a le résultat de débit des brulées	40
Tableau. II.12. Calcul des H_i	43
Tableau.II.13. Calcul de Q'_{conv}	43
Tableau.III.1. Les différents gaz à effet de serre	50
Tableau.III.2. La consommation de GN dans le four phase 1 avant l'intervention.....	55

Tableau.III.3. La consommation après l'intervention (02-03-2025 a 12h)	56
---	----

SOMMAIRE

REMERCIEMENT

LES LISTES DES FIGURES

LES LISTE DES TABLEAUX

RESUMES

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I. Présentation du complexe GP1/Z et description détaillée de la section d'huile chaude

Introduction	1
I.1 Objectif de complexe GP1/Z	1
.....	
I.2. Situation géographique et voisinage du complexe GP1/Z	1
I.3.Principales installations du complexe GP1/Z	2
I.3.1. Chaque train comprend les sections suivantes	2
I.4. Procède de fabrication	3
I.4.1. Section Stockage de l'Alimentation	4
I.4.2. Section de Déshydratation	5
I.4.3. Section de Séparation	5
I.4.4. Section de Réfrigération	6
I.4.5. Section de l'huile chaude	7
I.4.5.1. Les fours du complexe GP1Z	7
I.4.5.2. Elément constitutif du four	8
I.5. Section de stockage des produits	12
I.6. Section Chargement par Camion (CC)	13
I.7. Chargement de navires	13
I.8. La zone utilité	13

CHAPITRE.II. Calcul du rendement dans la zone de radiation des fours

II. INTRODUCTION	15
II.1. Détermination du rapport Q_f / FA	16
II.1.1. Détermination de Q_f	16
II.1.2. Détermination du facteur d'échange F	17
II.1.2.1. La détermination du facteur d'absorption des rangées de tubes (ϵ_A)	17
II.1.2.2. Détermination de la surface équivalente des tubes (A)	20

II.1.2.3. Détermination de la surface des réfractaires nus (AR)	20
II.2. APPLICATION SUR LE TRAIN 100	24
II.2.1. Calcul de la chaleur globale fournie par le four (Q_{f100})	24
II.2.1.1. Calcul du pouvoir calorifique inférieur du gaz combustible (LHV)	24
II.2.1.2. Calcul de la chaleur sensible de gaz combustible (H_f)	26
II.2.1.3. Calcul de la chaleur sensible d'air ($H'a$)	28
II.2.2. Calcul du débit massique d'air	29
II.2.2.1. Calcul du débit volumique d'air entrant dans le four	29
II.2.3. Calcul de la chaleur sensible des gaz brûlés ($Q_{brûlés100}$)	40
II.2.4. Calcul de la chaleur absorbée par l'huile dans la zone de radiation	41
II.2.4.1. Calcul de la chaleur dégagée par les gaz brûlés dans la zone de convection	41
II.2.4.2. Calcul de la chaleur absorbée par l'huile dans la zone de convection	44

CHAPITRE II. Les émissions de gaz à effet de serre

INTRODUCTION

III.1. Concept du développement durable	46
III.2. Historique du développement durable	47
III.3. Le GIEC (IPCC)	47
III.4. Engagement de l'Algérie	48
III.5. Stratégie SONATRACH	48
III.6. Définition de l'effet de serre (green house effect)	49
III.7. Cartographie des GES dans un train de GNL	52
III.8. Problématique et la résolution de ce phénomène	54

CONCLUSION GENERALE

REFERENES BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le gaz pétrole liquéfié connu sous le terme de GPL, dont l'Algérie est l'un des leaders producteurs exportateur dans le monde, constitue l'une des priorités des plans de développements et de la politique énergétique de l'Algérie.

Vus la demande du GPL, sur le marché national et international qui, ne cesse de s'accroître et vu la charge importante arrivant des champs pétroliers, chaque pays développe ses propres moyens pour la mise en place d'un plan de développements afin de prévoir des augmentations substantielles de production.

Dans ce cadre SONATRACH dispose d'importantes installations de production, de transport et de séparation des GPL permettant leur valorisation et leur commercialisation aussi bien sur le marché local qu'international.

Le sud algérien possède des richesses naturelles, parmi lesquelles nous citons les réserves en hydrocarbures d'où la présence d'une large gamme de produits relatifs aux gisements de pétrole et gaz.

Pour la séparation de ces produits et de leurs dérivés, notre pays a investi les moyens financiers nécessaires pour acquérir et installer des grands complexes de traitement, répartis en plusieurs unités comme le complexe GP1/Z.

L'objectif de notre travail est de faire une étude sur les fours industriels qui occupent une place centrale. Ce sont des équipements clés dans le processus de séparation et de transformation des gaz. Pour garantir leur efficacité, il est indispensable de bien comprendre leur fonctionnement, d'évaluer leur rendement énergétique, et surtout, d'optimiser leur performance.

Pour se faire, les points suivants sont abordés :

- Nous présenterons en premier lieu une description du complexe GP1/Z. Nous détaillerons ensuite la section de l'huile chaude concernées par cette étude.
- Nous citerons dans une deuxième étape la problématique et analyse du problème.
- Nous terminerons, enfin, notre étude par une conclusion générale.

Chapitre I :

**Présentation du complexe
GP1/Zet description détaillée de
la section d'huile chaude**

Chapitre I. Présentation du complexe GP1/Zet description détaillée de la section d'huile chaude

INTRODUCTION

Le complexe GP1/Z dénommé « JUMBO GPL », dépend directement de la division GNL et GPL de l'Activité LRP de l'entreprise nationale SONATRACH. Il est conçu pour le traitement de GPL provenant des champs gaziers et pétroliers du sud de l'Algérie.

Le site GP1/Z est certifié ISO 14001 version 2015, ISO 9001 version 2015. Afin de permettre une exploitation optimale des ressources disponibles, l'organisation du complexe GP1/Z est étudiée de façon à avoir une coordination complète entre les différentes structures de l'usine. Le complexe GP1/Z est composé d'une direction et deux sous directions et des départements.^[1]

I.1 OBJECTIF DE COMPLEXE GP1/Z

L'importance du complexe construit dans la zone industrielle d'Arzew a pour objectif le traitement du GPL venant de plusieurs sources du sud algérien (Hassi Messaoud, Hassi R'mel) pour la production des gaz « Propane » et « Butane » liquéfiés.

I.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET VOISINAGE DU COMPLEXE GP1/Z

Le complexe GP1Z est situé sur le littoral de l'ouest algérien, à 40KM approximativement de la ville d'Oran et à 8KM de la ville d'Arzew. Il est d'une superficie de 120 hectares, situé dans la zone industrielle d'Arzew ; entre le centre thermique marsa el hadjadj du côté est et du côté ouest les complexes GNL de liquéfaction du gaz naturel.

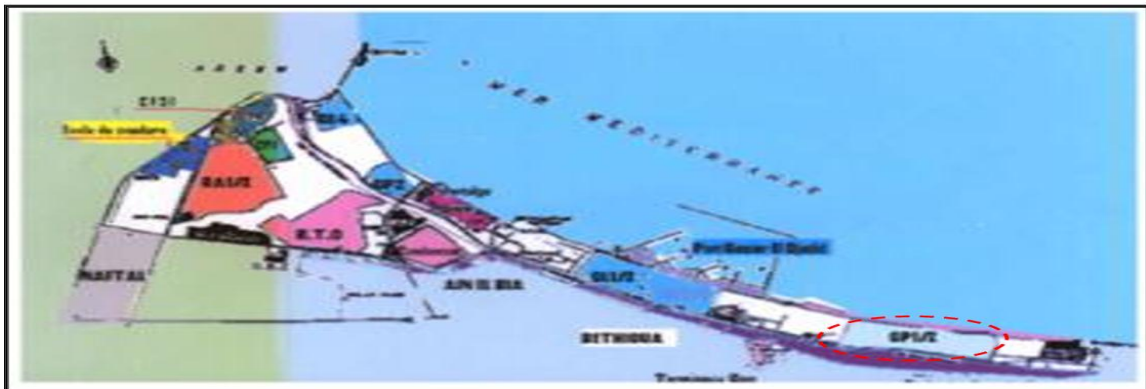


Figure. I.1. Plan de situation du complexe GP1/Z.

Chapitre I. Présentation du complexe GP1/Zet description détaillée de la section d'huile chaude

I.3. PRINCIPALES INSTALLATIONS DU COMPLEXE GP1/Z

- 22 sphères de stockage de la charge d'alimentation d'une capacité de 1000 m³ chacun.
- 08 bacs de 70.000 m³ de capacité unitaire pour le stockage des produits finis (propane et butane) à basse température.
- 04 sphères de 500 m³ de capacité unitaire pour le stockage des produits finis propane et butane à température ambiante.
- 01 sphère de 500 m³ de capacité pour le stockage du pentane.
- 09 trains de traitement du GPL.

I.3.1. Chaque train comprend les sections suivantes

- Section déshydratation
- Section séparation
- Section réfrigération
- Section huile chaude.
- 02 unités de récupération du BOG.
- 02 Section dépentanisation pour phases 1 et 3.
- 01 Section démercurisation.
- 02 stations électriques alimentées par SONELGAZ.
- 05 salles de contrôle.
- 06 générateurs assurant l'énergie de secours du complexe.
- 02 quais de chargement (D1 et M6) pouvant recevoir des navires d'une capacité variant entre
4 000 et 45 000 tonnes de GPL.

Chapitre I. Présentation du complexe GP1/Zet description détaillée de la section d'huile chaude

- 01 rampe de chargement pour camions.
- 01 station pomperie d'eau de mer.
- 01 système de télésurveillance.
- 02 unités SIDEM de dessalement d'eau de mer.
- 2 stations de traitement des eaux de rejet (WWT phase I et WWT phase II).
- 01 unité de déshuilage.
- 01 unité de neutralisation des eaux de rejet chimiques.

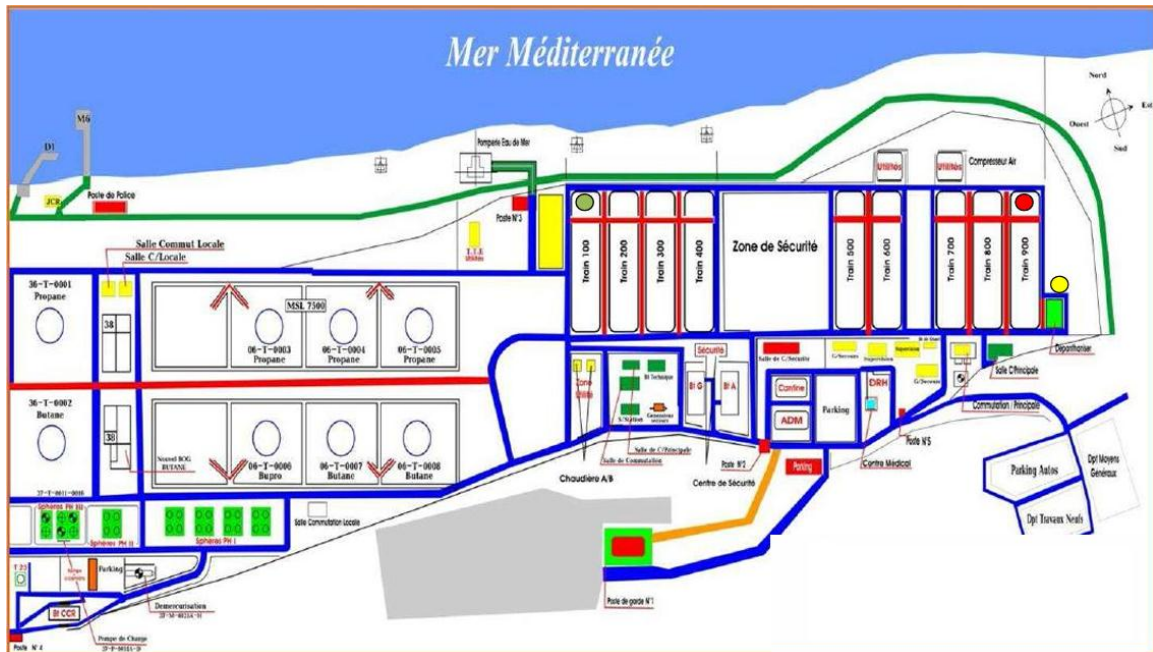


Figure. I.2.Principales installations du complexe GP1/Z.

I.4 PROCEDE DE FABRICATION

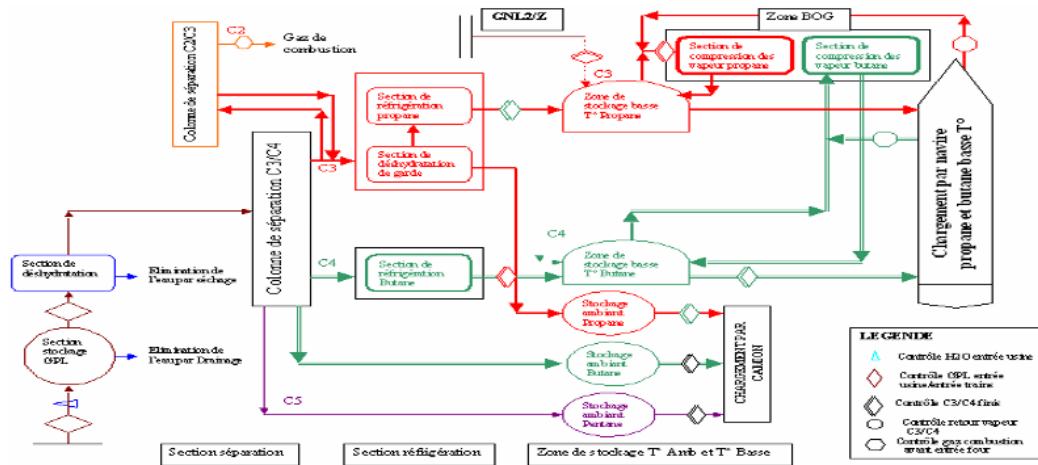
Le site a été « découpé » en sections fonctionnelles telles que suivantes:

- Section d'arrivée et de stockage de la charge ;
- Section de déshydratation ;
- Section de séparation ;
- Section de réfrigération de propane et de butane ;
- Section Four ;

Chapitre I. Présentation du complexe GP1/Zet description détaillée de la section d'huile chaude

- Bacs de stockage produits finis réfrigérés ;
- Stockage produits finis sphères sous pression et chargement camions ;
- Récupération du BOG (Boil Of Gaz) ou gaz d'évaporation ;
- Chargement navires ;
- Utilités : Chaudière, Circuit GN, systèmes torches et blow down, stockage diesel, etc.
- Pour le complexe GP1/Z.

Les activités à étudier peuvent se décomposer selon les différentes sections telles que présentées sur le schéma ci-dessous :



Source : Département production du complexe GP1/Z

Figure.I.3. Procédé de fabrication GP1/Z.

I.4.1. Section Stockage de l'Alimentation

L'alimentation se fait à partir des champs gaziers et pétroliers du sud algérien par un Gazoduc 24 " via le terminal RTO situé sur le plateau de Béthioua. L'alimentation de la section de déshydratation est effectuée par huit (08) pompes. Le GPL est stocké dans seize (16) sphères réparties en quatre (04) groupes comportant chacun quatre (04) sphères et deux (02) pompes d'alimentations.

Chapitre I. Présentation du complexe GP1/Zet description détaillée de la section d'huile chaude

I.4.2. Section de Déshydratation

Le but de cette section est de réduire la teneur d'eau dissoute dans le GPL de 100 ppm à 5 ppm en poids et éviter ainsi la formation de glace et de bouchons de givre dans la partie réfrigération de l'installation.

Cette section comprend trois 03 sécheurs d'adsorption à tamis moléculaires, un en service, l'autre en régénération et la dernière en stand-by.

