



Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté des Sciences et Technologie et Sciences de Matière

Département de Génie des Procédés

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de l'ingénieur d'état

Spécialité : Génie des procédés

Option : Génie Chimique

Réalisé par :

↪ *BABOUKHA NADIR*

Thème :

*Vérification du rendement de four H182 au
niveau de complexe gazière D'ALRAR*

Soutenu publiquement le 19/06/2010 devant le jury composé de :

Pr. SEGNI LADJAL	Université kasdi Merbah Ouargla	Président
Mr. CHOUKI Mourad	Université kasdi Merbah Ouargla	Examineur
M ^{elle} . M.Rebiha	Université kasdi Merbah Ouargla	Examineur
Mr. SEKRIF M ^{ed} Lamine	Université kasdi Merbah Ouargla	Examineur
Pr. SAOULI Salah	Université kasdi Merbah Ouargla	Encadreur

Année Universitaire 2009 /2010



Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté des Sciences et Technologie et Sciences de Matière

Département de Génie des Procédés



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de l'ingénieur d'état

Spécialité : Génie des procédés

Option : Génie Chimique

Réalisé par :

↳ *BABOUKHA NADIR*

Thème :

*Vérification du rendement de four H182 au
niveau de complexe gazière D'ALRAR*

Soutenu publiquement le 19/06/2010 devant le jury composé de :

Pr. SEGNI LADJAL

Mr. CHOUKI Mourad

M^{elle}. M.Rebiha

Mr. SEKRIF M^{ed} Lamine

Pr. SAOULI Salah

Université kasdi Merbah Ouargla

Président

Examineur

Examineur

Examineur

Encadreur

Année Universitaire 2009 /2010

ملخص :

يعتبر التسخين خطوة أساسية في عملية معالجة الغاز الطبيعي. هذه الخطوة تتم على مستوى الأفران الصناعية. في العمل الحالي قمنا بشرح أهم العمليات التي تمر بها عملية المعالجة بوحدة صناعية لمعالجة الغاز الطبيعي بالغار, وأيضا أداء الأفران الصناعية وقد تبين في نهاية الدراسة أن أدائها على ما يرام.

كلمات مفتاحية: الغار, الغاز الطبيعي, الفرن الصناعي, معالجة الغاز.

RUSIME :

Le chauffage est considéré comme une étape fondamentale dans le procédé du traitement du gaz naturel. Cette étape se déroule au niveau des fours industriels.

Dans le présent travail on a étudié le rendement de l'un des fours industriels de l'unité de traitement du gaz naturel d'Alrar. On a constaté, à la fin de cette étude, que son rendement est parfait.

Mots clés : four industriel, gaz naturel, ALRAR, traitement du gaz .

remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier notre DIEU, notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail,

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à tous les professeurs qui nous ont aidés tout au long de notre cursus universitaire en particulier notre promoteur Dr. SAOULI SALAH. ses conseils et l'aide qu'il nous a apportés.

Nous voudrions aussi exprimer toute notre gratitude à : ELHADJ BOURBIHA, SALAH, RAFIK, Respectivement le chef de complexe, le chef de division, les ingénieurs de quart, les contremaîtres, les opérateurs et le responsable de formation ainsi que tout le personnel du champ D'alrar, pour les orientations et les conseils ainsi que le support documentaire dont ils nous ont fait profiter de notre stage de fin d'étude.

Nos derniers remerciements, vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce travail à :

*A celle qui a inséré le goût de la vie et le sens de la
Responsabilité....merci MÈRE.*

*A celui qui a été toujours la source d'inscription
et de couragemerci PÈRE.*

*A mes frères et sœurs YAKOUB, ISSHAK, AHMED, SOUMIA, WASSILA,
et DADA*

A toute ma famille.

A Monsieur : MANSSOUR BECHI pour son aide.

*A mes amis : BATACH SAKER, HABBI SLIMAN, MERABTIN YAHIA.
BELMASSOUD KHALED ET FAICAL, DJAMEL, ABDELALI
ABD ELMADJID, NACERADDINE DJAFER, IBRAHIM BOUTAIB
ET TOUTE PROMOTION D'INGENIEURS D'ETAT*

Baboukha Nadir

LISTE DES SYMBOLES

- T_f : la température de la flamme en combustion adiabatique.
- Q_A : quantité de chaleur absorbée (kcal).
- A : c'est la surface de corps noir ou surface d'absorption des tubes (m^2).
- T_g : températures des gaz de combustions dans la zone de radiation (K).
- T_A : la température de la surface des tubes (K).
- M : massa de gaz de combustion produits par m^2 de surface absorbant effectif.
- C_p : la chaleur spécifique moyenne.
- σ^* : rapport de poids d'air au poids de combustible
- Q : chaleur libérée (kg/h) compte tenu du préchauffage de l'air.
- A_{RT} : Air des parois réfractaire devant les quelles sont montés les tubes.
- ϵ_A : facteur d'absorption des rangées de tubes.
- A_m : surface des murs de zone de convection, m^2
- dp : perte de charge dans élément de longueur dL ;
- V : volume massique ;
- U : vitesse du fluide
- M : débit massique de fluide ;
- G : vitesse massique ;
- D : diamètre intérieur des tubes.
- F : coefficient de frottements ;
- μ : Viscosité dynamique.
- P_e, P_s : Pression, respectivement, d'entrée et de sortie.
- L : longueur équivalente du faisceau.
- P_d : pression dynamique pour un débit massique maximum.
- L : hauteur du faisceau. ;
- D_v : diamètre hydraulique.
- S_T : espace entre les tubes sur un même plan horizontal.

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Composition du gaz d'alimentation de l'unité d'ALRAR	8
Tableau II-1: les niveaux de température de propane pour le train 4.....	26
Tableau III-1 : les principales réactions de combustion.....	58
Tableau III-2 : Les valeurs spécifiques de ses constituants.....	59
Tableau V-1 : Composition du gaz combustible (fuel - gaz)	80
Tableau V-2 : Caractéristique des fumées	83
Tableau V-3 : Composition des fumées	84
Tableau V-4 : Pouvoir calorifique des gazes.....	86
Tableau V-5 : l'enthalpie des fumées.....	88

Listes des figures

Figure II-1: situation géographique de champ d'ALRAR	9
Figure II-2 : schéma d'implantation des unités	10
Figure II-3 : Circuit gaz et liquide.....	15
Figure II-4: Déshydrations du gaz d'alimentation et préparation d'un sécheur.....	16
Figure II-5: Déshydrations des liquides de flash et préparation d'un sécheur.....	17
Figure II-6 : Réfrigération et détente du gaz.....	19
Figure II-7 : Fractionnement.....	23
Figure II-8: Procédé de réfrigération.....	24
Figure II-9: La boucle d'huile chaude.....	28
Figure.-10 : Compression des gaz résiduels.....	31
Figure11: Réinjection des gaz résiduels.....	32
Figure II-12 : Réfrigération au propane pour le refroidissement du gaz de Stah/Mereksen.....	35
Figure II-13: Procédé de fractionnement de GPL.....	37
Figure II-14 : Air service et air instrument.....	38
Figure II-15 : circuit d'eau de refroidissement	40
Figure II-16 : Réseau du gaz combustible.....	41
Figure II-17: Stockage et expédition de GPL.....	43
Figure II-18 : Stockage du condensat	44
Figure II-19 : Stockage et chargement du butane et du propane.....	45
Figure III-1 : schéma d'un four	48
Figure III-2 : Four cylindrique vertical	51
Figure III-4 : four cabine à brûleur sur les parois.....	52
Figure III-3 : Four cabine à tubes horizontaux	53
Figure V-1 : Constituant de four	78

sommaire

Sommaire

Liste des symboles	I
Liste des tableaux.....	II
Liste des figures	III
Sommaire.....	IV
Introduction	V

Chpiter I : Généralité sur le gaz

I-1-Introduction	1
I-2-Les types de gaz	1
I-2,1-Gaz à condensât	1
I-2,2-Gaz humide.....	1
I-2,3-Gaz sec.....	1
I-3- Caractéristiques de base des gaz naturels	1
I-3,1-Densité	2
I-3,2-Pouvoir calorifique	2
I-3,3-Composition chimique	2
I-4-Point de rosée “eau”	3
I-5-Le GPL	3
I-5,1-Le GPL en Algérie	4
I-5,2- Origine du GPL	4
I-5,3- Caractéristiques du GPL	4
I-5, 3,1-Tension de vapeur	4
I-5, 3,2-Densité	4
I-5, 3, 3-Expansion	5
I-5, 3,4-Pouvoir calorifique	5
I-6- Le condensât	5
I-6,1-Définition	5
I-6,2-Caractéristiques du condensât	5

I-6, 2,1-Aspect	5
I-6, 2,2-Poids spécifique	5
I-6, 2,3-Point d'éclair	5
I-6, 2,4-Limitent d'inflammabilités	5
I-7-Techniques de traitement de gaz.....	6
I-7,1- procédé PRICHARD	7
I-7,2- procédé HUDSON	7
I-7,3-Procédés mixtes	7
I-7, 3,1-Elimination de l'eau	7
I-7, 3,2-Extraction des hydrocarbures liquide	7
I-7, 3,3-Stabilisation et fractionnement des hydrocarbures liquides	8
I-8-Composition de l'alimentation	8

Chapiter II : Description de procédé d'Alrar

II-1- Présentation de champ d'ALRAR	9
II-1,1- Situation géographique	9
II-1,2- Historique.....	10
II-1,3- Capacité des installations	10
II-1,4-L'aire de stockage comprend	11
II-1,5-Puits producteurs	11
II-2- Description de procédé d'ALRAR.....	12
II-2,1-Séparation à l'entrée des trains	12
II-2,2-Refroidissement et déshydratation du gaz d'alimentation	12
II-2,3-Refroidissement et déshydratation des liquides	13
II-3-Réfrigération et détente du gaz	18
II-4-fractionnement	20
II-4,1-Le déméthaniser V-161	20
II-4,2-La colonne de stabilisation du condensât (débutaniseur V-163).....	21
II-5-La boucle de réfrigération au propane	21
II-5,1-Définition de la boucle de réfrigération au propane	25
II-5,2-Avantages de la boucle de réfrigération au propane	25
II-6- Système d'huile chaude	26
II-6,1-Définitions.....	26

II-6,2-Séchage du four	27
II-7- Compression et réinjection.....	29
II-7,1- Compression des gaz résiduels	29
II-7,2- Ré injection des gaz résiduels.....	29
II-8-Récupération des liquides et compression du gaz STAH/MEREKSEN	33
II-8,1-Définition.....	33
II-8,2- Boucle de réfrigération à propane	33
II-9- Les utilités	36
II-9,1- Fractionnement de GPL.....	36
II-9,2- Air service et air instrument	36
II-9,3- Réseau d'eau de refroidissement	39
II-9,4- Réseau de gaz combustible.....	39
II-10- Stockage et Expédition.....	42
II-10,1- GPL.....	42
II-10,2- Condensât	42
II-10,3- Propane et Butane.....	42

Chapitre III : Les fours dans l'industrie pétrolière

III-1-Introduction	46
III-2- Constitution d'un four	47
III-3- Les différents types de fours	49
III-3-1-Fours cylindriques verticaux	50
III-3-2. Fours cabines à bruleur sur la sole	52
III-3-3- Fours cabines à bruleurs sur les parois	53
III-4-Critères de choix d'un four	54
III-5-Rendement des fours.....	54
III-5-1-Bilan thermiques.....	54
III-5-2-Définition.....	55
III-5-3. Paramètre dont dépend le rendement d'un four	56
III-6-La combustion dans le four	57
III-6-1- Généralités	57

III-6-2-Définition de la chaleur de combustion.....	57
III-6-3-Réaction de combustion.....	57
III-6-4- composition théorique des fumées.....	58
III-6-5- teneur théorique en produits agressifs.....	59
III-6-6- pouvoir calorifique supérieur et inférieur.....	59
III-6-7- enthalpie des fumées	60
III-6-8- excès d'air	60
III-6-9- température théorique de combustion (de la fumée)	61
III-7-Transfert de chaleur dans les fours.....	61
III-7-1-Introduction	61
III-7-2-Calculs thermiques	63
III-7-2-1-Radiation	63
III-7-2-1-1.Evaluation de la quantité de chaleur transmise en radiation.....	63
III-7-2-1-2 .Bilan thermique de la zone de radiation	64
III-7-2-2-Calcul du coefficient global d'échange	64
III-7-2-2-1-Rayonnement direct	65
III-7-2-2-2-Facteur d'émission des gaz de combustion	65
III-7-2-2-3-Rayonnement des réfractaires nus	65
III-7-2-3-Détermination pratique.....	67
III-7-2-4-Méthode DE LOBO-EVANS	68
III-7-2-5-Convection.....	68
III-7-2-6-Perte de charge	69

Chapitre IV : La sécurité d'Usine

IV-1-Introduction.....	72
IV-2- Services de la sécurité.....	72
IV-2-1- Service de surveillance	72
IV-2-2- Service de prévention	72
IV-2-3- Service d'intervention	72
IV-3-Quelque risques liés au procédé	73
IV-3 ,1- Au niveau des conduits et capacités	73
IV-3,2- Au niveau des vannes	73
IV-3,3 - Au niveau des machines tournantes	73

IV-3,4- Au niveau des systèmes électriques	73
IV-4- Mesure de sécurité générale.....	74
IV-4,1 - protection des personnels	74
IV-4,2 - Protection de l'équipement	74
IV-4,3-Protection contre les incendies	75
IV-5-Sécurité des fours	76
IV-5,1-fonctions de sécurité	76
IV-5,2- sécurité des brûleurs.....	76

Chapitre V : Calcul de four H182

V-1-Conception du four	78
V-2- Caractéristique de four H182	79
V-3-Problème du four H182.....	79
V-4-Calcul de four H182	80
V-1. Calcul de la combustion	81
V-1-Réaction a combustion	81
V-1-2. Quantité d'oxygène (O ₂) nécessaire à la combustion	81
V-1-4. Les quantités des produits de la combustion (Composition des fumées)	82
V-1-5. Caractéristique des fumées	83
V-1-6-Calcul les spécifications des fumées et de gaz combustible	85
V-1-7. Pouvoir calorifique du combustible	86
V-2-2. La quantité de chaleur dégagée dans la chambre de combustion	87
V-2-3.Calcul du rendement par les données de départ	87
V-2-4-Le débit des fumées	87
V-2-5-Le nombre des brûleurs	87
V-2-6-Calcul de l'enthalpie	88
V-2-7-Calcul du rendement actuel	88
V-2-8-Conclusion.....	88
Conclusion générale	89

Introduction

Introduction :

Le pétrole constitue une source d'énergie mondiale très importante et occupe une place de choix. Ces derniers temps le gaz naturel voit son ampleur s'étendre par rapport aux autres sources d'énergie. Vue son aspect protecteur d'environnement.

L'Algérie, autant qu'exportateur d'hydrocarbures, a pris conscience de l'importance d'exploitation du gaz naturel, par ailleurs elle a construit des complexes importants, a titre d'exemple le complexe d'ALRAR. Cette usine est constituée de quatre trains parallèles et identiques. Chaque train se compose de plusieurs éléments : échangeurs, ballon, aérofrigorant, sécheur, pompe et enfin le four.

Le gaz est séparé en phases vapeur et liquide. Ces deux phases sont à l'origine d'alimentation des différentes sections de traitement afin d'obtenir les produits désirés, tel que : GPL, condensat, gaz sec, propane et butane, selon les besoins du marché.

Durant son traitement le gaz doit être déshydraté afin d'éliminer l'eau restante qui est à l'origine de formation des hydrates dans les déshydrateurs généralement à tamis moléculaire avant d'être séparé. Pendant le traitement, les besoins en calories peuvent être assurés, soit par chauffage direct des produits (flamme des brûleurs, rebouillage) ou par le réchauffage indirect grâce aux fluides de transfert thermique appelés fluides caloporteurs dans des systèmes de boucle de chauffage fermée au niveau du four.

Au niveau de l'unité d'ALRAR les besoins en chaleur pour le fonctionnement normal des trains 1.2.3 et 4 et l'unité de distribution du fuel gaz sont assurés par une huile caloporteuse chauffée au four de 204°C à 288°C.

L'objectif de notre travail est d'étudier le four H182 affier de vérifier son rendement et de contrôler son bon fonctionnement .

chapitre

I-1-Introduction

Le gaz naturel est l'une des formes les plus courantes des hydrocarbures que l'on extrait des gisements.

Le gaz naturel peut exister à l'état liquide ou gazeux selon les conditions de pression et de température qui règnent dans leur gîte naturel ou dans les installations de production par lesquelles il transite.

I-2-Les types de gaz

On distingue plusieurs types de gaz :

I-2,1-Gaz à condensât

Un gisement contient du gaz à condensât quand la température du réservoir est comprise entre la température critique du mélange et la température maximum d'équilibre des deux phases, et si la pression du réservoir est supérieure ou égale à la pression de saturation à la température d'équilibre (1).

I-2,2-Gaz humide

Un gaz est dit humide s'il est associé à une production de liquides dans les conditions ambiantes de surface sans donner lieu à une condensation rétrograde dans le réservoir (1).

I-2,3-Gaz sec

Un gaz sec ne produit pas de liquides ni dans les conditions de surface, ni dans le réservoir (1).

I-3- Caractéristiques de base des gaz naturels

Les gaz naturels peuvent être caractérisés essentiellement par trois propriétés:

- la densité,
- le pouvoir calorifique,
- la composition chimique.

I-3,1-Densité

Habituellement la densité d'un gaz est définie par le rapport de la masse volumique dans les conditions de référence choisies (par exemple : pression atmosphérique et température normale) à celle de l'air dans les mêmes conditions (1).

La densité des gaz naturels est couramment mesurée par des balances qui comparent à la même température la poussée d'Archimède, sur un flotteur, de l'air et du gaz à étudier.

La densité d'un gaz peut être aussi déterminée à partir de sa masse moléculaire, que l'on peut définir au moyen de sa composition chimique, en utilisant la relation :

$$\text{Densité du gaz} = \text{masse moléculaire} / 29.$$

I-3,2-Pouvoir calorifique*** Définition**

On appelle pouvoir calorifique d'un combustible liquide ou gazeux, la quantité de chaleur dégagée par la combustion d'une unité de masse ou de volume. Pour un gaz, le pouvoir calorifique s'exprime en joules par mètre cube mesuré dans les conditions de référence (1).

On utilise deux valeurs de pouvoir calorifique : pouvoir calorifique supérieur (PCS) et inférieur (PCI).

- **PCS** : correspond à la chaleur totale dégagée lorsque tous les produits de la combustion sont ramenés à la température ambiante. L'eau formée reste à l'état liquide.
- **PCI** : correspond à une réaction de combustion dans laquelle l'eau resterait à l'état de vapeur.

Le PCS diffère du PCI d'une quantité qui est égale à la chaleur latente de vaporisation de l'eau.

On mesure le pouvoir calorifique d'un gaz par combustion dans un calorimètre. On peut aussi le déterminer indirectement à partir de sa composition chimique.

Le PCS d'un gaz naturel dépend de sa composition, et il est de l'ordre de 40 mégajoules/Nm³

I-3,3-Composition chimique :

Elle indique la nature des composés hydrocarbures et autres constituants de gaz et leur importance relative dans le mélange par l'intermédiaire de leur fonction volumique ou moléculaire.

La composition chimique d'un gaz est utilisée pour les études de vaporisation. Elle sert aussi à calculer certaines de ces propriétés en fonction de la pression et de la température

(compressibilité, densité) et à définir les conditions de son traitement lors de l'exploitation (extraction des produits liquides) (1).

I-4-Point de rosée "eau"

Lorsqu'un gaz se refroidit, le point de rosée "eau" est, sous une pression donnée, la température à laquelle commence la condensation de l'eau, ou plus généralement celle correspondant à l'apparition d'une seconde phase (eau liquide, glace, hydrates).

Risques associés à la présence d'eau dans le gaz :

Si les conditions de pression et de température sont favorables à la formation d'eau liquide, de glace ou d'hydrates de gaz naturel, les risques sont les suivants :

- corrosion des tuyauteries en présence, même réduite, de gaz acides c'est-à-dire d' H_2S et /ou de CO_2 .
- formation de glace, du fait de la température extérieure, dans les canalisations non enterrées ou au niveau des postes de détente.
- accumulation de glace ou d'hydrates (état solide) en certains points du réseau pouvant entraîner l'obturation de tuyauteries, notamment dans les postes de détente.

I-5-Le GPL

Les GPL sont des gaz facilement liquéfiables à la température ambiante sous une faible pression (4-18 atm) : cette particularité permet un stockage et un transport plus simples que le méthane, l'éthane, l'éthylène, qui exigent des pressions très élevées pour pouvoir être liquéfiés à la température ambiante.

Les GPL raffinés sont en général presque inodore et extrêmement inflammable, étant donné leur grande volatilité. Ils peuvent donner, au contact de l'air, des mélanges explosifs. Pour mieux les reconnaître ou déceler d'éventuelles fuites, on leur donne une odeur particulière au moyen de substances appropriées (mercaptans).

Les GPL ne sont pas vraiment toxiques : ils présentent tout au plus un léger pouvoir anesthésiant, s'ils sont inhalés longuement et peuvent provoquer des migraines et des maux d'estomac.

Le GPL lorsqu'il se répand sous sa forme liquide, hors d'un container sous pression. S'évapore en produisant du froid : au contact de la peau, il provoque des brûlures caractéristiques appelées « brûlures froides » (2).

I-5,1-Le GPL en Algérie

Depuis le début des années 1990, dans le cadre d'une politique de valorisation maximale de ses ressources gazières, la société nationale SONATRACH a lancé un ambitieux programme de développement, en vue d'augmenter la contribution des GPL dans les exportations globales d'hydrocarbures et d'accroître ainsi les recettes en devises de pays.

Ce plan de développement s'articule autour des principaux objectifs suivants :

- La récupération de GPL par le développement de nouveaux champs gazières (champs de : Alrar, Hassi R'mel sud phase B, Hamra, Rhoude nous).
- Exploitation des champs unités de séparation de pétrole brut (champs de : Ohanet, Fouyé Tabankort, Gassi Touil, Hassi Massaoud, Rhourde El Bagule, Oude Noumer, In Amenas).
- Le développement d'infrastructure de transport, par la réalisation d'un pipe de GPL de près de 1000Km appelé LR1, à partir du champ d'Alrar jusqu'à Hassi R'mel.
- L'extension de la capacité des complexes de séparation GL1Z et GL2Z situés à Arzew portée à 8.4 millions de tonnes par an (3).

I-5,2- Origine du GPL

Le GPL est extrait à partir de diverses sources qui peuvent être :

- Du pétrole brut après raffinage comme sous produit.
- De la récupération à partir des champs gaziers.
- De la récupération à partir des unités de liquéfaction du gaz naturel (GNL).

I-5,3- Caractéristiques du GPL

I-5, 3,1-Tension de vapeur :

Soumise à des températures supérieures à leurs points d'ébullition, le propane et le butane ne peuvent être amenés à l'état liquide que sous pression ou par réfrigération.

Tension de vapeur à 20°C : butane=2bars, propane=8bars (2).

I-5, 3,2-Densité

A l'état gazeux, ils sont plus lourds que l'air, la densité du propane égale 0.510 et celle de butane égale 0.580 (2).

I-5,3, 3-Expansion :

A l'état liquide, ils ont un coefficient de dilatation important dont il faut tenir compte lors de leur stockage (2).

I-5,3,4-Pouvoir calorifique :

Le GPL a un pouvoir calorifique élevé tel que :

- Propane = 12200 Kcal/Nm³
- Butane = 11800 Kcal/Nm³

I-6- Le condensât**I-6,1-Définition**

Le condensat est constitué d'un mélange d'hydrocarbures paraffiniques, de l'iso pentane C₅ jusqu'au dodécane et plus C₁₂⁺ ; généralement extrait des gisements de gaz à condensat, il est sous forme liquide dans les conditions normales de température et de pression (3).

I-6,2-Caractéristiques du condensât

Les principales caractéristiques physiques du condensat sont :

I-6, 2,1-Aspect

C'est un liquide incolore, avec une odeur d'essence.

I-6, 2,2-Point d'éclair

Son point d'éclair est inférieur à -40°C.

I-6, 2,3-Limitent d'inflammabilités

Il est très inflammable, car il a un point d'éclair inférieur à zéro, ses limites d'inflammabilités sont approximativement : 1.4 à 7.6% vol (dans l'air) (3).

➤ Densité de vapeur

- Les vapeurs du condensât sont plus lourdes que l'air, la densité de vapeur est de 3 à 4 (dans l'air).

➤ Explosivité et inflammabilité

- Le condensat est un fluide hautement inflammable et évaporable à température et pression normale, du fait qu'il n'est pas électro-conducteur, présente un

danger d'inflammation ou explosion du fait de l'étincelage électrostatique amorcé par coulage, filtration, chute, pulvérisation, etc. On devra faire attention car les vapeurs du condensat constituent un mélange gazeux explosif se répandant par terre du fait de sa densité plus élevée que celle de l'air.

➤ **Toxicité physiologique**

- Les vapeurs de condensat sont toxiques. Lorsque un homme s'y expose, le premier symptôme constaté sera l'irritation des yeux ce qui sera suivi de symptômes névropathies, lorsque la concentration des vapeurs du condensat sont de l'ordre de 0.025 à 0.05% vol.
- Dans l'air, elles ne peuvent pas causer de symptômes sérieux, même après plusieurs heures d'inhalation **(1-3)**.

➤ **Précautions hygiéniques**

- Pour prévenir l'intoxication, on doit réaliser une ventilation convenable des locaux de travail et maintenir la concentration des vapeurs du condensat à moins de 300 ppm **(1)**.

I-7-Techniques de traitement de gaz

Les techniques de traitement de gaz sont multiples, et le choix de l'une d'elles se base sur les critères suivants **(4)** :

- Taux de récupération visé
- Coût global de l'investissement

Les procédés les plus utilisés sont :

- Procédé **PRICHARD**
- Procédé **HUDSON**
- Procédé mixte (**PRICHARD et HUDSON**)

I-7,1- procédé PRICHARD

Il est basé sur le refroidissement du gaz par échange thermique et par une détente avec utilisation d'une boucle de propane comme système réfrigérant, pour atteindre en fin de cycle des températures voisines de -23 °C (4).

I-7,2- procédé HUDSON

Le procédé HUDSON est basé sur refroidissement du gaz par échange thermique et complété par une détente à travers une machine appelée **TURBO –EXPANDER**, qui permet d'atteindre un niveau de température inférieure à -55°C .

Le procédé HUDSON est très performant, il permet une meilleure récupération des hydrocarbures liquides (4).

I-7,3-Procédés mixtes

C'est les procédés utilisés dans l'unité de traitement d'alrar.

