

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

Université M'hamed Bougara-Boumerdes
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Transport et Equipement des Hydrocarbures

Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydrocarbures

Spécialité : Génie mécanique : Mécanique des unités pétrochimiques

THEME

CALCUL DE VERIFICATION THERMIQUE ET MECANIQUE DU
FOUR TUBULAIRE F-103

Réalisé par :

Walid BOUKEBAB
Taki eddin KELATMA

suivi par :

Mr.Noureddin ZEMOUR

Devant le jury :

Président de jury :

Encadreur : Mr.Noureddin ZEMOUR

Examineur :

Examineur :

Année universitaire 2015-2016

Remerciements

Nous remercions tout d'abord notre Dieu qui nous a donné la force et la puissance pour terminer ce modeste travail.

Tous nos remerciements à notre promoteur D^r.N .ZEMMOUR qui nous a guidés à réaliser ce travail. Merci pour votre compréhension et vos remarques qui nous ont été précieuses.

Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants du département « transport et équipements des hydrocarbures » qui ont contribué de près ou de loin à notre formation durant tout le cursus universitaire.

Nos remerciements s'adressent également à tout l'ensemble des travailleurs de « Bir BRKINE » pour leur accueil leurs aide et conseils.

Enfin, nous ne pouvons pas mentionner tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, et qui nous ont aidés d'un simple encouragement, ils trouvent ici l'expression de nos reconnaissances la plus sincère.

Merci...



Dédicaces

Je dédie mon modeste travail à:

*Mon cher père Sebti et à ma tendre et douce mère
DJEBRANE Zahia pour leurs aide, soutient,
encouragements, sacrifices et tous les efforts qu'ils ont
consentie pour mon éducation ainsi qu'à toute la confiance
qu'ils me portent*

A mes très chères sœurs.

A mes chers frères

*A mes très chers amis MANA, DOUBA, MOUAD , Mirou,
Amar, Saber, Bilal, Yakoub, et Hichem.*

A mon très cher binôme

A tous promotion

Taki eddin...

Dédicaces

Je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers...

*Mes chers parents pour leur amour, leur dévouement et
l'encouragement durant la rédaction de ce mémoire et tout au
long de mes études*

*Mes frères qui m'ont apporté sans cesse Amour, Soutien et
Encouragement...*

Toutes mes amies qui ont toujours cru en moi

Et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment

Walid...

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

CHAPITRE I : DESCRIPTION DU LIEU DE STAGE

I.1	SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	2
I.2	DONNEES DE BASE POUR LE CENTRE.....	3
I.2.1	Conditions Météorologiques.....	3
I.2.2	Description générale du centre de traitement d’huile du CPF BBK/BBKN.....	3
I.3	Les différentes unités de BBK.....	5
I.3.1	L’Unité 100.....	5
I.3.2	L’Unité 200.....	10
I.3.3	Unité 300.....	13
I.3.4	Unité 400.....	15
I.3.5	Unité 500 CHAMPS BBK.....	17
I.3.6	Unité 600 champs BBKN.....	17
I.3.7	Unité 700 Pipeline d’exportation gaz.....	17
I.3.8	Unité 900 Pipeline d’exportation d’huile.....	17
I.4	Paramètres de marche actuelle des différentes unités.....	18
I.4.1	Unité Séparation et Stabilisation.....	18
I.4.2	Unité Compression.....	19
I.4.3	Unité Injection d’eau (hiver et été).....	19
I.4.4	Pompe d’expédition huile (hiver et été).....	20
I.4.5	Situation des puits.....	20
I.4.6	Capacité de production, design des unités.....	21

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES FOURS

II.1	UTILISATION DES FOURS TUBULAIRES.....	22
II.2	CARACTERISTIQUES ESSENTIELLES DES FOURS TBULAIRES.....	23
II.3	DESCRIPTION ET CONSTRUCTION DES FOURS.....	24
II.3.1	DESCRIPTION GENERALE.....	24
II.3.2	TUBES ET ACCESSOIRES DU FAISCEAU TUBULAIRE.....	25
II.3.3	GARNISSAGE DES PAROIS DU FOUR.....	26
II.3.4	LES BRULEURS.....	26
II.3.5	RECHAUFFEUR D’AIR.....	27
II.3.6	RAMONEURS.....	29
II.4	CONTROLE ET MARCHE DES FOURS.....	29
II.5	DESCRIPTION DES DIFFERENTS TYPES DE FOUR.....	30
II.6	RENDEMENT THERMIQUE D’UN FOUR.....	34

CHAPITRE III : THEORIE DE CALCUL THERMIQUE

III.1	CALCUL THERMIQUE DU FOUR.....	36
III.1.1	Bilans énergétiques.....	36
III.1.2	Rendement énergétique.....	36
III.1.3	Rendement de combustion.....	36
III.1.4	Détermination des pertes par les parois.....	39
III.1.5	Calcul de la chaleur accumulée.....	39
III.1.6	Puissance installée.....	40
III.1.7	Dimensionnement des fours.....	40
III.2	Remarque importante.....	41

CHAPITRE IV : CALCUL DE VERIFICATION ETUDE THERMIQUE

IV.1	Etude de la combustion.....	42
IV.1.1	Réactions de combustion.....	42
IV.1.2	Tableau récapitulatif des fractions molaire et PCI.....	42
IV.1.3	Calcul de la quantité d'oxygène théorique nécessaire à la combustion.....	44
IV.1.4	Les quantités des produits de la combustion (composition des fumées).....	45
IV.1.5	Tableau récapitulatif des compositions des fumées.....	47
IV.1.6	Calcul des spécifications des fumées et des gaz combustible.....	48
IV.2	CALCULE LA QUANTITE DE CHALEUR TOTALE LIBEREE.....	50
IV.2.1	Quantité de chaleur libérée.....	50
IV.2.2	Quantité de chaleur sensible d'air à l'entrée du four.....	50
IV.2.3	La quantité de chaleur sensible du fuel gaz à l'entrée du four.....	50
IV.2.4	La quantité de chaleur dégagée par les fumées.....	51
IV.3	Calcul du rendement du four.....	51
IV.4	CALCUL DE NOMBRE DE BRULEURS.....	51
IV.4.1	Bilan thermique.....	52
IV.4.2	Le débit de combustible.....	53
IV.4.3	Le débit de la fumée.....	53
IV.4.4	Le nombre de brûleurs.....	53

CHAPITRE V : CALCUL MECANIQUE

V.1	CALCULE DU TUBE.....	56
V.1.1	Calcul de l'épaisseur du tube (Vérification).....	56
V.1.2	Calcul de la contrainte due à l'épreuve hydraulique.....	58
V.1.3	Calcul du tube à la flexion.....	59
V.2	CALCUL DE CHEMINEE.....	64

CHAPITRE VI : MAINTENANCE ET SECURITE

VI.1 MAINTENANCE.....69
VI.1.1 Pré-fonctionnement.....69
VI.1.2 Entretien.....71
VI.2 SECURITE DES FOURS.....75
VI.2.1 Fonctions de sécurité.....75
VI.2.2 Sécurité des brûleurs.....75
V.2.3 L’automate de sécurité (ESD).....76

CONCLUSION.....77

Annex

Bibliographie

- **Fig I.1** situation géographique du BBK
 - **Fig I.2** vue générale du champ BIR BRKINE
 - **Fig I.3** Le CPF de BBK
 - **Fig I.4** : L'Unité 100
 - **Fig I.5** : L'Unité 200
 - **Fig II.1** : Brûleur à pré-mélange
 - **Fig II.02** : réchauffage direct de l'air par les fumées
 - **Fig II.03** réchauffage de l'air par les fumées avec interposition d'un circuit de fluide caloporteur
 - **Fig II.04** réchauffage de l'air par les fumées.
 - **Fig II.05** Four horizontaux
 - **Fig II.06** Four cylindrique vertical
 - **Fig II.07** les différents types de four
 - **Fig V.1** schéma de calcul de support du tube
 - **Fig VI.1** Les méthodes de la Maintenance
-

Par son importance économique, la plate-forme saharienne a fait l'objet de nombreux travaux géologiques de la part des sociétés pétrolières. Après la nationalisation de 1971, la SONATRACH devient le principal opérateur dans ce domaine.

Le début des années 1990 est marqué par une présence massive des sociétés pétrolières étrangères, pour accélérer la recherche pétrolière dans le bassin de BERKINE.

Les premières découvertes dans le Trias remontent à 1958 dans le gisement de Hamra où le Trias Argilo gréseux Supérieur (TAGS) a débité du gaz à condensât. De l'huile et du gaz à condensât ont été découverts dans les gisements de Gassi Touil et Rhourde Nous, respectivement en 1961 et 1964.

Toutes ces découvertes sont situées dans la province Sud-Est triasique qui est une entité géologique comprenant le Bassin de Berkine.