Le GPL passe dans le sécheur du bas vers le haut, l'humidité est extraite lors du passage du GPL à travers les tamis moléculaires. La durée de cette opération est de 36 heures. Une fois les 36 heures dépassées le sécheur passe automatiquement en régénération, cette dernière comprend les séquences suivantes :

- Drainage (01 heure) ;
- Dépressurisation (30 minutes) ;
- Réchauffage (11 heures) ;
- Refroidissement (05 heures) ;
- Pressurisation (30 minutes) ;
- Remplissage.

I.4.3. Section de séparation

C'est la section qui assure la séparation du 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, le premier est chauffé par le produit de fond du Dééthaniser, le second par les produits de fond du fractionnateur et le dernier par l'huile chaude provenant du four. Le GPL ainsi préchauffé à 71°C passe directement dans le fractionnateur (il est constitué de 55 plateaux à clapets) où il est séparé en (propane + éthane) en tête de colonne et en (butane + pentane) au fond de la colonne.

Chapitre I. Présentation du complexe GP1/Zet description détaillée de la section d'huile chaude

Les produits de tête de colonne sont condensés et récupérés au niveau du ballon de reflux.

Les produits de fond de colonne sortent à une température de 110°C, préchauffent la charge GPL et passent vers le Dépentaniseur.

• Dééthaniseur

Dans le but de produire du propane commercial plus au moins pur, les produits de tête de colonne passent au Dééthaniseur, ce dernier est une colonne de fractionnement équipée de 25 plateaux à clapets. Le gaz riche en éthane sortant de la partie supérieure du Dééthaniseur est utilisé comme combustible du four. Le propane sortant du fond de la colonne à une température de 62°C se dirige directement vers le premier réchauffeur de Fractionnateur.

• Dépentaniseur

Il existe un seul Dépentaniseur commun pour les 06 trains, son rôle est d'éliminer les traces de pentane contenues dans le butane et un autre pour les 3 trains pour la phase 3

Le Dépentaniseur est une colonne constituée de 50 plateaux à clapets. Le butane sortant de la tête du Dépentaniseur, mélangé au reste du butane non dépentanisé, et est envoyé à la section de réfrigération. Le pentane recueilli du fond du Dépentaniseur sera refroidi par Aéroréfrigérant, et envoyé vers le stockage ambiant.

I.4.4. Section de Réfrigération

Le but de cette section est de refroidir les produits finis à leur température de stockage (-42°C pour le propane et -9°C pour le butane). Les produits sont réfrigérés par trois (03) échangeurs suivant un cycle fermé formant une boucle de réfrigération au propane.

Le propane est évaporé dans les échangeurs de chaleur, cette évaporation provoque l'abaissement de température du produit à réfrigérer.

Une partie du propane réfrigéré sera comprimée et envoyée au Dééthaniseur de la section de séparation comme réfrigérant de tête de colonne.

Chapitre I. Présentation du complexe GP1/Zet description détaillée de la section d'huile chaude

La vapeur de propane générée dans les ballons d'aspiration, les condenseurs de tête des dééthérificateurs et les dispositifs de réfrigération du butane, sont comprimés par un compresseur centrifuge à trois (03) étages entraîné par une turbine à gaz. Elle est ensuite condensée dans les condenseurs de type aéro-réfrigérant. Les produits finis sont ensuite canalisés vers les bacs de stockage.

I.4.5. Section de l'huile chaude

Cette section est utilisée comme source de chaleur pour le troisième réchauffeur, les rebouilleurs et finalement pour le gaz naturel de régénération utilisé à la section de déshydratation. L'huile sort du four à une température de 180°C.

I.4.5.1. Les fours du complexe GP1Z

Les fours du complexe GP1Z sont des fours de type cabine à deux chambres de conception thermique utilisant du fuel gaz (mélange de paraffines légères provenant des sections de fractionnement et de réfrigération) ou de gaz naturel comme combustible provenant d'un réseau commun à l'ensemble des neuf trains.

Il a une puissance calorifique de 27 000 593 kcal/h quantité de chaleur produite par combustion pour réchauffer la torada TC de 136°C à 180°C et pour réchauffer le gaz naturel de désorption des sécheurs de la température ambiante à 280°C. [2]

La quantité de chaleur absorbée par l'huile est de 13 282 678 kcal/h, le four est conçu pour une récupération intermittente de chaleur provenant de l'échappement des turbines (train 100, 200, 300, 400). La récupération de chaleur par le gaz de désorption pour la phase de désorption est également intermittente.

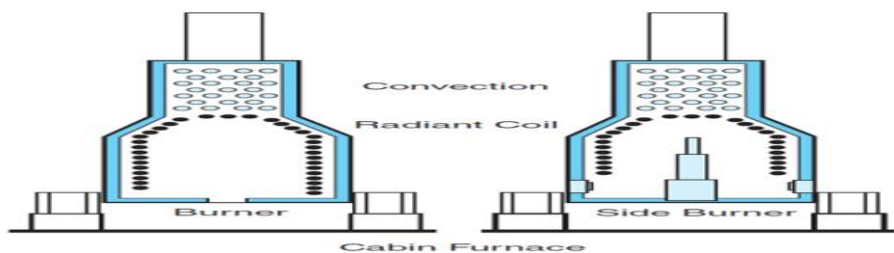


Figure.I.4. Four industriel.

Chapitre I. Présentation du complexe GP1/Zet description détaillée de la section d'huile chaude

I.4.5.2. Elément constitutif du four

Le four est principalement composé des éléments suivants :

- Deux chambres de combustion constituant la zone de transfert de chaleur par rayonnement (radiation) chaque chambre est dotées de 15 pilotes et de 15 brûleurs
- Une chambre intermédiaire de transfert de chaleur par convection (zone de convection) provenant de la circulation des gaz brûlés des chambres de radiation et qui dans certains cas d'opération des trains de la phase I, reçoit un apport calorifique complémentaire de gaz d'échappement chaud provenant de la turbine a gaz de la section réfrigération
- Deux cheminées a registre réglable avec indication / contrôle du tirage et de la température
- Un serpentin de 8 pouces véhiculant l'huile avec indication de la température
- Un serpentin de 4 pouces véhiculant le gaz naturel a chauffé lors de la séquence de désorption des sècheurs avec indication de la température.

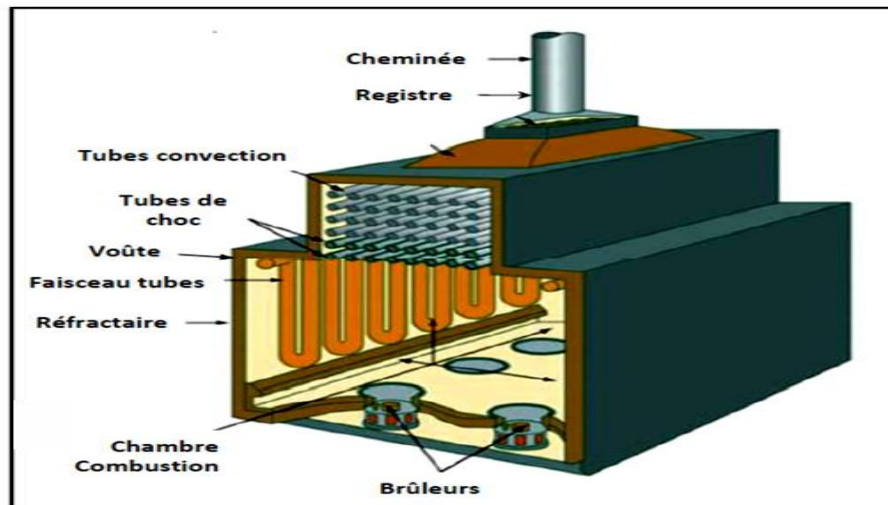


Figure.I.5. Elément constitutive du four.

L'enveloppe des fours (chambre de combustion, zone de convection, cheminée) est constituée d'une paroi métallique revêtue intérieurement d'un garnissage isolant et réfractaire.

Chapitre I. Présentation du complexe GP1/Zet description détaillée de la section d'huile chaude

➤ Charpente / Casing

➤ Isolation thermique

a/Faisceautubulaire :

Permettent de transférer l'énergie thermique vers le fluide à réchauffer

➤ Chambre de combustion: Énergie transférée de la flamme vers les tubes par rayonnement

➤ Zone de convection: Énergie transférée des fumées vers les tubes par convection

b/Bruleur:

Rôle d'un bruleur Le rôle du bruleur est en général double:

➤ Assurer le mélange carburant-comburant dans les proportions choisies (par exemple, selon un rapport air-gaz ou avec un léger excès d'air

➤ Réaliser la combustion de ce mélange dans les conditions optimales (allumage et maintien de la flamme, combustion complète). Il a donc un rôle déterminant dans la qualité de la combustion, et par suite dans l'émission de polluants ou d'imbrûlés en plus ou moins grande quantité dans les fumées.

c/Le pilote:

Un pilote est un petit brûleur qui doit rester allumé en permanence. Il dispose souvent de sa propre alimentation en combustible.

Le rôle du pilote est d'allumer sans risque le brûleur principal. Nécessitant un débit de combustible beaucoup plus faible, le pilote limite fortement le risque d'accumulation dans le four. La présence d'un pilote reste toutefois facultative. Souvent, seul un nombre limité de brûleurs, les « brûleurs de démarrage », en sont équipés. Dans ce cas, le démarrage du four consiste à allumer ces brûleurs par l'intermédiaire des pilotes, puis à monter en température. Lorsque la température du four dépasse la température d'auto-

Chapitre I. Présentation du complexe GP1/Zet description détaillée de la section d'huile chaude

inflammation du combustible, les autres brûleurs peuvent être démarrés, le combustible s'enflammant alors tout seul.

Dans certains cas, les brûleurs pilote peuvent être utilisés pour maintenir un four «chaud» pendant le déclenchement d'une installation, sans risque de cokage des tubes.

d/Les Bruleurs Bas NOx :

Il existe 3 mécanismes de formation des NOx

NOx Thermique: lié à la réaction chimique à haute température entre N₂ et O₂.

NOx Précoce: formé par la réaction très rapide entre N₂, O₂ et les radicaux hydrocarbonés

NOx Combustible : par oxydation directe des composés organo azotés des combustibles.

Facteurs importants dans la formation des NOx :

- Excès d'air (teneur en O₂ élevée dans les gaz de combustion) le temps de séjour des atomes d'azote (N) dans la zone chaude de la flamme.
- Température de flamme.
- Température dans la chambre de combustion
- Température de l'air de combustion
- Teneur en H₂ du gaz.
- Teneur en Azote du combustible liquide

Le principe de fonctionnement des brûleurs bas NOx diffère des brûleurs classiques selon le mélange combustible / air et le système d'injection. Leur fonctionnement est basé sur trois principes permettant la réduction de la formation de NO_x:

- ✓ Retarder le mélange air/combustible,
- ✓ Réduire la température de flamme
- ✓ Réduire la teneur en oxygène.

Chapitre I. Présentation du complexe GP1/Zet description détaillée de la section d'huile chaude

e/ Le four est alimenté par les conduits suivantes

➤ Réseau huiletorada T_C :

- Une conduit d'huile de 22 pouces avec 8 passes d'entrée au four via un manifold de 24 pouces provenant du refoulement des pompes,
- Une conduit d'huile de 22 pouces avec 8 passes de sortie du four via un manifold pour alimenter les utilisateurs,
- Une conduit d'admission d'eau de 6 pouces pour le balayage et l'étouffement de flame.
- une conduite de rejet de vapeur d'eau de 12 pouces vers atmosphère.

Les huit passes d'huile chaude en sortie du four sont toutes munies d'indicateur contrôleur de température; tout écart d'indication de température indique soit la présence de coke soit la perforation de tubes.

f/ Réseau gaz naturel de désorption et gaz combustible

Le gaz naturel provient de la conduite commune d'alimentation des neufs trains pour servir des réseaux distincts de:

- Gaz de désorption des trois sécheurs et du sécheur de garde chauffé dans le four a 280°C a travers des conduites de 4 pouces. A sa sortie des sécheurs le gaz rejoint le collecteur de gaz naturel / fuel gaz d'alimentation des bruleurs via le ballon d'expansion

g/ Les pompes de circulation d'huile chaude

Les pompes sont de type centrifuges à deux étage, elle aspire l'huile du ballon d'expansion par une conduite de 22 pouces a une pression 1.6 kg/cm^2 et une température de l'ordre de 124°C a 130°C . La conduite de retour d'huile des utilisateurs est connectée a la conduit d'aspiration des pompes en amont des filtres a panier de protection des roues des pompes contre les particules solides. Ces filters sont dotés d'un système de mesure de la pression différentielle qui signal un encrassement, PDI-N320A et PDI-N3021B.

Chapitre I. Présentation du complexe GP1/Zet description détaillée de la section d'huile chaude

Les pompes sont refroidies par de l'eau distillée. Le débit de recyclage vers le collecteur d'aspiration est sous contrôle du FIC-1302 qui commande l'ouverture et la fermeture de la vanne FV-N302 pour un débit total d'huile en circulation. Les pompes refoulent sur une conduit d'alimentation du four de 22 pouces.

h/ Aéro-refrigérant d'huile de retour (E-N501)

L'aéro-refrigérant d'huile de retour refroidit à une température de 90°C une fraction (60m³/..) du débit de retour d'huile qui est dirigée vers le ballon d'expansion, l'autre fraction du débit de retour est retournée à l'aspiration des pompes.

i/ Ballon d'expansion (0.2V-N501)

Ballon essentiel de la section huile chaude, d'une capacité de 146 m³, elle permet de maintenir l'inventaire d'huile en circulation. Il opère sous une pression positive de 1kg/...² effectif maintenue en split range par le PLC-N305 agissent sur la PV-N305A pour décharger l'excès de pression d'azote sur la torche (PAAH) réglé a 2kg/c m² et sur la PVN305B pour pressuriser avec de l'azote suite a une baisse de pression PAL réglé a 0.5kg/c m²

j/ Réservoir de stockage d'huile (02T-N501)

Le réservoir de stockage de chaque section d'huile chaude a une capacité de 450m³, l'huile est maintenue sous une pression positive d'azote (120mmH₂O) pour éviter toute pénétration d'air qui oxyderait l'huile. La pression est maintenue par un ensemble de PCV auto-régulantes et des soupapes de décharge d'azote vers l'atmosphère. Le ballon sert à la fois pour faire les appoints d'huile vers le ballon d'expansion en cas de perte de niveau et a recueillir l'huile de la boucle en cas d'arrêt du train

Chapitre I. Présentation du complexe GP1/Zet description détaillée de la section d'huile chaude

I.5. SECTION DE STOCKAGE DES PRODUITS

Il existe deux types de stockage :

Stockage à température ambiante: Prévu pour la commercialisation du gaz à l'échelle nationale ; le chargement camions se fait à partir des 4 sphères ayant une capacité de 500 m³ chacune dans lesquelles sont stockés le propane et le butane sous pression.

Stockage à basses températures: Les gaz réfrigérés sont véhiculés aux bacs où ils seront stockés dans les conditions de basse température sachant que la capacité de chacun est 70.000 m³ et sont munis de pompes immergées pour la circulation du gaz et le chargement navires.

BOG (Boil- Off- Gas) : S'occupe de la gestion des bacs (produits finis).

I.6. Section Chargement par Camion (CC)

S'occupe de la gestion des enlèvements par camion au niveau de la rampe de chargement par camion (client NAFTAL et les opérateurs privés). Grâce au système du contrôle distribué (DCS) à travers tout le complexe, on peut visualiser et avoir tous les renseignements.