Ils sont les plus performants, car ils utilisent le turbo-expander, la vanne Joule- Thomson et la boucle de propane, ou on atteint les -66°C

Les procédés mixtes sont plus performants, car ils permettent une meilleure récupération des hydrocarbures (4).

Les gaz brut en provenance des puits producteurs est un mélange (gaz et hydrocarbures liquides) contenant une faible proportion d'eau de gisement. Elle se présente à une pression De **67,5 bars** et une température max de **100°C**.(Pour AIRAR)

Le fonctionnement s'articule autour de quatre étapes essentielles qui sont :

I-7, 3,1-Elimination de l'eau

L'eau libre contenue dans la charge est éliminée par décantation au niveau du premier ballon de séparation.

L'eau de saturation des hydrocarbures est éliminée par adsorption sur un tamis moléculaire ou par absorption au glycol.

I-7, 3,2-Extraction des hydrocarbures liquide

Elle se fait par abaissement progressif de la température du gaz brut obtenant ainsi un gaz très sec répondant aux spécifications commerciales (5).

I-7, 3,3-Stabilisation et fractionnement des hydrocarbures liquides

Cette section de la chaîne permet le traitement des hydrocarbures liquides extraite de l'effluent en deux phases et par distillation fractionnée (5).

La stabilisation permet d'éliminer tous les gaz légers tels que le méthane et l'éthane

I-8-Composition de l'alimentation :

Tableau1 (I-1) : Composition du gaz d'alimentation de l'unité d'ALRAR le 23/01/2010 ; (6).

Composants	Gaz d'Alrar (% molaire)	Liquide de Stah / Mereksen (% molaire)
N ₂	0,32	0,02
C ₁	75,37	15,14
C ₂	9,23	16,63
CO ₂	4,39	0,81
C ₃	4,25	26,86
iC ₄	0,81	5,63
nC ₄	1,45	18,19
iC ₅	0,58	5,23
nC ₅	0,51	6,03
C ₆	0,76	3,43
C ₇	0,56	1,45
C ₈	0,51	0,46
C ₉	0,38	0,11
C ₁₀	0,28	0,01
C ₁₁	0,18	0,00
C ₁₂ ⁺	0,42	0,00
Σ	100,00	100,00
Poids moléculaire	24,49	46,52

Chapitre II



II-1- Présentation de champ d'ALRAR

II-1,1- Situation géographique :

Le champ d'Alrar est situé dans le bassin d'ILLIZI à la frontière Algéro-Libyenne, à 120km environ au nord d'In Amenas sur une superficie de 900 km², à 1800 Km au sud d'Alger, à 800 km au Sud Est d'OUARGLA, à 400 km au Nord- Est d' ILLIZI et à 40 Km au nord du champ pétrolière de Zarzaitine. Il est caractérisé par une importante accumulation de gaz à condensât. Il a été découvert en Août 1961 (7).

Le nombre de puits en service sur le champ, est de 56 puits dont :

- 35 puits producteurs de gaz.
- 21 puits injecteurs de gaz.

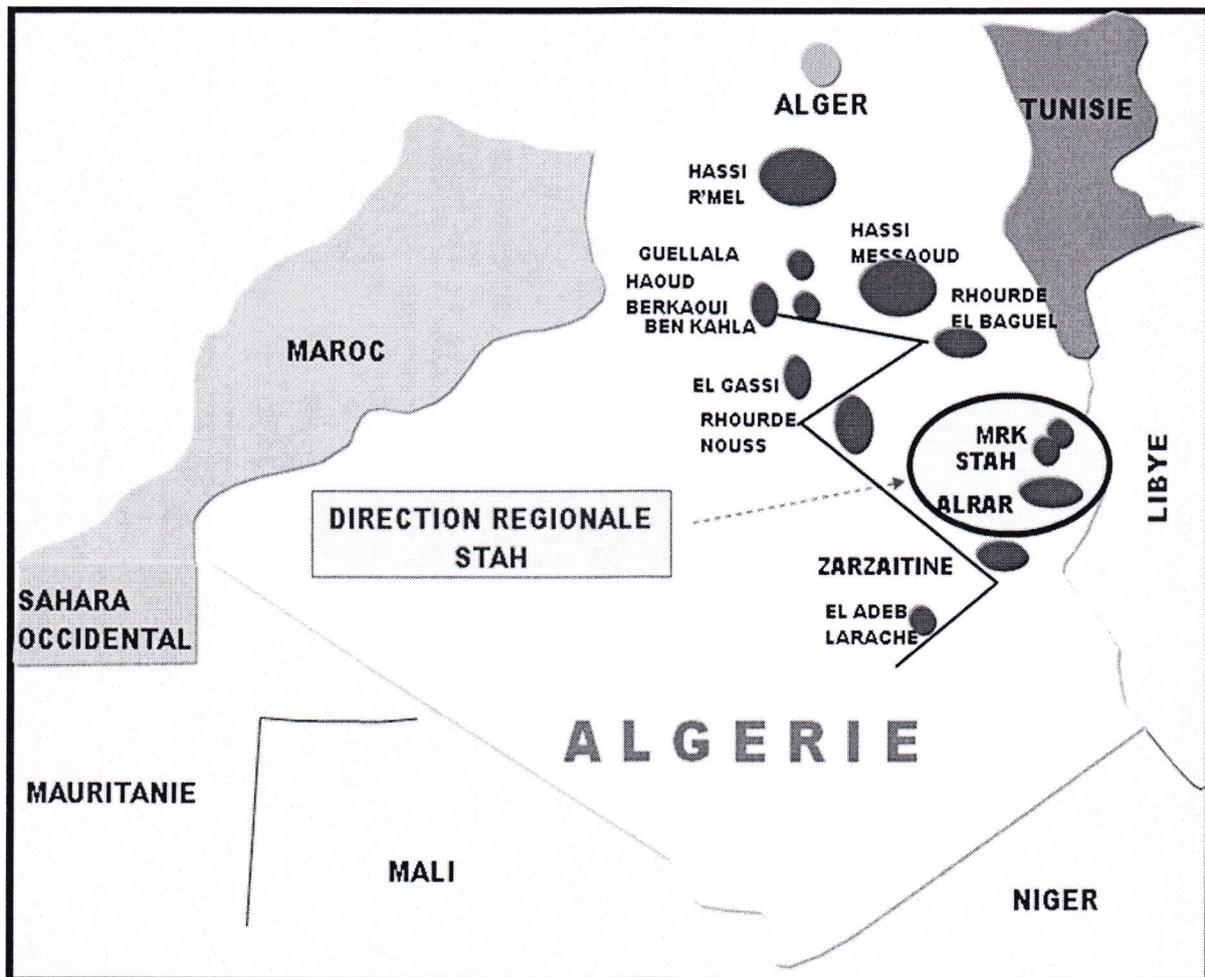


Figure II-1: situation géographique de champ d'ALRAR (7)

II-1,2- Historique:

Les travaux de réalisation du complexe d'Alrar ont débuté en 1978 par la firme Américaine « **Fluor-Texas** » et est mis en service par **Sonatrach** en 1984.

Les travaux de l'extension de l'usine (quatrième train) ont été réalisé par « **Mitsubishi** », et la mise en service a été faite en 1997 (7).

II-1,3- Capacité des installations :

Les installations de traitement de gaz d'Alrar sont conçues pour traiter 24.8 millions Sm^3/jour de gaz d'alimentation dans quatre trains parallèles, dont la capacité de chaque train est de 6.2 millions Sm^3/jour , afin de récupérer le maximum du produit propane plus (8).

Les gaz associés produits sur les champs d'huile de Stah et de Mereksen sont récupérés à l'aide des compresseurs puis envoyés vers Alrar où ils sont traités dans une section à part.s
La production journalière en condensât est de l'ordre de 4300 tonnes expédiée vers Ohanet, et celle du GPL est de 2500 tonnes expédiée vers Haoudh- El-Hamra.

Le gaz sec produit est destiné pour:

- la vente, via GR1/GR2 vers Hassi- R'mel,
- Zarzaitine,
- les besoins de la réinjection à travers 21 puits injecteurs dans le gisement d'Alrar Est,
- les besoins de la réinjection au niveau des champs de Stah et de Mereksen.

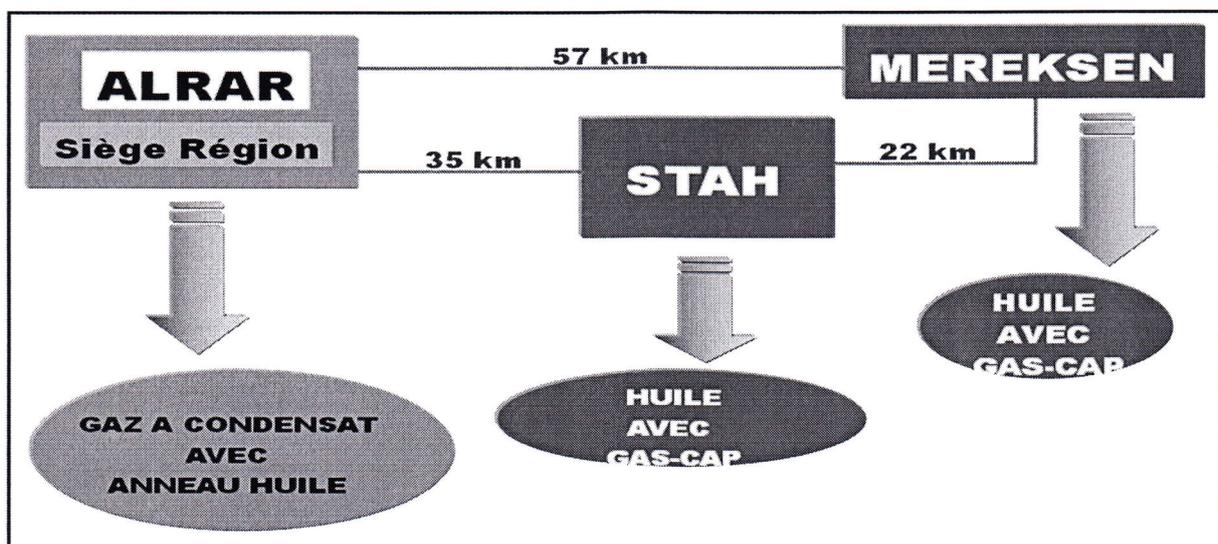


Figure II-2 : schéma d'implantation des unités (7).

II-1,4-L'aire de stockage comprend

- 03 bacs à toit flottants de capacité unitaire de 7276 m³ pour le condensât stabilisé
- 01 bac à toit fixe de capacité unitaire 7994 m³ pour le condensât à traiter
- 03 sphères de capacité 3978 m³ chacune pour le GPL stabilisé
- 01 sphère de capacité 949 m³ pour le GPL à traiter
- 02 cigares de propane et 02 autres de butane de capacité de 75 m³ chacune
- 01 station de chargement de butane et propane pour camions citernes

II-1,5-Puits producteurs

La pression au niveau de la tête du puits est de 135,5 bars effectifs (8)

Chaque puits comporte l'équipement suivant :

- vanne d'arrêt XV-801 à chaque tête de puits
- indicateurs de pression et de température en amont et en aval de la duse de production HCV-803
- une duse de production HCV-803 pour contrôler le débit à partir du puits
- un indicateur /totaliseur de débit pour contrôler la production FI-802
- une vanne à duse HCV-804 pour la mise à l'atmosphère des gaz produits à partir du puits
- une soupape de sécurité PSV-801 pour protéger le réseau collecteur contre la surpression
- une pompe d'injection de produits chimiques en tête de puits, P-801 pour la fourniture d'une moyenne de 10,5 ppm d'inhibiteur de corrosion au gaz de la de puits en amont de HCV-803

II-2- Description de procédé d'ALRAR

II-2,1-Séparation à l'entrée des trains

Le gaz d'alimentation pénètre dans le séparateur d'entrée V-101 à une pression de 67,4 bars effectifs et une température maximale de 80°C.

Le gaz s'échappe vers le haut du ballon V-101 et passe dans la conduite de gaz d'alimentation, et les hydrocarbures liquides sont récupérés au fond du ballon V-101, alors que les eaux sont évacuées dans le système de drainage vers le borbier (8).

Les hydrocarbures liquides en provenance du V-101 sont refroidis par l'aéroréfrigérant des liquides E-105 jusqu'à une température de 60°C, et à 27°C dans l'échangeur à propane frigorigène E-104 afin de réduire au minimum la vaporisation des hydrocarbures liquides propane plus- les liquides refroidis sont ensuite acheminés vers le ballon flash des liquides HP (V-103). Voir la **figure (II-3)**.

II-2 ,2-Refroidissement et déshydratation du gaz d'alimentation

Le gaz d'alimentation en provenance de V-101 est d'abord refroidi jusqu'à 60 °C dans l'aéroréfrigérant E-101 et fait ensuite l'objet d'un échange de chaleur avec du gaz résiduel dans l'échangeur E-102, et dans l'échangeur à propane E-103, puis passe dans le ballon séparateur V-102 à 27°C et 64,8 bars, où les liquides condensés sont séparés du gaz, l'eau est traînée vers borbier à partir de l'appendice. Voir la **figure II-4 ,(8)**.

Les hydrocarbures liquides sortant du V-102 sont mélangés aux effluents d'E-104 et dirigés vers V-103.

Afin d'éviter la formation d'hydrates dans la section froide et de détente en aval, le gaz d'alimentation est déshydraté dans l'un des sécheurs de gaz V-121 A et B, muni de tamis moléculaires, le gaz sec est filtré par F-121, pour être acheminé vers la batterie d'échangeurs E-141(GR à 7°C), E-142(C3 à -15°C), E-143(GR à -23°C) et E-144(C3 à -34°C).

Durant la déshydratation, le gaz d'alimentation suit une direction descendante, une partie du gaz séché est prélevée en aval de F-121 et mise en réserve aux fins de régénération et de drainage des sécheurs de liquides V-131 A et B, (8).

Le gaz de régénération des V-121 A et B est pris en aval de F-121, puis chauffé jusqu'à 274°C par circulation d'huile chaude côté tube du réchauffeur E-122, le gaz de régénération saturé humide sortant du sécheur, passe dans l'aéroréfrigérant E-123 pour être refroidi à 60°C, l'eau et les hydrocarbures liquides condensés sont séparés du gaz dans le séparateurs V-122.

L'eau est vidangée vers le borbier, les hydrocarbures liquides sont acheminés aux fins de recyclage en amont du ballon de flash V-103, le gaz de régénération est comprimé par les soufflante C-121 A et B pour rejoindre le gaz d'alimentation à l'entrée du E-101.

Le gaz utilisé pendant le refroidissement est le même que celui de chauffage à l'exception qu'il contourne le réchauffeur E-122,(8)..

➤ Cycle d'un sécheur de gaz V-121 A et B

- 1- adsorption : 12 heures
- 2- phase de préparation
 - chauffage : 15 minutes
 - régénération : 5 heures
 - refroidissement : 02 heures
 - stand-by

II-2 ,3-Refroidissement et déshydratation des liquides

Après refroidissement dans E-105 et E-104, les hydrocarbures liquides sont combinés avec les liquides provenant de V-102 et du système de régénération V-122, pour être dirigés vers le ballon de flash HP V-103.comme **la figure II-5**

La pression dans V-103 est contrôlée en libérant les vapeurs vers le collecteur FGHP des utilités.

Les hydrocarbures liquides séparés dans le ballon V-103 sont humides, ils sont alors acheminés par l'une des pompes de liquides P-131 A et B vers le coalescer de liquide ME-131 pour l'élimination de l'eau, puis sont finalement déshydratés dans les sécheurs de liquide V-131 A et B munis de tamis moléculaires.

les liquides déshydratés sont envoyés au filtre F-131 où une partie ira pour le remplissage de l'autre sera combinée avec les liquides de STAHL / MEREKSEN avant d'être préchauffée par le réseau du V-163 dans E-166 et introduite dans le dééthaniseur V-161 au niveau du 6^{ème} étage.

Avant la régénération d'un secteur A et B, les liquides y en sont vidangés et sont envoyés vers le ballon V-103 sous l'effet de la pression du gaz d'alimentation prélevé en aval de F-121.

L'eau absorbée dans le sécheur assuré est éliminée par un courant de gaz résiduel se ramifiant sur la ligne de sortie de E-102 coté calandre est réchauffé à 274°C par circulation d'huile chaude coté tube du réchauffeur E-132, le gaz de régénération chaud et humide passe

ensuite à travers l'aéroréfrigérant décantée et le gaz est acheminé vers collecteur de fuel gaz des utilités, (8).

Le sécheur est ensuite refroidi puis remplis avant de passer en stand-by.

➤ **Cycle d'un sécheur liquide V-131 A et B :**

- 1- adsorption : 24 heures
- 2- phase de préparation :
 - vidange : 45 minutes
 - chauffage : 5 heures
 - régénération : 10 heures
 - refroidissement: 03 heures
 - remplissage : 45 minutes
 - stand-b

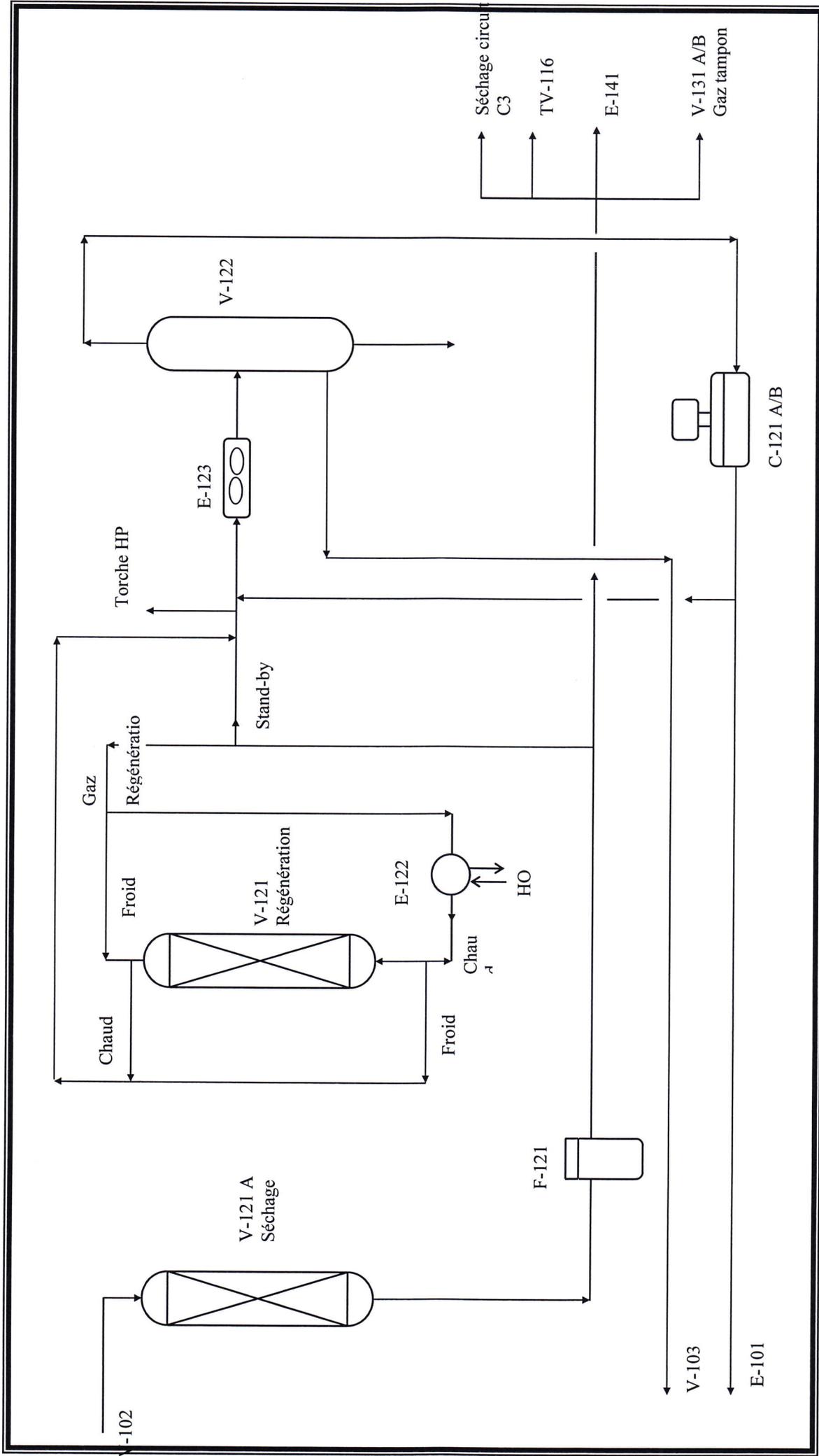


Figure II-4: Déshydrations du gaz d'alimentation et préparation d'un sécheur

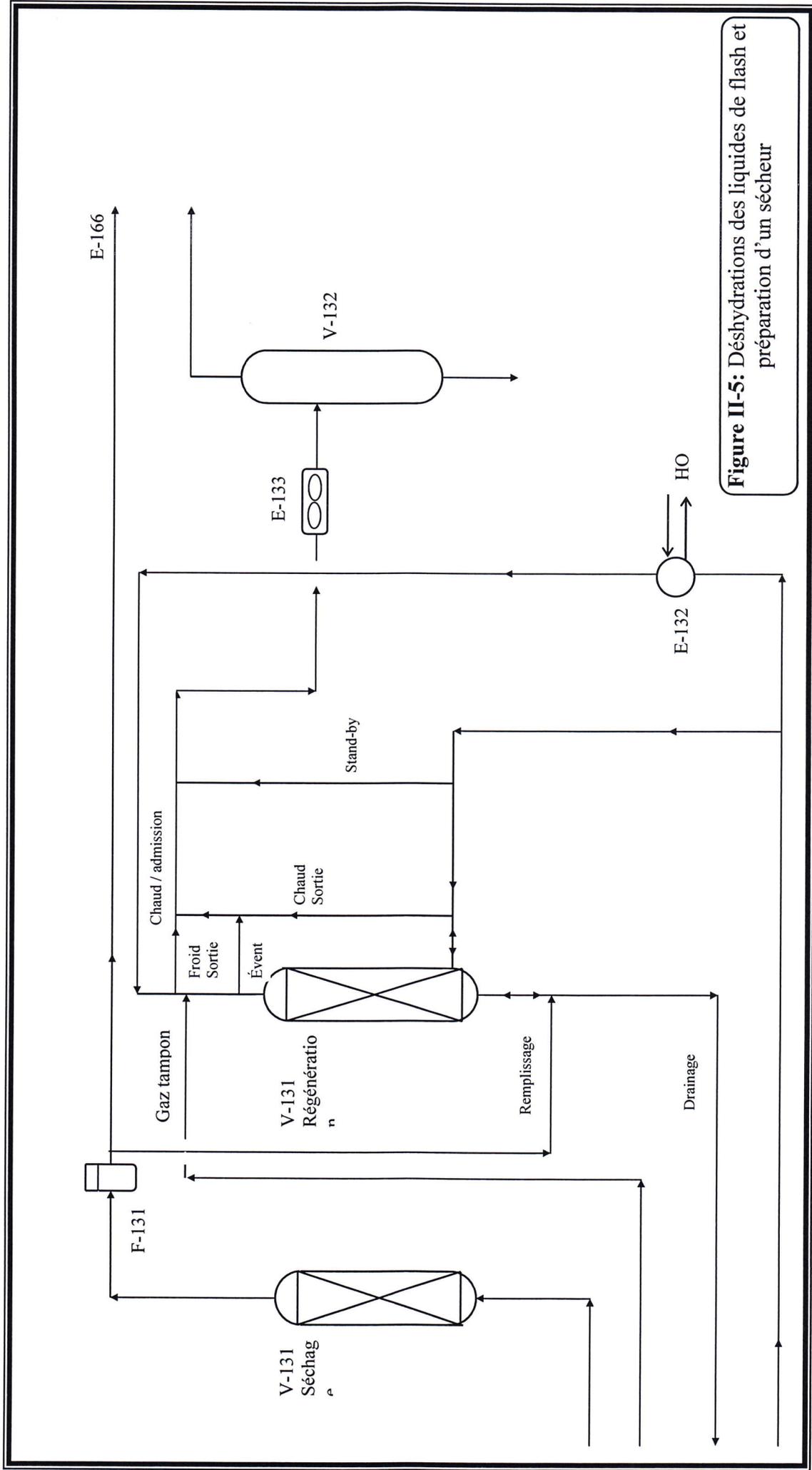


Figure II-5: Déshydrations des liquides de flash et préparation d'un sécheur

II-3-Réfrigération et détente du gaz

Le gaz déshydratés en provenance du filtre F-121, à 27°C et 63,5 bars est successivement refroidi jusqu'à 07°C dans E-141, échangeur à gaz résiduel, à -15°C dans l'échangeur à propane liquide dans E-142 à -23°C dans E-143, échangeur à gaz résiduel, et à -34°C dans l'échangeur à propane liquide E-144. voir la **figure II-6**.

Au fur et à mesure que la température du gaz est graduellement abaissée jusqu'à -34°C par la liquéfaction, ce produit et offre un mélange à deux phases, le liquide est alors séparé de la vapeur dans le ballon séparateur d'alimentation du turbo-expander V-141.

Le rôle de V-141 est d'empêcher l'entraînement de tout liquide vers l'entrée du turbo-expander, (8).

Les vapeurs en provenance de V-141 sont détendues de 60,3 bars à 30 bars dans le turbo-expander EC-141 et la température est abaissée, sous l'effet de la détente de -34°C à -65°C.

Le turbo-expander travaille en parallèle avec la vanne joule-thomson FV-101 A nouveau les hydrocarbures sont condensés et la séparation finale des phases est effectuée dans le ballon séparateur de refroidissement du turbo-expander V-142, les liquides de V-142 sont mélangés à ceux de V-141 et introduit au 19^{ème} plateau du déethaniseur V-161.

L'énergie résultant de la détente du gaz d'alimentation dans le turbo-expander est utilisée pour entraîner le compresseur directement couplé, du gaz résiduel venant du ballon V-142, alimentant respectivement E-161, E-143, E-141 et E-102 coté calandre.

Le gaz résiduel comprimé de 27bars à 32,9 bars est alors envoyé vers le compresseur C-171 à travers le ballon V-171.