Les premières découvertes d'huile dans le bassin BERKINE proprement dit ont été réalisées à partir de 1967 dans la région d'El Borma. Elles ont été suivies par celles de Wadi El Teh, en 1976, et Rhourde Er-Rouni, en 1987. Durant les années 80, l'association de la SONATRACH avec la compagnie française CFP-TOTAL réalise aussi des travaux couronnés par les découvertes dans les anciens Blocs SIF-FATIMA et BERKINE.

Pour développer les capacités de production des champs d'exploitation pétrolière dans le sud de l'Algérie, la compagnie SONATRACH a procédé au développement des champs de **Bir Berkine** et **Bir Berkine Nord**, situés dans les blocs 404 B et 403 dans le bassin de Berkine. A la sortie du gisement l'huile est inutilisable en l'état. Elle contient une quantité variable d'autres composants dont certains sont impropres au transport vers les raffineries.

Donc il faut « traiter » l'huile.

INTRODUCTION

Ce chapitre a pour objet : la description du nouveau Centre de traitement d’huile qui se trouve à Bir Berkine Nord (CTFBBKN), une localité située à 300Km environ à nord est d’Hassi- Messaoud (Er-goriental).

I.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le bassin de BERKINE est situé au Sud- Est de l’Algérie, entre la latitude 29° et 33° Nord, et la longitude 5° et 9° Est.
 Il est limité au Nord, par la bordure Sud du môle D’Ahara qui le sépare du bassin d’Illizi à l’Est, par la frontière tunisienne et libyenne et enfin à l’Ouest, par le prolongement structural vers le Nord du môle d’Amguid-El-Biod- Hassi Messaoud.

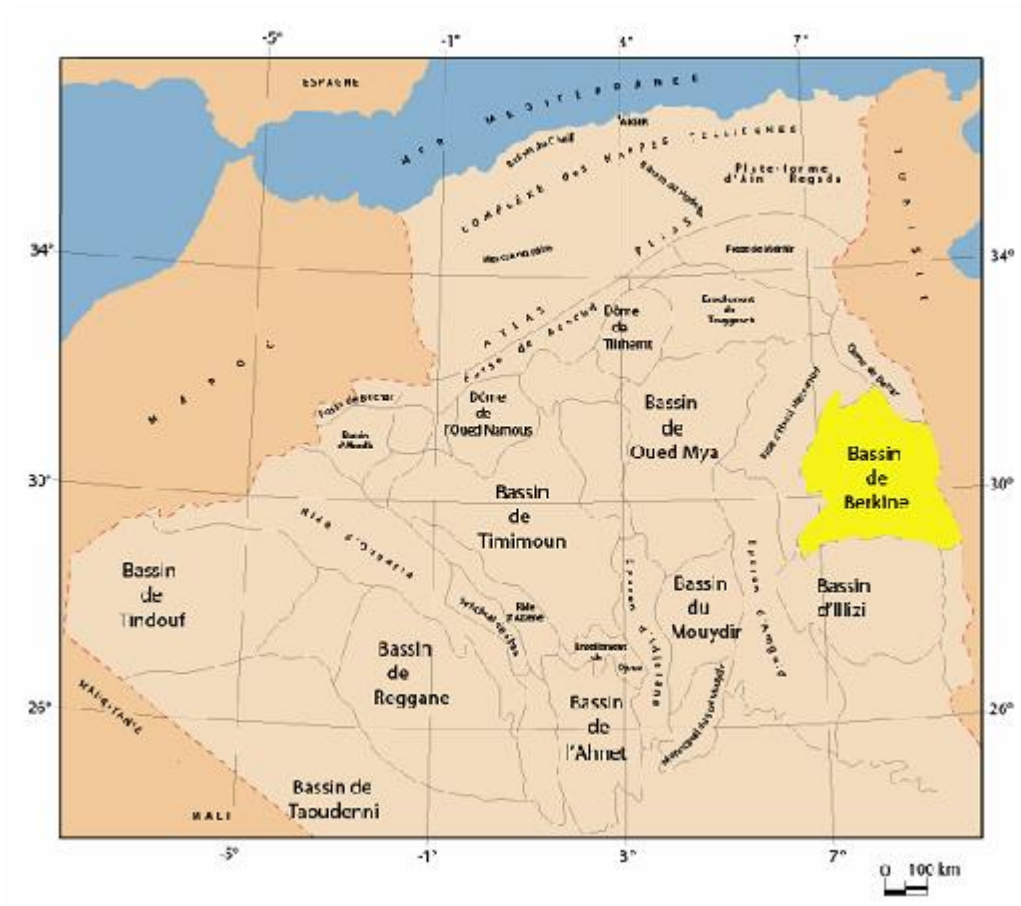


Fig I.1

Les puits sont situés à Bir-Berkine et Bir -Berkine nord dans les blocs 404B et 403, produiront environ 25000 barils d’huile .On prévoit la mise en place d’un ensemble de réseaux de collecte d’huile, d’un centre d’huile, d’un pipeline de transfert d’huile, d’un autre pipeline d’expédition de gaz excédentaire, du réseau d’eau d’injection et unités auxiliaires.

I.2 DONNEES DE BASE POUR LE CENTRE

I.2.1 Conditions Météorologiques

La température ambiante est comprise entre un minimum de -5°C (hiver) et un maximum de 50°C (été); l'humidité relative est comprise entre 18% et 40%.

La vitesse du vent est:

Vitesse normale du vent	37,8m/s à 10m
Vitesse extrême du vent	50m/s à 10m

Deux températures du terrain minimales, saisonnières à 1m de profondeur, ont été considérés:

- été: 15°C
- hiver: 5°C

Ces températures sont valides pour toute la longueur des pipelines de gaz de CPF-BBKN. Les pipelines des puits d'huile («flowlines» et «trunklines») et l'oléoduc d'huile stabilisés ont aériens; les pipelines de gaz exporté, d'eau injection et de gaz d'injection sont enterrés.

La conductivité thermique du terrain est $0.89 \text{ Kcal/hm}^{\circ}\text{C}$.

I.2.2 Description générale du centre de traitement d'huile du CPF BBK/BBKN

L'installation qui fait l'objet de ce chapitre donc traite le brut extrait des puits de BBK et BBKN.

Le traitement d'huile c'est l'ensemble des opérations permettant de purifier l'huile brute extraite du gisement pour obtenir un produit propre au transport.

On prévoit la mise en place d'un ensemble des réseaux de «récolte» huile, d'un centre de traitement d'huile, d'un pipeline (oléoduc) de transfert huile, d'un autre pipeline d'expédition du gaz (gazoduc) excédentaire, d'un réseau eau d'injection et des unités auxiliaires.

Les puits situés à Bir Berkine et à Bir Berkine Nord produiront 25.000 BPD d'huile environ flottant; en fini les pompé vers PK0 en utilisant le pipeline pour OH3 (Hassi Berkine).

Le gaz naturel qui sort avec le brut du puits ou qui se sépare durant les différentes phases du procédé sera comprimé, des séchées ensuite utilisé comme gaz-lift; la fraction restante sera exportée vers CPF de Hassi Berkine Nord.

L'eau de formation qui accompagne le brut sera déshuilée et si nécessaire intégrée avec de l'eau albienne; ensuite, cette eau sera filtrée et pompée vers les puits pour y être «injectée». On peut énumérer les simples opérations qui permettent les procédés ci-dessus décrits de la façon suivante:

- Séparation et dessalage.
- Stabilisation du brut.
- Compression gaz.
- Dessiccation gaz.
- Stockage des fluides combustibles.
- Pompage produit fini.
- Implantation de production des fluides accessoires et autres utilités.

Cette unité de traitement est dimensionnée de façon qu'on peut traiter une quantité d'huile correspondant au cas « max liquide occurrence », c'est-à-dire à la production maximale des puits.

La flexibilité de fonctionnement de cette unité est comprise entre 40% et 120% de la production opérationnelle.

On a divisée la station en plusieurs unités:

- *Unité100:* Traitement du brut, du gaz et stockage.
- *Unité200:* Torches, eau incendie, traitement eaux, drainages.
- *Unité300:* Eau albien, brute et d'injection.
- *Unité400:* Air comprimé, combustibles et diesel.
- *Unité500:* Têtes de puits et transport brut champ BBK.
- *Unité600:* Têtes de puits et transport brut champ BBKN.
- *Unité700:* Pipeline d'exportation gaz.
- *Unité900:* Pipeline d'exportation huile.