I.7. Chargement de navires

Deux systèmes de chargement sont respectivement installés au bout des jetées D.1 et M6, Le débit de chargement est le suivant :

Propane : Maximum : 10 000 m³/h

Jetée D.1 : 4 000 m³/h

Jetée M.6 : 10 000 m³/h

Butane : Maximum : 10 000 m³/h

Jetée D.1 : 4 000 m³/h

Chapitre I. Présentation du complexe GP1/Zet description détaillée de la section d'huile chaude

Jetée M.6 : 10 000 m³/h

I.8. La zone utilité

La zone utilité est une étendue de terrain du GP1Z contenant tout le matériel nécessaire au bon fonctionnement du complexe. Elle est divisée en sections:

Section Azote (N₂): L'azote est chargé par des camions à partir d'autres sociétés telles que COGIZ à l'état liquide, il est transformé en vapeur et est transporté vers les installations pour travaux divers tels que chasser les gaz pour éviter le déclenchement d'étincelles.

Section gasoil: Le gasoil est chargé par des camions dans un ballon de 81.5 m³. Il est utilisé dans les générateurs de sécurité, les turbines à gaz, les moteurs diesels,...

Section méthanol: Le méthanol est chargé par des camions dans un ballon de 22.5 m³, il est utilisé dans le dégivrage des conduites surtout pendant l'hiver.

Section GN: Le GN est vendu au GP1Z par RTO, il arrive avec une pression de 50 bars et à la température ambiante. Il subit un réchauffement par la vapeur d'eau dans un échangeur. Deux vannes sont responsables de la distribution du GN aux différents équipements et doivent assurer une pression de 25 bars. Le GN est conduit après vers un ballon tampon où il sera prêt à être utilisé dans différents domaines tels que déshydratation, chaudière, four, cuisine, turbine à gaz, compresseur.

Section eau distillée: L'eau distillée est obtenue grâce à la société internationale de dessalement de l'eau de mer (SIDEM), elle est stockée dans un bac de 469 m³ et est utilisée pour alimenter les chaudières à l'aide de 02 pompes.

Section eau industrielle: Cette eau est assurée par l'EPEOR et est utilisée dans les bâtiments et dans le refroidissement des bacs et des sphères en cas de feu (système de déluge). Le bac contenant cette eau a une capacité de 2424 m³.

Section eau de refroidissement: On trouve dans cette section 03 pompes, un réservoir et des aéros. L'eau de refroidissement vient essentiellement du bac eau distillée et est

Chapitre I. Présentation du complexe GP1/Zet description détaillée de la section d'huile chaude

utilisée dans le refroidissement des équipements tels que les compresseurs. Cette eau réalise un circuit fermé du réservoir où elle est aspirée puis refoulée par des pompes vers

des aëros et est conduite pour refroidir l'équipement désiré et retourne chaude au réservoir.

Compresseur: Il existe 05 compresseurs, 03 électriques et un diesel utilisé en cas de coupure d'électricité.

Chaudière: Elle est composée de 02 ballons: un ballon inférieur rempli à 100 % d'eau et un ballon supérieur rempli à 50% d'eau. On fait passer de l'eau dans les tubes de la chaudière après avoir allumé les brûleurs (source de feu), l'échange de chaleur entre l'eau dans les tubes et celle qui existe dans les ballons fait évaporer celle de ces derniers. Ainsi cette vapeur sort vers les installations telles que le réchauffage du GN, ou vers la torche pour réduire la fumée noire.5

CHAPITRE.II

Calcul du rendement dans la zone de radiation des fours

II. INTRODUCTION

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.

$$N_{\text{rad}} = \frac{Q_{\text{abs huile rad}}}{Q_f - Q_{\text{brûlés}}} \dots\dots\dots \text{(Equation.II.1)}$$

Ou $Q_{\text{abs huile rad}}$: chaleur absorbée par l'huile dans la zone de radiation ;

Q_f : chaleur globale fournie par le four ;

$Q_{\text{brûlés}}$: chaleur des gaz brûlés dans la zone de radiation ;

$Q_f - Q_{\text{brûlés}}$: chaleur fournie par le four dans la zone de radiation.

Lors de l'étude sur les fours du complexe, nous avons observé que d'une manière générale les indicateurs de température de gaz combustible à l'intérieur de la zone de radiation étaient posés loin de la flamme. Aussi ces indicateurs ne donnent pas réellement la température T_g du combustible, qui doit alors être calculée.

Pour cela, on utilise la méthode proposée par **Lobo et Evans** :

Ceci consiste à supposer une température T_g , et à calculer le rapport Q_f / F_A qui est la quantité de chaleur fournie par le four sur la surface équivalente des tubes corrigée par le facteur d'échange F , et de déterminer la température de pseudo flamme (T_{pf}). Cette température T_g sera déterminée à partir d'un abaque proposée.

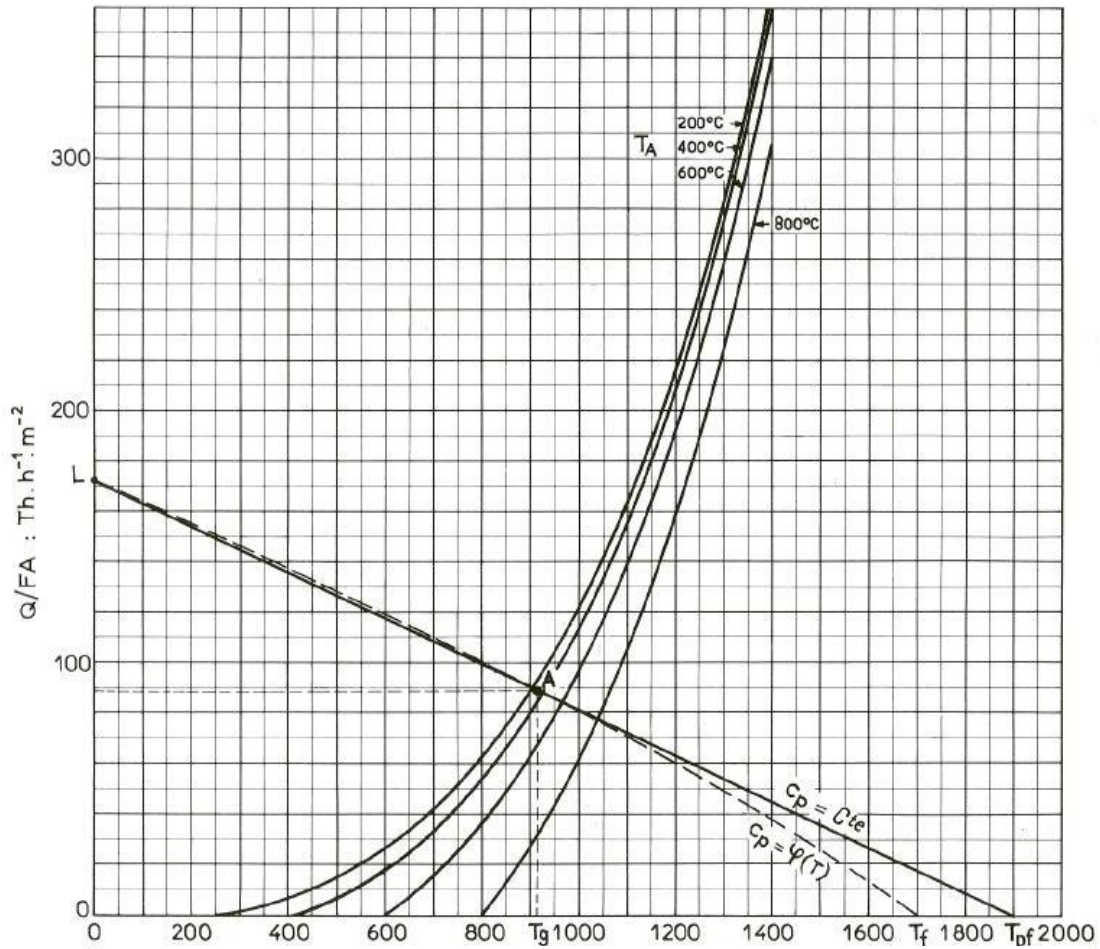


Figure. II.1. Température de radiation du combustible T_g °C.

On tire la température T_g de gaz combustible au niveau de la zone de radiation en fonction de T_{pf} et du rapport Q_f / F_A et de la température des tubes du four T_{tube} . Elle devrait être égale à celle qui a été supposée, en acceptant à l'écart de 25°C, sinon on reprend une autre itération par une température T_g différente.^{[3][4]}

II.1. Détermination du rapport Q_f / F_A

II.1.1. Détermination de Q_f

C'est la chaleur globale qui a été fournie par le four par rapport à l'unité de temps.

$$Q_f = L_{HV} + H_f + H_a \dots\dots\dots(\text{Equation.II.2})$$

Avec L_{HV} : le pouvoir calorifique inférieur du gaz combustible en Kcal/Kg ;

H_f : la chaleur sensible du gaz combustible entre une température de référence de 0°C et la température du gaz combustible à l'entrée du four ;

H_a : la chaleur sensible d'air entre la température du référence et la température d'air à l'entrée du four.

II.1.2. Détermination du facteur d'échange F

Le coefficient d'échange F est donné par la formule suivante :

$$F = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_A} + \frac{A}{A+AR} \left(\frac{1}{\epsilon_f} - 1 \right)} \dots\dots\dots(\text{Equation.II.3})$$

Où ϵ_A : Facteur d'absorption des rangées de tubes;

A: Surface du corps noir équivalent à la surface d'absorption des tubes;

AR : Surface des réfractaires nus ;

ϵ_f : Facteur d'émission de la flamme.

Le calcul de F nécessite la détermination de : $\epsilon_A, A, AR, \epsilon_f$.

II.1.2.1. La détermination du facteur d'absorption des rangées de tubes (ϵ_A)

ϵ_A est un facteur qui traduit l'équivalence entre la surface réelle d'absorption des tubes et une surface plane A et qui est calculé par la formule

$$\epsilon_A = \frac{A}{A_{RT}} \dots\dots\dots(\text{Equation.II.4})$$

Où A : Surface du corps noir équivalent à la surface d'absorption des tubes;

A_{RT} : Surface du plan d'absorption.

➤ **Détermination de la surface du plan d'absorption (A_{RT})**

C'est l'aire des parois réfractaires devant les quelles sont montés les tubes.

A_{RT} = surface des tubes latéraux + surface des tubes supérieurs

Surface des tubes latéraux = $n_1 * d * L_t$

Surface des tubes supérieurs = $n_2 * d * L_t$

n_1 : nombre des tubes latéraux = 72 tubes latéraux (annexeI)

n_2 : nombre des tubes supérieurs = 16 tubes supérieurs (annexeI)

d : diamètre des tubes = 0.1787m annexe (annexeI)

L_t : longueur des tubes ;= 18.9m (annexeI)

Donc Surface des tubes latéraux = $72 * 0.1787 * 18.9$

Surface des tubes latéraux = $243.17m^2$

Surface des tubes supérieurs = $16 * 0.1787 * 18.9$

Surface des tubes supérieurs = $54.04m^2$

$A_{RT} = 243.17 + 54.04$ **$A_{RT} = 297.21m^2$**

II.1.2.2. Détermination de la surface équivalente des tubes (A)

C'est la sommation des deux surfaces, celle tubes situés devant les réfractaires (S_R), et la surface des tubes supérieurs S_s corrigée par le facteur d'absorption (ϵ_{Ats})

$A = S_R + S_S$ (Equation.II.5)

S_R : Surface des tubes latéraux corrigée par le facteur d'absorption (ϵ_{Atl}) ;

S_S : Surface des tubes supérieurs corrigée par le facteur d'absorption (ϵ_{Ats})

Avec : $S_R = \epsilon_{Atl} * (\text{surface des tubes latéraux})$

$S_S = \epsilon_{Ats} * (\text{surface des tubes supérieurs})$

On obtient que :

$A = \epsilon_{Atl} * (\text{surface des tubes latéraux}) + \epsilon_{Ats} * (\text{surface des tubes supérieurs})$

Où ϵ_{Atl} : est le facteur d'absorption des tubes latéraux ;

ϵ_{Ats} : Facteur d'absorption correspondant à une rangée de tubes sans réfractaires.

➤ Calcul de ϵ_{Atl} et ϵ_{Ats}

Les valeurs de ϵ_{Atl} et ϵ_{Ats} ont été obtenues qui consiste à déterminer l'entraxe destubes par rapport au diamètre(C/D).

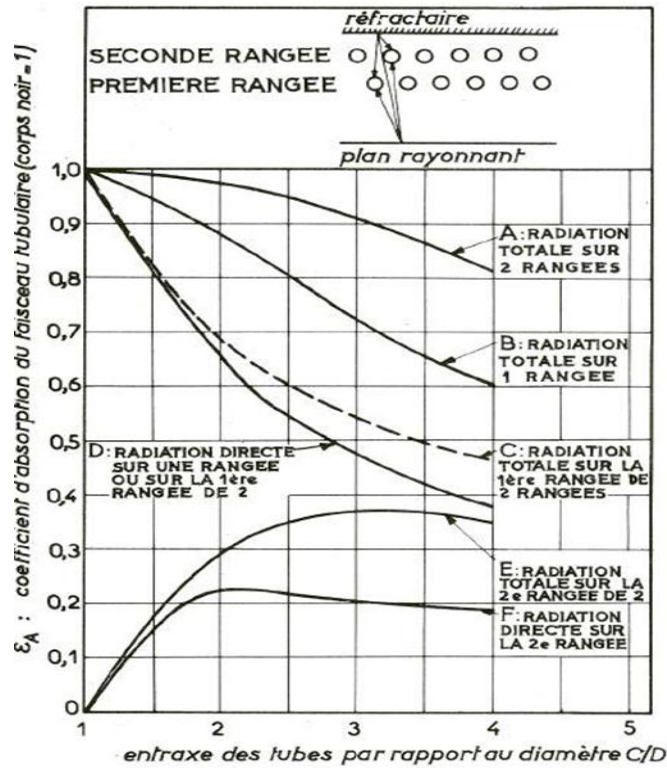


Figure. II.2. Entraxe des tubes par rapport au diamètre C/d.

➤ Calcul du rapport (C/D)

A partir de l'annexe I et sachant que l'entraxe des tubes $C = 0.3556m$ et que le diamètre le long des murs $D = 0.1787m$ alors :

$$\frac{C}{D} = 1.99 \text{ Entraxe : } 1.99 \text{ diamètre}$$

A partir de la figure. II.2 on obtient :

Pour les tubes latéraux : $\epsilon_{Atl} = 0.88$; Pour les tubes supérieurs : $\epsilon_{Ats} = 0.68$

➤ Calcul de A

$$S_R = 213.99m^2 ; S_s = 36.75m^2$$

$$\text{Donc } A = 0.88 * 243.17 + 0.68 * 54.04$$

$$A = 213.99 + 36.75A = 250.74m^2$$

➤ Calcul de ϵ_A

$$\epsilon_A = \frac{250.74}{297.21} \epsilon_A = 0.84$$

II.1.2.3. Détermination de la surface des réfractaires nus (A_R)

C'est la surface des tubes situés devant les réfractaires diminuée de la surface totale de la zone de radiation. $A_R = S_T - S_R$ (Equation. II.6)

Avec S_T : Surface totale de la zone de radiation;

S_R : Surface des tubes latéraux corrigée par le facteur d'absorption ϵ_{Atl} .

$$S_T = 894.35 m^2 ; S_R = 213.99 m^2 \text{ (annexe I)}$$

$$A_R = 894.35 - 213.99 A_R = 680.35 m^2$$

II.1.2.4. Détermination du facteur d'émission de la flamme (ϵ_f)

Lobo et Evans ont établis un graphe (Figure. II.3) qui donne la variance du facteur ϵ_f en fonction du produit P_L qui correspondant à la somme des pressions partielles de gaz carbonique et de la vapeur d'eau que multiplie l'épaisseur utile(L), et en fonction de la température des tubes(T_{tube}).