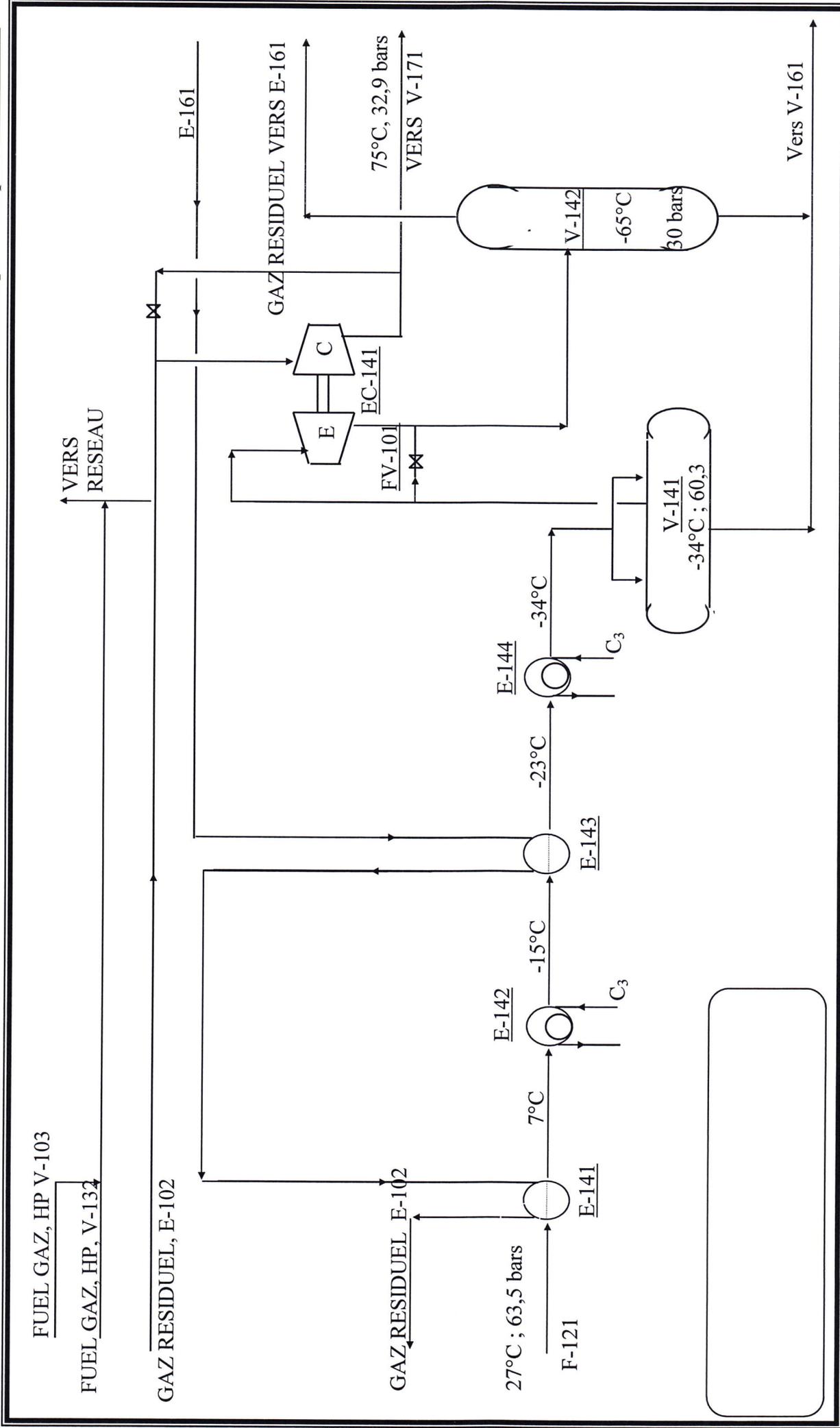


Figure II-6 : Réfrigération et détente du gaz

II-4-fractionnement

II-4,1-Le dééthaniser V-161

Le dééthaniseur est une colonne de reflux comportant 30 plateaux du type à calottes fonctionnant à 26 bars.

Elle est alimentée à partir :

- a) des liquides en provenance de V-141 et V-142 qui sont introduits au niveau du 19^{ème} plateau.
- b) des liquides de flash en provenance de V-131 A/B, des liquides de STA/MEREKSEN, et des liquides en provenance de V-171 qui sont introduits au 6^{ème} plateau.

La colonne est conçue pour rejeter l'éthane et le méthane en assurant un haut degré de récupération du propane plus, l'alimentation de la section inférieure de V-161 est chauffée jusqu'à 140°C par échange de chaleur avec les produits de fond de la colonne de stabilisation du condensât V-163 dans l'échangeur E-166 **(8)**.

Les vapeurs de tête sont partiellement condensées dans le condenseur du dééthaniseur E-161 et dirigés vers le ballon du reflux où :

- les vapeurs C1 et C2 sont acheminées vers le compresseur de gaz résiduel C-171 et incorporées au gaz résiduel de l'usine
- et les liquides condensés sont refoulés par les pompes P-161 A/B et injectés au niveau du 30^{ème} plateau comme produit de reflux de la colonne V-161.

Une partie des liquides de fond du plateau 1 du dééthaniseur, est vaporisée dans le rebouilleur E-162 par circulation d'huile chaude côté tube, et ce afin d'assurer la vaporisation de l'éthane du produit de fond, ces produits de fond ne sont autre que des hydrocarbures propane plus qui sont acheminés vers la colonne de stabilisation du condensât V-163. **Figure II-7, (8)**.

II-4,2-La colonne de stabilisation du condensât (débutaniseur V-163)

La colonne de stabilisation du condensât V-163 fonctionne à 16,1 bars, pression à laquelle sont ramenés les liquides propane plus provenant du dééthaniseur et introduits au niveau du 16ème plateau après avoir été préchauffés dans E-163 avec les produits de fond de la colonne de stabilisation V-163 **(8)**.

La vapeur de tête de la colonne de stabilisation du condensât est entièrement condensée dans l'aérocondenseur E-164 61°C et 15,7 bars et recueillie dans le ballon de reflux V-164 avant d'être acheminée par les pompes P-162 A/B vers :

- la tête de colonne V-163 à titre de reflux
- stockage dans T-403 A/B GPL on SPEC et T-404 GPL off spec
- les pompes d'alimentation de la colonne de fractionnement de GPL P-401 A/B
- les pompes d'injection de GPL P-163A/B

Les produits de fond sortant du débutaniseur V-163 à 212°C sont refroidis à 38°C par échange de chaleur avec les produits de fond du déethaniseur dans E-163, les liquides de flash dans E-166 et la réfrigération au propane dans E-167 avant d'être acheminés vers les bacs de stockage T-401 A/B/C (condensât on spec) et T-402 (condensât off spec).

Le fractionnement est assuré en vaporisant une partie du liquide du plateau 1 avec de l'huile chaude circulant côté tube du rebouilleur E-165. **Figure II-7.**

II-5-La boucle de réfrigération au propane

II-5,1-Définition de la boucle de réfrigération au propane

L'utilisation du propane comme fluide frigorigène permet d'assurer un apport de frigories permettant ainsi d'optimiser les quantités de GPL et de condensât récupérés dans le gaz brut d'alimentation. Comme **la figure II-8.**

Le principe consiste à condenser le propane par refroidissement, qui échangera ses frigories avec les gaz ou les liquides à refroidir **(8).**

Le système de réfrigération fournit trois niveaux de réfrigérant : -40°C, -21°C et +21°C correspondant respectivement aux pressions : 0,1 bars, 1,4 bars et 7,9 bars qui sont les pressions d'aspiration des trois étages du compresseur de propane C-151 qui est entraîné par une turbine à gaz.

Les vapeurs du réfrigérant sont comprimées jusqu'à une pression de refoulement de 20,5 bars et une température de 81°C, puis refroidies et condensées dans l'aéroréfrigérant E-151.

Le propane condensé est recueilli dans le ballon tampon V-154 avant d'être refroidi jusqu'à 53°C dans le sous refroidisseur du propane E-152 par échange de chaleur avec les vapeurs de tête de déethaniseur, **(8).**

Une dérivation à débit minimum maintient le débit vers les trois étages d'aspiration pour assurer le fonctionnement du compresseur indépendamment de la charge du procédé, un circuit

de refroidissement (trempe) en provenance de V-154 se mélange avec le circuit de dérivation à débit minimum, **(8)**.

Le propane en provenance de E-152 alimente :

- a) le ballon d'aspiration 3^{ème} étage du compresseur de propane V-153
- b) l'échangeur E-167 pour se refroidir les produits de fond de la colonne de stabilisation du condensât
- c) l'échangeur E-104 pour refroidir les liquides du séparateur d'entrée
- d) l'échangeur E-103 pour refroidir les gaz d'alimentation

Les vapeurs du réfrigérant sortant de ces trois échangeurs se mélangent au propane de la dérivation à débit minimum et sont introduits dans le ballon d'aspiration V-153 à une pression de 7,9 bars et une température de 21°C et aspirées par le 3^{ème} étage du compresseur C-151.

Le liquide du ballon V-153 alimente respectivement le ballon d'aspiration 2^{ème} étage V-152 et le refroidissement du gaz d'alimentation du gaz E-142, cette partie du réfrigérant liquide rejoindra le propane de la dérivation à débit minimum et sera aussi introduite dans le ballon V-152 à -21°C et 1,4 bars, le ballon V-152 alimente le 2^{ème} étage du compresseur C-151.

Le propane liquide en provenance de V-152 sert à refroidir d'avantage le gaz d'alimentation à travers l'échangeur E-144.

Les vapeurs de propane en provenance de E-144 sont mélangées au propane du circuit de la déviation à débit minimum et introduits dans le ballon V-151 dont les vapeurs alimentent le 1^{er} étage du compresseur C-151, à une pression de 0,1 bars et une température de -40°C.

Avec le temps, des impuretés peuvent contaminer le propane, elles seront retenues dans le pot de purification se trouvant sous V-151 et E-144, ces impuretés se déposent par gravité, il suffira alors d'isoler ce pot de purification de V-151 et E-144, de vaporiser les hydrocarbures légers, les composants lourds seront alors vidangés vers borbier, **(8)**.

Les purges des échangeurs E-103, E-104, E-167, E-152 et E-142 sont aussi récupérées dans le ballon V-151 muni du pot de purification cité précédemment.

A noter qu'un régulateur de pression est prévu sur chaque ballon (V-151, V-152, V-153 et V-154) pour acheminer les vapeurs de propane vers la torche en cas d'augmentation de pression.

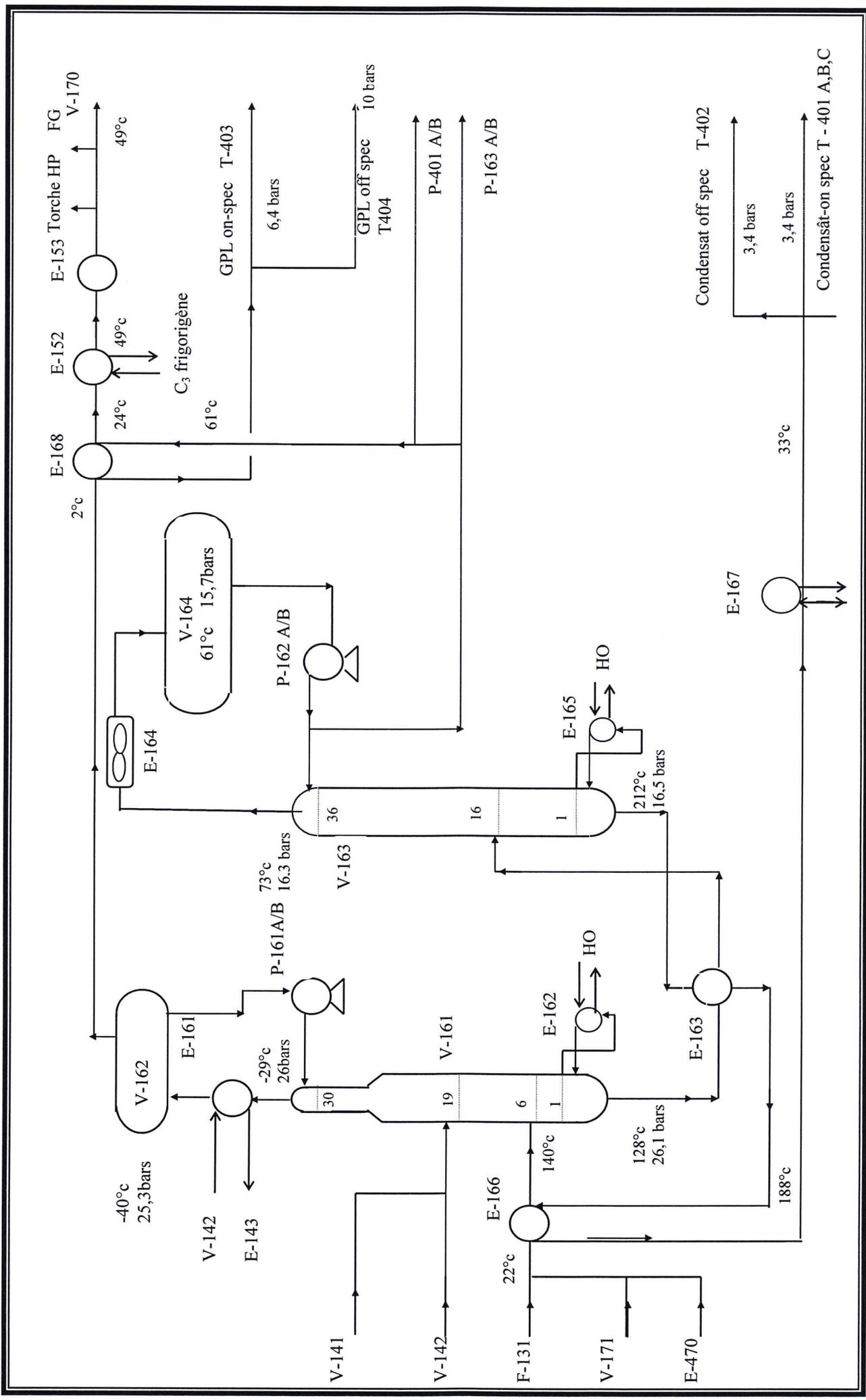


Figure II-7 : Fractionnement

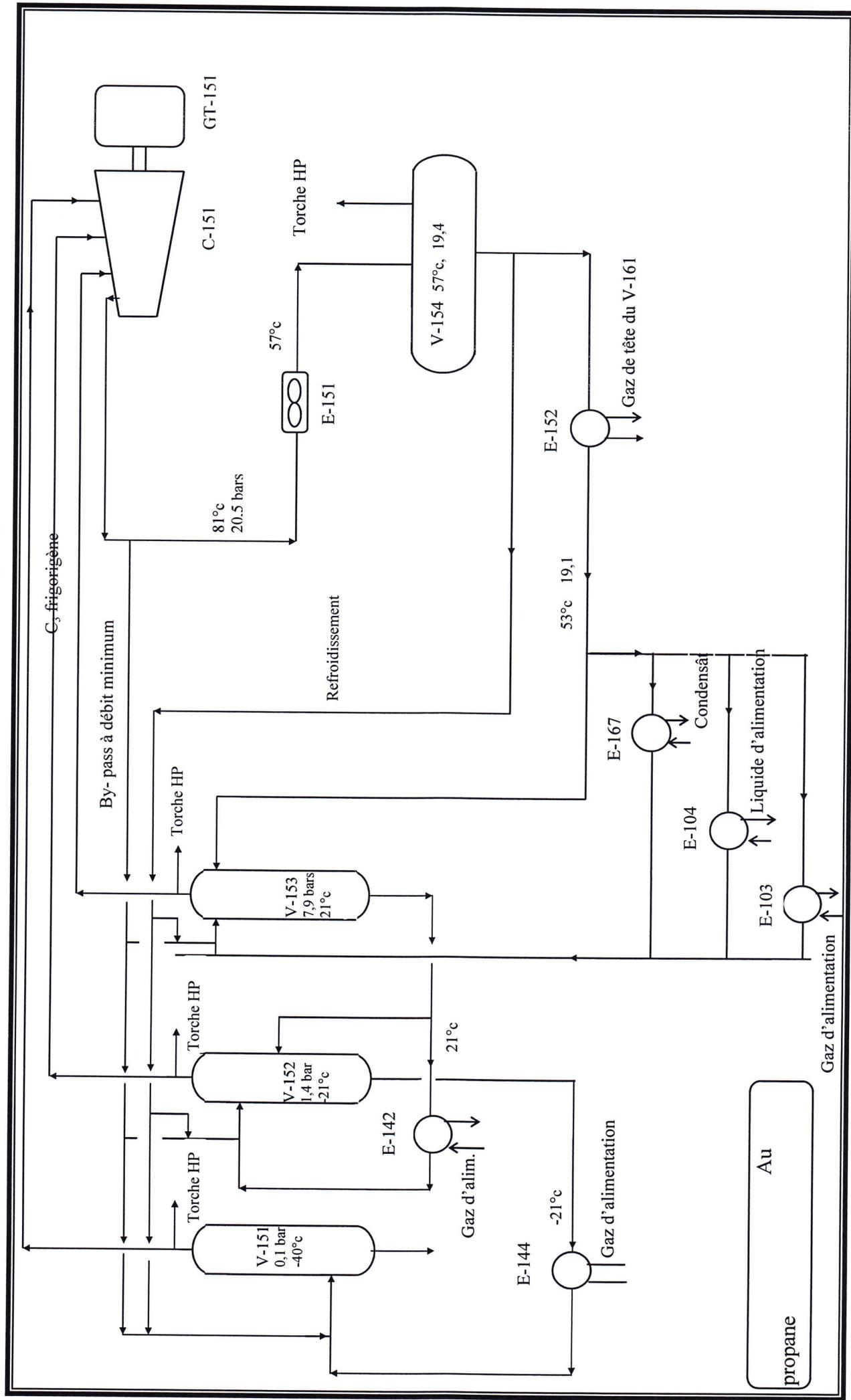


Figure II-8: Procédé de réfrigération

II-5,2-Avantages de la boucle de réfrigération au propane

Le rôle de la boucle de propane est principal car elle intervient directement sur la production par :

a- augmentation de la production :

- si la boucle est en service, la charge du train est à 100 %(6 MMSM 3/j) et la température sortie turbo-expander est de -65°C
- si la boucle est à l'arrêt, la charge du train est de 60 % et la température sortie turbo-expander est de -36°C due à un mauvais refroidissement du gaz

Cette réduction de la charge est motivée par le fait que les sécheurs de gaz dans chaque train ont une capacité d'absorption d'eau durant leur cycle de service de 160 KG/h, cette quantité est dépendante de la température du gaz d'entrée, avec la boucle de propane, le gaz à la sortie de l'échangeur E-103 est à 27°C, température à laquelle une grande quantité d'eau à l'entrée des sécheurs.(8).

Par contre, si la boucle de propane est à l'arrêt, la température du gaz après E-103 peut avoisiner les 45°C en été, à cette température la quantité d'eau récupérée dans le ballon V-102 diminue, donc la quantité d'eau vapeur dans le gaz augmente, ce qui entraînera une saturation rapide des sécheurs de gaz, d'où nécessité de réduire la charge. (8).

b- protection contre la corrosion

En l'absence de la boucle de propane, la température après l'aéroréfrigérant E-101 doit être ramenée au-delà de 48°C, à cette température et pour une pression de 67 bars, l'eau se condense à travers l'aéroréfrigérant E-101 en se combinant avec le dioxyde de carbone formant ainsi l'acide carbonique suivant la réaction :



L'acide carbonique se combine avec le fer donnant les carbonates de fer suivant la réaction



Alors que si la boucle de propane est en service, on peut garder la température à la sortie de l'aéro E-101 à 60°C, température pour laquelle la condensation de l'eau n'est pas importante (6-8).

Pour le train 4, les niveaux de température de propane sont différents des autres trains

TABLEAU II-1, les niveaux de température de propane pour le train 4 ,

Pression de vaporisation Du propane	Température de réfrigérant	Propane vaporisé
1,2 bar	-22°C	1 ^{er} étage C-151
3,6 bars	-1°C	2 ^{ème} étage C-151
7,8 bars	+21°C	3 ^{ème} étage C-151

II-6- Système d'huile chaude

II-6,1-Définitions

La pièce maîtresse de ce système est le four où à lieu le transfert de calories produites par combustion vers l'huile (fluide caloporteur), ce transfert de chaleur a lieu par convection, radiation et conduction vers l'huile qui circule dans un serpentin tubulaire, voire la figure II 9.

Le four est doté de brûleurs alimentés en combustible et en air, l'air de combustion est introduit par des volets réglables du fait de la dépression qui règne à l'intérieur du four (9).

L'huile chaude circule dans une boucle fermée, elle est pompée du ballon tampon V-181 par deux des pompes d'huile chaude P-181A/B/C/D et est envoyée partiellement aux échangeurs utilisateurs E-164 et E-153, le reste passe dans l'unité de récupération de chaleur H-181, où l'huile chaude est préchauffée par les gaz d'échappement provenant de la turbine à gaz du compresseur de gaz résiduel GT-171 jusqu'à 218°C, puis à 288°C dans le four à huile chaude H-182 et distribuée aux échangeurs utilisateurs suivants :

- E-122 : réchauffeur du gaz de régénération des sécheurs de gaz
- E-132 : réchauffeur de gaz de régénération des sécheurs de liquides
- E-162 : rebouilleur du dééthaniser
- E-165 : rebouilleur de débutaniseur
- E-177 : vaporisation de GPL
- E-403 : rebouilleur du dépropaniseur
- E-406 : réchauffeur du gaz de dégivrage
- E-430 : réchauffeur du gaz combustible de secours

Les retours d'huile provenant de chaque échangeur sont régulés en température par les aéroréfrigérants d'huile chaude E-181, avant de retourner dans le ballon tampon V-181,(8).

En cas d'arrêt de la circulation d'huile dans le serpentin, il faut impérativement arrêter les brûleurs, car le serpentin risque d'être surchauffé **(11)**.

A cet effet le four est doté d'une alarme bas débit d'huile, si ce débit est en dessous de 226 M3, il y aura déclenchement du four par FSL 158.

Idem pour la température d'échappement : si elle dépassait les 538°C, il y aura déclenchement du four et fermeture de la XV-139 **,(8)**.

II-6,2-Séchage du four

Quand le four est à l'arrêt pour une longue durée, il est nécessaire de faire un séchage (du four) avant sa mise en service, et si cette procédure est effectuée convenablement, le four donnera un service maximum sûr et sans problèmes.

Durant le séchage, il ne faut pas chauffer très rapidement car la vapeur produite dans le revêtement réfractaire entraînera un éclatement thermique et la perte éventuelle de la paroi réfractaire.

La procédure à suivre:

- traiter le revêtement réfractaire à l'air pendant 24 heures au moins.
- mettre en ligne le circuit d'huile chaude du four H-182.
- commencer l'écoulement en faisant démarrer l'une des pompes P-181.
- vérifier l'alimentation en fuel-gaz (pilotes et brûleurs).
- allumer tous les pilotes de telle manière d'atteindre une température entre 148°C et 204°C.
- allumer un brûleur et chauffer doucement, si cela n'est pas suffisant, en allumer un autre.
- maintenir la température de la cheminé (TJI 185) entre 148 et 204°C pour une période d'au moins quatre heures.
- si la température est de 204°C, mettre la TIC sur auto.
 - allumer suffisamment de brûleurs pour amener la température de la cheminé à 204°C et maintenir cette température pendant deux heures.
- augmenter le chauffage de manière à ce que la température de la cheminé augmente de °C par heure et jusqu'à ce qu'elle atteigne 343°C, la maintenir pendant une période d'au moins quatre heures **,(8)**.

N.B: S'il se produit un surchauffage à n'importe quel moment, éteindre tous les pilotes et brûleurs immédiatement et laisser refroidir.

II-7- Compression et réinjection.

II-7,1- Compression des gaz résiduels

Les gaz sortants du ballon de reflux du déethaniseur V-162 à une température de -40°C et à une pression de 25,3 bars effectifs, sont chauffés par échange de calories avec les produits GPL dans l'échangeur E-168 puis avec le propane réfrigérant dans E-152.

Ces gaz passent alors dans le ballon d'aspiration 1^{er} étage V-170 du compresseur C-171 à 49°C et à 21,9 bars effectifs après avoir été préalablement chauffés dans E-153.

Le gaz chaud refoulé à 104°C et 37,1 bars effectifs est refroidi dans l'aéroréfrigérant E-174 jusqu'à 60°C , puis mélangé avec le gaz résiduel du compresseur EC-141 à une pression de 32,9 bars effectifs et une température de 75°C , et le GPL provenant des pompes P-163 A ou B, P-421 A ou B vaporisé dans le cas nécessaire au niveau de E-177.

Ce gaz résiduel combiné alimente le ballon d'aspiration 2^{ème} étage V-171 du compresseur C-171 à 31,9 bars effectifs et à 70°C , avant d'être refoulé à 84,2 bars effectifs et à 168°C , puis refroidi jusqu'à 60°C dans l'aéro E-171. Voir **la figure II-10**.

A noter qu'une dérivation à débit minimal est prévu pour chaque étage du compresseur après refroidissement pour assurer le fonctionnement en continu de ce dernier indépendamment de la charge du procédé et éviter ainsi les problèmes de pompage ,(8).

Le gaz résiduel combiné refoulé par les C-171 (1, 2, 3,4) dans un collecteur commun est acheminé vers les trois groupes de compresseurs de réinjection(C-251-252 A, B, C), ZARZAITINE et HASSI R'MEL comme gaz de vente.

A noter que les 1^{er} et 2^{ème} étage des compresseurs C-171 (1, 2, 3,4) sont banalisés.

II-7,2- Ré injection des gaz résiduels

Le gaz résiduel combiné des quatre compresseurs C-171 (1, 2, 3,4) est mélangé au gaz de STAHL /MEREKSEN en provenance de E-475 et refoulé dans un collecteur commun. Il est (Le gaz) alors distribué entre les trois groupes de compresseurs de réinjection. **Figure II-11**

Le gaz est acheminé vers le ballon d'aspiration 1^{er} étage V-251 - à 80,7 bars et 60°C - du compresseur C-251, comprimé jusqu'à 163 bars, refoulé, refroidi, avant être introduit dans

le 2^{ème} étage du compresseur C-252 par l'intermédiaire du ballon d'aspiration V-252 à 160,5 bars g et 60°C, **(8)**.

Le gaz est refoulé à 321,3 bars et 131°C, refroidi jusqu'à 85°C dans l'aéroréfrigérant E-252, avant d'être acheminé vers les puits injecteurs d'ALRAR Est.