La figure I.2 représente très bien l'essence de ce projet. On montre les trois segments principaux:

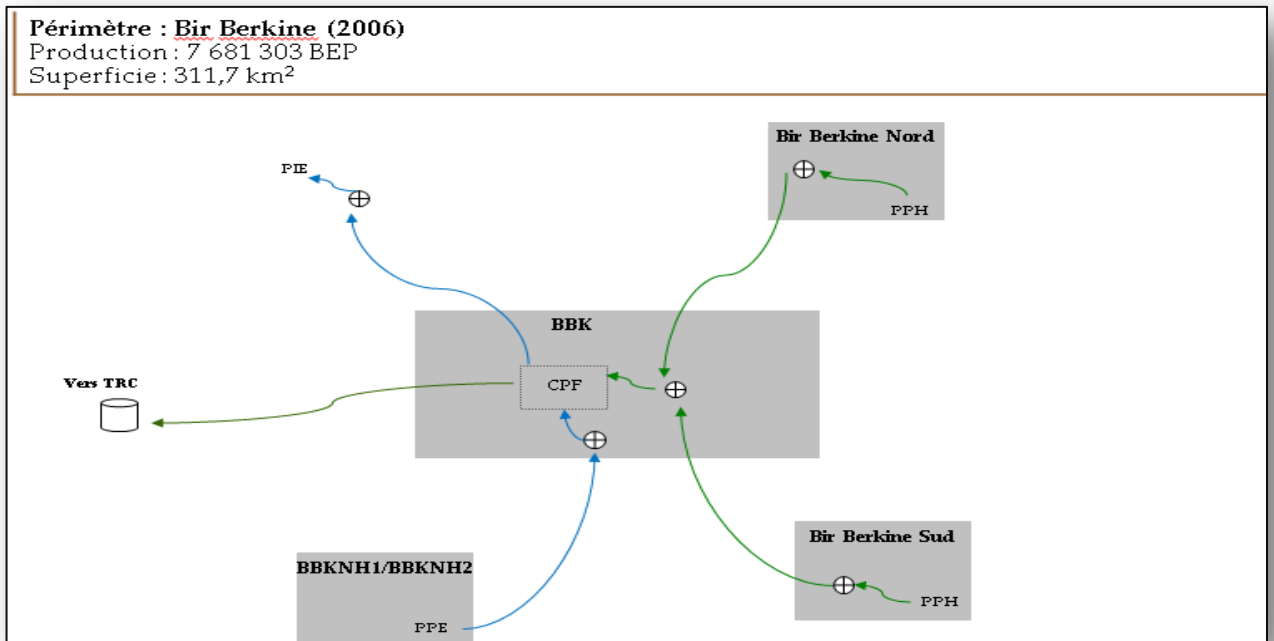


Fig I.2

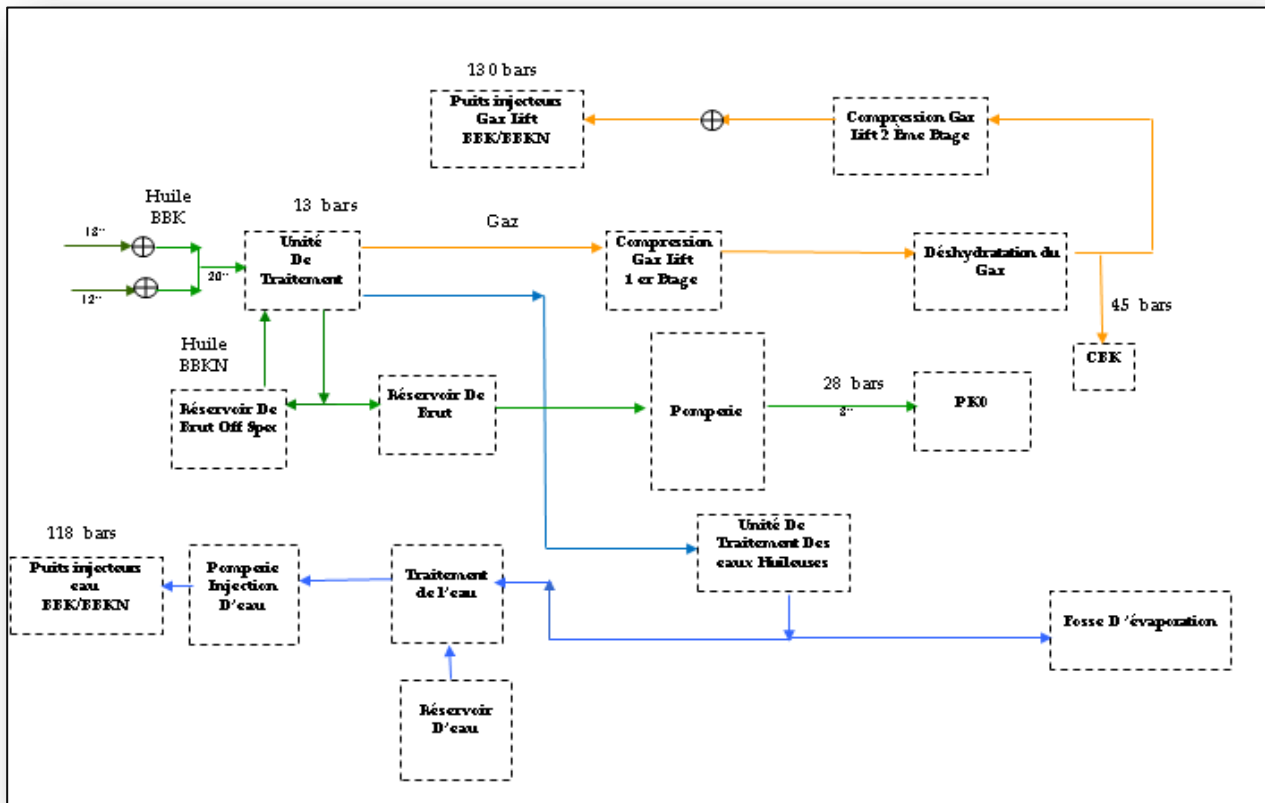


Fig I.3

I.3 Les différentes unités de BBK

I.3.1 L'Unité 100

L'unité 100 est l'unité de procédé et comprend :

- Séparation et dessalage.
- Stabilisation du brut.
- Bacs de stockage.
- Bac off specification.
- Compression gaz de procédé K101.
- Compression gaz lift.
- Déshydratation du gaz.
- Régénération de glycol.
- Additifs chimiques.

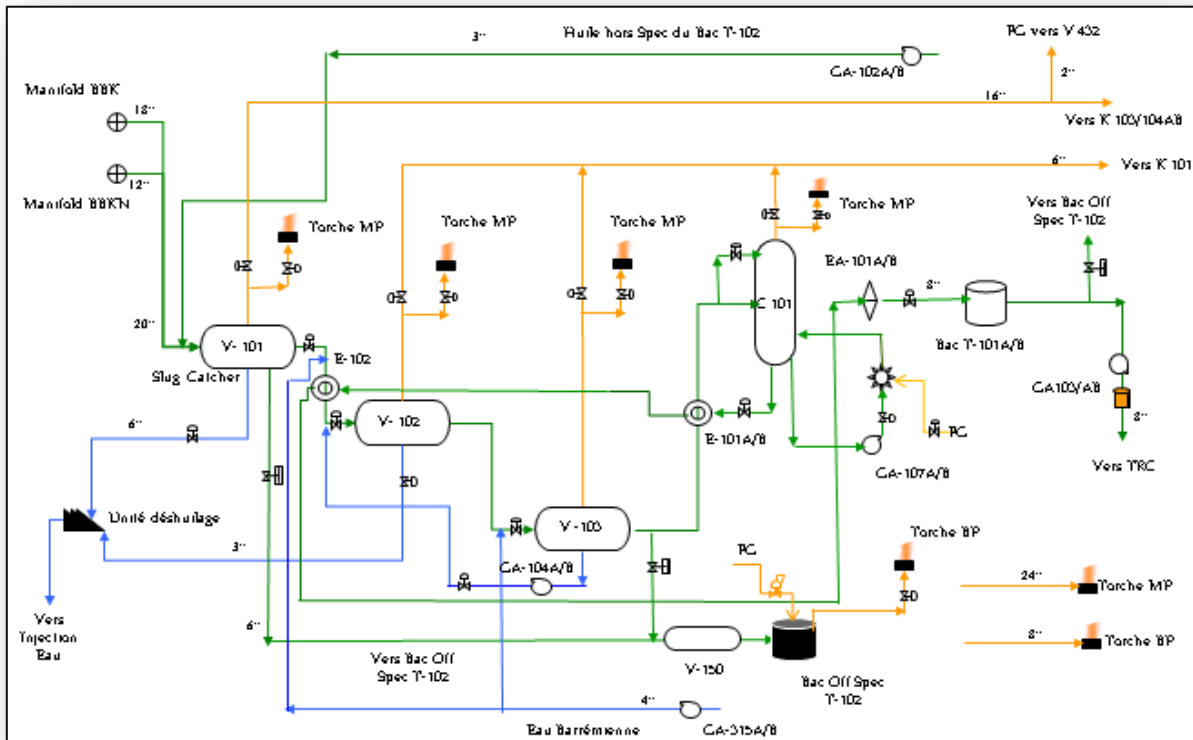


Fig I.4

I.3.1.1 Séparation et dessalage

L'huile provenant du manifold de production est envoyée vers le premier séparateur V101, qui fonctionne à une pression de 13 barg, ou il subit une séparation entre huile, eau et gaz.

On envoie de l'eau de lavage dans le dessaleur pour diminuer la concentration du sel. En entrée est prévue l'injection de des émulsifiants. Ce séparateur a été calculé pour recevoir une quantité de 5m" de slug .Une ligne a été prévu pour décharger de l'huile vers bac off spec.