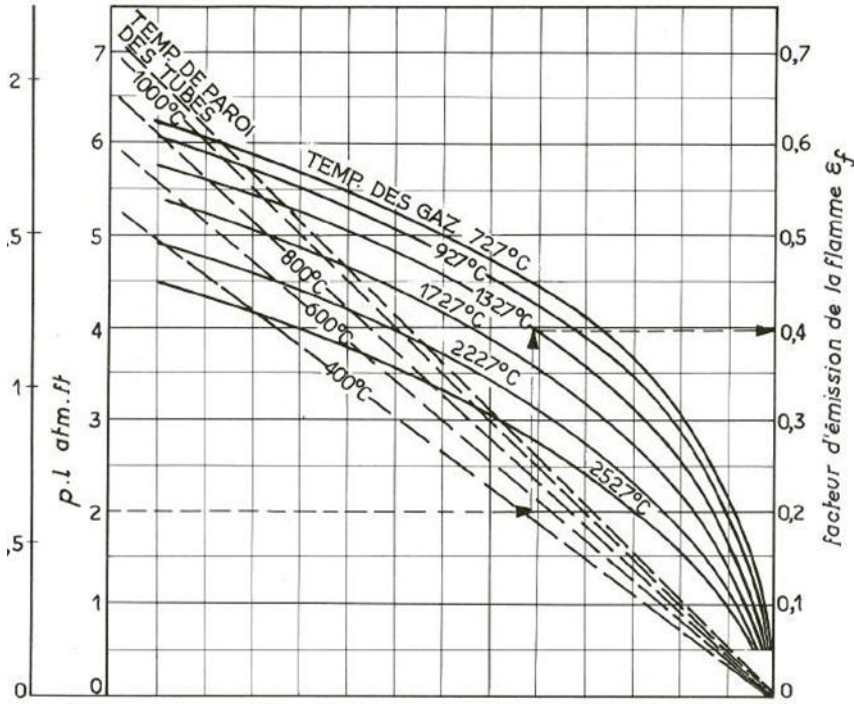


Figure. II.3. ϵ_f en fonction de $p.L$ et T_{tubes}

➤ **Calcul de la pression(P)**

$$P = PP_{H_2O} + PP_{CO_2} \dots\dots\dots \text{(Equation. II.7)}$$

PP_{H_2O} : pression partielle de l'eau sans considérer l'humidité d'air;

PP_{CO_2} : pression partielle de gaz carbonique.

➤ **Calcul d'épaisseur (I)**

C'est une épaisseur utile de la couche de gaz qui dépend de la forme du four, le (tableau. II.1). établi par Hottel et ses collaborateurs donnent les valeurs de I en fonction des dimensions du four suivant cette formule :

$$I = I' * \text{(la plus petite dimension du four) avec } I' : \text{ facteur pris de (tableau. II 1).}$$

Tableau. II.1.Epaisseur utile de la couche de gaz.

ÉPAISSEUR UTILE DE LA COUCHE DE GAZ	
FORME ET DIMENSIONS DU FOUR	ÉPAISSEUR I
<p>FOURS CLASSIQUES 1 × 1 × 1 à 1 × 1 × 3 1 × 2 × 1 à 1 × 2 × 4 1 × 1 × 4 à 1 × 1 × ∞</p>	$\left. \begin{array}{l} 2/3 \sqrt[3]{\text{volume}} \\ \text{Plus petite dimension} \end{array} \right\}$
<p>FOURS CABINES 1 × 2 × 4 1 × 2 × 5 à 1 × 2 × 8</p>	$\left. \begin{array}{l} 2/3 \sqrt[3]{\text{volume}} \\ 1,3 \text{ fois la plus petite dimension} \end{array} \right\}$
<p>FOURS CYLINDRIQUES d × d d × 2 d à d × ∞</p>	$\left. \begin{array}{l} 2/3 \times \text{diamètre} \\ 1 \text{ fois le diamètre} \end{array} \right\}$

Les fours du complexe GPIZ sont de type cabines, et leur dimensionnement sont reportés de l'annexe I.

Dimensions du four = (largeur du four)*(hauteur du four)*(longueur du four)

Largeur du four = 3.88m ; Hauteur du four = 7.950m ; Longueur du four = 18.9m

Dimensions du four : 3.88 7.950 18.9

Ces dimensions sont normalisées et ramenées à la largeur du four soit donc :

$$\text{Dimensions du four} = \frac{3.88 \ 7.950 \ 18.9}{3.88 \ 3.88 \ 3.88}$$

Dimensions du four : 1 * 2.05 * 4.87

Suivant le (Tableau. II.1) les fours du complexe ont des dimensions que l'on doit corriger par rapport à les dimensions 1 * 2 * 5 des fours cabines qui ont un facteur I " de 1.3 :

I ' = (rapport de dimension) I "

$$I ' = \frac{1 * 2.05 * 4.87}{1 * 2 * 5} * 1.3$$

I ' = 1.29, on rappelle que I = I ' * la plus petite dimension du four soit donc l largeur, alors : I = 1.29 * 3.88I = 5.03

Nous indiquons que La température des tubes (T_{tubes}) ont été prises de DCS joint en annexe.I

➤ **Calcul de coefficient d'échange F**

$$\epsilon_A = 0.84 ; A = 250.74m^2 ; A_R = 680.35m^2 ; I = 5.03$$

Les valeurs de ϵ_A , A, A_R , I seront applicables pour tous les fours qui ont le même type et les mêmes dimensions. Les fours du complexe GP1Z sont du même type, et qui correspond à un dimensionnement identique pour tous les fours.

Le facteur d'émission (ϵ_f) varie suivant la température des tubes et la pression (P) dans la zone de radiation de chaque four du complexe.

➤ **Calcul de la température de pseudo flamme (T_{pf})**

La température de pseudo flamme a été déterminée par la formule proposée par Lobo et Evans :

$$T_{pf} = \frac{\text{Chaleur fournie par le four par rapport à 1 Kg de combustible}}{C_p * (\text{rapport massique du débit d'air au débit du combustible})}$$

La chaleur fournie par le four par rapport à 1 Kg de combustible (C_{four}) est calculée par la formule suivante :

$$C_{four} = (LHV' + H_f') + Ha' * \left(\frac{\text{débit massique d'air}}{\text{débit massique combustible}} \right) \dots \dots \dots (\text{Equation. II.8})$$

La température de pseudo flamme (T_{pf}) sera de la formule suivante :

$$T_{pf} = \frac{(LHV' + H_f') + Ha' * \left(\frac{\text{débit massique d'air}}{\text{débit massique combustible}} \right)}{C_p * \left(\frac{\text{débit massique d'air}}{\text{débit massique combustible}} \right)} \dots \dots \dots (\text{Equation.II.9})$$

Où :

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

$$C_p = \sum X_i \text{ massique} * C_{pi}$$

C_{pi} : Capacité calorifique de chaque composé des gaz brûlés.

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

Les constantes : B_i, C_i, D_i, E_i, F_i (annexeII).

La valeur de Cpi varie d'un four à autre parce que les températures des gaz combustibles au niveau de la zone de radiation (Tg) ne sont pas identiques.

II.2. APPLICATION SUR LE TRAIN100

II.2.1. Calcul de la chaleur globale fournie par le four (Q_{f100})

On utilise l'Equation. II.2. Pour déterminer la chaleur Q_f , on doit calculer L_{HV}, H_f ,H_a .

La composition du combustible au niveau de la phase I a été prise par le chromatographe en ligne.

II.2.1.1.Calcul du pouvoir calorifique inférieur du gaz combustible (L_{HV})

Le pouvoir calorifique (L_{HV}) sera calculé comme suit :

$L_{HV} = L_{HV}' * (\text{débit massique de combustible})$

L_{HV}' : Pouvoir calorifique du gaz combustible par rapport à 1Kg de ce gaz en Kcal/Kg.

➤ **Calcul de L_{HV}'**

$L_{HV}' = \sum X_{i(\text{massique})} P_{CI} \dots \dots \dots (\text{Equation.II.10})$

X_i_{massique}: Composition massique de chaque composant de gaz combustible ;

P_{CI} i: Pouvoir calorifique de chaque composant de gaz combustible à 0° C en kcal /Kg (annexe.III)

M_i : Masse molaire de chaque composant en Kg/Kmole (annexe.III).

X_i_(molaire): Composition molaire de chaque composant de gaz combustible.

$X_i (\text{massique}) = \frac{X_i (\text{molaire}) M_i}{\sum X_i (\text{molaire}) M_i} \dots \dots \dots (\text{Equation.II.11})$

100K moles de combustible brûlés à 0°C libèrent une chaleur de combustion de 11534kcal.

Tableau. II.2.Calcul le Pouvoir calorifique massique en Kcal/Kg.

COMPOSANTS	Xi% (molaire)	Mi (Kg/Kmole)	Xi*Mi (molaire)	Xi% (massique)	P _{Ci} (Kcal/Kg)	Xi*P _{Ci} (massique)
N ₂	0	28	0	0		0
H _e	0	4	0	0		0
CO ₂	0,08	44	0,035	0,152		0
H ₂ O	0	18	0	0		0
CH ₄	55,78	16	8,925	38,545	11957	4608,8724
C ₂ H ₆	37,59	30	11,28	48,704	11355	5530,3763
C ₃ H ₈	6,3	44	2,772	11,972	11075	1325,9004
Ic ₄ H ₁₀	0	58	0	0	10890	0
nC ₄ H ₁₀	0,25	58	0,145	0,6262	10940	68,5108
IC ₅ H ₁₂	0	72	0	0	10797	0
nC ₅ H ₁₂	0	72	0	0	10825	0
C ₆ H ₁₄	0	86	0	0	10825	0
TOTAL	100		23,15			11534

$$L_{HV} \cdot 100 = 11534 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$\text{Débit massique du combustible} = 2266 \text{ (Nm}^3\text{/h)}. \text{ (annexeIV)}$$

$$\text{Masse volumique du combustible} = 1.033109223 \text{ (kg/Nm}^3\text{)}. \text{ (annexeIV)}$$

$$\text{Débit combustible (kg/h)} = 2266 * 1.033109223$$

$$\text{Débit combustible} = 2341.025499 \text{ (Kg / h)}$$

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

$$L_{HV} = 11534 * 2341.025499 \longrightarrow L_{HV} = 27,000,593 \text{ kcal/h}$$

II.2.1.2. Calcul de la chaleur sensible de gaz combustible (H_f)

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 :

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

Où $H_{f'}$ 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 :

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

H_i : Enthalpie de chaque constituant entre la température de référence 0°C et la température du combustible à l'entrée du four (T).

$$\text{Avec : } H_i = C_{p_i} dT ;$$

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

$$\text{On aura : } H_i = (B_i + 2 C_i T + 3D_i T^2 + 4E_i T^3 + 5F_i T^4) dT$$

Après intégration on obtient :

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

$H_{f'}$: Chaleur sensible de gaz combustible ;

C_{p_i} : Capacité calorifique de chaque constituant en $\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$;

B_i, C_i, D_i, E_i, F_i : constantes pour chaque constituant i à partir de l'annexeII ;

T_1 : Température de référence est de 0°C ;

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

➤ Calcul des Hi

$T_1=273.15^\circ\text{K}; T=292.15^\circ\text{K}$

Pour Hi de O₂, on a :

$$B_i=0.9524 \quad C_i = -0.2811 \quad D_i = 0.6522 \quad E_i = -0.4523 \quad F_i = 1.0877$$

$$H_i = 0.9524 (292.15 - 273.15) - 0.2811 (292.15^2 - 273.15^2) + 0.6522 (292.15^3 - 273.15^3) - 0.4523 (292.15^4 - 273.15^4) + 1.0877 (292.15^5 - 273.15^5)$$

Hi=17.35 Kj/kg

Tableau. II.3. Calcul des Hi.

Composants	O ₂	N ₂	He	CO ₂	H ₂ O	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈
Hi (kj/kg)	17.35	19.71	0.00	15.79	35.28	41.92	32.20	30.60

IC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	IC ₅ H ₁₂	nC ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄
30.52	31.24	29.88	30.40	30.05

Tableau. II.4. Calcul de H_F, avec H_F = ∑ Xi (masse) * Hi

	X% vol	Mi	Xi Mi	Xi% mass	Hi (Kj/Kg)	Hi Xi
N ₂	0	28	0	0.00	19.71	0
He	0	4	0	0.00	0.00	0
CO ₂	0.08	44	0.0352	0.15	15.79	0.02401033
H ₂ O	0	18	0	0.00	35.28	0
CH ₄	55.78	16	8.9248	38.55	41.92	16.1571386
C ₂ H ₆	37.59	30	11.277	48.70	32.20	15.683174
C ₃ H ₈	6.3	44	2.7722	11.97	30.60	3.66366099
IC ₄ H ₁₀	0	58	0	0.00	30.52	0
nC ₄ H ₁₀	0.25	58	0.145	0.63	31.24	0.19562631
IC ₅ H ₁₂	0	72	0	0.00	29.88	0

nC ₅ H ₁₂	0	72	0	0.00	30.40	0
C ₆ H ₁₄	0	86	0	0.00	30.05	0
	100		23.154	100.00		35.72 (Hf')

H_{f'} = 35.72Kj/kg de combustible pour la convertir en Kcal/kg on devise sur 4.185

H_{f'100} = 8.54 Kcal/kg de combustible.

Au niveau du train100, 100Kmoles de combustible brûlé, libèrent une chaleur sensible de 8.54 kcal/kg de combustible.

En prenant compte que le débit massique de combustible a été déjà calculé avant, on obtient : H_f = 8.54 * 2341.025499 **H_{f100} = 19983Kcal/hr.**

II.2.1.3. Calcul de la chaleur sensible d'air (H'a)

Avec : $H_a' = \sum X_i(\text{masse})H_i$

Ou Xi (masse) : 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 dufour (T).

$H_a' = X_{O_2}H_{O_2} + X_{N_2}H_{N_2}$

Tableau.II.5. Calcul de Ha'

Composants	Xi mol %	Mi (Kg/Kmole)	Xi Mi	Xi% mass	Hi Kj/Kg	Xi Hi Kj/Kg
N ₂	79	28	22.12	76.69902913	19.71	15.11834162
O ₂	21	32	6.72	23.30097087	17.35	4.042754547
TOTAL			28.84			19.1611

H_{a'100} = 19.1611Kj/kg d'air la même chose on la convertir en Kcal/kg on devise sur 4.185 on trouve **Ha'100 = 4,58Kcal/kg** d'air.

II.2.2. Calcul du débit massique d'air

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

$$\text{Le débit massique de l'air} = \frac{QV_{\text{air}} * M_{\text{air}}}{22.4}$$

$Q_{v \text{ air}}$: débit volumique d'air (Nm³/hr); M_{air} : masse molaire d'air.

$Q_{v \text{ air}}$ = débit volumique d'air entrant dans le four + l'humidité d'air entrant en (Nm³/hr)

Pour calculer le débit massique de l'air on devra calculer d'autres paramètres qui nous aident à calculer ce dernier.

II.2.2.1. Calcul du débit volumique d'air entrant dans le four

Pour ce calcul du débit, il faut déterminer la quantité d'oxygène entrante dans le four.