***NB:** une modification a été opérée en amont de la PV-261 pour expédier le gaz vers STAH/MEREKSEN à 260 bars effectifs max.*

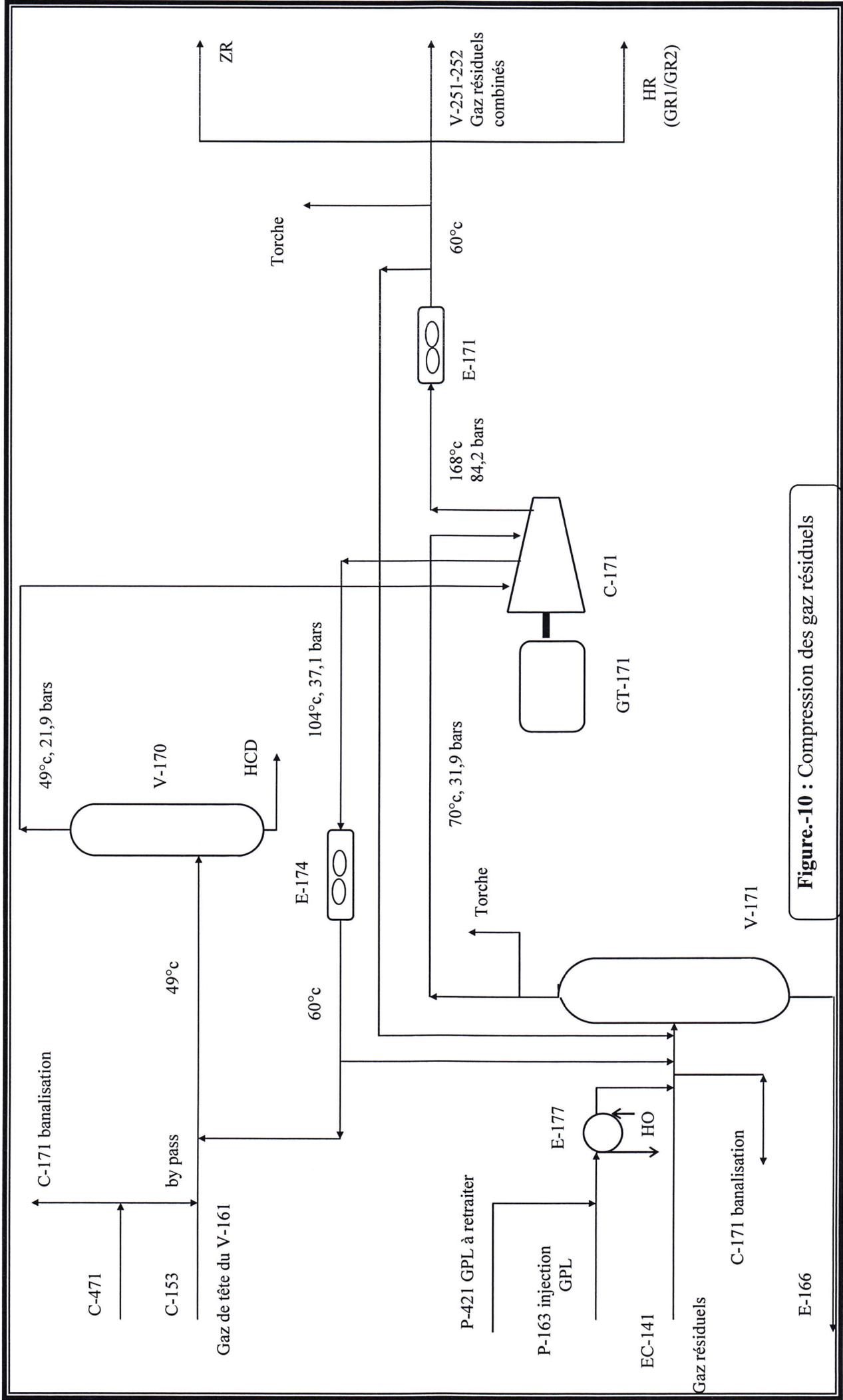


Figure.-10 : Compression des gaz résiduels

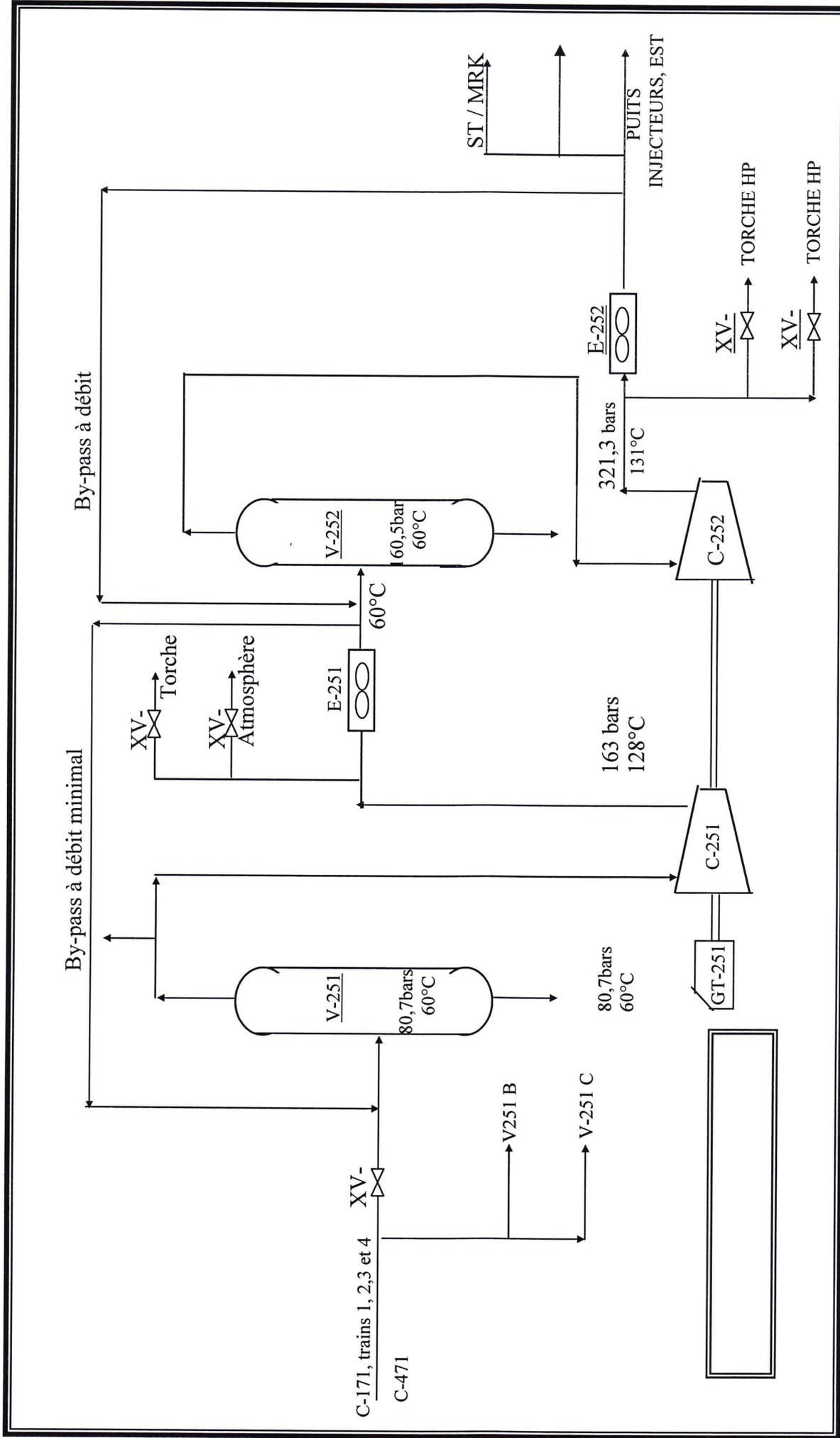


Figure11: Réinjection des gaz résiduels

II-8-Récupération des liquides et compression du gaz STA/MEREKSEN :

II-8,1-Définition

Le gaz d'alimentation en provenance de STA/MEREKSEN entre dans le ballon séparateur V-470 à une pression de 26,5 bars et une température de 54°C. Après cette séparation préliminaire les liquides sont acheminés vers le E-104 des trains 1, 2 et 3 par les pompes P-471 A ou B, et les gaz sont dirigés vers la batterie d'échangeurs (E-471, E-472, E-473 et E-474) pour être refroidis jusqu'à -18°C par échange de chaleur avec le gaz résiduel froid dans E-471 et E-473 et avec le propane frigorigène dans les échangeurs E-472 et E-474.

Le gaz froid est introduit dans le ballon V-471, les liquides résultant de la séparation sont utilisés pour sous refroidir le propane dans E-470 puis acheminés vers le E-166 du déethaniseur V-161 des trains 01, 02 et 03 par l'une des pompes P-472 A ou B; et le gaz refroidit le gaz d'alimentation dans les échangeurs E-473 et E-471, puis introduit dans le ballon d'aspiration V-472 du compresseur C-471 pour le comprimer de 20,7 bars effectifs à 85,3 bars effectifs. Le gaz résiduel chaud refoulé par C-471 est refroidi jusqu'à 60°C dans l'aéroréfrigérant E-475. Une partie comme dérivation à débit minimal est prévue pour maintenir le compresseur en fonctionnement indépendamment de la charge du procédé, (8).

Le gaz résiduel à une pression de 84 bars effectifs et une température de 60°C est envoyé vers ZARZAITINE ou bien combiné avec les gaz résiduels des quatre trains puis acheminés vers les ballons d'aspiration des compresseurs C-251 A/B/C pour la réinjection. N.B: Actuellement, le gaz résiduel de C-471 est envoyé vers HASSI R'MEL à 65 bars, à travers les gazoducs GR1/GR2.

II-8,2- Boucle de réfrigération à propane

Le système de réfrigération au propane fournit deux niveaux de réfrigération, -23°C et +2°C.

Les niveaux de pression du réfrigérant correspondant aux températures susmentionnées sont les pressions d'aspiration des deux étages du compresseur C-472 : 1,2 et 4,1 bars effectifs. A signaler que ce dernier est entraîné par un moteur électrique, (8).

Le réfrigérant est principalement utilisé pour refroidir le gaz d'alimentation de STA/MEREKSEN et le propane sortant du dépropaniseur V-401. **figure II-12**

Les vapeurs du propane frigorigène sont comprimées dans le compresseur C-472 jusqu'à 21,2 bars effectifs puis refroidies à 60°C et condensées dans l'aérocondenseur E-479. Le propane liquide est recueilli dans le ballon V-476, il est refroidi jusqu'à 16°C dans le E-470 en préchauffant le liquide de V-471, et passe aux utilisateurs suivants:

- E- 405 pour refroidir le propane allant vers stockage,
- E-472 pour refroidir le gaz d'alimentation STA/MEREKSEN.
- V-474 pour alimenter l'E-474.

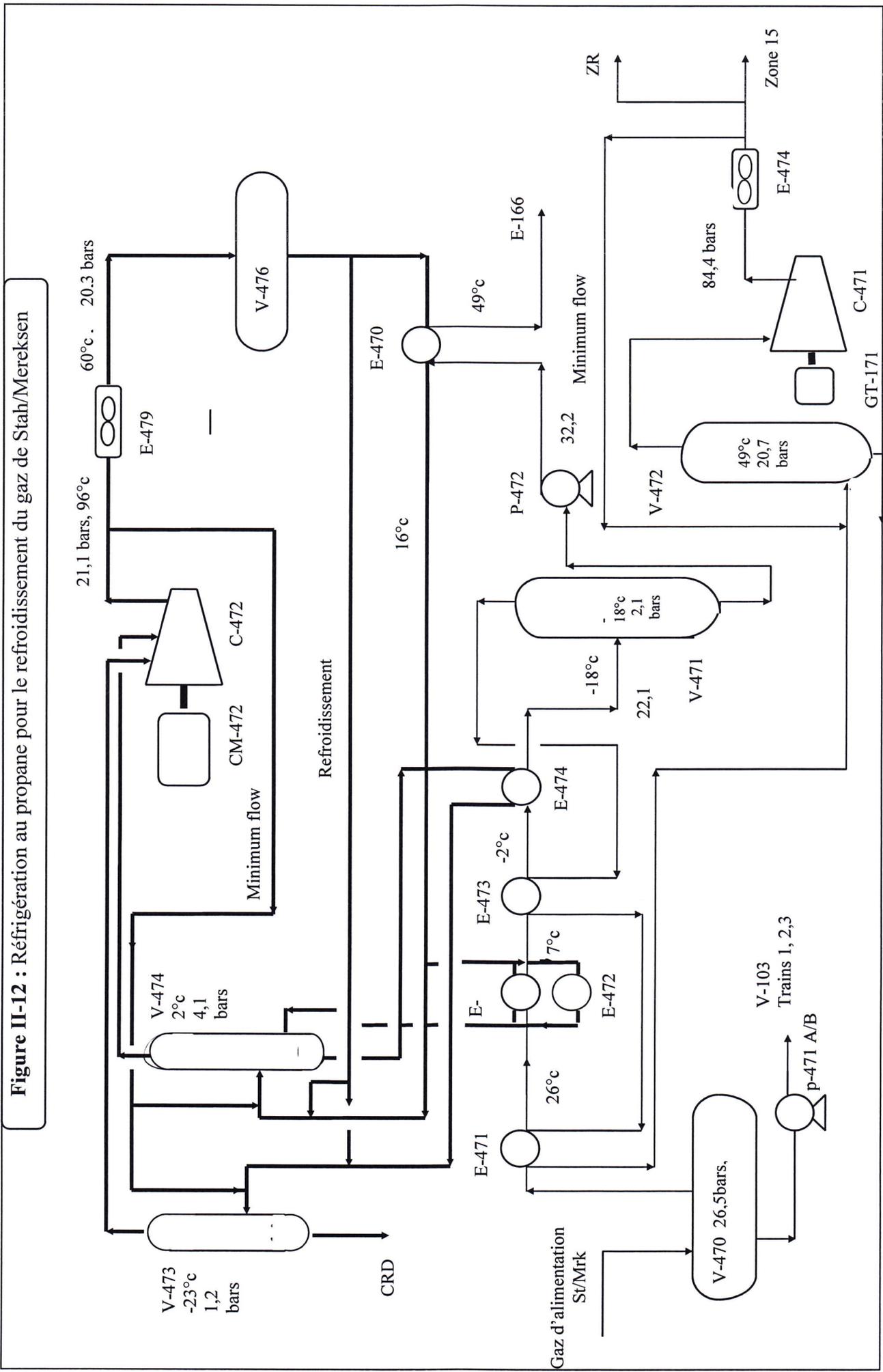
Les vapeurs du propane en provenance des échangeurs E-405 et E-472 sont combinées avec le débit minimum et le circuit de trempe puis acheminés vers V-474 qui alimente le 2^{ème} étage de C-472, (8).

Les vapeurs de ce dernier (V-474) alimentent le second étage du compresseur. Les liquides de V-474 servent à refroidir le gaz de STA/MEREKSEN dans E-474.

Les vapeurs de propane en provenance de E-474 se mélangent avec le débit minimum et le circuit de trempe et alimentent le ballon d'aspiration du premier étage (V-473) à 1,2 bars effectifs et -23°C, (8).

Un régulateur de pression est prévu au niveau des ballons V-473, V-474 et V-476 pour éviter la détente des soupapes de sûreté vers la torche.

Figure II-12 : Réfrigération au propane pour le refroidissement du gaz de Stah/Merexsen



II-9- Les utilités

II-9,1- Fractionnement de GPL

Une partie des produits de tête de la colonne V-163 est refoulée par la pompe P-162 A ou B vers la pompe P-401 A ou B alimentant la colonne de fractionnement de GPL V-401 au niveau du 21^{ème} plateau. Voir **la figure II-13**.

La vapeur de tête est entièrement condensée dans l'aéro E-402 à 19,4 bars et à 55°C; le liquide recueilli dans le ballon de reflux V-402 est acheminé par la pompe P-402 A ou B vers:

- La tête du dépropaniseur V-401 comme reflux,
- Appoint des ballons tampon V-154 des quatre trains, V476, ou vers stockage dans V-405 A/B (C₃ on spec.), T-404 (C₃ off spec.), Après avoir été refroidi à 27°C à travers l'échangeur à propane E-405 ,(8).

Les produits de fond du V-401 passent dans le rebouilleur E-403; Une partie vapeur est réintroduite en dessous du 1^{er} plateau, l'autre partie liquide à 111°C refroidie dans l'aéroréfrigérant E-404 jusqu'à 60°C, est envoyée vers stockage dans V-406 A/B et T-404 respectivement pour le C₄ on spec et off spec ,(8).

II-9,2- Air service et air instrument

L'air est fourni par quatre compresseurs (deux Sullair et deux tide-air) et trois compresseurs diesel mobiles de secours.

Deux compresseurs refoulent l'air à 8,6 bars effectifs qui est refroidi dans l'aéro E-431 jusqu'à 60°C avant d'être acheminé vers le ballon d'air humide V-432 à 8,0 bars effectifs. Une partie assure les besoins en air service, l'autre partie est séchée dans le ME-403, puis filtrée, avant d'être introduite dans le ballon d'air instrument V-433 à 7,0 bars effectifs, pour alimenter les ballons V-184 (01, 02, 03,04) et les autres utilisateurs. **Figure II-14**.

NB : En parallèle des compresseurs suscités, il existe une modification sur la ligne d'air au niveau du 10^{ème} étage du compresseur axial des turbines frame 5 des installations Fluor ,(8).

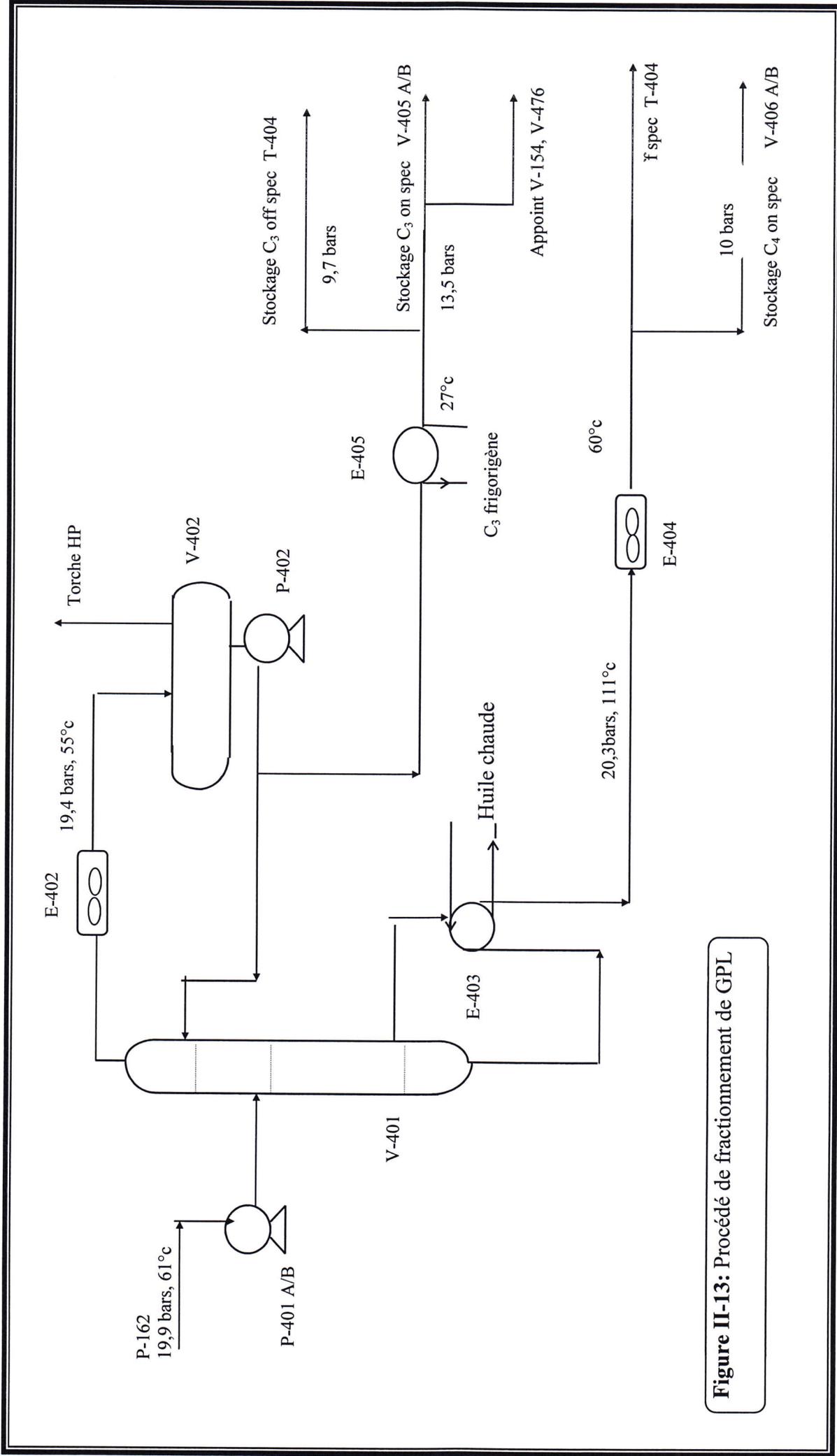


Figure II-13: Procédé de fractionnement de GPL

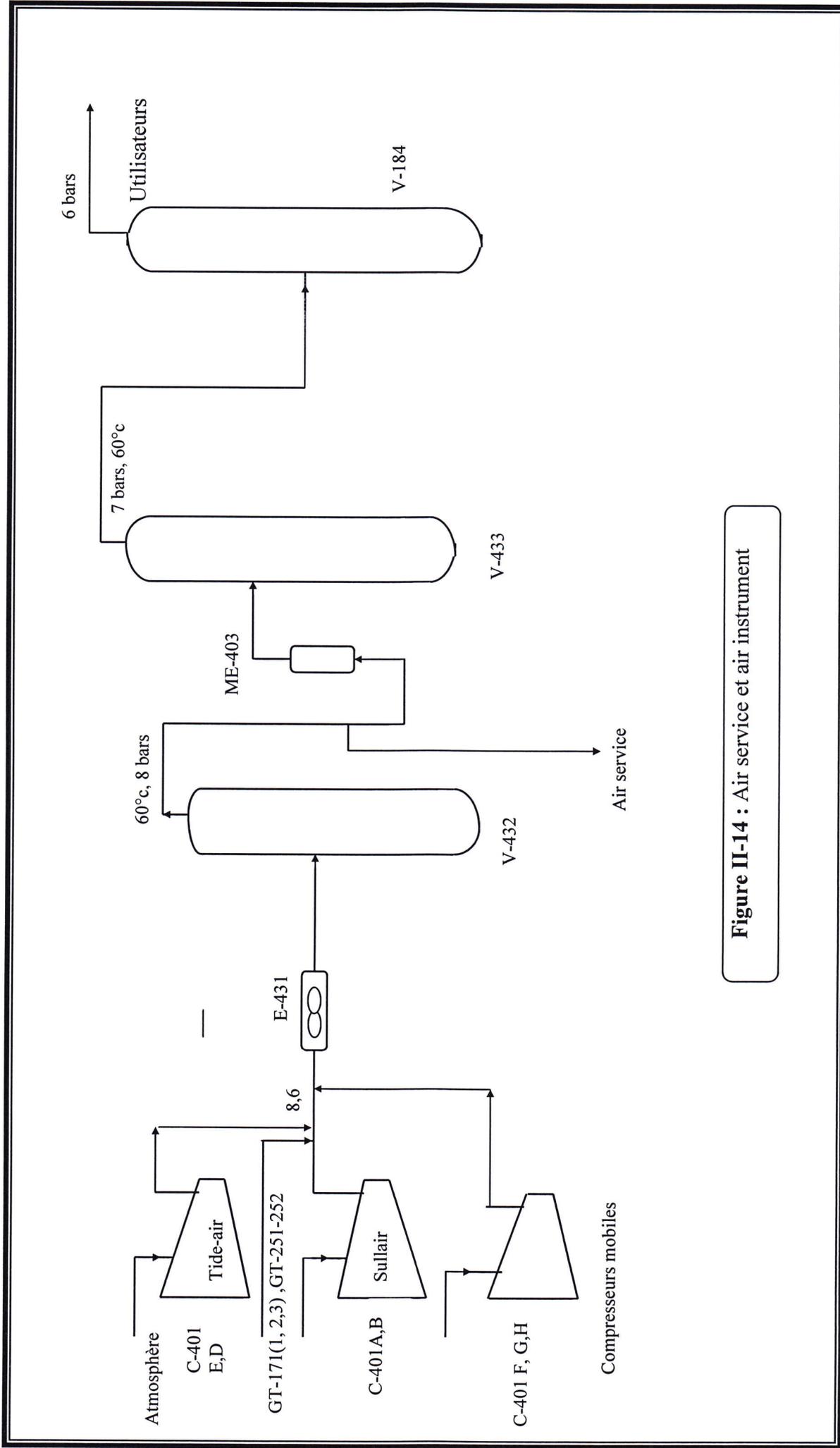


Figure II-14 : Air service et air instrument

II-9,3- Réseau d'eau de refroidissement

L'eau dans le ballon V-440, à une pression de 0,35 bar effectifs et une température de 63,6°C, est refoulée par la pompe P-433 A ou B à 4,3 bars effectifs, puis refroidie jusqu'à 54,4°C dans l'aéro E-432 A/B et fournie aux divers utilisateurs : P-181 (trains 01, 02,03), P-421, P-471 et P-472. L'eau chaude en provenance de ces pompes retourne dans le ballon V-440 après avoir été filtrée dans F-403. voir la **figure II-15, (8)**.

II-9,4- Réseau de gaz combustible

Les sources d'alimentation en gaz combustible sont les suivantes :

- V-103 à travers la PV-107.
- V-132 à travers la PV-129.
- V-470 à travers la PV-580 B.
- Piquage pris de l'alimentation du compresseur EC-141 et commandé par la FV-124.
- Piquage pris sur le gaz de sortie de V-162 après la PV-138 commandé par la FV-134.

Ce mélange collecté alimente le ballon de fuel gaz HP V-430 - à 26,5 bars et 54°C-, il est chauffé dans E-430. Une partie alimente les turbines à gaz : GT-171, GT-151, GT-471, GT-251-252 et Thomassen, à 17,2 bars effectifs et à 60°C. Voir la **figure II-16**.

L'autre partie alimente le ballon de fuel gaz BP V-431 après détente à travers la PV-581 B à 3,45 bars effectifs. Le FGBP (Fuel Gaz Basse Pression) est alors distribué entre les divers utilisateurs à savoir: V-181, pilotes et brûleurs des H-182, pilotes et lignes de balayage des torches, pots de purification du propane, sphères, cigares, T-402, pilotes et lignes de balayage de CRD et HCD , **(8)**.