Les purges seront envoyées vers le drainage fermé. La partie huile est envoyé vers le deuxième séparateur V-102.Le gaz est envoyé à l'unité de compression du gaz lift. L'eau de formation est envoyée à l'unité de traitement des eaux huileuses.

L'huile provenant du séparateur V-101 est préchauffé à contre-courant avec de l'huile stabilisée dans l'échangeur E-102.L'huile provenant du V101 passe coté tube et l'huile stabilisé coté calandre.

Pour maintenir une température de sortie huile brute de l'échangeur d'environ 50°C sont prévues des vannes de contrôle de température qui fonctionne en Split range. Avant l'échangeur sera prévue une injection de des émulsifiants et eau de lavage.

L'huile provenant de E-102 est envoyé vers le séparateur V-102, qui fonctionne à une pression de 11 barg, ou il subit un nouvelle séparation ente l'huile et gaz .l'huile est envoyée ensuite vers le dessaleur V-103 qui fonctionne à une pression de 9.5 barg. La salinité d'huile sortie dessaleur sera inférieur à 40ppm et la BSW sera inférieur à 0,5% vol. L'injection de l'eau albien vers le dessaleur par la pompe GA-315A/B sera d'environ 7,5-10% vol d'huile, une partie de l'huile sorite de dessaleur sera recyclée et mélangé avec de l'eau fraîche, à l'entrée du dessaleur. L'eau est mélangé à l'huile

brute par une mixing vanne LXV 1057. Le débit d'eau recyclé est assuré par la pompe GA-104A/B

Le gaz du séparateur V-102 et dessaleur V-103 est envoyé vers le compresseur de procédé K-101.

I.3.1.2 Stabilisation de brut

L'huile sortante du dessaleur constitue l'alimentation à la colonne de stabilisation C-101.

Une partie de la charge alimente la tête de colonne comme alimentation froide, l'autre partie constitue l'alimentation chaude au niveau du 16^{ème} plateaux avant d'être préchauffé par l'échangeur E-101A/B jusqu'à 137°C.

La colonne de stabilisation est conçue pour produire de l'huile stabilisée conforme aux spécifications 0,48 barg cas été et 0,700 barg cas hiver. La pression de la colonne est de 5,5 barg en tête et 5,7 barg au fond. La température au fond est d'environ 185°C.

Le type de plateau est à clapets et au nombre de 32.

L'eau condensée est récupérée dans un ballon V-121 est envoyée directement vers ballon V-241.

Le rebouillage se fait par un rebouilleur à gaz combustible F-103 à circulation forcée avec les pompes GA-107AB, Les pompes sont dimensionnées pour un débit de 432m³/h. Le four est de type cylindrique avec une chaleur échangée de 4,810⁶ Kcal/h

La température sortie four est de 207°C et le fluide sortie four est en phase mixte avec un pourcentage de vaporisation de 10%.

L'huile stabilisée est envoyée vers le stockage après refroidissement dans les échangeurs E-101A/B, E-102 et l'aéro réfrigérant EA-101.

L'aéro réfrigérant est de type forcé la température sortie est : inférieur à 55°C cas été. De 45°C cas hiver.

En cas où les caractéristiques de l'huile stabilisée ne sont pas conformes aux normes prescrits la production peut être envoyée vers le ballon V-150 puis vers bac off spec.

I.3.1.3 Bacs de stockage T-101A/B

L'huile stabilisée refroidie est stockée dans des bacs à toit flottant, chacun avec une capacité de 5000 m³. Un bac en production et un autre est en expédition.

L'huile des bacs de stockage est expédiée vers le centre de stockage au PK0 via les pompes GA-103A/B

Les pompes d'expédition du type à barel avec une pression de refoulement de 29,5 barg et un débit de 168m³/h.

I.3.1.4 Bac off spécifications

Cette unité reçoit de l'huile provenant des systèmes en défaut pendant l'arrêt du système des drains fermés et celles récupérés dans les différentes parties de CPF, en plus elle peut recevoir l'huile provenant du séparateur V-101 si le niveau de ce ballon est très élevé. L'unité comprend :

- Un séparateur de récupération d'huile V-150.
- Un séparateur de gaz V-117.
- Un bac de stockage T-102.
- Deux pompes de recyclage GA-102A/B.

Le séparateur de récupération de l'huile est un ballon horizontal reçoit de l'huile provenant des systèmes de drainage fermé et celle récupérés des eaux huileuses des séparateurs Z -241, des torches, V-250, peut aussi recevoir les produits hors spécifications de l'unité traitement. Le gaz qui se sépare est envoyé vers torche MP.

Le bac de stockage T-102 est à toit fixe de capacité 1500 m³.

La pression de calcul est de 1700mmH₂O.

L'eau de séparation est envoyée vers traitement des eaux huileuses.

Le gaz du séparateur V-117 est un gaz boot pour la séparation de gaz

Le produit hors spécifications est recyclé vers V-101 par des pompes centrifuges GA-102A/B. Les pompes sont dimensionnées pour un débit de 24m³/h.

1.3.1.5 Compression gaz de procédé K-101

La compression de gaz procédé comprendra un compresseur centrifuge. Le compresseur sera alimenté avec le gaz provenant de la tête de la colonne C-101 et les séparateurs V-102/V-103. Le compresseur est dimensionné pour un débit maximal de 6070Sm³/h, pression d'aspiration minimal de 4,8barg et pression de refoulement de 13 barg. Ce compresseur est équipé d'un ballon d'aspiration V-105 et un ballon de refoulement.

1.3.1.6 Compression de gaz lift

La compression gaz comprendra deux étages de compression :

- Le premier étage de compression de 10,8barg à 46 barg. Le débit maximal est de 61400Sm³/h. Le gaz d'alimentation proviendra du compresseur de procédé et du séparateur V-101.
- Le deuxième étage de compression est de 43 barg à 133 barg.

Chaque train de compression premier étage K-103/A/B sera équipé de ballons d'aspiration V-108A/B, ballons de refoulement V-109A/B et Aéro-réfrigérant EA-104A/B.

Chaque train de compression deuxième étage K-104/A/B sera équipé de ballons d'aspiration V-110A/B, ballons de refoulement V-111A/B et Aéroréfrigérant EA-105A/B.

Les compresseurs sont entraînés par des moteurs électriques de puissance 8,5MW.

Le refoulement de premier étage de compression est acheminé vers l'unité de déshydratation.

1.3.1.7 Déshydratation

L'unité de déshydratation se fera au tri éthylène glycol (TEG) dans la colonne C-102 à une pression de 45 barg et une température de 65°C en été et 45°C en hiver.

Le gaz des ballons de refoulement V-109A/B est envoyé vers un collecteur qui l'achemine vers la colonne C-102, dans la colonne, le glycol rencontre le gaz à contre-courant et absorbe l'eau contenue dans le gaz, le gaz sortant de la tête de la colonne C-102 est envoyé vers le deuxième étage du compresseur gaz lift ou il sera prévu un piquage pour le fuel gaz, le gaz excédentaire est exporté vers la centrale électrique CBK avec un débit maximale de 408.000 Sm³/jour.

Le glycol riche récupéré au fond de la colonne est envoyé vers l'unité de régénération. Le gaz sec doit avoir une teneur de 50 ppm vol en hiver, pour éviter problèmes de corrosion dus à la condensation d'eau dans les lignes d'expédition gaz lift. Tous les drainages d'huile sont collectés vers le ballon V-251, ballon de drainage fermé. Tous les drainages du glycol sont collectés vers le ballon V-133, ballon de drainage glycol.

L'unité de déshydratation du glycol est dimensionnée pour traiter jusqu'à 121018 Sm³/h de gaz naturel ayant les conditions de fonctionnement suivantes:

- Pression: 45 barg.
- Température: 45°C – 65°C.
- Teneur en eau: Saturé.
- Spécification du Gaz Sec (point de rosée):
 - En hiver: 0°C à 138 barg.
 - En Eté: 15°C à 138 barg.

I.3.1.8 Régénération glycol

L'unité comprend :

- Condenseur à Reflux E-131.
- Ballon de Détente du Glycol V-131.
- Filtre à Charbon du Glycol FB -132.
- Filtres à Cartouche du Glycol FB -131 A et B.
- Echangeur glycol Pauvre/Riche E-132.
- Colonne de régénération Glycol C-131.
- Ballon Tampon du Glycol V-132.
- Pompes de circulation du Glycol GA-132 A et B.
- Un réservoir de stockage de glycol T-131.

Le glycol riche est préchauffé dans le condenseur à reflux de glycol E-131 puis envoyé vers un ballon de détente V-131 à une pression de 3,5 barg ou les gaz sont envoyée vers la torche BP. Le glycol provenant du V- 131 est filtré dans les deux filtres à cartouches FB-131A/B, puis dans un filtre à charbon FB -132, réchauffé dans l'échangeur E-132 et envoyé sous contrôle de niveau dans le régénérateur de glycol C-131 .Ici l'eau est séparée du glycol au moyen d'un réchauffage avec un rebouilleur à gaz combustible, chaleur fournie environ 420 000Kcal/h.