Le débit d'air sera calculé par cette méthode :

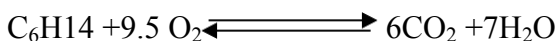
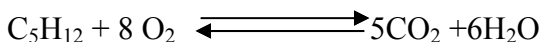
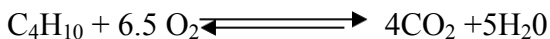
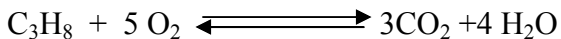
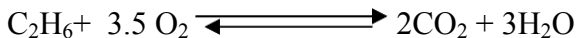
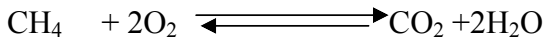
$$\text{Débit volumique d'air entrant} = (\text{débit molaire d'air}) * V_m$$

Avec : V_m : volume molaire.

$$\text{Débit molaire d'air} = \frac{\text{débit molaire de } O_2}{0.21} \quad \text{eq1}$$

- **Calcul du débit molaire d'oxygène**

Les principales réactions chimiques intervenant lors de la combustion au niveau du four sont :



Pour 100 Kmole de combustible brûlé avec un excès d'air de 15% et un pourcentage en oxygène dans l'air de 21% on aura :

Tableau.II.6. débit molaire d'oxygène pour 100 kmole de gaz combustible.

Composants	Nombres de moles (Kmole/hr)	O₂ pour la combustion neutre (stoechiometrie) (Kmole/hr)
N ₂	0	0
He	0	0
CO ₂	0,08	0
H ₂ O	0	
CH ₄	55,78	111,56
C ₂ H ₆	37,59	131,565
C ₃ H ₈	6,3	31,5
IC ₄ H ₁₀	0	0
nC ₄ H ₁₀	0,25	1,625
IC ₅ H ₁₂	0	0
nC ₅ H ₁₂	0	0
C ₆ H ₁₄	0	0
Total	100	276,25

Une combustion stoechiométrique nécessite donc 276.25Kmoles d'oxygène par heure.

En considérant un excès d'air de 15% en oxygène (valeur admissible), pour avoir une combustion complète on aura besoin alors d'un O₂ dans l'excès d'air s'agit de 41.44 kmoles/hr

La quantité totale d'oxygène nécessaire pour brûler 100Kmoles/hr de combustible sera donc égale à : 276.25 + 41.44=317.69Kmole/hr

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

D'après la 1^{ère} réaction on aura : Débit molaire = $\frac{317.69}{0.21} = 1512.80 \text{ kmole/hr}$

Équivalent à un débit volumique d'air égale à :

- ✓ Débit volumique d'air entrant = $1512.80 * 22.4$
- ✓ Débit volumique d'air entrant = **33886,93 Nm³/hr.**

• **Calcul de la quantité d'eau due à l'humidité de l'air de la combustion**

D'abord on a l'équation d'Antoine :

$$\ln(P_{sat}) = A - \frac{B}{C+T} \dots\dots\dots(\text{Equation II.12}).$$

P_{sat} : pression de saturation kg/cm²

T = Température ambiante(en degrés Celsius).

A, B, C =Coefficients d'Antoine spécifiques à la substance.

Donc on a $\ln p(sat) = 11.960884 - \frac{3970.5891}{19+232.92492}$

A	B	C	T
11.960884	3970.5981	232.92492	19

On aura Ln pression de saturation est de -3.800 et la pression de saturation est de 0,0223 Kg/cm². En suite on veut calculer Pression partielle de l'eau en kg/cm² sa formule est :

$$PPH2O = \frac{H * P_{sat}}{100} \dots\dots\dots(\text{Equation II.13})$$

Avec H (humidité) = 80 %

Donc on applique on aura $PPH2O = \frac{80 * 0.0223}{100} = 0.01784 \text{ Kg/cm}^2$

Et puis on calcul La quantité d'eau en Nm³ dans 1Nm³ d'air Son equation est sous forme :

$$\text{La quantité d'eau en Nm}^3 \text{ dans 1 Nm}^3 \text{ d'air} = \frac{PPH2O}{P_{amb} - PPH2O}$$

Avec : P_{amb} (atmosphérique) est de 1,0328 Kg/cm²

$$\text{La quantité d'eau en Nm}^3 \text{ dans 1 Nm}^3 \text{ d'air} = \frac{0.01784}{1.0328 - 0.01784} = 0.01757 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ d'air}$$

Et d'après les analyses du laboratoire au niveau de train 100 à GP1z le résultat de L'humidité contenue dans l'air entrant sera égale à 597,4579 Nm³/hr.

Et maintenant on devra calculer

Qv air = débit volumique d'air entant dans le four + l'humidité d'air entrant en (Nm³/hr)

$$Qv \text{ air} = 33886,93 \text{ Nm}^3/\text{hr} + 597,4579 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

Qv = 34484.3879 Nm³/hr. Ce débit molaire d'air a été calculé pour une base de 100 Kmole de combustible.

Tableau. II.7. Composition du l'air.

	Xi mol %	Mi	Xi Mi
N ₂	79	28	22,12
O ₂	21	32	6,72
			28,84

Débit massique d'air = Débit molaire d'air* masse molaire de l'air

AN: Débit massique d'air = 1512.80*28.84

$$\text{Débit massique d'air} = 43629.152 \text{ kg/hr}$$

Et maintenant on peut calculer la chaleur sensible de l'air en kcal/h (Ha)

$$Ha = \text{Chaleur sensible de l'air (kcal/kg d'air)} * \text{Débit massique d'air.}$$

$$Ha = 4.58 * 43629.152 \quad \Longrightarrow \quad \mathbf{Ha = 201966.9292 \text{ kcal/hr}}$$

Au final on vient atteindre notre objectif de calculer la chaleur fournie par le four:

$$Q_f = L_{HV} + H_f + H_a \dots\dots\dots \text{(Equation.II.2)}$$

Avec les résultats qu'on a trouvé avant : $L_{HV} = 27001670.7 \text{ kcal/hr}$; $H_f = 19992.3535 \text{ kcal/hr}$ $H_a = 201966.9292 \text{ kcal/hr}$.

$$Q_f = 27001670.7 + 19992.3535 + 201966.9292$$

$Q_f = 27\ 222\ 543 \text{ kcal/hr}$

II.2.3. 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.

D'abord on le tableau récapitulatifs des débits des gaz brûlés.

Tableau. II.8. Les débits des gaz brûlés. (Pour 100 kmole de gaz combustible).

Composants	Volume (%)	O ₂ pour la combustion neutre	Composition des fumées				Composants
			CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	
N ₂	0						N ₂
He	0						He
CO ₂	0,08		0,08				CO ₂
H ₂ O	0			0			H ₂ O
CH ₄	55,78	111,56	55,78	111,56			CH ₄
C ₂ H ₆	37,59	131,565	75,18	112,77			C ₂ H ₆
C ₃ H ₈	6,3	31,5	18,9	25,2			C ₃ H ₈

IC ₄ H ₁₀	0	0	0	0			IC ₄ H ₁₀
nC ₄ H ₁₀	0,25	1,625	1	1,25			nC ₄ H ₁₀
IC ₅ H ₁₂	0	0	0	0			IC ₅ H ₁₂
nC ₅ H ₁₂	0	0	0	0			nC ₅ H ₁₂
C ₆ H ₁₄	0	0	0	0			C ₆ H ₁₄
Total	100	276,25			41,44	1	Air
						195,11	
			150,94	250,78	41,44	1	Total
						195,11	
O ₂ dans l'excéd's d'air		41,44	0,0921	0,1531	0,0253	0,7295	Pression partielle
O ₂ dans l'air de combustion		317,69					
N ₂ dans l'air de combustion		1 195,11					
Air de combustion		1 512,80	1 638,27				Volume des fumées

Ce tableau représente les calculs des gaz brûlés au niveau de four au train 100 dans la zone radiation selon la combustion du GN et du gaz venant de dééthaniseur suivant les réactions de combustion que nous avons déjà vu.

Et suite à la composition du combustible mesurée par le chromatographe en ligne et de l'humidité d'air entrant qui a été déjà calculée on obtient :

Tableau.II.9. Les Xi molaire sans prendre compte l'humidité de l'air.

	Débit Kmol	Xi% vol	Mi kg/kmole	Xi Mi	Xi% mass
O ₂	41,44	2,52934866	32	0,80939157	2,88609187
N ₂	1 195,11	72,9496271	28	20,4258956	72,8337352
CO ₂	150,94	9,21339092	44	4,053892	14,4551849
H ₂ O	250,78	15,3076333	18	2,755374	9,82498806
TOTAL	1638,267619	100		28,0445532	100

Les donnés suivant ont été donne, calculer par SONATRAC GP1Z

$$P_{H_2O} = 0.1531 \text{ atm. } P_{CO_2} = 0.0921 \text{ atm} \implies P_{100} = 0.0921 + 0.1531 \implies P_{100} = 0.2452 \text{ atm}$$

$$I = 5.03 \text{ m (calculé précédemment). } PI_{100} = 0.2452 * 5.03$$

$$\implies PI_{100} = 1.2333 \text{ atm}$$

La température supposée : T_g = 900°C

La température des tubes : T_{tubes100} = 278 °C

Et aussi on détermine le facteur d'émission de la flamme grâce à ce graph suivant :

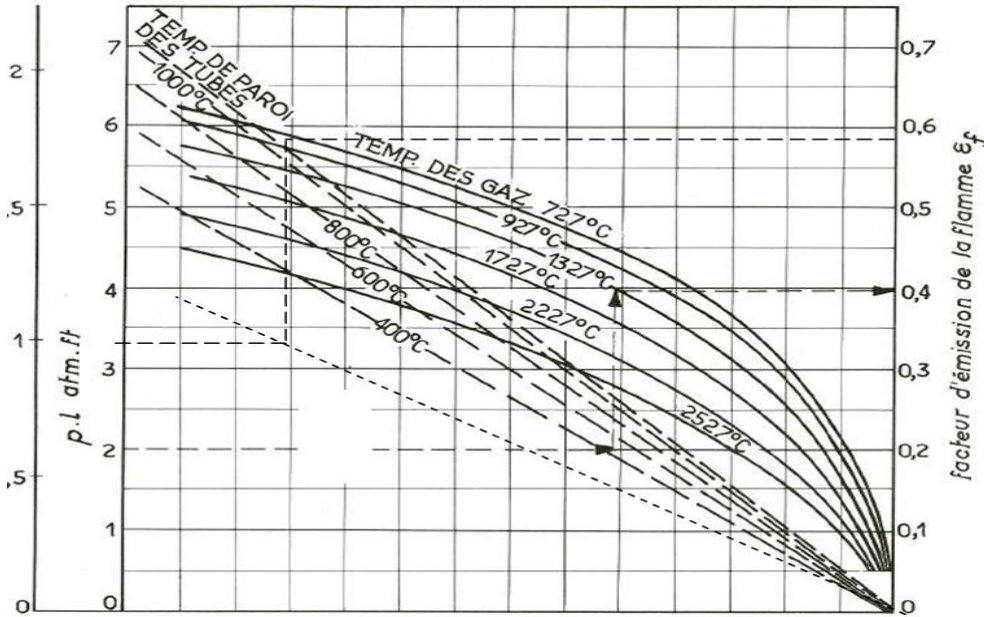


Figure.II.4. Pression (en atm.ft) par rapport facteur d'émission de la flamme ϵ_f .

On détermine que le facteur $\epsilon_f=0.58$

Le coefficient d'échange F précédemment calculé = **0,72445259**

Et puis on peut calculer le rapport $Q_{f100} / F_{100} * A$ avec $A=250.74 \text{ m}^2$

$$\text{Le rapport} = \frac{27222543}{0.72445259 * 250.74} = 1498632.2344 \text{ Kcal/m}^2\text{hr}$$

On veut la convertir vers $\text{MKcal/m}^2 \text{ h}$ on aura : $1498632.2344/1000$

Le rapport sera= $149.86=150 \text{ MKcal/m}^2 \text{ h}$

- **Calcul de la température (Tpf)**

D'abord pour calculer cette température on passe par différents étapes la principal s'agit de déterminer la chaleur fournie par le four par rapport a 1 Kg de combustible (C four) et la capacité calorifique des gaz brûlés (Cp).

La première étape c'est de calculer four par cette Equation :

$$C \text{ four} = LHV' + HF' + Ha' * \frac{\text{Debit massique d'air}}{\text{Debit massique du combustible}}$$

Avec :

$$L_{HV}=11534 \text{ (kcal/kg de combustible)}$$

$$H_F=8.54 \text{ (kcal/kg de combustible)}$$

$$H_a= 4.58 \text{ (kcal/kg d'air)}$$

$$\text{Débit massique d'air} = 43629.152 \text{ kg/h}$$

$$\text{Débit massique du combustible} = 2341.025499 \text{ kg/h}$$

$$C_{\text{four}} = 11534 + 8.54 + 4.58 * \frac{43629.152}{2341.025499}$$

Et on trouve la valeur de la chaleur fournie par le four par rapport a 1 Kg de combustible **(C_{four}) est de 11628.47 Kcal/kg.**

- 2^{eme} étape et de calculer le C_p

Le calcul de C_p sera appliqué entre la température de référence (T_i) et la température (T_g) estimée.

$$C_p = \frac{C_{p1} + C_{pg}}{2 * 4.185}$$

C_{p1} : capacité calorifique calculée à la température 0°C.

C_{pg} : capacité calorifique calculée à la température T_g estimée.

$$C_{p1} = \sum C_{pi} * X_i \text{ massique}$$

$$C_{pg} = \sum C_{pi} * X_i \text{ massique}$$

X_i : fraction massique de chaque composant des gaz brûlés sans prendre compte la quantité d'eau entrant dans l'air ;

C_{pi} : capacité calorifique de chaque composant des gaz brûlés calculée à la température T.

Tableau. II.10. Calcul des Cp des gaz brûlés.

	A	T1	A	T1	A
gazbrûlé	=273.15 k		T ₂ =1173.15k		T ₂ =1173.15k
	C _{pi}		C _{pi}	Y _i C _{pi}	Y _i C _{pi}
	(kj/kg.K)		(kj/kg.K)		
O ₂	0,91164635		1,10710057	0,02631095	0,03195194
N ₂	1,03721858		1,20224202	0,75544503	0,87563777
CO ₂	0,82175625		1,27609687	0,11878639	0,18446216
H ₂ O	1,85748985		2,39101654	0,18249816	0,23491709
total				1,08304053	1,32696896

C_{p1} = ∑ C_{pi} *X_i massique d'après le tableau égale a 1,08304053

$$C_p = \frac{1,08304053 + 1,32696896}{2 * 4.185}$$

Donc le Cp moyen est a 0,28793423 kcal/kg°C et on conclue que le T_{pf} égale a 2143,28141°C.

Pour la prochaine étape on veut calcul des Hi pour atteindre a le resultat de débit des brulées

$$H_i = B_i (T_g - T_1) + C_i (T_2 - T_1) + D_i (T_g^3 - T_1^3) + E_i (T_g^4 - T_1^4) + F_i (T_g^5 - T_1^5)$$

T₁ : température de référence est de 0°C =273.15 k

T_g : température du combustible dans la zone de radiation=1173.15 k

B_i, C_i, D_i, E_i, F_i : les constantes pour chaque constituant (annexeII).

Tableau. II.11. Les résultats du Hi pour atteindre a le résultat de débit des brulées.