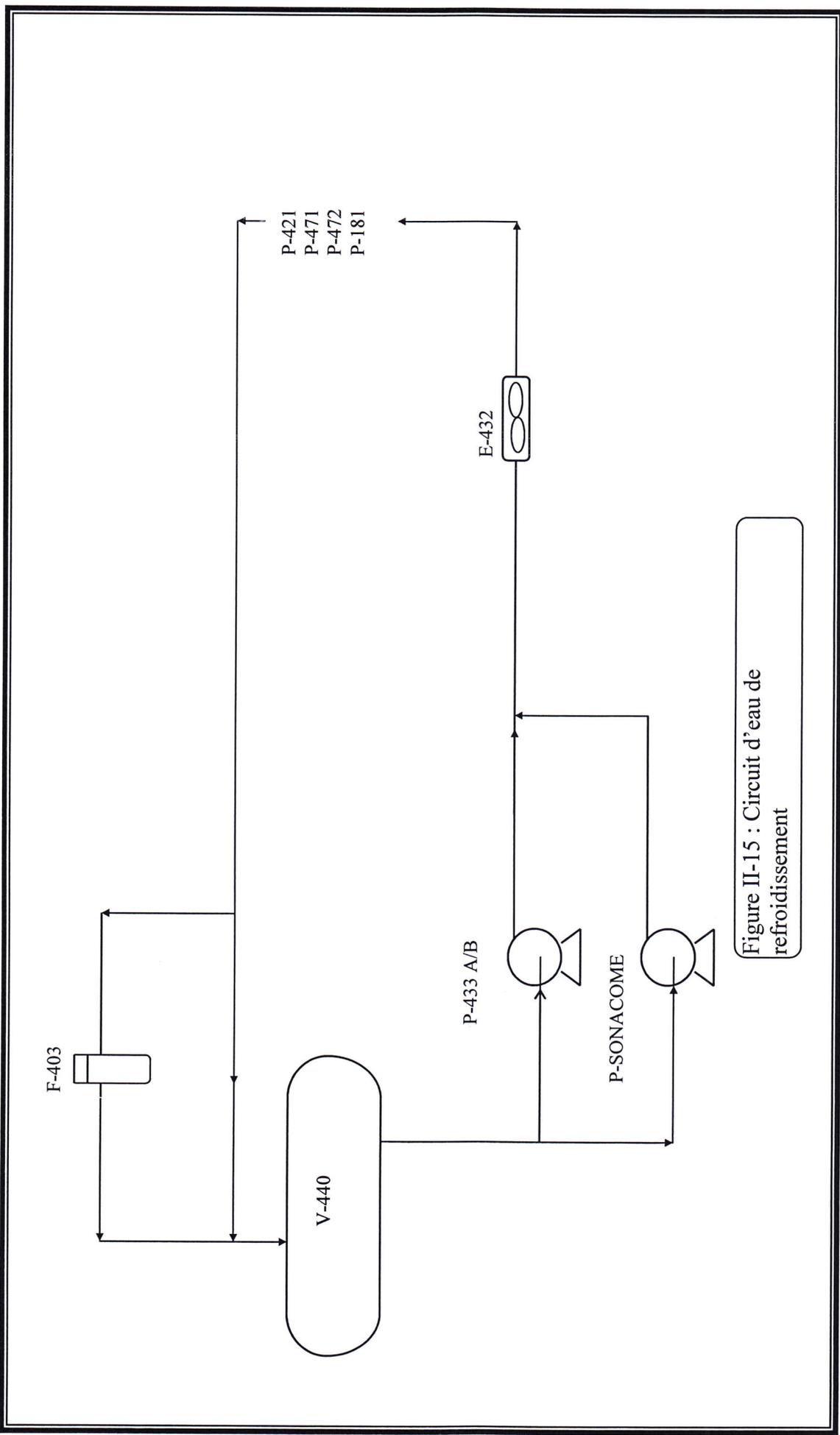


Figure II-15 : Circuit d'eau de refroidissement

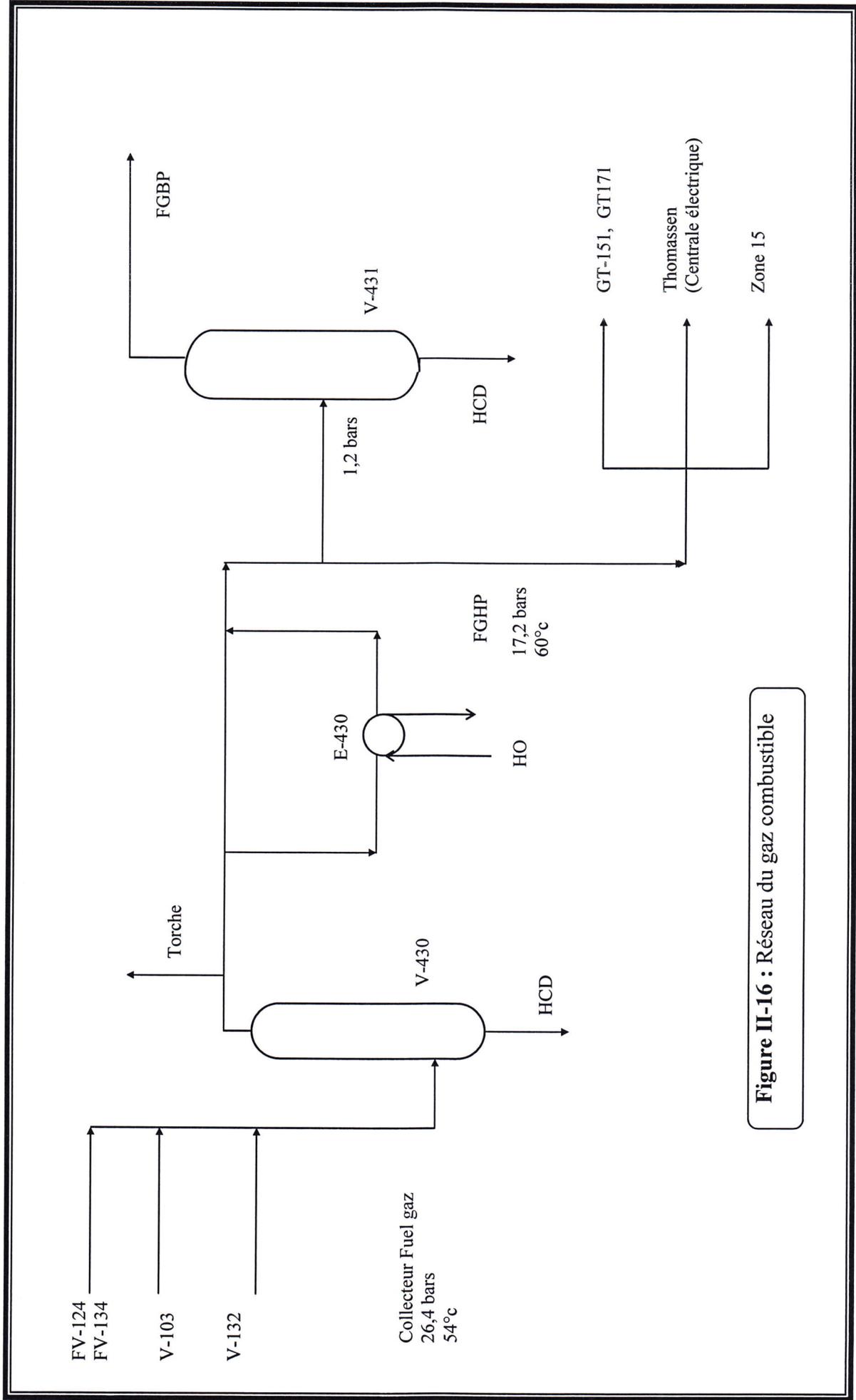


Figure II-16 : Réseau du gaz combustible

II-10- Stockage et Expédition

II-10,1- GPL

Le GPL est un produit liquide de tête de la colonne V-163 des quatre trains. Le produit conforme aux spécifications est stocké dans les trois sphères T-403 A, B et C - de capacité unitaire de 3978 m³ - à 3 bars et 2°C. Le GPL hors spécifications est stocké dans la sphère T-404 - de capacité de 949 m³ - à 6,5 bars et une température qui varie de 2 à 60°C. Le GPL non conforme est refoulé par l'une des pompes P-421 A ou B vers E-104 (01, 02, 03,04) pour retraitement ou vers le vaporisateur E-177 pour ré injection. .A noter que le GPL peut être transféré entre les sphères à l'aide des pompes P-411 A ou B. Des pompes booster P-407 A/B/C sont prévues pour refouler le GPL vers HEH à travers LR1 via les pompes d'expédition P-408 A, B ou C. **Figure II-17, (8).**

II-10,2- Condensât

Le condensât on spec en provenance de E-167 à 3,4 bars effectifs et 38°C est stocké dans les bacs à toits flottants T-401 A, B, C - de capacité unitaire de 7276 m³ - à 38°C et pression atmosphérique, alors que le condensât hors spécifications est stocké dans le bac à toit fixe T-402 - de capacité de 7994 m³ - à 38°C et pression atmosphérique. Ce condensât off spec est mélangé avec celui des bacs on-spec pour le rendre conforme aux spécifications; le transfert inter bacs a lieu par les pompes ,(8).

P-406 A ou B. Le condensât conforme est refoulé par les pompes P-403 A, B ou C vers les P-404 A, B ou C pour expédition vers OHANET. **Figure II-18.**

II-10,3- Propane et Butane

Le propane est un produit liquide de tête de la colonne V-401. Le propane conforme aux spécifications est stocké dans deux ballons cigares V-405 A et B à 27°C et 9,9 bars effectifs, pour chargement dans des camions-citernes par les pompes P-413 A ou B. Le butane on-spec en provenance du fond de V-401 est stocké dans les cigares V-406 A et B à 60°C et 6,5 bars effectifs. La pompe P-415 achemine le butane vers le chargement des camions-citernes. Il existe une pompe de réserve commune P-422 pour le chargement du butane et du propane ou également pour le transfert vers la sphère de GPL T-404. **Figure II-19, (8).**

NB : même les P-413 et P-415 servent à transférer respectivement le propane et le butane

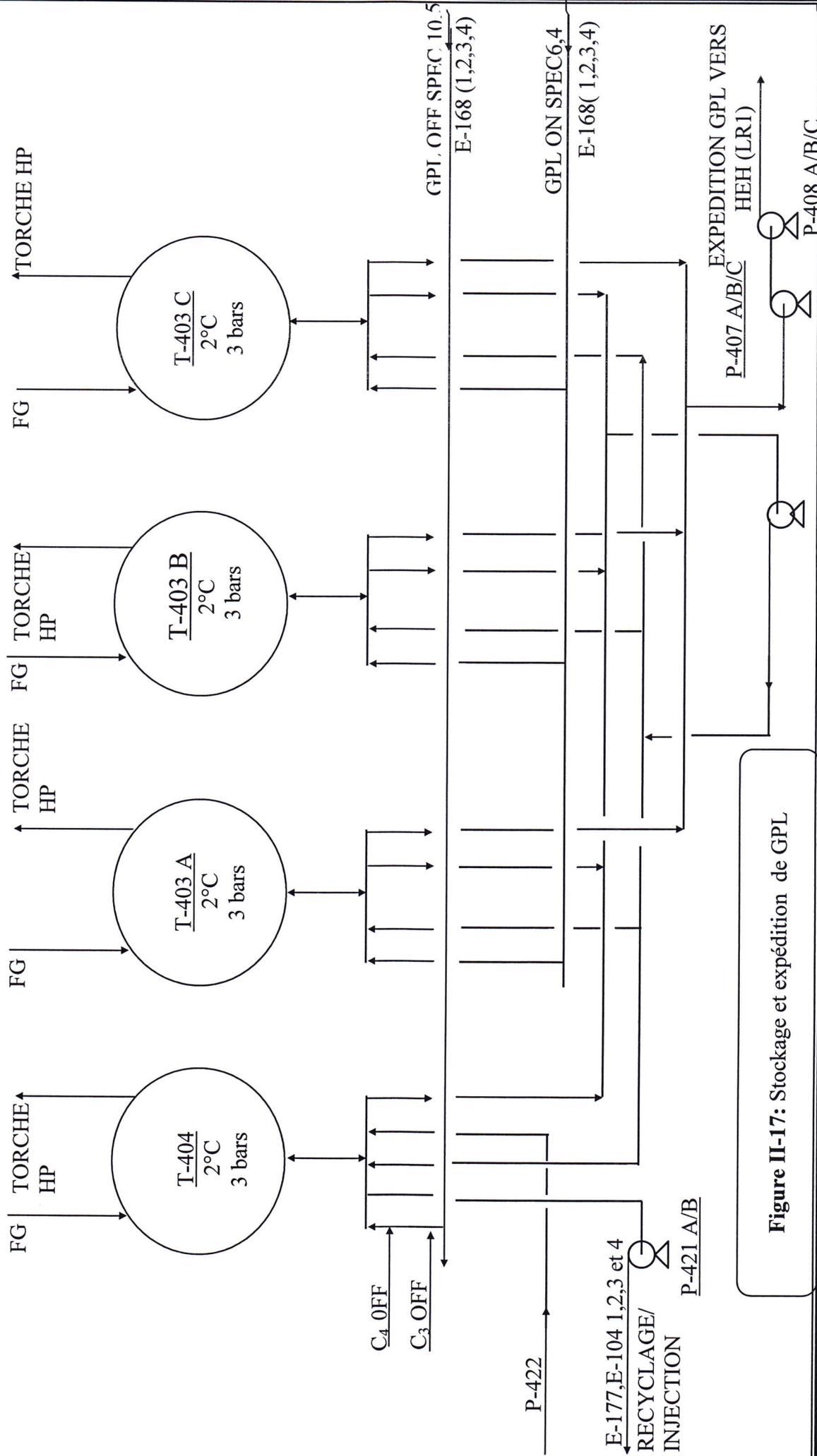


Figure II-17: Stockage et expédition de GPL

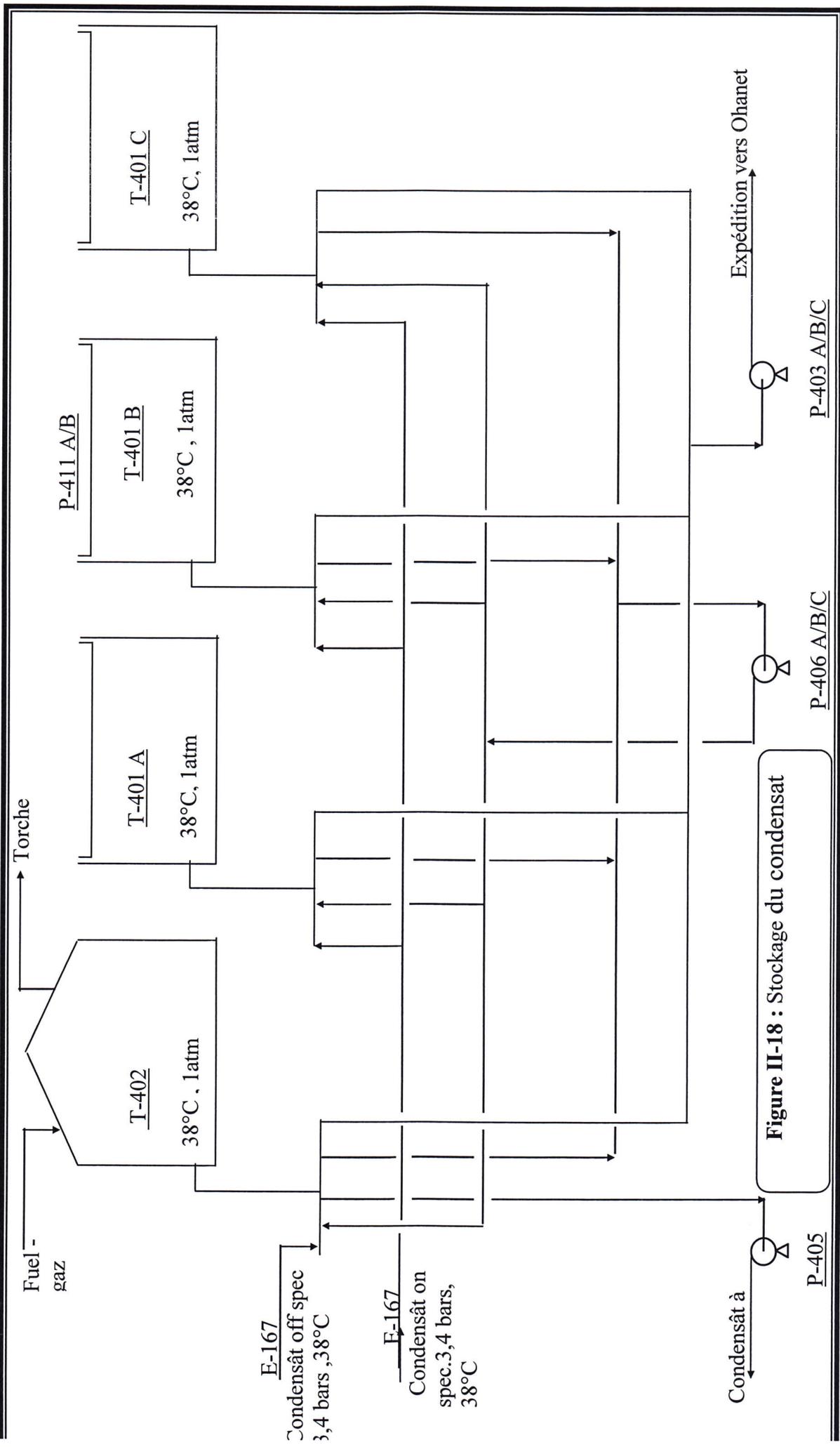


Figure II-18 : Stockage du condensat

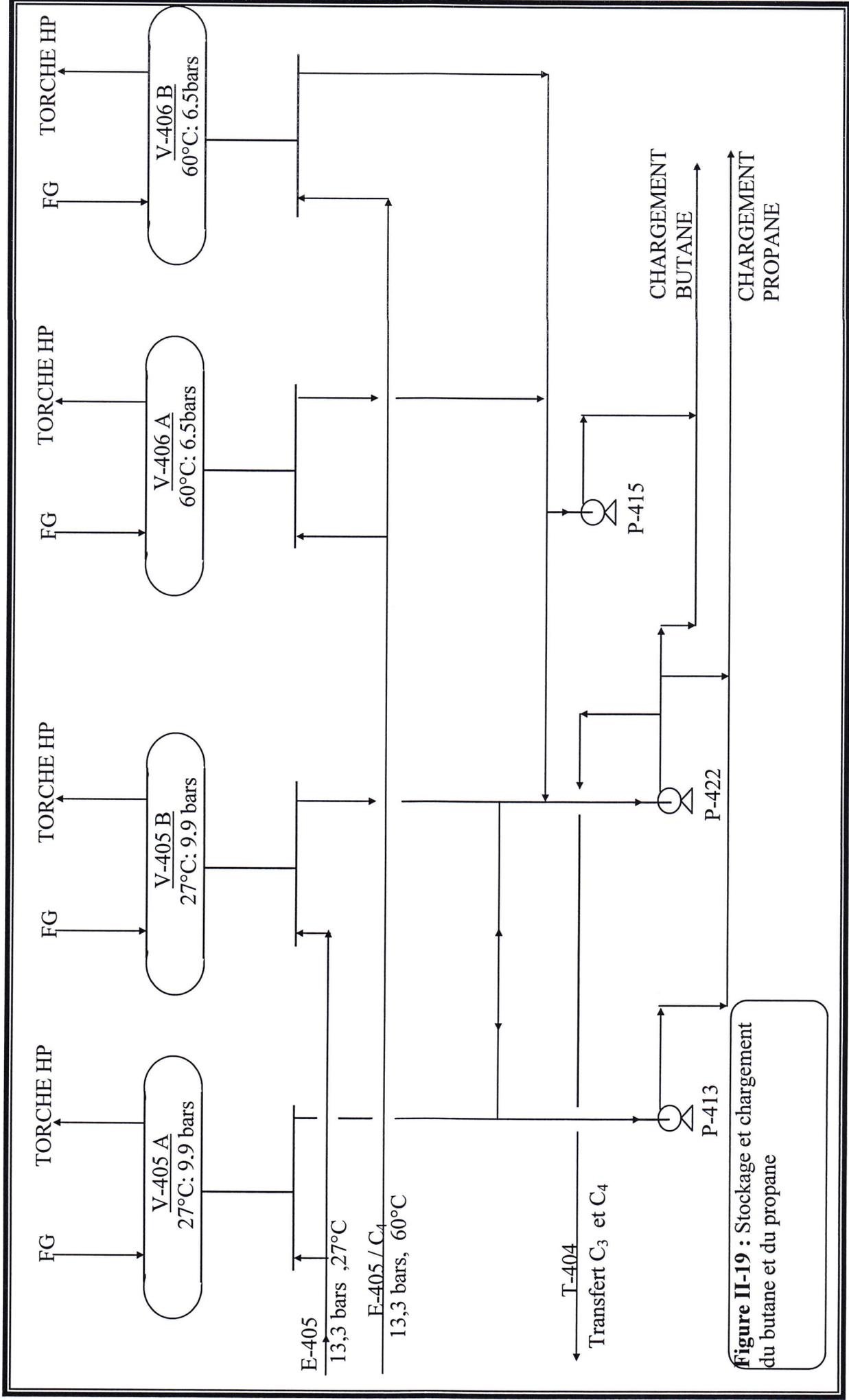


Figure II-19 : Stockage et chargement du butane et du propane

III-1-Introduction

Dans la plupart des installations l'apport de l'énergie thermique requise par le procédé se fait par l'intermédiaire de fours à chauffage direct dans lesquels l'énergie produite par la combustion et transmise directement au fluide à réchauffer qui circule dans un serpentín tubulaire ou un faisceau de tubes.

Selon l'effet de l'apport de chaleur au fluide de procédé, on peut distinguer :

➤ **Les fours de réchauffage de fluide sans changement de phase**

Dans les quels la charge liquide ou vapeur ne reçoit que la chaleur sensible.

C'est le cas par exemple :

- Des fours des unités de reforming catalytique dans les quels la charge à l'état gazeux (déjà vaporisée à l'entrée du four) est portée à la température nécessaire au déroulement des réactions chimiques sur les lits catalytiques.
- Des fours « à l'huile chaude » utilisés comme fluide caloporteur.
- Des surchauffeurs de vapeurs indépendants des fours de vapocraquage quand la vapeur produite dans les échangeurs de ligne de transfert n'est surchauffée dans la zone de convection, (9).

➤ **Les fours de réchauffage de liquide avec vaporisation partielle**

Que l'on rencontre en particulier dans les unités de distillation : four de distillation atmosphérique ou sous vide, four de rebouillage. Dans ces fours, la charge reçoit de la chaleur latente pour atteindre le degré de vaporisation requise, (9).

➤ **Les fours de réchauffage de fluide avec réaction chimique**

Le faisceau tubulaire du four peut alors être assimilé à un véritable réacteur chimique. On rencontre ce type de four dans les unités de craquage thermique : craquage thermique de distillats, de vapocraquage (fabrication d'éthylène) mais aussi dans certains procédés catalytiques comme le reformage à la vapeur (fabrication d'hydrogène). Dans ces dernier cas un catalyseur est déposé à l'intérieur mime des tubes du faisceau, (9).

Chapitre III



III-2- Constitution d'un four

D'une façon générale, les fours comportent les parties principales suivantes :

- un faisceau tubulaire en zone de radiation et éventuellement en zone de convection.
- Une zone de rayonnement formant la chambre de combustion garnie intérieurement de matériau réfractaire isolant
- Une zone de convection éventuellement garnie également
- Un équipement de chauffe comprenant des brûleurs situés à la base ou sur les côtés de la chambre de combustion, avec son appareillage
- Une cheminée ou un carneau pouvant être garnis avec registre
- Les accessoires divers tels que : souffleurs de suie éventuels, portes d'accès, portes d'explosion, regards, pollution, analyseur d'oxygène, et connexion diverses pour la bonne conduite du four, (9).

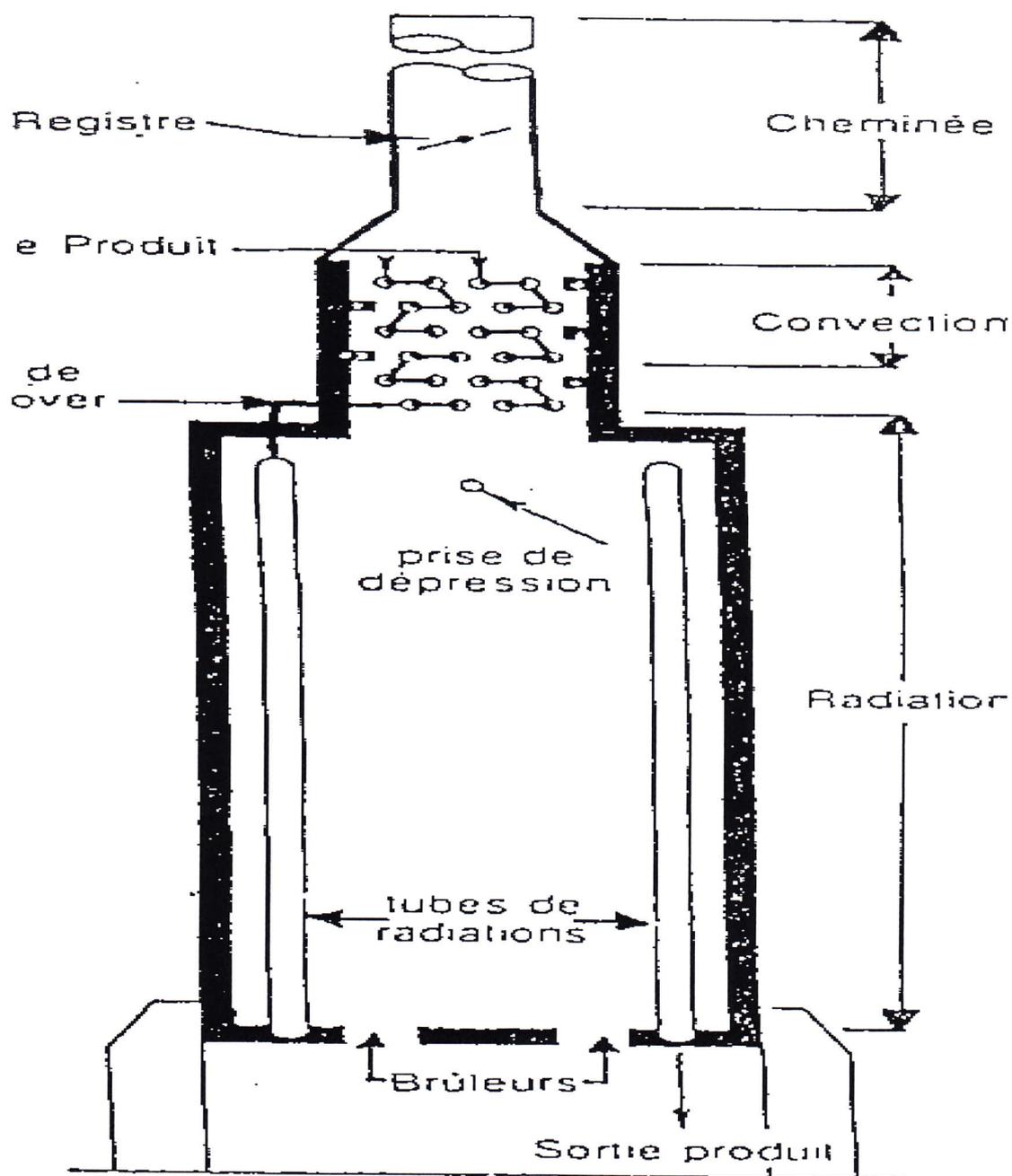


Figure III-1 : schéma d'un four

III-3- Les différents types de fours

Il existe une grande variété de fours tubulaires qui diffèrent notamment par leur géométrie.