Le glycol à 99.0% passe le Rebouilleur et il est envoyé au Ballon Tampon V-132, puis passe à travers un échangeur E-132 ou il est refroidit avec le glycol riche, est repris par les pompes GA-132A/B pour être envoyé vers la colonne de déshydratation C-102. Le réservoir de stockage de glycol T-131 sera prévu pour un volume de 30 m³, avec "blanketing" à l'azote et équipé de deux pompes GA-134A/B.

I.3.1.9 Additifs chimiques

Dans l'unité traitement d'huile les additifs chimiques sont injectés : Dés émulsifiants (réservoir T-103, pompes GA-105A/B) en amont du séparateur V-101 et en amont de l'échangeur E-102.

Inhibiteurs de corrosion (réservoir T-104, pompes GA-106A/B) en amont de V-105 et en amont de V-108A/B.

I.3.2 L'Unité 200

L'unité 200 comprend :

- Traitement des eaux huileuses.
- Drainages.
- Réseau torches.
- Réservoir et pompes d'eau incendie.

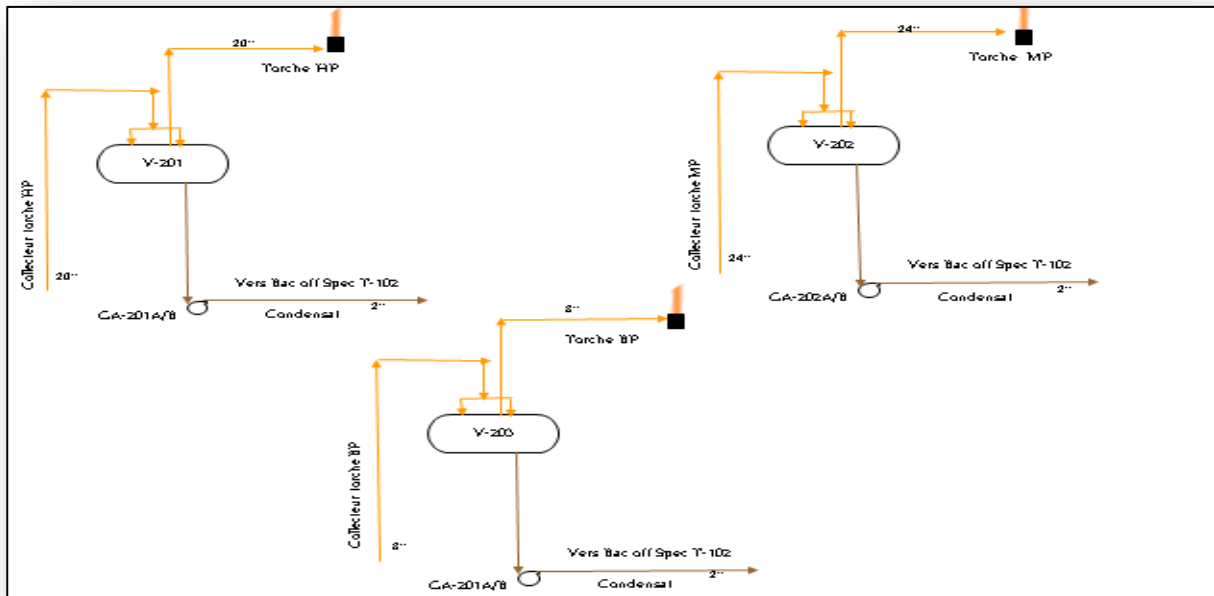


Fig I.5

I.3.2.1 Traitement des eaux huileuses

Les eaux résiduaire contiennent des quantités variables d'hydrocarbures, présents à l'état libre en solubilité de partage ou en émulsion plus ou moins importantes.

Les suivants équipements déchargent eau résiduelle directement dans le ballon des eaux huileuses V-241:

- V-101 Séparateur de production (première étage) : eau de formation.
- V-103 Séparateur dessaleur.
- V-121 Séparateur d'eau (voir la colonne de stabilisation brute).
- GA-248 Pompes de drainages ouverts.

Ce mélange d'eaux sera additionné avec un produit coagulant injecté par l'unité Z-310.

Le ballon V-241 c'est un réservoir sous pression, de capacité 43 m³ pression de service intérieure environ 1,5 bar.

L'eau huileuse est dirigée vers le séparateur V-242. On sépare l'huile dans un séparateur aux plateaux lamellaire appelé CPI31 qui se trouve dans un réservoir.

Le séparateur V-242 est un réservoir horizontal de diamètre 1800mm longueur 3700mm. La pression intérieure est 1 bar. La capacité du séparateur est 67m³/h.

L'huile séparée dans le CPI se dirige vers la fosse des eaux huileuses V -250, l'eau est envoyée à l'unité de flottation IGF posée à l'intérieur d'un bac V-243. La capacité est de 67m³/h.

Le réservoir V-243 est un réservoir horizontal de diamètre 1500mm et la longueur 6800mm.

Dans l'unité de flottation la turbulence induite dans le liquide cause la formation des bulles de gaz que pendant la phase de retour à la surface entretenant les gouttes d'huile en dispersion.

Le système d'agitation est réalisée avec enducteurs. La pression du fuel gaz disponible dans le collecteur principal est 3,5 bars environ.

Sur la tuyauterie, à la sortie de l'IGF, est installé un analyseur du contenu d'huile dans l'eau AI-2004, si le contenu est supérieur aux limites établies, l'eau sera envoyée à la fosse V -249.

La quantité d'huile récupérée est comptabilisée au moyen de 4 indicateurs de flux (FI).

A la sortie de l'unité IGF l'eau traitée est livrée au moyen des pompes centrifuges GA -240 A/B au réservoir T-301. Leur capacité est 107 m³/h, la pression de refoulement est 5,7 bar. Si nécessaire, pour le contrôle du niveau une part du débit est retournée à la FosseV-249 au moyen d'un system de contrôle.

I.3.2.2 Stockage et pompage de l'eau incendie

Le système de pompage eau incendie est très important pour la sécurité de la station, le réseau eau anti-incendie se compose des éléments suivants :

- Un bac de stockage anti-incendie T-211 de capacité 6000 m³ suffisant pour douze heures d'opération.
- Groupe de pompe jockey pour maintient la pression GA-213 A/B : leur capacité est 20 m³/h ,la pression de refoulement est 7 bar.
- Groupe de pompes principales :
 - une pompe à entraînement électrique GA-211.
 - une pompe à entraînement diesel GA-212. Leur capacité est 500 m³/h, la pression de refoulement est 13 bar.
- Réseau à maille arienne.
- Systèmes à mousse.

I.3.2.3 Drainage

Le système de drainage se compose d'un drain fermé et un drain ouvert.

I.3.2.3.a Drainages fermés :

Tous les drains de production (huile) sont récupérés dans le drain fermé, qui sera conçu de façon à permettre l'écoulement par gravité vers le ballon de drainage fermé V-251. Le ballon est un réservoir sous pression, capacité 34 m³, pression 1,5 bar. Le ballon est pressurisé avec gaz au moyen du PCV- 2058.

De ce ballon le produit est transféré vers le bac huile hors spécification T-102 avec les pompes GA- 251A/B.

Les pompes sont à immersion; le débit est 10m³/h et la pression de refoulement est 6 bar environ.

I.3.2.3.b Drainages ouverts

Les drainages des réservoirs de stockage T-101 A/B, T-102 et tous les drainages des autres capacités sont acheminés par gravité vers la fosse de relevage eaux huileuses V-249 avec une capacité de 50 m³, à travers les lignes enterrées.

Au moyen de la pompe GA-249 A/B, l'eau huileuse est envoyée vers V-241 pour être récupéré.

L'eau de lavage huileuse est acheminée vers le séparateur API Z-243 au moyen d'un réseau enterré. Après la séparation, l'eau contient une quantité maximale de 50 ppm d'huile; elle est récupérée dans la fosse V-252 et envoyée vers la fosse d'évaporation B-201 via les pompes GA-252 A/B/C/D. La capacité de ces pompes est 33 m³/h.

L'huile séparée par l'écumeur d'huile est récupérée par gravité dans la fosse V-250 et envoyée par la pompe GA-250 vers V-150.

I.3.2.4 Réseau torche

Le réseau comprend :

- Le réseau torche "haute pression" CB-201.
- Le réseau torche "moyenne pression".
- Le réseau torche « basse pression ».
- La fosse de brûlage CB-204.

I.3.2.4.a Le réseau torche "haute pression" CB-201

Prend en charge les événements du dernier étage de la compression du gas-lift et l'unité déshydratation du gaz.

Le collecteur, décharge dans un ballon tampon V-201 de :
capacité 45m³.
pression 0,26 bar.

Le liquide récupéré (huile) est envoyé par les pompes GA-201 A/B vers le réservoir de brut hors spécification ou vers la fosse de brûlage : La capacité de chaque pompe est 7 m³/h.