	Débit Kmol	Xi% vol	Mi kg/kmole	Xi Mi	Xi% mass	Hi Kj/Kg	Xi Hi Kj/Kg
O ₂	41,44	2,52934866	32	0,80939157	2,88609187	923,111924	26,6418582
N ₂	1 195,11	72,9496271	28	20,4258956	72,8337352	997,744396	726,694511
CO ₂	150,94	9,21339092	44	4,053892	14,4551849	1025,85793	148,289661
H ₂ O	250,78	15,3076333	18	2,755374	9,82498806	1901,05401	186,778329
TOTAL	1638,267619	100		28,0445532	100		1088,4

D'après le tableau on a $Q_{\text{brulées } 100} = 1088.4 \text{ KJ/Kg}$ des brulées on la convertir vers Kcal/kg on devise sur 4.185 on aura

$Q'_{\text{brulées } 100} = 260.07 \text{ Kcal/kg des brulées}$

- **Calcul du débit des gaz brulés**

Pour 100k de combustibles libère 1638.267619 kmol des brulées

Débit des brûlés en Kg/hr = (débit des brûlés en Kmole/hr)*(masse molaire des brûlés en Kg/Kmole)

Débit des brûlés en Kg/hr = $1638.267619 * 28.0445532$

Débit des brûlés en Kg/hr = 45944.4834 Kg/hr

Et apres on la converti vers Kcal/hr on trouve que $Q(\text{brulées})_{100} = 12\ 081\ 151 \text{ Kcal/hr}$

Et en final on la convertir a Mcal/hr = $Q(\text{Brulées})/1000000$

On aura $Q_{\text{brûlés } 100} = 12,081151 \text{ MKcal/hr.}$

II.2.3.Calcul de la chaleur absorbée par l’huile dans la zone de radiation

Cette étape est le dernier pour calculer le rendement du four dans la zone de radiation du train 100 au niveau complexe GP1z (Jumbo).

D’abord voici quelques paramètres d’huile torada (TC) :

Température d'huile à l'entrée de la radiation en °C	154
Température d'huile sortie radiation en °C	180
ρ (kg/m ³)	769,1
Qmen kg/hr	881 389

Avec Q_m est le Débit massique d’huile en Kg/hr

Notre objectif est du calculer Q_{abs} s’agit de chaleur absorbée par l'huile dans la section de radiation en kcal/h son équation va être sous forme : $Q_{abs} = Q_m * (0.435(T_s - T_e) + 0.000433 * (T_s^2 - T_e^2))$

$$Q_{abs} = 881389 * (0.435(180 - 154) + 0.000433 * (180^2 - 154^2))$$

On aura **$Q_{abs} = 13\ 282\ 678$ Kcal/hr**

Et maintenant on peut calculer notre rendement sa formule est suivante:

$$Rendment\ rad\ pour\ train100 = \frac{Q_{abs\ pour\ train\ 100}}{Q_f - Q_{brulées\ pour\ train\ 100}} * 100$$

Tout les valeurs été déjà calculer avec

$$Q_{abs} = 13\ 282\ 678\ Kcal/hr ; Q_{brulés100} = 12081151\ Kcal/hr ; Q_f = 27\ 222\ 543\ kcal/hr$$

Mais ces valeurs doit être converti en MKcal/hr donc on devise sur 1000000 on aura :

$$Q_{abs} = 13.282678\ MKcal/hr ; Q_{brulés100} = 12.081151\ MKcal/hr ; Q_f = 27.222\ 543\ Mkal/hr.$$

$$\text{Rendement rad pour train100} = \frac{13.282678}{27.222543 - 12.081151} * 100$$

$$\text{Rendement rad pour train100} = 87.72\%$$

II.2.4. Calcul Rendement dans la zone convection four dans train 100 (GP1Z)

$$N = \frac{Q_{abs\ conv}}{Q_{gaz\ brulés\ cov\ I}} * 100$$

$Q_{abs\ conv}$: Chaleur absorbée par l'huile dans la section de convection.

$Q_{gaz\ brulés\ cov\ I}$: Chaleur dégagée par les gaz brulés dans la zone de convection

II.2.4.1. Calcul de la chaleur dégagée par les gaz brulés dans la zone de convection

$Q_{gaz\ brulés\ cov\ I}$

Elle est calculée par la formule suivante : $Q_{gaz\ brulés\ cov\ I} = Q'_{conv100} - Q_{brûlés100}$

Q'_{conv} : Chaleur contenue dans les gaz brulés dégagés vers atmosphère.

- **Calcul de Q'_{conv} :**

$$Q'_{conv} = Q_{conv*} * \text{Débit combustible}$$

Q_{conv*} : Chaleur sensible de gaz brulés dans la zone de convection

- **Calcul de Q_{conv*}**

$$Q_{conv*} = Q'_{conv100} * Q'_{sensible\ conv}$$

$Q'_{sensible\ conv}$: Quantité de gaz brulés la combustion

$Q'_{conv100}$: Chaleur sensible de gaz brulés dans la zone de convection.

- **Calcul de $Q'_{conv100}$**

$$Q'_{conv100} = \sum X_i \text{ massique} * H_i$$

H_i : enthalpie de composant i de gaz des fumées entre la température T_g et la température à la sortie de cheminée. (En prenant compte que les X_i massique ont été déjà calculés)

• Calcul des Hi

$$Hi = Bi(Tg - Tc) + Ci(Tg^2 - Tc^2) + Di(Tg^3 - Tc^3) + Ei(Tg^4 - Tc^4) + Fi(Tg^5 - Tc^5);$$

Bi, Ci, Di, Ei, Fi : constantes pour chaque constituant i à partir de l'annexeII;

Tg : température de gaz combustible dans la zone de convection (Tg = 478.15°K);

Tc : température à la sortie de la cheminée (Tc = 273.15°K) (annexeIV).

Tableau.II.12. Calcul des Hi

Composants de G Brûlés	O ₂	CO ₂	H ₂ O	N ₂	He
Hi Kj/Kg	191.6493133	187.7556118	388.8778722	214.0429043	0

Tableua.II.13.Calcul de Q'conv

	Débit Kmol	Xi% vol	Mi kg/kmole	Xi Mi	Xi% mass	Hi Kj/Kg	Xi Hi Kj/Kg
O ₂	41.44	2.52934866	32	0.80939157	2.88609187	191.649313	5.531175257
N ₂	1,195.11	72.9496271	28	20.4258956	72.8337352	214.042904	155.8954422
CO ₂	150.94	9.21339092	44	4.053892	14.4551849	187.755612	27.14042077
H ₂ O	250.78	15.3076333	18	2.755374	9.82498806	388.877872	38.2072045
TOTAL	1638.267619	100		28.0445532	100		226.7742

D'après le tableau on aura la chaleur sensible des gaz brûlés Q'conv = 226.7742Kj/Kg

- Calcul la chaleur sensible des gaz brûlés dans la zone de convection (kcal/kg de gaz brûlés).

$$Q'conv \text{ kcal /kg} = 226.7742 / 4.185$$

$$Q'conv100 = 54.19 \text{ Kcal/Kg.}$$

- **Quantité de gaz brûlés formés lors de la combustion (mole de gaz brûlés /mole de combustible)**

$$Q'_{\text{gaz bru combustion}} = \text{Volume des fumées} / 100$$

$$\text{Volume des fumées} = 1638.27 \text{ (annexeIV)}$$

$$Q'_{\text{gaz bru combustion}} = \mathbf{16.38267619} \text{ (mole de gaz brûlés /mole de combustible)}$$

- **Chaleur sensible de gaz brûlés dans la zone de convection (kcal/kg de combustible)**

$$Q_{\text{gaz bru conv}} = \text{Chaleur sensible de gaz brûlés dans la zone de convection} * \text{gaz brûlés formés lors de la combustion}$$

$$Q_{\text{conv}*} = 54.19 * 16.3827$$

$$Q_{\text{conv}*} = \mathbf{1075.24} \text{ (kcal/ Kg combustible)}$$

- **Chaleur contenue dans les gaz brûlés dégagés vers atmosphère en kcal/h**

$$Q_{\text{gaz brûlés dégagés vers atmosphère en}} = \text{Chaleur sensible de gaz brûlés dans la zone de convection} * \text{Débit combustible}$$

$$Q'_{\text{brudegagésatmo}} = 1075.24 * 2341.025499$$

$$Q'_{\text{bru dégagés atmo}} = 2517165 \text{ kcal / h}$$

- **Chaleur dégagée par les gaz brûlés dans la zone de convection en kcal/h**

$$Q_{\text{gaz brûlés covl}} = \text{Enthalpie contenue dans les gaz brûlés dans la zone de radiation en } \frac{\text{kcal}}{\text{h}} - \text{Chaleur contenue dans les gaz brûlés dégagés vers atmosphère en kcal/h}$$

$$Q_{\text{gaz brûlés covl}} = 12081151 - 2517165$$

$$Q_{\text{gaz brûlés covl}} = \mathbf{9,563,985} \text{ kcal / hr.}$$

II.2.4.2. Calcul de la chaleur absorbée par l'huile dans la zone de convection**(Q_{absconv})**

Et avec ces données de DCS joints en annexeV :

$P = 785.48 \text{ Kg/m}^3$; $T_{\text{econv}} = 136^\circ\text{C}$; $T_{\text{sconv}} = 154 \text{ }^\circ\text{C}$; $Q_v = 1146 \text{ m}^3/\text{hr}$; $Q_m = 900,160 \text{ kg/hr}$

On obtient :

$$Q_{\text{abs}} = Q_m * 0.435 * (T_s - T_e) + 0.000433 * (T_s^2 - T_e^2)$$

On aura $Q_{\text{absconv100}} = 9082849 \text{ kcal / h.}$

Donc on peut calculer le rendement de la zone de convection train 100

$$N_{\text{conv100}} = \frac{\text{CHALEUR ABSORBEE PAR L'HUILE DANS LA ZONE DE CONVECTION}}{\text{Chaleur dégagée par les gaz brulés dans la zone de convection}} * 100$$

$$N_{\text{conv100}} = \frac{9,082,849}{9,563,985} * 100 \quad \Longrightarrow \quad N_{\text{conv100}} = 94.97 \%$$

Chapitre III
Les émissions de gaz à
effet de serre

INTRODUCTION

Depuis l'avènement de l'industrialisation, l'équilibre de la planète s'est vu atteint : Pollution de l'air, de l'eau, du sol..., la surexploitation des ressources naturelles (forêts, matières premières, énergies fossiles...) et la disparition de nombreuses espèces de plantes et d'animaux. Il est devenu clair que ce comportement est non seulement dangereux pour la planète terre, mais aussi de la survie de l'espèce humaine. C'est à la suite de cette prise de conscience que la notion de développement durable est née, un mode de développement respectueux de l'environnement.

III.1. CONCEPT DU DEVELOPPEMENT DURABLE

La notion de développement durable est née en 1980. Il était alors devenu nécessaire de créer un mode de développement respectueux basé sur trois aspects:



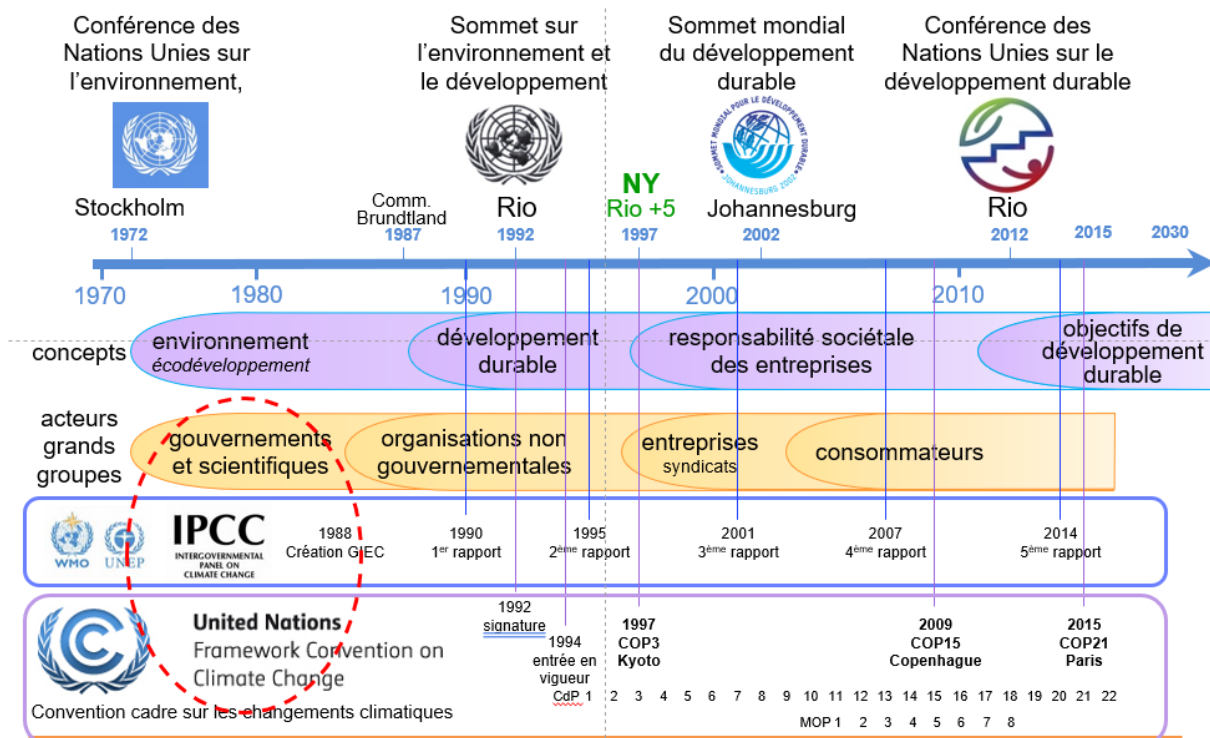
Figure.III.1. Trois aspects développement durable.

La définition « officielle » du développement durable a été élaborée pour la première fois dans le Rapport Brundtland en 1987. Ce rapport était la synthèse issue de la première commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU :

« Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. »

III.2.HISTORIQUE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Le concept de développement durable est apparu dans les années 1980, notamment avec les rapports Brundtland de 1987, qui le définit comme un développement répondant aux besoins du présent sans compromettre ceux des générations futures. Il est né d'une prise de conscience mondiale face aux enjeux environnementaux, économiques et sociaux liés à la croissance non maîtrisée.^[6]



III.3. Le GIEC (IPCC)

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) est l'organe international chargé d'analyser scientifiquement les changements climatiques. Il a été établi en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) en vue de fournir aux responsables politiques des évaluations scientifiques périodiques concernant les changements climatiques, leurs incidences et les risques futurs et de leur présenter des stratégies d'adaptation et d'atténuation.

L'atténuation des changements climatiques Le rapport de synthèse (septembre 2022)

Ce nouveau rapport arrivera à point nommé, car c'est en 2023 que les progrès accomplis dans la réalisation des objectifs de l'Accord de Paris feront l'objet d'un examen dans le cadre du bilan mondial de l'accord de paris, notamment en ce qui concerne l'objectif de maintenir le

réchauffement de la planète bien en deçà de 2 °C tout en poursuivant les efforts pour le limiter à 1,5 °C.^[5]

Les rapports du GIEC fourniront également des éléments pour l'évaluation de 17 objectifs du développement durable (*Sustainable Development Goals* ou SDG) que les États membres des Nations unies se sont fixés d'ici à 2030.

III.4. ENGAGEMENT DE L'ALGERIE

L'Algérie a signé la *Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques* (CCNUCC) en juin 1992 et l'a ratifié en juin 1993 en guise de reconnaissance de l'importance des changements climatiques et de son engagement dans le processus climatique et qui est confirmé par la ratification du protocole de Kyoto en Février 2005.

En septembre 2015 l'Algérie a soumis son nouveau plan d'action climat à la CCNUCC qui constitue sa *contribution prévue au niveau national* (CPDN) et a été présentée avant le nouvel accord climatique universel adopté par les gouvernements lors de la conférence climatique de l'ONU à Paris en décembre-2015 à l'instar des 57 Parties à la CCNUCC y compris l'Algérie).

Le 13 octobre 2016 un décret présidentiel portant ratification de l'accord de Paris sur les changements climatiques a été promulgué après les accords adoptés à Paris le 12 décembre 2015 à la 21ème Conférence des parties (COP21).