Fours cylindriques

- ◆ Fours cylindriques à tubes verticaux
- ◆ Fours avec deux zones de radiation cylindriques et une convection commune
- ◆ Fours à faisceaux hélicoïdaux

Fours cabines

- ◆ Fours à tubes horizontaux

Fours box

- ◆ Fours à tube verticaux
- ◆ Fours à tube horizontaux

Fours double box

- ◆ Fours avec tubes horizontaux ou verticaux

Fours spéciaux

- ◆ Fours de reforming catalytiques
- ◆ Fours de reforming à la vapeur
- ◆ Fours à brûleurs en voûte
- ◆ Fours à brûleurs en murs

III-3-1-Fours cylindriques verticaux

La figure (III-2) représente une vue d'un four cylindrique vertical. Les brûleurs situés sur la sole du four réalisent le mélange air-combustible et la combustion. Les flammes se développent dans la zone de radiation dans laquelle les tubes sont chauffés par rayonnement. Au sommet de la zone de radiation, la température des gaz de combustion est de l'ordre de 700 à 800 °C et de ce fait le rayonnement est plus faible, (9).

La récupération de chaleur sur les fumées est poursuivie dans la zone de convection fonctionnant comme un échangeur tubulaire. Les fumées refroidies sont rejetées à l'atmosphère par l'intermédiaire de la cheminée.

Au cours de son trajet dans le faisceau tubulaire, le fluide de procédé parcourt successivement les zones de convection et de radiation.

La charpente métallique et l'enveloppe métallique du four (le casing) sont protégées de la chaleur par une isolation interne réalisée en briques ou béton réfractaires ou encore en fibres céramiques.

Les fours cylindriques verticaux sont caractérisés d'un point de vue géométrique par un axe de symétrie vertical. Pour un four équipé d'un seul brûleur, celui-ci est situé dans l'axe du four. Si pour obtenir une puissance thermique élevée plusieurs brûleurs sont nécessaires, ceux-ci sont disposés sur un cercle centré sur l'axe du four, (10).

Selon la puissance thermique du four les dimensions des zones de radiation varient entre 1,5m et 13m de diamètre avec des hauteurs allant de 2,5 m à 25 m.

Les puissances thermiques les plus élevées de ces fours sont de l'ordre de 70 000 th/h ce qui correspond à la combustion d'environ 7 t/h de combustible.

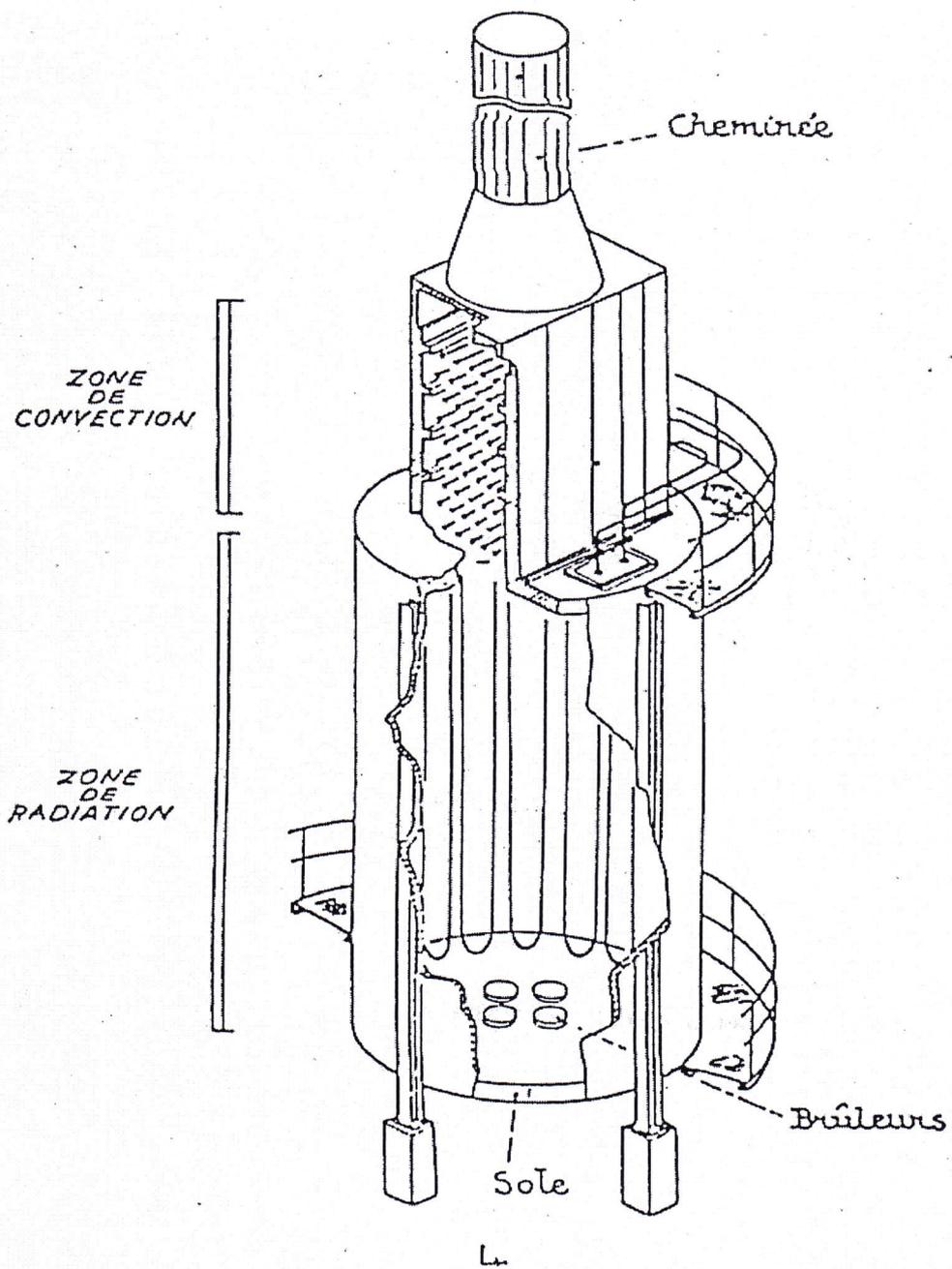


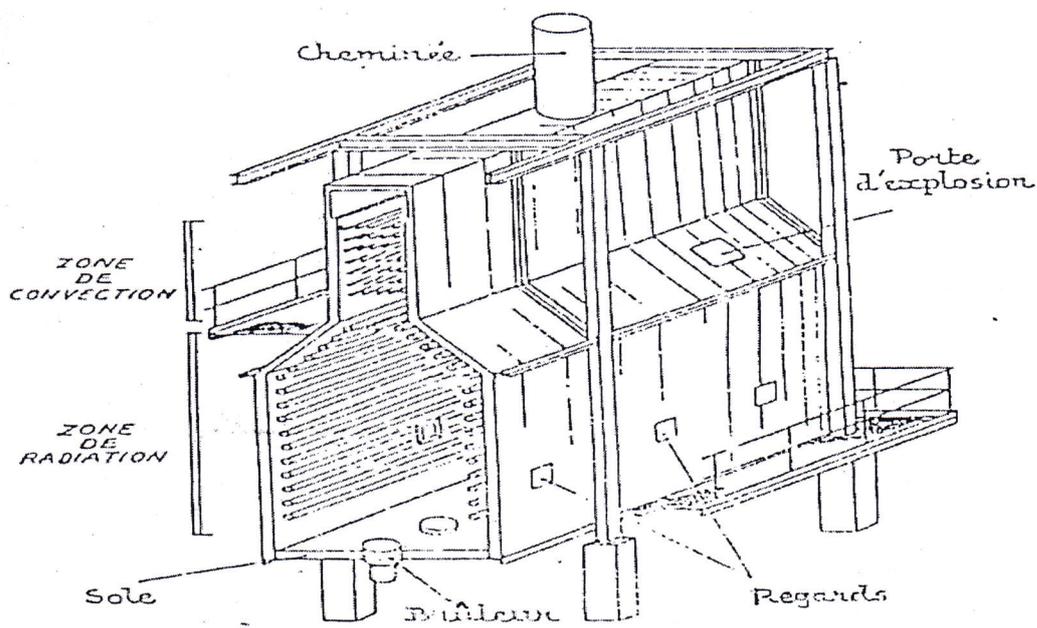
Figure III-2 : Four cylindrique vertical

III-3-2. Fours cabines à bruleur sur la sole

La figure (III-3) présente une cuve d'un four cabine à tubes horizontaux. Il se distingue essentiellement du four cylindrique par l'existence d'un plan de symétrie ce qui conduit à disposer un grand nombre de brûleurs sur la sole pour réaliser un rideau de flammes dans le plan médian de la zone de radiation.

Ce type de four dans lequel on peut installer des tubes horizontaux d'une très grande longueur (jusqu'à 40m) peut atteindre des puissances thermiques très élevées dépassant 200 000 t/h. La largeur de la zone de radiation est d'environ 6 m et la hauteur de 10 m à 15 m.

Dans certains cas pour limiter la longueur du four, on découpe la zone de radiation en deux cellules disposées parallèlement et surmontées d'une zone de convection, (10).



Vue d'un four cabine à tubes horizontaux

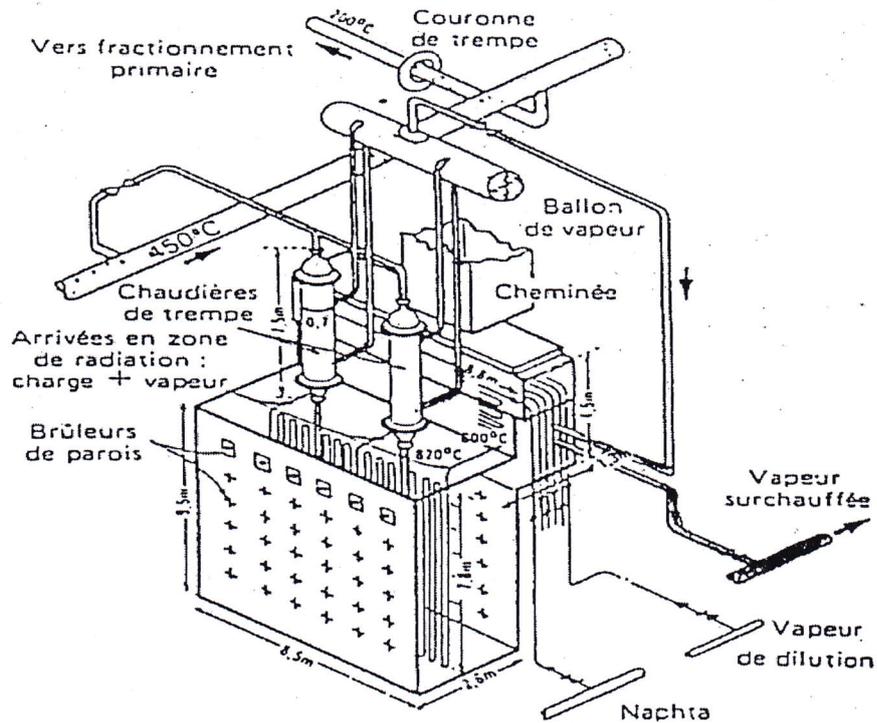
5

Figure III-3 : Four cabine à tubes horizontaux

III-3-3- Fours cabines à bruleurs sur les parois

La figure (III-4) présente une vue d'un four cabine à brûleur sur les parois. Certains procédés comme le vapocraquage exigent un apport de chaleur intense au faisceau tubulaire et un niveau de température élevée. Pour atteindre cet objectif il est nécessaire de répartir l'apport de chaleur su toute la hauteur du four ce qui conduit à disposer des brûleurs sur toute la surface de la paroi. Le faisceau tubulaire est alors situé dans le plan médian du four .

La zone de convection est utilisée pour préchauffer la charge et la vapeur de dilution et éventuellement surchauffer la vapeur produite dans les chaudières de trempe. L'inconvénient du four cabine est d'occuper une place au sol bien supérieure à celle nécessite par un four cylindrique.



Vue d'un four cabine à brûleurs sur les parois

La figure III-4 : four cabine à brûleur sur les parois

III-4-Critères de choix d'un four

Les principaux critères de choix d'un four sont :

- Caractéristiques chimiques de fluide
- Conditions de service (température, pression, pertes de charges admissibles, taux de vaporisation)
- Flexibilité imposée
- Type d'écoulement lié au fluide
- Emplacement disponible dans l'unité
- Technologie particulière à certains procédés
- Coût de l'investissement
- Coût Type de combustible
- Expérience dans des domaines similaires.

III-5-Rendement des fours

Le rendement des fours de raffinage et de pétrochimie tient une place capitale dans les paramètres de choix des équipements.

III-5-1-Bilan thermiques

La notion du rendement d'un four apparaît par le fait que le débit de chaleur libérée aux brûleurs par la combustion n'est pas intégralement transmis au fluide procédé. On constate en effet des pertes thermiques qui ont essentiellement deux origines.

Les pertes par les parois du four (Q_{parois}) sont dues aux imperfections de l'isolation thermique par les matériaux réfractaires. Dans le cas de fours récents de grandes puissances, elles représentent 1 à 2% de la chaleur libérée aux brûleurs ($Q_{\text{entrée}}$), (9).

Elles peuvent être beaucoup plus importantes dans le cas de fours anciens dont le réfractaire est défectueux.

Les pertes par les fumées ($Q_{\text{fumée}}$) qui évacuent à l'atmosphère un débit de chaleur relativement important représentant entre 5 et 20% de celui qui est libéré aux brûleurs.

➤ **Le bilan thermique du four s'exprime :**

$$Q_{\text{entrée}} = Q_{\text{absorbée}} + Q_{\text{fumée}} + Q_{\text{parois}} \dots \dots \text{(III-1)}$$

III-5-2-Définition

Le rendement d'un four η est défini comme étant le rapport du débit de chaleur absorbé ($Q_{\text{absorbée}}$) par le fluide procédé au débit de chaleur fourni ($Q_{\text{entrée}}$) au four par la combustion :

$$\text{Rendement (\%)} = \eta = (Q_{\text{absorbée}} / Q_{\text{entrée}}) \times 100 \dots \dots \text{(III-2)}$$

➤ Le calcul d'un rendement de four nécessite de connaître :

- ◆ $Q_{\text{entrée}}$ ce qui est possible en mesurant les débits et caractéristiques des combustibles.
- ◆ $Q_{\text{absorbée}}$ ce qui est souvent très difficile surtout quand il y a vaporisation ou réaction chimique dans le faisceau tubulaire.

En utilisant le bilan thermique du four, le débit de chaleur absorbé peut encore s'exprimer :

$$Q_{\text{absorbée}} = Q_{\text{entrée}} - Q_{\text{fumée}} - Q_{\text{parois}} \dots \dots \text{(III-3)}$$

L'expression du rendement devient :

$$\text{Rendement (\%)} = \eta = [(Q_{\text{entrée}} - Q_{\text{fumée}} - Q_{\text{parois}}) / (Q_{\text{entrée}})] \times 100$$

Ou

$$\text{Rendement (\%)} = 100\% - \% \text{ pertes fumées} - \% \text{ pertes parois} \dots \dots \text{(III-4)}$$

Il reste alors à

- Estimer Q_{parois} car ce poste est très difficilement mesurable. On peut être aidé en cela par l'expérience du constructeur.
- Déterminer $Q_{\text{fumées}}$ qui dépendent à la fois du débit, de la composition et surtout de la température des fumées.

La détermination du rendement de four est particulièrement importante car il conditionne la consommation de combustible. Il explique à lui seul une grande partie de l'évolution des fours dont la conception est largement influencée par le prix du combustible. Cette évolution se caractérise principalement par :

- L'installation de dispositifs permettant de mieux refroidir les fumées en convection, réchauffage d'autres fluides, chaudière de récupération, échangeur air- fumées,....

- L'amélioration des équipements de chauffe utilisés dans l'industrie pétrolière, brûleurs performants, meilleurs contrôle de la chauffe.

Tout cela conduit à faire des fours pétroliers des équipements plus complexes mais avec le bénéfice d'une économie importante. Les fours modernes avec pré chauffeur d'air, ventilateurs de soufflage d'air et extraction des fumées (rendement 90%) illustrent cette évolution, (9).

III-5-3. Paramètre dont dépend le rendement d'un four

Le pourcentage de pertes par les fumées dépend de deux paramètres :

- L'excès d'air de combustion qui accroît le débit de fumée et diminue le rendement du four. En effet, le débit d'air excédentaire consomme de l'énergie libérée aux brûleurs pour s'échauffer de la température ambiante à celle de rejet des fumées, (9).

La combustion en excès d'air se traduit par la présence d'oxygène dans les fumées en teneur d'autant plus élevée que l'excès d'air est grand. Ainsi, le pourcentage de pertes aux fumées du à l'excès d'air peut être estimé par la relation approchée :

$$\% \text{ de pertes aux fumées} = (\text{teneur en O}_2 \text{ des fumées } \%) / 2$$

- La température de rejet des fumées qui est d'autant plus élevée que la récupération d'énergie est moins bonne et donc le rendement du four est faible.

Le pourcentage de pertes aux fumées du à leur température de rejet s'obtient approximativement par :

$$\% \text{ de pertes aux fumées} = (\text{Température des fumées } ^\circ\text{C}) / 20$$

Remarque :

- ◆ Les pertes par les parois quant à elles peuvent être estimées à 2%.

Application :

- ◆ Appliquées aux conditions de fonctionnement du four présentées ci-dessous, ces règles d'estimation permettent d'évaluer son rendement.

III-6-La combustion dans le four

III-6-1- Généralités

La combustion dans les fours pétroliers et pétrochimiques se fait dans une chambre appelée également zone de rayonnement. Le faisceau absorbant en radiation étant disposé le long des murs réfractaires est donc soumis à au rayonnement direct de flamme qui se développe très souvent entièrement dans la chambre.

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

La combustion se fait suivant les équations de réactions classiques avec des excès d'air variant de 10% à 40% selon les équipements de chauffe, (9).

III-6-2-Définition de la chaleur de combustion

On appelle (chaleur de combustion) à pression constante d'un corps simple ou d'un composé chimique défini les grandes calories dégagées par la combustion avec l'oxygène d'une partie de combustible égale à une unité de masse. La combustion a lieu à la pression normale de 760mm de Hg avec le combustible, l'oxygène, les fumées pris à la température initiale 0°C, et l'eau produite par la combustion est totalement condensée, (9).

III-6-3-Réaction de combustion

Connaissant la composition des combustibles, l'excès d'air imposé et le taux de la vapeur de pulvérisation des brûleurs, nous résoudrons l'équation de réaction afin déterminer la composition des gaz provenant de la combustion. En effet, il sera utile de connaître cette composition pour :

- Dimensionner le four
- Dimensionner les carneaux et la cheminée
- Evaluer la quantité des produits agressifs libérés.

Les principales réactions des combustions neutres sont données dans le tableau, avec une température de référence de 0°C.

Ces réaction permettent de déterminer la quantité d'air nécessaire aux brûleurs ainsi que la composition et la quantité des fumées sèches et humides produites

A partir d'un combustible (10).

Tableau III-1 : les principales réactions de combustion

Combustible	Réaction de combustion	Eau vapeur Kcal	Eau liquide Kcal
C	$C + O_2 + 4N_2 \rightarrow CO_2 + 4N_2$	97,6	
C	$C + \frac{1}{2} O_2 + 2N_2 \rightarrow CO + 2N_2$	29,4	
S ₂	$S_2 + 2O_2 + 8N_2 \rightarrow 2SO_2 + 8N_2$	138,6	
S ₂	$S_2 + 3O_2 + 12 N_2 \rightarrow 2SO_3 + 12N_2$	183,6	
H ₂	$H_2 + \frac{1}{2}O_2 + 2 N_2 \rightarrow H_2O + 2 N_2$	58,2	69,1
CO	$CO + \frac{1}{2} O_2 + 2 N_2 \rightarrow CO_2 + 2N_2$	68,2	
CH ₄	$CH_4 + 3O_2 + 8N_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 8N_2$	192,5	214,3
C ₂ H ₄	$C_2 H_4 + 3O_2 + 12N_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O + 12N_2$	319,7	341,5
C ₂ H ₂	$C_2 H_2 + \frac{5}{2}O_2 + 10 N_2 \rightarrow 2 CO_2 + 2H_2O + 10N_2$	304,8	315,7
C ₆ H ₆ gaz	$C_6 H_6 + \frac{15}{2}O_2 + 30N_2 \rightarrow 6CO_2 + 3H_2O + 30N_2$	751,5	748,2
C ₄ H ₁₀	$C_4 H_{10} + \frac{13}{2}O_2 + 26N_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O + 26N_2$	625,7	680,2
C ₃ H ₈	$C_3H_8 + 5O_2 + 20N_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O + 20N_2$	485,1	528,7
C ₂ H ₆	$C_2 H_6 + \frac{7}{2}O_2 + 14N_2 \rightarrow 3CO_2 + 3H_2O + 14N_2$	340,9	373,6

III-6-4- composition théorique des fumées

La Composition théorique des fumées s'exprime en pourcentage volumique ou Massique. On obtient ces valeurs à partir du nombre de molécules des constituants que l'on détermine à l'aide des équations de réaction , (9).

Soit pour les principaux constituants de fumées humides provenant de la combustion de 1kg de combustible.

Tableau III-2 : Les valeurs spécifiques de ses constituants, (10).

produit	p.	Nombre de moles	% volumique	Poids kg/kg	Volume (Nm ³ /kg)
Agressifs					
CO ₂	44	n ₂	n ₁ /N	44n ₂ x10 ⁻³	0.0224n ₁
SO ₂	64	n ₂	n ₂ /N	64n ₂ x10 ⁻³	0.0224n ₂
N ₂	28	n ₃	n ₃ /N	28n ₃ x10 ⁻³	0.0224n ₃
O ₂	32	n ₄	n ₄ /N	32n ₄ x10 ⁻³	0.0224n ₄
H ₂ O	18	n ₅	n ₅ /N	18n ₅ x10 ⁻³	0.0224n ₅
Total	.-----	N	100	∑PM _i n _i 10 ⁻³	∑0.0224n _i

Il vient :

$$\text{Poids spécifique des fumées} = \frac{\sum PM_i n_i x 10^{-3}}{\sum 0.0224 n_i} \quad (\text{kg/Nm}^3) \dots\dots \text{(III-5)}.$$

Volume spécifique des fumées = 1/poids spécifique des fumées

III-6-5- teneur théorique en produits agressifs

La connaissance de la teneur en produit

Agressifs s'impose aujourd'hui du fait de réglementation sur la pollution atmosphérique.

Le principal produit agressif contenu dans les fumées produites par les combustibles utilisés est le CO₂, le SO₂ et le NO, (9).

III-6-6- pouvoir calorifique supérieur et inférieur

On appelle pouvoir calorifique supérieur (PCS) la quantité de chaleur, exprimée en kcal, dégagée par la combustion à pression constante de 760mm de Hg de 1Nm³ d'un combustible à la température de 0°C , les produits de la combustion (10).

Etant ramenés à la température de référence (0°C).

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

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

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 10,9n \quad n = \text{nombre de moles de H}_2\text{O} \dots \dots \text{(III-6)}$$

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 53H \quad H = \% \text{ poids de l'hydrogène du combustible.} \dots \dots \text{(III-7)}$$

III-6-7- enthalpie des fumées

L'enthalpie des fumées est fonction de la température et de la chaleur spécifique de ces fumées.

La chaleur spécifique moléculaire des gaz constituant les fumées varie en fonction de la température suivant les formules ci-après, les quelles peuvent et utilisées sans grande risques d'erreurs pour les niveaux de température consécutions exprimés en degrés Celsius (10).

$$\text{O}_2, \text{N}_2, \text{H}_2, \text{CO} \quad \text{il vient : } C_p = 6,8 + 12 \times 10^{-4}t \dots \dots \text{(III-8)}$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad \text{il vient : } C_p = 8,1 + 58 \times 10^{-4}t$$

$$\text{CO}_2 \quad \text{il vient : } C_p = 8,5 + 74 \times 10^{-4}t$$

D'où la notion de chaleur d'échauffement d'un gaz de t_0 à t_1 le nombre totale des calories qu'il faut cédera en se refroidissant, d'où les types suivants :

- chaleur d'échauffement moléculaire à pression constante de 0°C à T°C en kcal.
- Chaleur d'échauffement à pression constante de 0°C à T°C en kcal, rapportée à 1Nm³ de gaz (0°C et 760mm de Hg).

III-6-8- excès d'air

Pour avoir une combustion complète c'est-à-dire sans présence d'oxyde de carbone dans les fumées surtout dans les fours une quantité d'air supérieure à celle strictement nécessaire à la

combustion, cette quantité est l'excès d'air que l'on exprime en pourcentage de la quantité d'air théorique.

Cette notion d'excès d'air est extrêmement importante. En effet, air en excès qui est inutile à la combustion est réchauffé au cours de son passage dans le four à la température des fumées, ce qui constitue une perte supplémentaire.

Il y donc intérêt à réduire d'excès d'air au minimum, sans toutefois descendre au-dessous d'une limite raisonnable, car l'apparition de CO dans les fumées réduit considérablement la quantité de chaleur dégagée par la combustion et peut fort bien rendre nécessaire un dégagement plus élevé permettant une combustion complète.

Les fours modernes, lorsqu'ils sont équipés de brûleurs bien adaptés au combustible utilisé, peuvent être conduits avec un excès d'air de 20 à 30 % si l'on y brûle du gaz, et 30 à 40% si l'on y brûle du fuel avec une pulvérisation correcte (10).

III-6-9- température théorique de combustion (de la fumée)

C'est la température idéale à laquelle s'élèveraient les produits de la combustion dans le cas d'une combustion instantanée dans une enceinte parfaitement athermique. Les températures atteintes dans le four sont toujours inférieures à cette température théorique parce que la combustion n'est jamais instantanée et que les gaz commencent à rayonner dès que leur température est supérieure à celle des tubes du four.