Le gaz se dirige vers la torche haute pression CB-201 :

Débit maximal: 129163 Kg/h.

Potentiel demandé 1315MM kcal/h.

MW: 24,9.

Débit gaz 60Kg/h.

Hauteur 45m.

I.3.2.4.b Le réseau torche "moyenne pression"

Prends en charge les événements des unités de traitement d'huile, les événements des compresseurs de premier étage en condition de "flaring" opérationnel et d'urgence (ESD).

Le collecteur décharge dans un ballon tampon V-202 de :

- Capacité 45m³.
- Pression 0,2 bar.

Le liquide récupéré (huile) est envoyé par les pompes GA-202 A/B vers le réservoir de brut hors spécification ou vers la fosse de brûlage : La capacité de chaque pompe est 7 m³/h.

Le gaz se dirige vers la torche moyenne pression CB-202 :

- Débit maximal: 128950 Kg/h.
- Potentiel demandé 1313 MM kcal/h.
- MW: 24,9
- Pression 0,2 bar
- Débit gaz 90 Kg/h
- Hauteur 46m

I.3.2.4.c Le réseau torche « basse pression »

Prends en charge les éventes continues gaz de respiration de réservoirs du stockage et l'évent continu du gaz de stripping de la colonne de régénération du glycol.

Le collecteur décharge dans un ballon tampon V-203 de :

- Capacité 45m³.
- Pression 0,2 bar.

Le liquide récupéré (huile) est envoyé par les pompes GA-203 A/B vers le réservoir de brut hors spécification ou vers la fosse de brûlage : La capacité de chaque pompe est 7 m³/h.

Le gaz se dirige vers la torche de basse pression CB-203 :

- Débit maximal: 1230 Kg/h.
- Potentiel demandé 133MM kcal/h.
- MW: 24,7.
- Débit continu 760Kg/h.
- Hauteur 10m.

I.3.2.4.d La fosse de brûlage CB-204

Collecte le liquide provenant des ballons de torches V-201/202/203 de la fosse V-250 de la pompe GA-250 du ballon de slop des drains fermés GA-251A/B :

- Densité: 600 – 850 Kg/ m³.
- Pouvoir calorifique inférieur: 10.000 kcal /kg.
- Débit maximal: 40 m³/h.
- Niveau de liquide dans la fosse: 450 mm au minimum.

I.3.3 Unité 300

L'unité 300 comprend :

- Traitement de l'eau d'injection.
- Eau service.
- Additifs chimiques.

I.3.3.1 Traitement de l'eau d'injection

L'eau extraite du puits BBKNH1 est filtrée dans les filtres à cyclone FB-301A/B/C et stockée dans les bacs T-302 et T-301.

Le bac T-302 d'une capacité 100m^3 alimente le dessaleur V-103 par les pompes GA-315A/B.

Les pompes d'eau pour dessaleur, GA-315 A/B, sont des électropompes centrifuges horizontale avec une capacité de $18\text{ m}^3/\text{h}$ et une pression de 15,1 bar.

Le bac T-301 de capacité 1500m^3 reçoit de l'eau de l'unité traitement d'eau et du puits BBKNH1, du T-301 l'eau est envoyée au package des filtres FB-302A/B et FB 302C/D via les pompes GA-302A/B pour être aspirer par les pompes d'injection GA-303A/B et refoulé à une pression de 120 barg vers les puits d'injection du champ BBK/BBKN. La capacité des pompes d'injection est de $164\text{m}^3/\text{h}$.

L'eau de lavage pour les filtres FB3-02A/B sera l'eau traitée, accumulée dans le bac T-320 et sera envoyée vers les filtres par les pompes GA-320 A/B.

I.3.3.2 Eau brute

L'eau moi-piocene est extraite du puits par la pompe GA-360 et envoyée à travers les filtres FB-360A/B au bac V-360. Le débit de la pompe est $50\text{ m}^3/\text{h}$ et une pression de 09bar. Le ballon d'eau brute V-360 a une capacité de 23 m^3 , une pression intérieure atmosphérique. Les pompes de circulation eau brute GA-361 A/B sont des électropompes centrifuges horizontales avec un débit de $10\text{ m}^3/\text{h}$ et une pression en refoulement de 3,9 barg.

L'eau brute filtrée est utilisée comme "eau de service". Elle est envoyée à travers un réseau de 2" vers:

- Bâtiments: de contrôle, électrique, administrative, poste de garde et atelier.
- Pompes: GA-302A/B, GA-303A/B, GA-240A/B et GA-104A/B.

Deux systèmes :

- Systèmes HVAC (Systèmes de réchauffage, ventilation, air conditionnée).
- Systèmes lave-yeux: au dehors du bâtiment électrique et près les stations d'injection additives chimiques.

I.3.3.3 Additifs chimiques :

- Bactéricide (T-303, pompes GA309A/B), à l'aspiration des pompes d'injections d'eau.
- Inhibiteurs de corrosion (T-311, GA 311A/B), à l'aspiration des pompes d'injections d'eau.
- Désoxygénant (T-313, pompes GA-313A/B, à l'aspiration des pompes d'injections d'eau.
- Antitartre (T-312, pompes GA 312A/B), à l'aspiration des pompes d'injections d'eau et à l'entrée du séparateur V-101.
- Coagulant (T-310, pompes GA-310A/B), à l'entrée du ballon d'eau huileuse V-241.

I.3.4 Unité 400

L'unité 400 est l'unité d'auxiliaires et comprend :

- Air instrument, air service et azote.
- GAZ OIL.
- GAZ COMBUSTIBLE.
- Stockage Gasoil et essence.
- Groupe électrogène de secours.

I.3.4.1 Air instrument, air service et azote :

Cette unité comprendra :

- Un compresseur Atlas Copco rotatif à vis, actionné par un moteur électrique, modèle GA160-10 avec pré-filtre Donaldson adapté pour des milieux poussiéreux (item K-401 A).
- Un réfrigérant air/air Atlas Copco modèle TD650 (item AE-401) en aval du compresseur GA-160.
- Une moto compresseur Atlas Copco modèle XAHS 460 Md actionné par un moteur diesel Mercedes (item K - 401 B).
- Un sécheur d'air COES modèle HLN 85/S Package, avec tousles prés et post-filtres (item DR-401 A/B).
- Des filtres d'air FB-403 A/B/C/D).
- Un tableau électrique général de distribution et interface avec instrumentation / compresseur /sécheur / DCS (item Z-401 PD).
- Un ballon de réserve d'air instrument V-401 pour l'air instrument et production d'azote.
- Un ballon de réserve d'air service V-403.
- Un ballon de réserve d'azote V-402.

L'unité de production d'azote du type à membrane a une capacité de production d'azote 100 Nm³/h (d'azote au 97%). La pression de service est 6.8 barg.

On utilise azote pour alimenter:

- Stations d'utilité.
- Compresseurs: K-101 (10 Nm³/h), K-103/104A(22 Nm³/h), K-103/104B (22 Nm³/h).
- Réservoirs: T-131.

Caractéristiques du compresseur d'air électrique :

- Pression air ambient / entrée 1,000 bar(a).
- Pression air en refoulement 8,5 bar (g).
- Température ambiante 50 °C.
- Debit d'air 337,0l/s(986 Nm³/h).
- Puissance absorbée à l'axe compresseur 142 kW.
- Nombre tours motrices 1488 t/mn.
- Température air au refoulement 67 °C.

Caractéristiques du compresseur d'air diesel :

- Débit d'air 408 l/s.
- Consommation de carburant à pleine charge 44,6 kg/h.
- Consommation de carburant sans charge 19 kg/h.
- Consommation spécifique de carburant 30,36 g/m³.
- Contenu type en huile de l'air comprimé < 3 mg/m³.
- Consommation d'huile du moteur (maximum) 221 g/h.
- Température de l'air comprimé à la vanne de sortie 90°C.

I.3.4.2 Gasoil

L'unité du gasoil comprendra un réservoir de gasoil T-421 avec une capacité de 50 m³ et une pompe de transfert GA-421 de 5m³/h. Le gasoil sera fourni à l'unité avec des camions citernes.

On utilise gasoil pour alimenter:

- La pompe diesel anti-incendie GA-212.
- Le groupe électrogène Z-401.
- Le compresseur d'air K-401B.

I.3.4.3 Gaz combustible

Le gaz combustible utilisé est le gaz séparé dans le séparateur Z101/V-101 au démarrage de l'unité, gaz inter étage du compresseur gaz lift déshydraté de la colonne C102, ou gaz de pipeline en arrivant du gazoduc HBNS.

On doit traiter le gaz en utilisant le séparateur de gaz combustible V-432 et un réchauffeur électrique E-431/432, qui réchauffe le gaz après la détente à 3,5 bar jusqu'à une température majeure de 20°C du point de rosée (44°C). Le ballon est équipé d'un démistr pour éviter l'entraînement des liquides. Le liquide qui se sépare dans le ballon est envoyé vers le drainage fermé ou au ballon torche MF.