Le nouvel accord de Paris est entré en vigueur en 2020 et habilite tous les pays à agir pour empêcher la température mondiale d'augmenter de plus de 2°C.

C'est ainsi que L'Algérie a soumis en septembre 2015 sa contribution prévue déterminée au niveau national (INDC) au secrétariat de la CCNUCC et s'est engagée à une réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'horizon 2030 de 7% en effort propre, jusqu'à 22% par rapport à un scénario de référence (Business As Usual - BAU), subordonnée aux soutiens en matière de financements extérieurs, de développement et de transfert technologique et de renforcement des capacités. (cf. CPDN du 03 Septembre 2015).

III.5. STRATEGIE SONATRACH

Le groupe SONATRACH, à travers ses Branches et Activités, à l'instar de l'Activité LQS, s'inscrit dans cette démarche en faveur du développement durable et la protection de l'environnement, et c'est dans cette optique que la Division GNL et GPL s'est engagée à

intensifier ses efforts pour atténuer les Gaz à Effet de Serre (GES) à l'horizon 2030 en adéquation avec les engagements nationaux.

- Atteindre le taux des gaz torchés la valeur cible de 1% à l'horizon 2027;
- Atténuer les GES de 22% à l'horizon 2030, dont 07 % par effort propre et le reste par fond d'aide;
- Améliorer l'Efficacité Energétique par la réduction de la dépendance de l'énergie fossile et par la promotion des énergies renouvelables;

III.6. DEFINITION DE L'EFFET DE SERRE (GREEN HOUSE EFFECT)

L'effet de serre est un phénomène avant tout naturel de piégeage par l'atmosphère du rayonnement de chaleur émis par la terre sous l'effet des rayons solaires

GIEC : L'effet de serre est un Effet radiatif de tous les constituants de l'atmosphère qui absorbent le rayonnement infrarouge. Les gaz à effet de serre, les nuages et, dans une moindre mesure, les aérosols absorbent le rayonnement terrestre émis à la surface de la Terre et dans l'atmosphère.

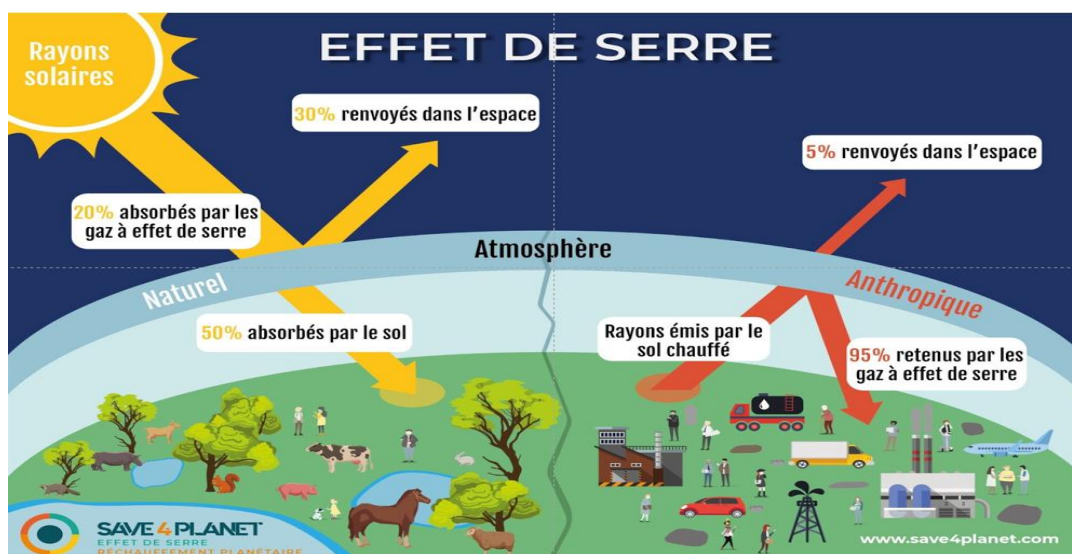


Figure.III.2. définition de l'effet de serre (green house gaseffect).

L'effet de serre permet une température sur Terre bien supérieure à celle qui régnerait en son absence (+ 15°C environ au lieu de -18°C en son absence).

Le groupe de gaz responsables de ce phénomène est présent dans l'atmosphère à l'état de traces ; il s'agit, pour l'essentiel, de la vapeur d'eau, du gaz carbonique (CO₂), du méthane (CH₄) et du protoxyde d'azote (N₂O).

Tableau.III.1. Les différents gaz à effet de serre.

Gaz à effet de serre	formule	Potentiel de réchauffement global (PRG)
Dioxyde de carbone	CO ₂	1
méthane	CH ₄	28
Protoxyde d'azote	NO ₂	273
Hexafluorure de soufre	SF ₆	25200
Trifluorure d'azote	NF ₃	17400
Gaz fluorés	HFC CFC PFC	771-7380

➤ **Le CO₂ et les autres GES sont-ils absolument nocifs ?**

Le dioxyde de carbone (CO₂) est un gaz essentiel à la vie : les animaux l'exhalent, les plantes le séquestrent. Il existe dans l'atmosphère terrestre à des concentrations relativement faibles, mais il est vital pour maintenir la vie.

Le CO₂ est également connu sous le nom de gaz à effet de serre (GES), un gaz qui absorbe et émet un rayonnement thermique, créant « l'effet de serre ».

Avec d'autres gaz à effet de serre, tels que l'oxyde nitreux et le méthane, le CO₂ est important pour maintenir une température habitable pour la planète : s'il n'y avait absolument aucun GES, notre planète serait tout simplement trop froide.

La formation se focalisera sur les émissions de GES de CO₂, CH₄ et N₂O, car ce sont les GES les plus répandus émis par les opérations de l'industrie pétrolière et gazière.

- Le CO₂ anthropogène est produit en majorité par la combustion, les fuites et les gaz éventés à partir des installations de gaz processing vu que le gaz naturel peut contenir plus de 2% de CO₂.

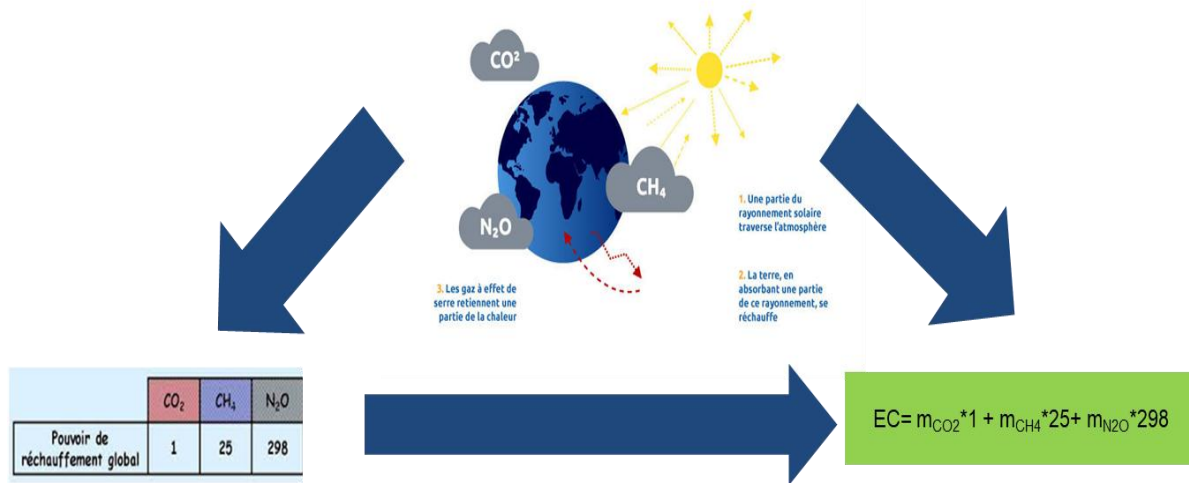


Figure.III.3. Empreinte Carbone : Tonnes équivalent CO₂ émises à l’atmosphère.

Les inventaires de gaz à effet de serre sont souvent rapportés en termes d’équivalents de dioxyde de carbone (CO₂), dans lesquels tous les GES sont convertis sur une base équivalente par rapport à leur « potentiel de réchauffement global » (PRG).

Le PRG est un outil de pondération statistique pour la mesure de l'efficacité radiative d'un composé, ou capacité du composé à piéger la chaleur, pendant une certaine durée de vie dans l'atmosphère, par rapport aux effets d'une même masse de CO₂.

➤ **On distingue 3 scopes dans un bilan carbone.**

Le scope 1 : les émissions directes, liées à la combustion d’énergies fossiles par l’entreprise.

Le scope 2 : les émissions indirectes, liées à l’achat ou la production d’énergie par l’entreprise.

Le scope 3 : toutes les autres émissions indirectes. Ce scope est le plus complexe à calculer, car il demande de remonter l’ensemble de la chaîne de valeur, y compris le transport des biens et personnes, les émissions liées aux achats, au numérique, etc. Cela représente, pour de nombreuses entreprises, la plupart de leurs émissions carbone... La précision des résultats, et donc leur utilité, est très variable en fonction du temps accordé par l’entreprise et de l’expertise de la personne ou de l’outil réalisant les calculs !

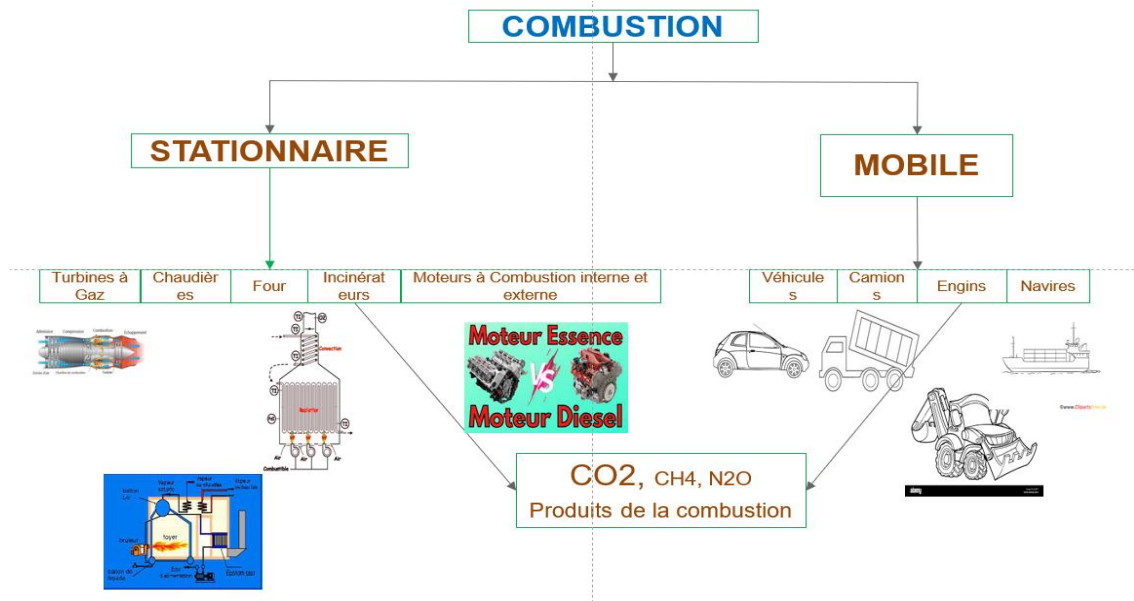


Figure.III.4. Categories combustion

III.7. CARTOGRAPHIE DES GES DANS UN TRAIN DE GNL

Cette cartographie nous montre les gaz à effet de serre dégagés par chaque section du complexe et aussi des autres sources des gaz.

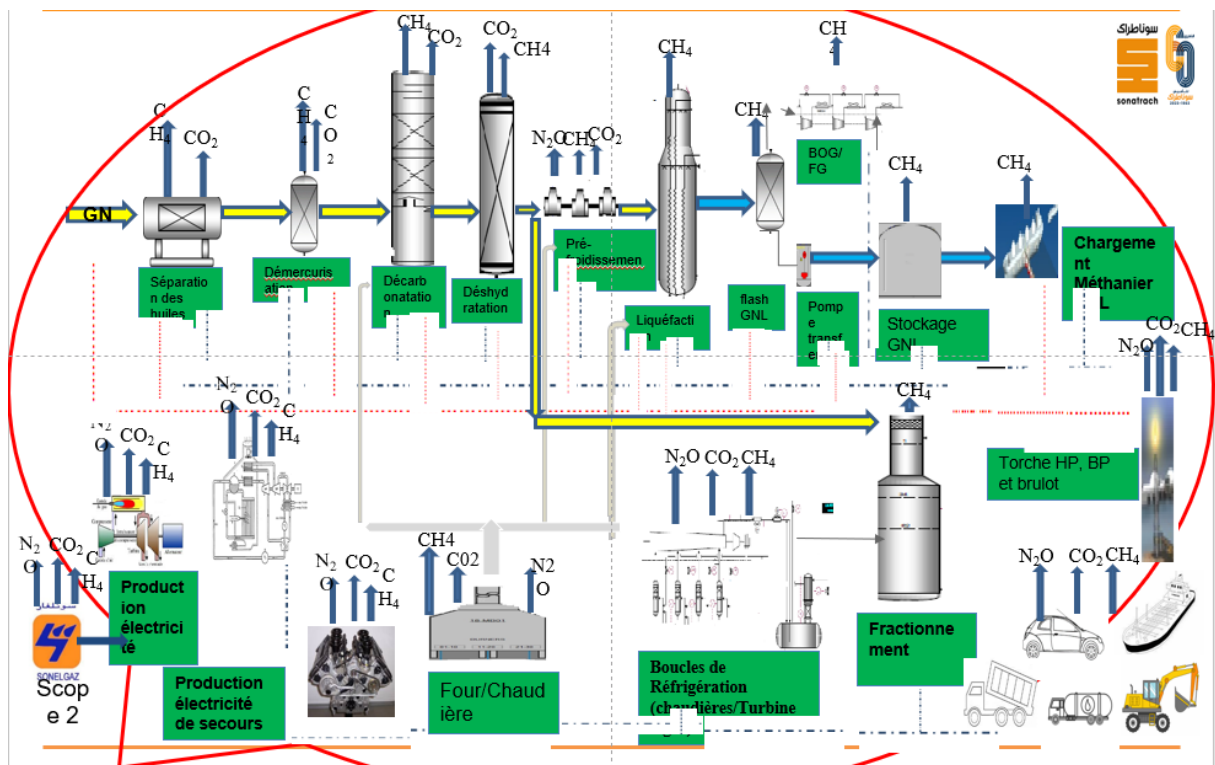


Figure.III.5. Cartographie des GES dans un train de GNL.

➤ **Calcul Les émissions des GES au niveau du Four dans le complexe GP1Z**

Les estimations des émissions de GES sont souvent exprimées en termes de CO₂e ou d'équivalents carbone pour la sommation finale. Bien que n'importe quelle unité de masse puisse être utilisée pour convertir les émissions de GES en ces bases équivalentes, les unités les plus largement reconnues sont les tonnes et les millions de tonnes métriques (MMT). Les équations pour calculer le CO₂e et les équivalents carbones sont fournies ci-dessous.

$$tCO_2e = \sum_{i=1}^{GES\ gaz\ spécifique} (tonnei \times PRGi)$$

tCO₂e = tonnes de dioxyde de carbone équivalent (tonnes);

tonnei = tonnes d'émissions du polluant i

PRGi: Potentiel de Réchauffement Global du composé i

Dans notre cas l'équation va être :

$$T(CO_2)e = \text{Émission } CO_2 * PRG(CO_2) + \text{Émission } CH_4 * PRG(CH_4) + \text{Émission } N_2O * PRG(N_2O)$$

Avec : PRG(CO₂)=1, PRG(CH₄)=25, PRG(N₂O)=298.