On peut facilement calculer cette température théorique quand on trace de l'enthalpie des gaz de combustion en fonction de température. Elle correspond au point où l'enthalpie des fumées est égale à la chaleur libérée par la combustion (pouvoir calorifique inférieur du combustible + chaleur sensible du combustible de l'air de combustion), (9).

III-7-Transfert de chaleur dans les fours

III-7-1-Introduction

L'expérience montre que deux corps isolés de l'ambiance et à température différente de l'énergie sous forme de chaleur jusqu'à disparition complète de leur différence de température. Ce change peut se faire de trois façons différentes :

- Par conduction, s'il y a contact physique entre les molécules des corps contiguës et immobiles. Le transfert de chaleur correspond alors à la transmission d'une énergie cinétique due aux chocs élastiques des molécules fluides, aux oscillations longitudinales des molécules de solides non conducteurs de l'électricité au ou mouvement des électrons dans les autres cas. Les lois fondamentales de transferts de chaleur par conduction sont en complète analogie avec celles de la conduction électrique.
- Par convection, s'il s'agit de fluide en mouvement et que la transmission de chaleur accompagne le déplacement des filets d'un seul fluide s'opérer par mélange de deux fluides. Ce mode de transfert est donc essentiellement régi par les lois des écoulements des fluides ainsi que par celles de la conduction, (9).
- Par rayonnement, tout corps apporté à une température supérieure à zéro absolu (0°K) rayonne, dans toutes les directions, une énergie sous forme d'ondes électromagnétique. Inversement, tout corps susceptible d'absorber toute ou une partie de l'énergie électromagnétique analogue à celle qu'il serait susceptible d'émettre. Cette forme de transfert de chaleur ne nécessite donc, entre les coups considéré, aucun support matériel et s'identifier pratiquement à la propagation de la lumière c'est-à-dire l'optique.

En réalité, tout échange thermique s'effectue simultanément sous les formes précédentes mais généralement l'une d'elle est prédominante et les autres peuvent être négligées. Cependant, lorsque les trois modes de transfert de chaleur sont concurremment, il est nécessaire d'écrire que l'échange est la somme des trois effets, comme ce serait le cas pour le refroidissement à l'air d'une plaque métallique à très haute température, (9).

En fin il y a lieu de distinguer, comme en mécanique des fluides, les régimes établie (ou permanent) d'écoulement de la chaleur, caractérisé par la constance des températures locales, et le régime non établi ou transitoire ou les températures locales varient en fonction du temps de sorte que les équations de transfert comporteront le terme différentiel dit relatif au temps.

III-7-2-Calculs thermiques

III-7-2-1-Radiation

III-7-2-1-1.Evaluation de la quantité de chaleur transmise en radiation

Le nombre et la disposition des tubes d'une zone de radiation, ainsi que les caractéristiques dimensionnelles étant fixée, on peut déterminer quelle partie de la chaleur dégagée sera transmise par radiation au fluide circulant les tubes et également la température de sortie de fumes de cette zone, (9).

La convection étant négligée dans la chambre de combustion. Cette quantité de chaleur est influencée par celle libérer, la température, la composition du gaz de combustion, la surface de faisceau tubulaire ainsi que la disposition celui-ci par rapport au surface réfractaire non recouverte de tubes.

Les premiers facteurs dépendent de la quantité, de la nature du combustible et conditions de la combustion comme l'excès d'air et la température de préchauffage de l'air .les suivants sont des facteurs géométrique ou facteurs de forme, liés uniquement à l'architecture du four, (9).

Afin d'effectuer les calculs, il est nécessaire de poser quelques hypothèses de simplification .ainsi, la surface froide des tubes et celle des produits de combustion (surface emmetrice) sont suppose planes et largement plus grandes que les distances respectives .la suppose également que les températures de chacune des surfaces sont uniformes. En supposant également que les températures des gaz de combustion constantes, on suppose en même temps que la combustion est lente. Pour les brûleurs à prémélange, la température décroît le long du projet du gaz jusqu'à atteindre la température des fumées à la sortie du four. Il est donc nécessaire d'effectuer les calculs par tranche. On admet également que les réfractaires sont parfaitement isolants0 la supposition faite, on arrive à l'équation décrit par les lois du rayonnement :

$$Q_A = \sigma.F.A(T_g^4 - T_A^4)..... \text{(III-9)}.$$

Q_A : quantité de chaleur absorbée (kcal).

A : c'est la surface de corps noir ou surface d'absorption des tubes (m^2).

T_g : températures des gaz de combustions dans la zone de radiation (K).

T_A : la température de la surface des tubes (K).

σ : Constant de STEFAN BOLTZMAN est égale a : $4,96.10^{-8}$ kcal/h.m².K⁴.

F : coefficient d'échange.

III-7-2-1-2 .Bilan thermique de la zone de radiation

La chaleur dégage par la combustion est égale à la chaleur absorbée par les tubes.

$$Q_A = \sigma \cdot F \cdot A \left(T_g^4 - T_A^4 \right) \dots\dots \text{(III-10)}.$$

Q_A : quantité absorbe par m² de surface effectif d'absorption.

Soit :

T_f : la température de la flamme en combustion adiabatique.

M : massa de gaz de combustion produits par m² de surface absorbant effectif.

C_p : la chaleur spécifique moyenne.

La quantité de chaleur dégage par combustion est :

$$Q_L = M C_p (T_f - 273) \dots\dots \text{(III-11)}.$$

La quantité restant dans les gaz et quittant la chambre est :

$$Q_2 = M \cdot C_p (T_g - 273)$$

$$Q_L = Q_1 + Q_2 \Rightarrow Q_L - Q_2 = Q_1 \text{ ; C'est-à-dire :}$$

$$Q_1 = M C_p (T_f - T_g) = \sigma (T_g^4 - T_A^4)$$

Connaissant T_f et T_A , peut déterminer T_g .

III-7-2-2-Calcul du coefficient global d'échange

Puisqu'il nous est possible de trouver « T_g », il faut à présent de déterminer « F » puisque la surface des tubes est supposée plane et celle des gaz parallèle, on sait que si les deux surface étaient noires . Le coefficient d'échange serait :

$$F = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_A} + \frac{1}{\epsilon_F} - 1} \dots\dots\dots \text{(III-12)}.$$

Sont à déterminer donc : ϵ_A , traduisant l'équivalence entre la surface réelle d'absorption des tubes et une surface noire plane A ; ϵ_F facteur d'émission nette des gaz , fonction du facteur d'émission brute ϵ_F DE CES DERNIERS AINSI que des facteurs de forme , l'enceint du four étant constituée de surfaces réfractaires réfléchissantes A_R et de la surfaces absorbantés A_{RT} , (9).

III-7-2-2-1-Rayonnement direct

Chaque élément de tube reçoit la radiation à un taux différent et les tubes n'interceptent pas la totalité du rayonnement incident. L'intégration, le long de la circonférence du tube. De l'intensité du rayonnement en chaque point permet de déterminer la fraction de l'énergie calorifique incidente absorbée par le tube. Elle ne dépend que de l'entr'axe des tubes, (9).

III-7-2-2-2-Facteur d'émission des gaz de combustion

Parmi les gaz produits par la combustion, seuls les hétéropolaires (CO_2 , SO_2) sont susceptibles de rayonner, mais n'émettent de rayonnement que dans certains intervalles de longueurs d'ondes et absorbent les rayonnements dans ce même intervalles. Les autres, tels que l' O_2 et l' N_2 SONT DES MOLECULES SYMETRIQUES ? TRANSPARENTES et n'émettent aucun rayonnement, (9).

Kirchhoff pricese que le facteur d'émission et le facteur d'absorption à une même température sont égaux.

$Q = \sigma(\epsilon_g T_g^4 - \alpha_g T_A^4)$ Échange net de de chaleur entre gaz rayonnant à T_g , l'enceinte qui le contient supposée à T_A

ϵ_g : facteur d'émission à T_g , α_g : facteur d'absorption à T_A on peut donc écrire :

$$Q = \sigma \epsilon_f (T_g^4 - T_A^4) \dots \dots \text{(III-13)}.$$

$$\epsilon_f = \frac{\epsilon_g - \alpha_g \left(\frac{T_A}{T_g} \right)^4}{1 - \left(\frac{T_A}{T_g} \right)^4} \dots \dots \text{(III-14)}.$$

ϵ_f : facteur d'émission net des gaz vers les parois de l'enceinte

on appelle « épaisseur utile » l'épaisseur correspondant au rayon d'une sphère de gaz qui aurait le même pouvoir émissif que le volume de gaz contenu dans le four .elle dépende de la forme du four.

III-7-2-3-Rayonnement des réfractaires nus

En supposant que la totalité des parois réfractaires soit recouvertes des tubes et donc que transmission entière de la chaleur entre les gaz de combustion et les tubes se fasse par radiation directe. Sachant également qu'il est admis que la surface émettrice des gaz et la surface réceptrice équivalente au tube étant parallèle et de grandes dimensions par rapport à leur distance, on a :

$$F = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_A} + \frac{1}{\epsilon_f} - 1} \dots\dots \text{(III-14)}.$$

La quantité de chaleur transmise par les gaz aux réfractaires est :

$$Q_{G,R} = \sigma A_R F_{G,R} (T_g^4 - T_R^4) \dots\dots \text{(III-15)}.$$

A_R : surface des réfractaires nus ; $F_{G,R}$: fraction de rayonnement qu'ils reçoivent la quantité transmise des réfractaire à la surface absorbante est :

$$Q_{R,A} = \sigma A_R F_{G,R} (T_R^4 - T_A^4)$$

par hypothèse :

$$Q_{RA} = Q_{GR} \Rightarrow T_R^4 = \frac{A_R \cdot F_{GR} \cdot T_g^4 + A \cdot F_{RA} \cdot T_A^4}{A_R \cdot F_{GR} + A \cdot F_{RA}}$$

$$\Rightarrow Q_{RA} = \sigma \cdot A \frac{F_{RA} \cdot F_{GR}}{F_{GR} + \frac{A}{A_R} \cdot F_{RA}} (T_g^4 - T_A^4)$$

Le terme $\frac{F_{RA} \cdot F_{GR}}{F_{GR} + \frac{A}{A_R} \cdot F_{RA}}$ représente la fraction de rayonnement transmise des gaz chauds vers

la surface froide par l'intermédiaire des réfractaires, (9).

$$F_{RA} = (1 - \epsilon_f) \cdot Q \quad Q : \text{facteur de forme}$$

On aura donc, après recombinaison de l'expression précédente :

$$- \varepsilon_F = \varepsilon_f \left[1 + \frac{\frac{A_R}{A}}{1 + \frac{\varepsilon_f}{1 - \varepsilon_f} \cdot \frac{1}{\varphi}} \right]$$

Calcul définitif du coefficient global d'échange :

Définitivement on a : $F = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_A} + \frac{1}{\varepsilon_f} - 1}$, qui s'applique à la surface équivalente du plan

contenant quand Q peut être mise sous la forme $\frac{A + A_R}{A}$, FD sera sous forme simplifiée

$$F \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_A} + \frac{A}{A + A_R} \left(\frac{1}{\varepsilon_f} - 1 \right)} \dots\dots \text{(III-16).}$$

III-7-2-3-Détermination pratique

La fraction de chaleur absorbée par radiation est :

$$R = \frac{1}{1 + \frac{\sigma^* \sqrt{\frac{Q}{A_{RT}}} \cdot \varepsilon_A}{6940}} \text{ (1) } \dots\dots \text{(III-17).}$$

σ^* : rapport de poids d'air au poids de combustible

Q : chaleur libérée (kg/h) compte tenu du préchauffage de l'air.

A_{RT} : Air des parois réfractaire devant les quelles sont montés les tubes.

ε_A : facteur d'absorption des rangées de tubes.

Soit : n : nombre de rangées et N : nombre de tubes par rangée.

C : entr'axe , D : diamètre L : longueur du tube.

$$A_{RT} = L \cdot N \cdot C$$

$$A_t = N \cdot n \cdot \pi L = \pi \cdot n \cdot A_{RT} \cdot \frac{D}{C}$$

La quantité de chaleur libérée est : $\varphi = A_t \cdot \frac{q}{R} = \frac{q}{R} + \frac{D}{C} n \Pi A_{RT}$ (2)

q : taux d'absorption par m^3 de surface des tubes.

Effectuons le rapport $\frac{(2)}{(1)} \Rightarrow R = \frac{1}{G^\mu \cdot \frac{q}{R} \cdot \frac{D}{C} \cdot \frac{n \Pi}{\epsilon_A}} c \dots \dots (III-18).$

$$1 + \frac{6940}{\dots}$$

III-7-2-4-Méthode DE LOBO-EVANS

- Démarche à suivre : -déterminer la surface effectif : $A = \epsilon_A \cdot A_{RT}$
- Déterminer la épaisseur utile « L » des gaz de combustion d'après la nature de combustion et de l'excès d'air puis calcule P.L.
- En fonction de la température du fluide et du taux de transfert « q » désiré, calcule la température de peau des tubes « T_A ».
- Estimer une température des gaz « t_g », d'après la courbe d'enthalpie des fumées et l'enthalpie de combustion « H_f », en déduit la fraction de la chaleur totale libérée dans le four et absorbée par le tube.(*) , (9).

$$R = \frac{H_f - H_{tg}}{H_f} \qquad Q = \frac{q}{R} \cdot \frac{D}{C} \Pi \cdot n \cdot L \cdot N \cdot C \dots \dots (III-19).$$

- Facteur d'émission de la flamme ϵ_f en fonction de P.L, T_g et T_A
- Surface des réfractaires nus. par calcul direct ou graphiquement ; calcul du facteur d'échange globale « F » en déduire F_A ET Q/F_A .
- A partir de la température estimée, calculer la température de pseudo flamme par calcul.
- Détermination de manière graphique T_g , valeur devant être égale à T_g estimée à 25° près ; si non on reprend l'opération du point (*)

III-7-2-5-Convection

Ce sont les tubes placés sur le trajet des fumées sortant de la zone de radiation pour le calcul des zones de convection, Morand nous donne les formules suivantes pour les faisceaux de tube lisses :

○ **Coefficient de convection :** $h_c = 0.018 C_p \frac{(G_{\max})^{2/3} - T^{0.3}}{D^{1/3}}$

$[KCal / h.m^2.k]$

C_p : chaleur massique des fumées à la section minimale de passage $[kcal.h^{-1}.m^{-2}]$

T : température moyenne des fumées ; D : diamètre extérieure des tubes

○ **Coefficient de radiation de gaz :** $h_{rg} = (2,2.10^{-2}.t)-2 [kcal / h.m^2.c]$

t : température moyenne des fumées (C°)

Effet de radiation des murs : $E \% = 100 \frac{h_m \cdot A_m}{(h_c + h_{rg} + h_m) A_t}$

A_m : surface des murs de zone de convection, m^2

A_t : surface extérieure des tubes ; $h_m = 0,165.e. \left(\frac{T}{100}\right)^3 [kcal.h^{-1}.m^{-2}.k^{-1}]$

L'effet des murs peut atteindre 15% du coefficient global

○ **Coefficient global du film (coté fumées) :**

$h_0 = \frac{100 + E}{100} (h_c + h_{rg}) \dots\dots (III-20).$

III-7-2-6-Perte de charge

Les pertes de charge dues aux frottements sont donnés par :

$dp = -\frac{f.\rho.U^2}{D} dL = -\frac{16f.V.M^2}{\Pi^2.D^5} dL = -\frac{f.V.G^2}{D} dL \dots\dots (III-21).$

dp : perte de charge dans élément de longueur dL ;

V : volume massique ;

U : vitesse du fluide ; $\frac{4M}{\pi.\rho.D^2} = \frac{G}{\rho} = G.V$;

M : débit massique de fluide ;

G : vitesse massique ;

D : diamètre intérieur des tubes.

F : coefficient de frottements ; fonction de $Re = 4.\tau / \rho U^2$

$$Re = \frac{D.U.\rho}{\mu} = \frac{4.M}{\pi.D.\mu} = \frac{D.G}{\mu}$$

μ : Viscosité dynamique.

- Pression dynamique : $P_d = \frac{1}{2}.\rho.U^2 = \frac{8M^2.V}{\pi .D^4} = \frac{1}{2}G^2 .V \dots\dots \text{(III-22)}$.

A- Cas d'un liquide réchauffé sans changement d'état :

$$P_e - P_s = \frac{G^2}{D} .f.V.L \dots\dots\dots \text{(III-23)}$$

P_e, P_s : Pression, respectivement, d'entrée et de sortie.

L : longueur équivalente du faisceau.

B- cas d'un gaz :

$$P dp = - \frac{G^2}{D} f .pV .dL \dots\dots\dots \text{(III-24)}$$

Supposons que la quantité de chaleur transmise par mètre de longueur des tubes est constante, de même que pour la chaleur massique du gaz, (9).

La température T est alors fonction linéaire de L, et comme PV ne dépend que de T alors :

$$P_e^2 - P_s^2 = \frac{G}{D} (P V_e + P V_s) .f.L \dots\dots\dots \text{(III-25)}$$

On peut alors calculer $(PV)_e$ et donc les pertes.

C. cas d'un liquide avec changement d'état (vaporisation) :

Le pourcentage vaporisé en un point du faisceau dépend de la pression et de la température du fluide en ce point. Dès que la vaporisation se produit, le volume massique et par conséquent les pertes de charge augmentent considérablement. il en résulte que la vaporisation ne se produit que dans les derniers mètres du faisceau, où la pression chahute très vite. Pour déterminer les pertes de charge dans ce cas .on procédé par approximation successives, par la méthode de LUDWING ou encore par intégration graphique, (9).

D. Cas où la pression dynamique n'est pas négligée :

A' entrée : $P_t = P_{\text{Statique}} + P_{\text{dynamique}}$

$$P_t = P + \frac{1}{2} G^2 \cdot V.$$

A la sortie : $P_t = P + dP + \frac{1}{2} G^2 \cdot (V + dV) + G^2 \cdot V \cdot F \cdot dL$

$$dp + \frac{1}{2} G^2 \cdot dv + \frac{G^2 \cdot V}{D} F \cdot dL = 0.$$

$$dp + \frac{1}{2} G^2 \cdot dv + \frac{1}{4} \frac{G^3 \cdot V}{q} F \cdot dH = 0. \text{ ----- (1)}$$

$$dP^* = Dp + \frac{1}{2} G^2 \cdot dV \quad \text{avec} \quad p^* = P_{\text{stati}} + p_{\text{dyna}} \quad P^* = P + \frac{1}{2} G^2 \cdot V \quad \text{-- (2)}$$

$$(1) \Rightarrow dP^* + \frac{1}{4} \cdot \frac{G^2 \cdot V}{q} \cdot F \cdot dH = 0 \Rightarrow \frac{dP^*}{dH} = -\frac{1}{4} \cdot \frac{G^2 \cdot V}{q} F \dots \dots \text{(III-26)}.$$

E- Pertes de charge dans les circuits de fumées :

❖ **A. Zone de convection :** $\Delta P = F \cdot \left(\frac{D_v}{S_T} \right)^{0,4} \cdot \frac{L}{D_v} \cdot P_d \dots \dots \text{(III-27)}$

P_d : pression dynamique pour un débit massique maximum.

L : hauteur du faisceau ; D_v : diamètre hydraulique.

S_T : espace entre les tubes sur un même plan horizontal.

❖ **B. dans la cheminée :** S'expriment en fonction de la pression dynamique des

fumées : $P_{df} = \varpi \cdot \frac{V^2}{2g}$, (9).....(III-28).

Chapitre IV



IV-1-Introduction

Le département est chargé d'étudier, de recommander et de faire respecter les moyens et les méthodes préventives pour éviter tout incident pouvant causer des pertes des matériels. Ce service se devise en :

- Service de surveillance.
- Service de prévention.
- Service d'intervention.

IV-2- Services de la sécurité**IV-2-1- Service de surveillance**

Ce service organise des contrats à fin de réaliser une bonne surveillance au sein de la raffinerie, (11)..

Ces contrats consistant à effectuer une vérification du matériel entrant et sortant de l'enceinte ainsi que le mouvement de l'ensemble du personnel surtout ceux de production. Les agents travaillent 24H sur 24 H en service de quart pour assurer à chaque moment une bonne surveillance.

IV-2-2- Service de prévention

Service de prévention est formé d'inspecteur de sécurité affecté au niveau de chaque zone à fin d'être le conseiller de chef de zone en matière de sécurité.

Leur travail est le contrôle des travaux au niveau de chaque zone et l'élaboration de statistiques intérieurs sur le travail effectué.

Ce service s'occupe d'offrir les équipements de sécurité recommandés aux travailleurs de chaque service tel que : combinaisons, casques, soulier de sécurité, (11).

IV-2-3- Service d'intervention

C'est un service très important car c'est sur lui que repose la charge en cas d'incident (feu comme exemple) pour cela et pour éviter le risque que les agents courent pendant ces opérations on adapte chez eux une devise qui est la rapidité d'intervention et l'efficacité d'exécution.

Pour éviter ces incidents ils effectuent quotidiennement des inspections et assurent une maintenance par personnel.

Il est à signaler que ce service effectue chaque lundi une manœuvre qui sera comme un entraînement pour l'ensemble des agents afin d'avoir des réflexes.

Il y a beaucoup de réglage de sécurité qu'il est très important d'appliquer lors de l'exploitation d'une usine de gaz. Le traitement de gaz haute pression et d'hydrocarbures liquides peut être dangereux si ces réglages ne sont pas rigoureusement observés à tous moments. Pour cette raison, il est impératif que chacun s'efforce de penser constamment pendant les heures de travail à la sécurité de l'usine. De cette façon, les conditions de travail présentant un danger seront détectées et signalées à qui de droit et les opérations peu sûres seront éliminées, (11).

Tout le personnel doit posséder trois caractéristiques très importantes en vue d'accomplir ses tâches en toute sécurité :

Des connaissances approfondies en ce qui concerne l'exploitation d'usine.

Etre conscient de tous les dangers qui existent.

Avoir une connaissance absolue de l'existence, de l'emplacement et l'usage approprié de tous l'équipement de sécurité disponible à l'usine.

IV-3-Quelques risques liés au procédé

On peut distinguer deux risques majeurs liés directement au procédé de traitement de gaz :

- L'explosion.
- l'incendie.

IV-3,1- Au niveau des conduits et capacités

On peut avoir une rupture des parois à cause de la corrosion d'une part, et les points faibles d'autre part.

L'augmentation de pression engendre une explosion comme elle peut engendre également un incendie.

IV-3,2- Au niveau des vannes

Généralement dans les vannes, c'est les fuites de joint avec une source de chaleur qui peuvent causer une explosion ou un incendie.

IV-3,3 - Au niveau des machines tournantes

- Les fuites des pompes
- Une détérioration de compresseur (sur échauffement de l'arbre).
- Le risque de vibration dans les turbines.
- Cavitation des pompes.

IV-3,4- Au niveau des systèmes électriques

Les installations électriques peuvent causer un incendie, et plusieurs dégâts à l'usine. Cela est dû à la surtension accidentelle au niveau de certains équipements, (11).

IV-4- Mesure de sécurité générale**IV-4,1 - protection des personnels**

- Tout contact de la peau avec les liquides et les équipements chauds ou froids devrait être évité, de tel contact entraînant des brûlures graves.
- Il est recommandé au personnel de porter un masque ou des lunettes protectrices et des gants pour travailler avec de l'équipement et des matériaux chauds ou froids
- Le personnel devra porter des dispositifs de protection contre les bruits pour travailler dans les endroits où le niveau de bruit est élevé, (11).

IV-4,2 - Protection de l'équipement

- Les conduites, les récipients et l'équipement contenant des liquides ne devraient pas être « verrouillés », sans aucuns moyens de détente de pression, laquelle pourrait monter à la suite d'une augmentation de température.
- Pour éviter le dégagement de vapeurs d'hydrocarbures lorsqu'on évacue l'eau de l'équipement, au cours du démarrage ou d'un arrêt. Les trains ne doivent pas être lissés sans surveillance. La soupape la plus proche des récipients devrait rester en position ouverte pour qu'on puisse la fermer si la soupape en aval se bouche à la suite de formation d'hydrates.
- Ne pas utiliser de flexible pour un service associé aux hydrocarbures à moins qu'il n'ait été approuvé pour le dit service
- Pour déboucher les raccords de trains encrassés ou bouchés, n'utiliser qu'un dispositif de débouchage approuvé ou tout autre moyen autorisé par le superviseur de la production
- La tuyauterie d'eau potable ne devrait pas être raccordée à l'équipement en fonctionnement (un intervalle d'air doit être prévu).
- Un clapet de retenue doit être installé aux points où les utilités (air, eau, méthanol et gaz inerte) sont raccordées directement à l'équipement ou aux conduites de procédé.
- Avant d'isoler les compresseurs de gaz au moyen de brides à lunettes, le gaz devrait être dégagé vers la torche et le gaz restant déplacé à l'aide de gaz inerte.
- Avant de retirer une bride à lunettes, il faut toujours s'assurer que les deux cotés ont été bloqués, que le système a été dépressurisé et que les purgeurs sont ouverts des deux cotés, (11).
- Lors du chargement des hydrocarbures liquides dans l'équipement, empêcher le refroidissement de choc de cause une vaporisation en suivant les procédures prescrites.

- Les mélanges d'huile et d'eau sont difficiles à contrôler particulièrement dans les équipements chauds .une vaporisation peut se produire avec violence explosive., (11).
- Les alarmes de l'usine, les dispositifs d'arrêt et la vanne d'isolement, éléments critiques lors de l'arrêt de l'usine devraient être vérifiés à intervalles réguliers.
- Inspecter l'équipement de protection contre l'incendie et de sécurité une fois par semaine et une fois par mois.
- Eviter de respirer les vapeurs d'hydrocarbures lors de la prise d'échantillons.
- Etiqueter et identifier les équipements défectueux et les envoyer aux ateliers afin que le personnel chargé des réparations puisse prendre les mesures nécessaires.
- Eviter de surchauffer les paliers des moteurs, pompes et compresseurs, qui constituent des risques d'incendie. , (8).
- Les soupapes situées en amont des manomètres ne devraient être ouvertes que d'un tour complet, mais jamais intégralement .en cas de fuite, elles peuvent être fermées rapidement.
- Tous les événements et les purgeurs doivent être munis d'obturateur vissés à l'intérieur .Un serrage à la main est suffisant.
- Le personnel d'exploitation devrait connaître l'emplacement de tout l'équipement de sécurité prévu pour l'usine et savoir quand et comment l'utiliser .Ceci devrait inclure
 - l'équipement de protection et de lutte contre l'incendie, (11).