Le débit total du système sera modifié selon la consommation des unités suivantes:

- L'unité déshydratation avec TEG.
- L'unité de traitement d'eau.
- Rebouilleur à gaz combustible de la colonne C-101.
- Torches.
- Pressurisations des capacités.

I.3.4.4 Stockage gasoil et essence

La station de gasoil et essence se compose par deux bacs à double enveloppe V-422 et V-443 pour le stockage de gasoil et essence et des pompes pour alimenter les véhicules. Le compteur mesureur de volume (Y-401) permet de mesurer la quantité de gasoil ou essence délivrée

I.3.4.5 Groupe électrogène de secours

En cas de coupure de l'alimentation électrique il a été prévu le démarrage automatique du groupe électrogène de secours de puissance 500KVA.

I.3.5 Unité 500 CHAMPS BBK

Un collecteur aérien ("trunkline") de diamètre 18" et longueur 9600 m, doit acheminer la production vers le centre traitement d'huile. Les puits sont connectés avec ce collecteur par des lignes ("flowlines") ayant le diamètre de 10", 8" ou 6".

Sur chaque puits est prévue une injection de produits chimiques inhibiteurs de corrosion.

Une gare racleur fixe est prévue au niveau du manifold d'huile de 18" L-501 et L-511 et un multi phase flow meter du champ (MPFM-501).

Un manifold gaz lift de 8" et des lignes de 3" ou 2" qui alimentent chaque puits jusqu'à tête de puits.

Un réseau d'injection d'eau de 4" qui alimente chaque puits injecteur d'eau.

1.3.6 Unité 600 champs BBKN

Un collecteur aérien ("trunkline") de diamètre de 12" de longueur 1200m doit acheminer la production vers le centre de traitement d'huile. Les puits sont connectés avec ce collecteur par des lignes ("flowlines") ayant le diamètre de 8" ou 6".

Sur chaque puits est prévue une injection de produits chimiques inhibiteurs de corrosion.

Une gare racleur fixe est prévue au niveau du manifold d'huile de 12" L-601 et L-611 et un multi phase flow meter du champ (MPFM-601).

Un manifold gaz lift de 6" et des lignes de 3" ou 2" qui alimentent chaque puits jusqu'à tête de puits. Un réseau d'injection d'eau de 4" qui alimente chaque puits injecteur d'eau.

I.3.7 Unité 700 Pipeline d'exportation gaz

Un gazoduc enterré de 10", longueur 17,4Km doit transporter du gaz CPF BBK vers CPF HBNS.

Aux extrémités sont installées les gares racleurs fixes: L-701 et L-711.

On peut mesurer le débit avec FQI-7001. La mesure de débit intégrée avec la mesure de température est disponible à DCS (transmission par fibres optiques) sur FQI-7001.

La vanne SDV-7004 placée sur la ligne d'exportation du gaz (arrivée) se ferme pour les conditions suivantes:

- Basse pression (PSL-7012) sur la ligne 10"-FG-7000104-CA33-V.
- Haute pression (PSH-7012) sur la ligne 10"-FG-7000104-CA33-V.

Arrêt d'urgence du système de gaz combustible.

Chaque gare de racleur est conçue avec une soupape avec la pression de tarage 50 barg.

I.3.8 Unité 900 Pipeline d'exportation d'huile

Un oléoduc enterré de 8", longueur 29.7 Km doit transporter l'huile du CPF BBK vers PKØ Hassi Berkine.

Aux extrémités sont installées les gares de racleurs fixes: L-901 et L-911.

Le système de comptage brut Z-902 est conçu pour mesurer le débit d'huile.

I.4 Paramètres de marche actuelle des différentes unités

I.4.1 Unité Séparation et Stabilisation

I.4.1.1 Cas hiver

Paramètres	V101	V102	Dessaleur V103	Charge de la colonne	Fond de la colonne	Tête de la colonne	Alimentation froide de la colonne	Four	Pompe GA-107
Pression bars	13,20	11,19	9,5	8,5	5,8	5,5	9,2	6	10,5÷11,5
Température °C	13,81	26,3	26,8	75÷81	160	45÷50	26	165	/
Débit m³/h	60÷65	/	/	58÷61	60	/	10-15	300	300

NB :

- La température au séparateur premier étage V-101 peut atteindre une température ≤ 5 C° en période hivernale (nuits)
- La température au dessaleur V-103 peut atteindre une température < 25 C° en période hivernale (nuits)

Paramètres	Pression Bars entrée	Pression Bars sortie	Température C° entrée	Température C° sortie
E-101A/B faisceaux	6,1	6	26	75÷81
E-101A/B Calandre	9,2	8,9	160	97
E-102A/B faisceaux	13,20	12,9	13	32
E-102A/B calandre	5,8	5,6	96	70÷75
EA-101A/B/C/D	5,5	5,0	60÷75	40÷45

I.4.1.2 Cas été

Paramètres	V101	V102	Dessaleur V103	Charge de la colonne	Fond de la colonne	Tête de la colonne	Alimentation froide de la colonne	Four	Pompe GA-107
Pression bars	13,33	11,20	9,5	8,5	5,8	5,5	9,2	5,8	10,5÷11,5
Température °C	40	54,65	54,05	90÷98	150÷155	50 max	50÷54	150÷155	/
Débit m³/h	55÷60	/	/	55÷59	55÷59	2916÷3000 Sm³/h (gaz)	10÷15	300	300

Paramètres	Pression Bars entrée	Pression Bars sortie	Température C° entrée	Température C° sortie
E-101A/B faisceaux	6,1	6	150÷155	115÷120
E-101A/B Calandre	9,2	8,9	54	93÷97
E-102A/B faisceaux	13,20	12,9	40	54÷56
E-102A/B calandre	5,8	5,6	115÷120	90÷100
EA-101A/B/C/D	5,5	5,0	90÷100	45÷55

I.4.2 Unité Compression

I.4.2.1 Cas hiver

Paramètres	Pression Aspiration Bar	Pression Refoulement Bar	Température Refoulement après aero en C°	Débit m ³ /jour
K103AB premier étage	13÷13,8	40÷45	30÷40	/
K104AB deuxième étage	40÷45	90÷125	40÷60	1180000

I.4.2.2 Cas été

Paramètres	Pression Aspiration Bar	Pression Refoulement Bar	Température Refoulement après aero en C°	Débit m ³ /jour
K103AB premier étage	13÷13,8	40÷45	50÷55	/
K104AB deuxième étage	40÷45	100÷125	55÷62	1 308 790

I.4.3 Unité Injection d'eau (hiver et été)

Paramètres	Pression Aspiration Bar	Pression Refoulement Bar	Débit m ³ /h
GA-303A/B	7,5	118÷121	160

I.4.4 Pompe d'expédition huile (hiver et été)

Paramètres	Pression Aspiration Bar	Pression Refoulement Bar	Débit M3/h
GA-103A/B	1,15	28	170

I.4.5 Situation des puits

I.4.5.1 Puits producteurs d'huile

Les puits actuellement ouverts sont:

➤ Champ BBK :

BBK2, BBK3, BBK4, BBK5, BBK6, BBK7, BBK8, BBK11, BBK12, BBK13, BBK14 et BBK19, BBK20.

➤ Champ BBKN :

BBKN2, BBKN3, BBKN4, BBKN5, BBKN7, BBKN8, BBKN11, BBKN12, BBKN19, BBKN21.

I.4.5.2 Puits producteurs d'eau

➤ BBKNH 1: Puits en production depuis 2006.

➤ BBKNH 2: Puits foré raccordé, attente démarrage.

I.4.5.3 Puits Fermés

➤ Champ BBK :

- BBK1 : Production eau en surface.
- BBK4: Production eau en surface.
- BBK18 : Puits sec.

➤ Champ BBKN :

- BBKN 1: Sec et Abandonné.
- BBKN 6 : Production d'eau en surface.
- BBKN 13: Débit nul.
- BBKN 17 : Débit nul.
- BBKN 18 : Débit nul.
- BBKN 20: Attente perforation pour raccordement.

I.4.5.4 Puits injecteurs d'eau

➤ Champ BBK : BBK9, BBK10, BBK15, BBK16, BBK17 : Disponibles.

➤ Champ BBKN : BBKN9, BBKN10, BBKN14, BBKN15, BBKN16 : Disponibles.

I.4.6 Capacité de production, design des unités

Capacité de traitement de l'unité:

- Débit contractuel: 21 000 bbl/j.
- Débit over design : 25 000 bbl/j.
- Débit de chaque compresseur gaz lift : 1,435 106 cm³/j de l'unité correspondant à 25000 bbl/j.
- Quantité du gaz vers HBNS : 408.000 cm³/J.
- Capacité maximum gaz lift pour le manifold BBK: 1.19 106 cm³/j.
- Capacité maximum gaz lift pour le manifold BBKN: 1,42 106 cm³/j.



INTRODUCTION

Dès la naissance de l'industrie pétrolière on a pensé à la création d'appareils permettant de chauffer partiellement ou de vaporiser la charge afin de faciliter son fractionnement en divers produits.