D'abord on la Consommation du GN au niveau du four phases 1(Sources combustions stationnaire) dans le tableau suivant:

Consommation	Cm ³ eq GN
Consommation four phases 1	5912769

Mais l'unité doit être Energie (thermie) donc on multiplier la consommation en Cm³ eq GNPCS (Pouvoir Calorifique) sa valeur est 9.326 Th/cm³ on aura

Consommation	Cm ³ eq GN	Energie (thermie)
Consommation four phases 1 2 et 3	5912769	55143193

$$\text{Émission } CO_2 = DA * FE(CO_2)$$

DA: données sur les activités : Consommation en Energie (thermie)

FE=facteurs d'émission = des constant de chaque constituant

Pour FE(CO₂)=0,000209339997

$$\text{Émission } CO_2 = 55143193 * 0,000209339997$$

Émission CO₂=11543.68Tonnes CO₂

Émission CH₄=DA*FE(CH₄). Avec FE(CH₄)=3.98E-9

Émission CH₄=55143193*3.98E-9

Émission CH₄=0.22Tonnes CH₄

Émission N₂O=DA*FE(N₂O). Avec FE(N₂O)=1.08E-9

Émission N₂O=55143193*1.08E-9

Émission N₂O=0.06 Tonnes N₂O

Mais pour calculer le TOTAL eCO₂ on a :

$$T(CO_2)e = \text{Émission } CO_2 * PRG(CO_2) + \text{Émission } CH_4 * PRG(CH_4) \\ + \text{Émission } N_2O * PRG(N_2O)$$

$$AN:T(CO_2)e = 11543.68 * 1 + 0.22 * 25 + 0.06 * 298$$

$$T(CO_2)E=11567.85067\text{tonne eq co}_2$$

Donc notre l'empreinte carbone égale **11567.85067tonne eq CO₂**

III.8. PROBLEMATIQUE ET LA RESOLUTION DE CE PHENOMENE

Le département technique a remarqué que le Four dans la phase 1 dans train 100 consomme beaucoup le GN et donc beaucoup plus les émissions de gaz a effet serres et pour réduire la consommation le chef de département technique a proposé une intervention pour résoudre ce problème et le message c'était : "Nous vous informons que on doit faire une intervention de réglages sur les fours d'huile du train 100 de procédé le 02-03-2025

Ces actions consistent à l'ajustement des registres des brûleurs au niveau du train 100 (le registre de la cheminée est bloqué).

Après cette intervention l'équipe technique a remarque que les résultats très motivants enregistrés suite à la dernière intervention de réglages sur les fours d'huile du train 100 de procédé effectuée le 02-03-25.

Ci-dessous la réduction remarquable enregistrée sur la consommation du combustible au niveau du four du train 100.

Un gain en moyen de 400 Nm³/h de GN pour un traitement de 264 m³/h de GPL soit une réduction de 30 KWH/ T.GPL.

Ceci a été même ressenti sur les températures d'échappement des fumées avec une diminution sensible de 10 à 14 °C. Le tableau suivant représente la consommation de GN dans le four phase 1 avant l'intervention.

Tableau.III.2. La consommation de GN dans le four phase 1 avant l'intervention.

FI_1301_NG.PV_Timestamp	FI_1301_NG.PV_Value
28/02/2025	2285,25
28/02/2025 02:00	2272,12
28/02/2025 04:00	2245,27
28/02/2025 06:00	2262,04
28/02/2025 08:00	2188,01
28/02/2025 10:00	2063,11
28/02/2025 12:00	2061,68
28/02/2025 14:00	2186,9
28/02/2025 16:00	2100,73
28/02/2025 18:00	2250,88
28/02/2025 20:00	2343,09
28/02/2025 22:00	2275,71
01/03/2025	2220,47
01/03/2025 02:00	2322,49
01/03/2025 04:00	2299,77
01/03/2025 06:00	2263,87
01/03/2025 08:00	2364,77
01/03/2025 10:00	2068,49
01/03/2025 12:00	2052,76
01/03/2025 14:00	2045,32
01/03/2025 16:00	1921,86
01/03/2025 18:00	2189,99
01/03/2025 20:00	2143,29
01/03/2025 22:00	2165,05
02/03/2025	2183,58

02/03/2025 02:00	1952,02
02/03/2025 04:00	2156,26
02/03/2025 06:00	1898,55
02/03/2025 08:00	1981,11
02/03/2025 10:00	1947,74

Tableau.III.3.La consommation après l’intervention (02-03-2025 a 12h)

FI_1301_NG.PV_Timestamp	FI_1301_NG.PV_Value
02/03/2025 12:00	1564,65
02/03/2025 14:00	1785,19
02/03/2025 16:00	1644,71
02/03/2025 18:00	1956,73
02/03/2025 20:00	1793,37
02/03/2025 22:00	1692,3
03/03/2025	1677,88
03/03/2025 02:00	1816,12
03/03/2025 04:00	1875,11
03/03/2025 06:00	1898,82
03/03/2025 08:00	1974,79
03/03/2025 10:00	1861,43
03/03/2025 12:00	1658,47
03/03/2025 14:00	1937,77
03/03/2025 16:00	2000,94
03/03/2025 18:00	2079,55
03/03/2025 20:00	2041,72
03/03/2025 22:00	1747,12
04/03/2025	1681,7

On remarque que la consommation de GN diminue et que l’intervention et les résultats sont très motivants et on la compare par ce graphe capturé depuis le datasheet dans le département technique

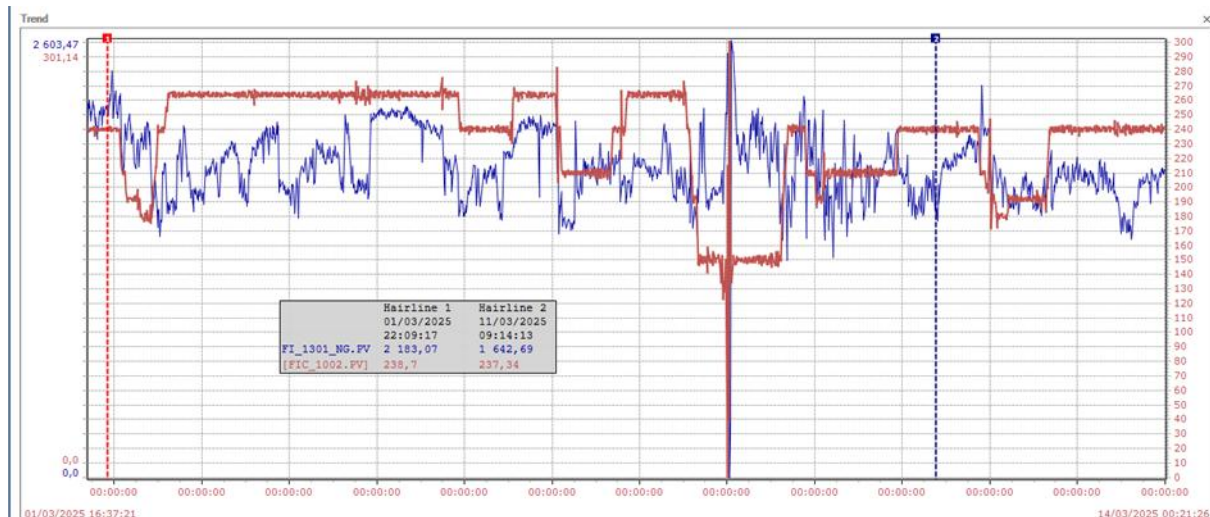


Figure.III.6. Graphe comparative avant et après l’intervention.

Hairline 1 : avant l’intervention FI-1301_NG.PV =2183.07

Hairline2: après l’intervention FI-1301_NG.PV=1642.69

Donc l’intervention était une réussite et on peut calculer les nouvelles émissions de GES et l’empreinte du carbone:

$$T(CO_2)e = \text{Émission } CO_2 * PRG(CO_2) + \text{Émission } CH_4 * PRG(CH_4) + \text{Émission } N_2O * PRG(N_2O)$$

Sources Combustion stationnaire	(Cm ³ éq GN)	Energie (thermie)
Consommation		
Consommation Four, phase 1	307 843,20	2870983

$$\text{Émission } CO_2 = DA * FE (CO_2)$$

DA: données sur les activités : **Consommation en Energie (thermie)**

FE=facteurs d’émission = des constant de chaque constituant

Pour FE(CO₂)=0,000209339997

$$\text{Émission } CO_2 = 2870983 * 0,000209339997$$

$$\text{Émission } CO_2 = 601,01 \text{ Tonnes } CO_2$$

$$\text{Émission } CH_4 = DA * FE(CH_4). \quad \text{Avec } FE(CH_4) = 3.98E-9$$

$$\text{Émission } CH_4 = 2870983 * 3.98E-9$$

Émission CH₄=0,04Tonnes CH₄

Émission N₂O=DA*FE(N₂O). Avec FE(N₂O)=1.08E-9

Émission N₂O=2870983*1.08E-9

Émission N₂O=0.02 Tonnes N₂O

Mais pour calculer le TOTAL ECO₂ on a :

$$T(CO_2)e = \text{Émission } CO_2 * PRG(CO_2) + \text{Émission } CH_4 * PRG(CH_4) \\ + \text{Émission } N_2O * PRG(N_2O)$$

$$AN:T(CO_2)e = 601.01 * 1 + 0.04 * 25 + 0.02 * 298$$

T(CO₂)E=606,8874631tonne eq CO₂

Donc notre l'empreinte carbone égale 606,8874631tonne eq CO₂. Donc on remarque que les GES aussi diminue et on consomme moins de GN et on aussi moins du CO₂ rejeté

CONCLUSION GÉNÉRALE

À travers ce travail, nous avons plongé au cœur du complexe GP1/Z, un acteur majeur dans le traitement du gaz de pétrole liquéfié en Algérie. L'étude a permis de mieux comprendre le fonctionnement interne du site, en particulier le rôle des fours industriels dans le processus de transformation du GPL. Ces équipements, bien que techniques et puissants, nécessitent une attention continue pour assurer à la fois performance et sécurité.

L'analyse du rendement thermique dans la zone de radiation des fours, notamment celui du train 100, a permis de déterminer que la chaleur totale fournie par le four (Q_f) atteint environ 27 222 543 kcal/h. Cette valeur repose sur des paramètres comme le pouvoir calorifique inférieur du gaz ($LHV = 27\,000\,593$ kcal/h), la chaleur sensible du gaz combustible ($H_f = 19\,983$ kcal/h) et celle de l'air de combustion ($H_a = 201\,967$ kcal/h). Ces données confirment l'importance d'une gestion fine des conditions de combustion.

Sur le plan environnemental, les émissions de gaz à effet de serre ont également été étudiées. Pour le four de la phase 1, les émissions ont été estimées à environ 11 543,68 tonnes de CO_2 , 0,22 tonnes de CH_4 et 0,06 tonnes de N_2O , soit une empreinte carbone globale de 11 567,85 tonnes équivalent CO_2 . Ces chiffres illustrent l'impact significatif de la combustion sur l'environnement.

Face à ces constats, des actions concrètes ont été entreprises. Une intervention technique sur les brûleurs du four du train 100, réalisée le 2 mars 2025, a permis de réduire en moyenne la consommation de gaz naturel de 400 Nm^3/h . Ce gain représente une réduction d'environ 30 kWh par tonne de GPL produite, tout en diminuant les températures d'échappement des fumées de 10 à 14°C.

Cette étude met ainsi en évidence l'importance d'un équilibre entre performance industrielle et responsabilité écologique. Il ne s'agit plus seulement de produire efficacement, mais de produire intelligemment, en intégrant les impératifs du développement durable. SONATRACH, par ses engagements et ses efforts en matière de réduction des GES, montre la voie vers une industrie plus propre, plus responsable et tournée vers l'avenir.

Il reste encore du chemin à parcourir, notamment dans l'optimisation des procédés et la généralisation des bonnes pratiques à l'ensemble des installations. Cependant, les résultats

obtenus sont encourageants et montrent que chaque amélioration, même minime, contribue à construire un avenir énergétique plus respectueux de no

REFERENCE BIBLIOGRAPHIE

- [1] Manuel opératoire du complexe GP1/Z
- [2] P. Mullinger et J. Barrie. Industrial and Process. 2nd. Oxford : Elsevier's Science & Technology, 2014.
- [3] Étude des fours pétroliers et pétrochimiques – J. Le Noguès – Google Livres.
- [4] Le raffinage de pétrole : pétrole brut, produit pétrolier, schéma de fabrication-
J.P.WAUQUIER
- [5] W. Trinks, M. H. Mawhinney , R. A. Shannon , R. J. Reed , J. R. Garvey.
IndustrialFurnace . New Jersey : JhonWiley and Sons , 2004 .
- [6] [Technique-ingenieure.fr/dveloppement durable](http://Technique-ingenieure.fr/dveloppement_durable).

Annexe I

Géométrie du four	
Nombre de tubes latéraux	72
Nombre de tubes supérieurs	16
Entraxe entre tubes en mm	355,6
Diamètre extérieur des tubes en mm	193,7
Epaisseur des tubes en mm	7,5
Largeur une chambre en mm	3880
Longueur en mm	18900
Hauteur en mm	7950
S_R en m ²	213,99
S_S en m ²	36,75
A en m ²	250,74
S_T en m ²	894,348

Température moyenne des tubes en °C	278
Tg supposée en °C	900

Annexe II

Bi, Ci, Di, Ei, Fi : constantes pour chaque constituant i

	B	C	D	E	F
O ₂	0,9524	-0,2811	0,6552	-0,4523	1,0877
N ₂	1,0684	-0,134	0,2155	-0,0786	0,0698
He					
CO ₂	0,4791	0,7621	-0,3593	0,0847	-0,0577
H ₂ O	1,915	-0,3954	0,876	-0,495	1,0386
CH ₄	2,3935	-2,218	5,7402	-3,7279	8,54
C ₂ H ₆	1,1089	-0,1885	3,9655	-3,1402	8,0081
C ₃ H ₈	0,7226	0,7087	2,9238	-2,61	7,0005
IC ₄ H ₁₀	0,1954	2,5231	0,1956	-0,7726	2,386
nC ₄ H ₁₀	0,4126	2,0286	0,7029	-1,02558	2,8
IC ₅ H ₁₂	-0,1319	3,5411	-1,3332	0,2514	-0,1295
nC ₅ H ₁₂	-0,0117	3,3164	-1,1705	0,19961	-0,0866
C ₆ H ₁₄	0,1736	2,3489	0,8441	-1,55	5,53

Annexe III

La composition molaire de gaz combustible et ses PCI: Pouvoir calorifique de chaque composant de gaz combustible à 0° C en kcal /Kg.

	Mi	PCIi de chaque combustible a 0 C°
N ₂	28	
He	4	
CO ₂	44	
H ₂ O	18	
CH ₄	16	11957
C ₂ H ₆	30	11355
C ₃ H ₈	44	11075
IC ₄ H ₁₀	58	10890
nC ₄ H ₁₀	58	10940
IC ₅ H ₁₂	72	10797
nC ₅ H ₁₂	72	10825
C ₆ H ₁₄	86	10825

AnnexeIV

Volume des fummées	1638,26762
Masse volumique du combustible (kg/Nm ³) 1,033109223	1,033109223
Débit combustible (Nm ³ /h)	2266
température à la sortie de la cheminéeK	273.15

Annexe V

Température d'huile à l'entrée de la convection en °C	136
Température d'huile sortie convection en °C	154
ρ (kg/m ³)	785,48
Qm en kg/h	900 160
Chaleur absorbée par l'huile dans la section de radiation en kcal/h	9 082 849