IV-4,3-Protection contre les incendies

- L'existence d'un feu nécessite trois conditions simultanées .Tout d'abord il faut la présence d'un combustible sous forme de vapeur comburante. Deuxièmement, il faut la présence d'oxygène à un taux de concentration suffisant pour maintenir la combustion. Enfin, il faut une chaleur suffisante pour enflammer cette vapeur, et sa quantité et sa durée d'application varient suivent la substance de laquelle provient la vapeur, (11).
- La protection contre tout incendie dépend entièrement de l'exclusion de l'une de ces conditions des deux autres. l'extinction d'un incendie dépend des mêmes principes généraux :
 - Empêcher la formation ou l'échappement de vapeur (ne pas alimenter le feu
 - Réduire la chaleur de la substance en combustion à une température inférieure à la température d'allumage
 - Eliminer l'air de la substance en combustion (étouffer le feu).

- Si on utilise de l'eau- incendie pour remplir l'équipement, un clapet de retenue devrait être prévu dans la conduite de remplissage Avant d'éteindre un feu, couper la source de combustible, (11).
- Ne pas utilisé l'eau-incendie à d'autre fins que pour la protection contre les incendies.

IV-5-Sécurité des fours

Etant donné les conditions opératoires très sévères d'un four en service et son budget relativement important, la sécurité de cet équipement est indispensable.

Les fonctions de sécurité des fours consistent à éliminer tous les risques éventuels et à réduire à un degré minimal les dangers afin de protéger l'intégrité du matériel et d'éviter les préjudices humains , (9).

La sécurité des fours est assurée par un ensemble de fonctions, avec Déclenchement d'alarme ou intervention directe sur la marche du four. Les instruments assurant ces fonctions sont incorporés dans la chaîne de sécurité de l'unité ; certains étant reportés en salle de contrôle.

IV-5,1-fonctions de sécurité

Les principales fonctions de sécurité sont énumérées ci-dessous :

- coupure des feux par pression du combustible basse.
- contrôle de flamme par pilotes ou cellules.
- surpression limitée par soupape, et portes d'explosion.
- verrouillage autorisent l'alimentation en air de combustion et en
- Combustible ouverture du registre à la défaillance de la commande.
- alimentation en vapeur d'étouffement.
- alimentation en vapeur de protection à l'intérieur des tubes.
- purge vapeur des cannes assurées par un système de verrouillage.

IV-5,2- sécurité des brûleurs

D'après ces fonctions, on remarque que le risque se situe essentiellement au niveau des brûleurs. Pour cela, un soin particulier doit être réservé aux équipements de chauffe. En effet, dans les chauffés automatiques, semi-automatique et celles à main, lorsque les

variations de débit sont grandes, il est de plus en plus nécessaire de prévoir des sécurités en cas d'extinction (le risque est important aux faibles débits du combustible), (9).

Ce n'est pas l'extinction en elle-même qui est à craindre, mais ses conséquences. Lorsque un brûleur s'éteint et l'arrivée du combustible a toujours lieu d'être, l'enceinte des fumées est occupée par un mélange inflammable qui peut s'allumer au contact d'un point chaud (pot de suies en ignition, torche d'allumage ou brûleur de soutien laissé en service). La combustion brusque du mélange donne lieu à une surpression instantanée importante pouvant produire de très graves dégâts.

Toute extinction des brûleurs qui dure plus de quelques seconds est détectée par des cellules sensibles aux radiations des flammes des combustibles utilisés. Les cellules agissent par l'intermédiaires de relais sur des sécurités montées en série avec les autres dispositifs : manque d'eau, manque de pression du combustible, insuffisance de température dans le cas de fuel, manque d'air de combustion, manque de tirage, etc.... dont l'intervention en service arrête l'installation, (9).

Certaines sécurités doivent être mises hors service, pendant les opérations de démarrage, pour permettre l'allumage. D'autres doivent agir dans un sens déterminé, par exemple, le manque de tirage doit déterminer l'arrêt, mais un manque de combustible ou d'air de soufflage ne doit pas couper le tirage afin de permettre le balayage...etc.

Chapitre v

V-1-Conception du four

Le four H 182 est constitué d'une enveloppe métallique de four cylindrique. Ce four comporte :

-Une zone de radiation où les tubes verticaux sont directement exposés à la flamme et reçoivent la chaleur pour radiation. voir la figure V-1

-Une zone de convection est installée à la sortie des fumées. Elle est constituée d'un faisceau de tubes placé perpendiculairement à la direction des fumées de façon à augmenter le coefficient d'échange, (8).

-Un équipement de chauffage comprenant 08 brûleurs situés à la base de la chambre de combustion.

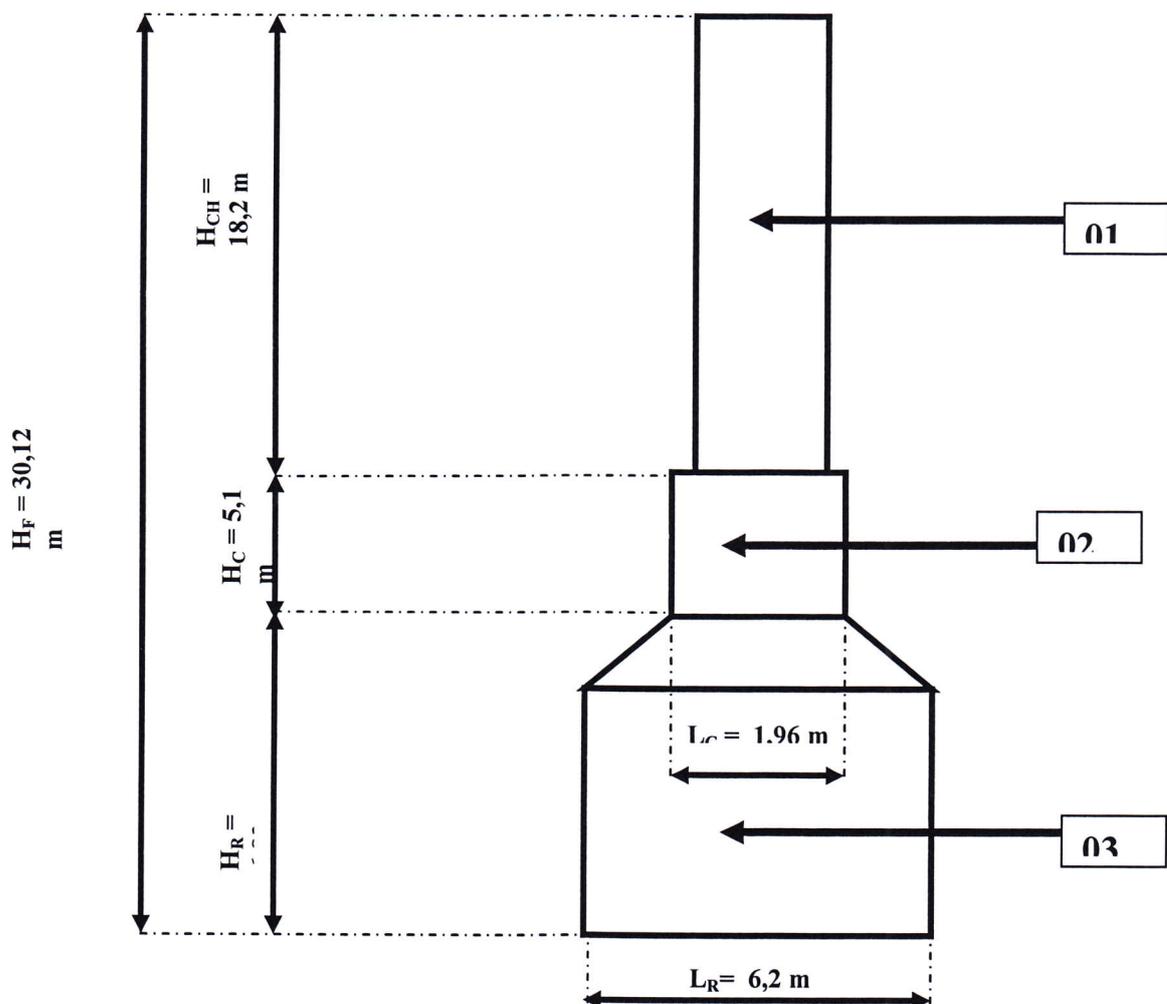


Figure V-1 : Constituant de four

V-2- Caractéristique de four H182

Type	four tubulaire
Fonction	chauffage.
Fluide caloporteur	huile
Nombre de passe	4
Nombre de tubes par passe	16

V-3- Problème du four H182

Le four H182 est considéré comme le cœur du train de traitement. Ce four est incorporé au train d'échange de chaleur afin d'apporter les calories complémentaires pour réchauffer l'huile. La question qui se pose est: est-ce-que le rendement actuel de ce four est le même que celui au démarrage du train en 1984, où il y a eu une variation. Pour y répondre j'ai fait des calculs de vérification de rendement de ce four actuellement.

V-4-calcul de four H182**Données de départ**

- Débit de la charge a chauffé : **250000 Kg/H.**
- Température d'entrée de la charge : **218 °C.**
- Taux de vaporisation : **50%.**
- Pression de la charge à l'entrée : **Pe : 7,8bars.**
- Pression de la charge à la sortie : **Ps : 4,4 bars.**
- Excès d'air : **20 %.**
- Température de l'air de combustion : **45 °C.**
- Humidité relative de l'air : **45 %.**
- Rendement : **80%**
- Composition du gaz combustible (fuel - gaz) :

Tableau V-1 : Composition du gaz combustible (fuel - gaz) le 09/03/2010.

Composant	N ₂	CO ₂	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅	C ₆
(%mol)	0,46	3,88	85,76	7,63	1,68	0,18	0,29	0,05	0,04	0,03

Les calculs effectués :

- Calcul de la combustion.
- Calcul de vérification de rendement du four H182

V-1. Calcul de la combustion :

Le calcul est basé sur l'équation stœchiométrique de la combustion des hydrocarbures ayant la formule généralisée C_nH_m , avec des excès d'air variant de **10% à 40%** selon les équipements de chauffage, (9).

V-1-1. Réaction à combustion :

Formule générale :

**V-1-2. Quantité d'oxygène (O₂) nécessaire à la combustion :**

D'après les réactions de combustion de fuel gaz D' ALRAR :

$$N_{O_2} = 2 \times (0,8576) + 7/2 \times (0,0763) + 5 \times (0,0168) + 13/2 \times (0,0018) \\ + 13/2 \times (0,0029) + 8 \times (0,0005) + 8 \times (0,0004) + 19/2 \times (0,0003)$$

$$\rightarrow \boxed{N_{O_2} = 2,11585 \text{ Kmol/Kmol}_{\text{gaz}}}$$

La quantité pratique de O₂ en tenant compte l'excès d'air ($\alpha=20\%$).

$$\text{Donc: } N_{O_2} = N_{O_2} + \alpha \times N_{O_2} \rightarrow N_{O_2} = (1 + 0,2) \times 2,11585$$

$$\rightarrow \boxed{N_{O_2P} = 2,53902 \text{ Kmol/Kmol}_{\text{gaz}}}$$

V-1-3. La quantité d'air nécessaire à la combustion :

Comme la teneur de l'air en O₂ est 21%, alors la quantité d'air théorique :

$$N_{AIR_{Th}} = N_{O2_{TH}} \times \frac{100}{21} \rightarrow N_{AIR_{Th}} = 2,11585 \times \frac{100}{21}$$

$$\rightarrow \boxed{N_{Air_{th}} = 10,07547 \text{ Kmol/Kmol}}$$

La quantité pratique de l'air en tenant compte l'excès ($\alpha=20\%$) est :

$$N_{AIR_{P}} = (1 + \alpha) \times N_{AIR_{Th}} \rightarrow$$

$$N_{AIR_{P}} = (1 + 0,2) \times 10,0754$$

$$\boxed{N_{air P} = 12,0905 \text{ Kmol/Kmol}_{gaz}}$$

V-1-4. Les quantités des produits de la combustion (Composition des fumées) :

- La quantité dioxyde de carbone (CO₂) dégagé :

$$N_{CO2} = 0,8576 + 2 \times (0,0763) + 3 \times (0,0168) + 4 \times (0,0018) + 4 \times (0,0029)$$

$$+ 5 \times (0,0005) + 5 \times (0,0004) + 6 \times (0,0003)$$

$$\rightarrow \boxed{N_{CO2} = 1,0857 \text{ Kmol/Kmol}_{gaz}}$$

- La quantité d'eau (H₂O) dégagé :

$$N_{H2O} = 2 \times (0,8576) + 3 \times (0,0763) + 4 \times (0,0168) + 5 \times (0,0018) + 5 \times (0,0029)$$

$$+ 6 \times (0,0005) + 6 \times (0,0004) + 7 \times (0,0003)$$

$$\rightarrow \boxed{N_{H2O} = 2,0423 \text{ Kmol/Kmol}_{gaz}}$$

En tenant compte l'humidité de l'air, la quantité d'eau est alors :

$$N_{H2O} = N_{Air} \cdot P_{H2O} / (P - P_{H2O}) \dots\dots(V-2).$$

Avec :

- P_{H_2O} : la pression partielle de l'eau (72,385 mmHg)
- P : la pression atmosphérique (760 mmHg)
- N_{Air} : La quantité de l'eau contenue dans l'air (Kmol).

$$N_{H_2O} = 12,0905 \cdot 72,385 / (760 - 72,385) \rightarrow N_{H_2O} = 1,2727 \text{ Kmol/Kmol}_{\text{gaz}}$$

Soit l'humidité relative de l'air (45%) :

$$N'_{H_2O} = N_{H_2O} \cdot (45/100) \rightarrow N'_{H_2O} = 1,2727 \cdot (45/100)$$

$$\rightarrow N'_{H_2O} = 0,5727 \text{ Kmol/Kmol}_{\text{gaz}}$$

➤ La quantité d'eau totale :

$$N_{H_2O} = 2,0423 + 0,5727 \rightarrow N_{H_2O\text{Totale}} = 2,615 \text{ Kmol/Kmol}_{\text{gaz}}$$

➤ La quantité d'azote (N_2) dans l'air :

$$N_{N_2} = 0,79 \times (12,0905) \rightarrow N_{N_2} = 9,5514 \text{ Kmol/Kmol}_{\text{gaz}}$$

quantité d'azote totale : $N_{N_2\text{Totale}} = N_{N_2\text{air}} + N_{N_2\text{gaz}} \dots \dots (V-2).$

$$N_{N_2\text{Totale}} = 9,5514 + 0,46 \rightarrow N_{N_2\text{Totale}} = 10,0114 \text{ Kmol/Kmol}_{\text{gaz}}$$

V-1-5. Caractéristique des fumées :

Tableau V-2 : Caractéristique des fumées

Composant	PM (Kg/Kmol)	Quantité (Kmol)	% Vol	% Mol	$M_i \cdot X_i$
CO ₂	44	1,0857	7,6807	7,6807	3,3795
H ₂ O	18	2,615	18,4998	18,4998	3,3299
N ₂	28	10,0115	70,8262	70,8262	19,8313
O ₂	32	0,4231	2,9932	2,9932	0,9578
Total		14,1353	100	100	24,4985

Tableau V-3 : Composition des fumées

Composition de Combustible	% Mol	O ₂ pour La combustion	Composition des fumées				Composition de Combustible
			CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	
N ₂	0,46	---	---	---	---	0,46	N ₂
CO ₂	3,88	---	3,88	---	---	---	CO ₂
C ₁	85,76	171,52	85,76	171,52	---	---	C ₁
C ₂	7,63	26,70	15,26	22,9	---	---	C ₂
C ₃	1,68	8,40	5,04	6,72	---	---	C ₃
iC ₄	0,18	1,17	0,72	0,9	---	---	iC ₄
nC ₄	0,29	1,88	1,16	1,45	---	---	nC ₄
iC ₅	0,05	0,4	0,25	0,3	---	---	iC ₅
nC ₅	0,04	0,32	0,20	0,24	---	---	nC ₅
C ₆	0,03	0,28	0,18	0,18	---	---	C ₆
Total	100	210.67		57,27	42,134	955.6	Air de Combustion
O₂ excès (20%)		42,134	112.45	261,5	42,134	955.6	Total
O₂ comb		252,804					0.082
N₂ air		955.14	1371.224				N^{bre} total des fumées pour 100 moles de gaz combustible
N^{bre} de Kmol d'air de combustion pour 100 moles de gaz combustible		1207.944					

V-1-6. Calcul les spécifications des fumées et de gaz combustible

- 1- La masse moléculaire des fumées :

$$M_f = \sum_i^4 M_i X_i \dots\dots(V-3).$$

$$\rightarrow M_f = 44 \times (0,0768) + 18 \times (0,1849) + 28 \times (0,7082) + 32 \times (0,0299)$$

→

$$M_f = 27.4938 \text{ Kg/Kmol}$$

- 2- La masse volumique des fumées aux conditions normales :

$$\rho_f = \frac{M_f}{22,4} \dots\dots(V-4).$$

$$\rightarrow \rho_f = 27,4938/22,4 \rightarrow \rho_f = 1,2274 \text{ Kg/m}^3$$

- 3- Volume des fumées formées par la combustion de 1Nm^3 de fuel gaz :

$$V_f = 1371,224/100$$

→

$$V_f = 13,722 \text{ Nm}^3$$

- 4- La masse moléculaire de gaz combustible : $M_{\text{gazcomb}} = \Sigma (M_i \cdot Y_i)$

$$M_f = 28 \times (0,0046) + 44(0,0388) + 16 \times (0,8576) + 30 \times (0,0763) + 44 \times (0,0168)$$

$$+ 58 \times (0,0018) + 58 \times (0,0029) + 72 \times (0,0005) + 72 \times (0,0004) + 86 \times (0,0003).$$

→

$$M_{\text{gaz comb}} = 18,172 \text{ Kg/Kmol}$$

- 5- La masse volumique de combustible aux conditions normales :

$$\rho_{\text{com}} = \frac{M_{\text{com}}}{22,4} \dots\dots(V-5).$$

$$\rightarrow \rho_{\text{com}} = 18,172/22.4 \rightarrow \rho_{\text{com}} = 0,811 \text{ Kg/m}^3$$

- 6- La masse volumique de l'air :

$$\rho_{\text{air}} = 1,293 \text{ Kg/m}^3$$

- 7- Le débit d'air sec pour un 1 Kg de combustible :

$$L_s = 1,293 \cdot (N_{Air}/\rho_{com}) \dots\dots(V-6).$$

$$\rightarrow L_s = 1,293 \cdot (12,0905/0,811)$$

$$\rightarrow L_s = 19,276 \text{ Kg/Kg comb}$$

- 8- La quantité des fumées rapportée à 1Kg de gaz :

$$G_f = V_f \cdot (\rho_f / \rho_{comb}) \dots\dots(V-7).$$

$$\rightarrow G_f = 13,722 \cdot (1,2274 / 0,811)$$

$$G_f = 20,7674 \text{ Kg fumées s / Kg comb}$$

Si l'on considère l'humidité de l'air, on peut calculer la quantité prise des fumées par la combustion de 1Kg de combustible :

$$G_f = V_{Air} \cdot (\rho_{Air} / \rho_{comb}) \dots\dots(V-8).$$

$$\rightarrow G_f = 12,0905 \cdot (1,293 / 0,811)$$

$$\rightarrow G_f = 19,2762 \text{ Kg/Kg comb}$$

V-1-7. Pouvoir calorifique du combustible :

Tableau V-4 : Pouvoir calorifique des gazes, (10).

Gaz	N ₂	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₃ H ₆	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	iC ₅ H ₁₂	nC ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄
PCS Kcal/Nm ³	---	---	8859	15523	22101	28576	28644	35123	35190	41754

- Calcul du pouvoir calorifique inférieur du combustible : (PCI)

$$PCI = PCS - 10,9 \cdot N \quad (\text{pour un gaz}). \dots\dots(V-9).$$

Avec : N : nombre de moles de H₂O.

- Détermination du nombre de moles de l'eau :

$$1 \text{ mol de gaz} \longrightarrow 2,615 \text{ moles de H}_2\text{O}.$$

$$22,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol de gaz} \longrightarrow 2,615 \text{ moles de H}_2\text{O}.$$

$$1 \text{ Nm}^3 \text{ de gaz} \longrightarrow N.$$

Donc :

$$N = 116,741 \text{ moles de H}_2\text{O}$$

- Calcul du pouvoir calorifique supérieur du combustible : (PCS)

$$PCS_{\text{moy}} = \Sigma (Y'_i \cdot PCS_i) \dots\dots(V-10).$$

$$\rightarrow PCS_{\text{moy}} = 9965,47 \text{ Kcal/Nm}^3$$

$$\text{Donc : } PCI = 9965,47 - 10,9 \cdot 116,741$$

$$\rightarrow PCI = 8695,936 \text{ Kcal/Nm}^3$$

- Pouvoir calorifique inférieur de 1Kg du combustible :

$$Q_{\text{inf}} = PCI / \rho_{\text{comb}} \dots\dots(V-11).$$

$$\rightarrow Q_{\text{inf}} = 8695,936 / 0,811$$

$$\rightarrow Q_{\text{inf}} = 10722,4859 \text{ Kcal/Nm}^3$$

V-2-Calcul de vérification de rendement du four H182

V-2-1. La quantité de chaleur absorbée par la charge

D'après le bilan de la colonne on :

$$Q_{\text{ab}} = 24368 \cdot 10^3 \text{ Kcal/h}$$

V-2-2. La quantité de chaleur dégagée dans la chambre de combustion

$$Q_{\text{réel}} = 30460 \cdot 10^3 \text{ Kcal/h}$$

V-2-3. Calcul du rendement par les données de départ

$$\eta = Q_{\text{ab}} / Q_{\text{réel}} \dots\dots(V-12).$$

$$\rightarrow \eta = 24368 \cdot 10^3 / 30460 \cdot 10^3$$

$$\rightarrow \eta = 80 \%$$

V-2-3. Le débit de combustible

$$B = Q_{\text{réel}} / PCI \dots\dots(V-13).$$

$$\rightarrow B = 30460 \cdot 10^3 / 8695,936$$

\rightarrow

$$B = 3502,7856 \text{ Kg gaz comb/h}$$

V-2-4. Le débit des fumées :

$$G'_f = B \cdot G_f \dots \dots (V-14).$$

$$\rightarrow G'_f = 3502,7856 \cdot 19,2762$$

\rightarrow

$$G'_f = 67520,3957 \text{ Kg de fumées / h}$$

V-2-5. Le nombre de brûleurs :

Le nombre des brûleurs dans les fours est déterminé à partir du débit de combustible brûlé dans un brûleur (généralement 442 Kg/h).

$$N = B / 442 \dots \dots (V-15).$$

$$\rightarrow N = 3502,936 / 442$$

\rightarrow

$$B = 8 \text{ brûleurs}$$

V-2-6-Calcul de l'enthalpie des fumées :

Tableau V-5 : l'enthalpie des fumées , (10).

	Yi	H kcal/kmole	H kcal/kg
H ₂ O	0,19	2457	136,45
N ₂	0,69	2094	74,78
O ₂	0,03	2094	65,43
CO ₂	0,082	2583	58,70

$$\begin{aligned} \mathbf{H \text{ fumées}} &= \Sigma \mathbf{H_i Y_i} = (0,19 \times 136,45) + (0,69 \times 74,78) + (0,03 \times 65,43) \\ &+ (0,082 \times 58,70) = 84,28 \text{ kcal/kg de fumées.....(V-16)}. \end{aligned}$$

$$\mathbf{H \text{ fumées}} = 84,28 \times 20,76 = \mathbf{1749,65 \text{ kcal/kg de combustible}}$$

V-2-7-Calcul du rendement actuel

$$\eta' = 100 - (\mathbf{H \text{ fumées}} / \mathbf{PCI}) \times 100 \text{.....(V-17)}$$

$$\eta' = 100 - (1749,65 / 8695,93) \times 100 = 80\%$$



$\eta' = 80 \%$

V-2-8-Conclusion

Le rendement calculé correspond bien à la valeur donnée par le Constructeur :

- Le four peut encore fonctionner.

Conclusion

Conclusion

L'objectif de ce présent travail était de donner un aperçu général sur le fonctionnement (performance) du four, au niveau du train du complexe d'ALRAR, et évaluer son rendement.

Au cours de ce travail individuel réalisé dans le cadre d'un stage pratique de fin d'études Il ma permis d'approfondir mes connaissances pratiques dans le domaine de traitement du gaz naturel.

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

Dans le présent travail on a étudié le rendement de l'un des fours industriels de l'unité de traitement du gaz naturel d'Alrar. On a constaté, à la fin de cette étude, que son rendement est de 80% qui est conforme aux normes, le rendement est parfait, donc le four fonctionne à merveille.

J'ai constaté après une documentation sur les autres fours que le principe de chauffage, utilisé à ALRAR, qui consiste à chauffer l'huile qui à son tour chauffe le produit concerné, est plus sure par rapport a d'autre principes qui consistes à chauffer le produit, pétrole brute, condensat,... etc. ; directement.

Bibliographie



BIBLIOGRAPHIE

- [1] Alexander, Rojey; Le gaz naturel production traitement transport; édition technip ; Parais 1994.
- [2] Séminaire sur le développement et la production du GPL ; Revue trimestriel de Sonatrach ; Mars1997.
- [3] C. Chesny ; Le gaz naturel dans le monde ; Ed. Technip ; Parais 1975.
- [4] Arthur. Kohl et Richard . Nielsen; gaz purification fifth edition; Gulf .Publishing Houston; Texas1997 ;.
- [5] Revue information Sonatrach ; 2004.
- [6] Fiche technique de l'analyse chimique de complexe d'Alrar ,2010.
- [7] Présentation de la région de STAH, Sonatrach, 1984.
- [8] Volumes d'installation de traitement et de recyclage du gaz d'Alrar ,1997.
- [9] WUTTHIER: Tome 2- Raffinage et Génie chimique, édition technip, 1972
- [10] A BEN Ahmed & M. TOUIKER ,Fours & Chaudières, ., SONATRACH / IAP SKIKDA
- [11] Manuel d'hygiène, sécurité et environnement (HSE) en ALRAR ,2010.

ملخص :

يعتبر التسخين خطوة أساسية في عملية معالجة الغاز الطبيعي. هذه الخطوة تتم على مستوى الأفران الصناعية. في العمل الحالي قمنا بشرح أهم العمليات التي تمر بها عملية المعالجة بوحدة صناعية لمعالجة الغاز الطبيعي بالغاز، وأيضاً أداء الأفران الصناعية وقد تبين في نهاية الدراسة أن أدائها على ما يرام.

كلمات مفتاحية: الغاز، الفرن الصناعي، معالجة الغاز.

RUSIME :

Le chauffage est considéré comme une étape fondamentale dans le procédé du traitement du gaz naturel. Cette étape se déroule au niveau des fours industriels.

Dans le présent travail on a étudié le rendement de l'un des fours industriels de l'unité de traitement du gaz naturel d'Alrar. On a constaté, à la fin de cette étude, que son rendement est parfait.

Mots clés : four industriel, gaz naturel, ALRAR, traitement du gaz .