Au début on a utilisé des cuves à chauffage qui furent abandonnées en raison de leurs inconvénients : faible puissance de chauffe, encombrantes et grande consommation de combustible. Les fours tubulaires sont venus prendre la relève aussitôt, vue qu'ils présentent beaucoup plus d'avantages et que l'on citera lorsqu'on présentera les différentes caractéristiques.

II.1 UTILISATION DES FOURS TUBULAIRES

Dans la plupart des unités de raffinage ou de pétrochimie 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 est transmise directement au fluide à réchauffer qui circule dans un serpent tubulaire ou un faisceau de tube. C'est la raison pour laquelle est appelé four tubulaire.

Les usages des fours tubulaires sont multiples mais chaque cas nécessite une étude particulière dans le but de concevoir le four le plus économique et le mieux adapté aux conditions imposées.

On peut citer les exemples suivants :

➤ **Les fours de réchauffage de fluide sans changement d'état physique :**

Dans lesquels la charge liquide ou vapeur ne reçoit que de la chaleur sensible.

C'est le cas par exemple :

- des fours des unités de reformage catalytique ou d'hydrotraitement de coupe de tête de distillation du pétrole brut dans lesquels la charge déjà vaporisée à l'entrée du four est portée à la température nécessaire au déroulement des réactions chimiques sur les lits de catalyseur.
- des fours "à huile chaude" (encore appelés chaudières) où un liquide caloporteur reçoit l'énergie thermique qu'il cède ensuite dans des réchauffeurs
- des surchauffeurs de vapeur indépendants des fours de vapocraquage quand la vapeur produite dans les échangeurs de ligne de transfert n'est pas surchauffée dans la zone de convection.

➤ **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 de pétrole brut.
- four de rebouillage.

Dans ces fours, la charge reçoit de la chaleur latente pour atteindre le degré de vaporisation requis.

➤ **Réchauffage d'un fluide avec réaction chimique :**

C'est le cas des fours des unités de craquage et de réformation thermique. Le produit est d'abord réchauffé jusqu'à la température de réaction, puis maintenu à cette température un

certain temps dans une section spéciale du faisceau appelée zone de soaking ou de maturation, où les calories transmises compensent celles absorbées par la réaction.

Dans certains cas lorsque la réaction se fait en présence de catalyseur, celui-ci est placé dans les tubes du four.

II.2 CARACTERISTIQUES ESSENTIELLES DES FOURS TBULAIRES

Le four tubulaire est conçu et calculé pour permettre de transférer au fluide une quantité de chaleur donnée par heure. Le débit et la température étant fixés à l'avance. Il faut donc faire apparaître dans le four une quantité de chaleur suffisante afin d'avoir la température voulue pour réchauffer le fluide et compenser les pertes de chaleur.

Il doit donc être avant tout agencé en vue de la combustion d'une quantité suffisante de combustible. Il devra comporter les brûleurs nécessaires, ceux-ci devront être alimentés en combustible et en air.

Dans la plupart des fours de l'industrie pétrochimique, l'admission de l'air de combustion dans le four est obtenue par la dépression qui règne à l'intérieur du four, elle est due au tirage de la cheminée. Les températures des produits de combustion sont toujours élevées, on peut les augmenter en préchauffant l'air de combustion par les fumées allant à la cheminée. Les échanges thermiques à l'intérieur du four se font à la fois par les trois mécanismes, de la radiation, de la convection et de la conduction.

Les produits de la combustion cèdent leur chaleur aux tubes par radiation et convection. A travers les parois des tubes le transfert se fait par conduction, à l'intérieur des tubes, c'est la convection qui intervient. Enfin les pertes à travers les murs se font par conduction. Le phénomène le plus important est la radiation des produits.

Il est évident que les dimensions des fours sont d'autant plus importantes que la quantité de chaleur à transmettre à la charge est plus grande. On caractérise aussi le four par la quantité de chaleur dégagée et celle absorbée.

Celle absorbée doit être limitée par unité de surface. Celle dégagée par unité de volume de four et par unité de temps ($\text{Kcal}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$). Pour juger les performances d'un four, il est nécessaire de connaître aussi le coefficient de transmission de chaleur en ($\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$), le coefficient est compris entre 14 et 17 $\cdot 10^3 \text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$.

Les constructeurs s'efforcent d'améliorer le coefficient de transmission, car c'est de lui que dépend en fin de compte l'encombrement du four, et il ne peut pas aller loin dans cette direction sans compromettre la sécurité de fonctionnement car les températures trop élevées provoquent une corrosion accélérée des matériaux des tubes, c'est donc la température de la paroi du tube qui limite l'augmentation du coefficient de transmission de chaleur et la résistance mécanique des matériaux diminue avec l'augmentation de la température.

Les fours tubulaires reposent sur le principe de vaporisation simple, ceci permettra de vaporiser une grande quantité de charge à température égale et plus basse. Ils possèdent une puissance de chauffe plus élevée due à la transmission de chaleur par rayonnement et par les gaz de combustion, le degré d'effet thermique et leur puissance de chauffe sont plus élevés, et permettent de réduire la durée de séjour de la charge dans la zone à haute température. Ils sont faciles à conduire et à automatiser, les frais de main d'œuvre moins élevés, avec une plus grande sécurité et moins de risques.

Un four est caractérisé par sa capacité de travail et son rendement .On définit la capacité d'un four comme étant le débit de produit traité par unité de temps. On l'exprime généralement par tonnes par 24 heures.

Le rendement d'un four est le rapport entre la quantité de chaleur absorbée par le fluide réchauffé et celle dégagée par la combustion, certains procédés sont utilisés pour améliorer le rendement d'un four ; s'il comporte déjà une zone de convection, le mieux est d'installer à la suite de celle-ci un préchauffeur d'air de combustion, les calories ainsi récupérées des fumées augmentent la quantité de chaleur libérée par la combustion.

II.3 DESCRIPTION ET CONSTRUCTION DES FOURS

II.3.1 DESCRIPTION GENERALE

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

Le four comporte une zone de radiation qui est celle où les tubes sont directement exposés à la flamme et reçoivent la chaleur principalement par radiation des produits de la combustion. Cette chambre représente la chambre de combustion où se développe la flamme.

En général c'est devant cette zone que sont placés les tubes, la plupart du temps en une rangée et parfois en deux rangées.

La zone de convection, si elle existe, est installée à la sortie des fumées de la chambre de combustion, elle est constituée d'un faisceau de tubes placés n'importe comment, perpendiculairement où parallèlement à la direction des fumées .Dans les deux cas, on cherche à obtenir une vitesse assez grande pour les fumées de façon à augmenter le coefficient d'échange.

Les tubes placés en zone de convection ont quelques fois leur surface extérieure recouverte d'ailettes ou d'aiguilles (studs) qui augmentent considérablement la surface d'échange.

L'enveloppe métallique du four doit être suffisamment renforcée pour résister aux actions du vent et supporter l'ensemble du faisceau tubulaire. Elle est constituée d'une ossature en charpente et de tôles boulonnées ou soudées sur cette charpente.

Comme en général, la chambre de combustion est en dépression par rapport à l'atmosphère du fait du tirage de la cheminée, cette enveloppe doit être suffisamment étanche pour éviter des entrées d'air parasite qui aurait un effet préjudiciable sur le rendement du four.

Les parois intérieures du four, particulièrement celles de la chambre de combustion, sont protégées contre les effets de la température par garnissage réfractaire et isolant, qui en outre, a pour but de diminuer les pertes calorifiques à l'extérieur.

Le plancher de la zone de combustion constitue la sole du four, elle est aussi recouverte d'une couche de produit réfractaire et isolant.

Les parois verticales (ou la sole dans les fours verticaux), sont percées d'orifices dans lesquels sont placés les brûleurs. Un certain nombre de regards permettent d'observer la combustion, la forme des flammes et la tenue des tubes. Des portes d'acier à l'intérieur du four sont aussi ménagées dans les parois. Ces regards et ces portes doivent être hermétiquement clos lorsque le four est en service.

Enfin, les fumées quittent le four par l'intermédiaire de la cheminée en passant par le réchauffeur d'air. La cheminée du four cylindrique peut être située directement sur le four ou sur une fondation séparée, la conduite amenant les fumées à la base de la cheminée s'appelle «carneau». Le rôle de la cheminée est multiple, son premier but est de conduire les fumées vers l'atmosphère de manière à ce qu'elles ne risquent pas de gêner le voisinage. Ceci est important; en particulier dans les installations très resserrées où les cheminées des fours doivent être plus élevées que les colonnes voisines. Mais la cheminée, par son tirage met la chambre de combustion en dépression et provoque aussi l'entrée de l'air nécessaire à la combustion par les volets d'air des brûleurs. Ses dimensions: hauteur et diamètre, doivent être calculées pour obtenir ce tirage.

La cheminée est souvent protégée intérieurement, au moins dans sa partie basse où les fumées sont encore très chaudes, par une couche de béton réfractaire, ce qui permet de la construire en acier ordinaire. Quand la cheminée est de grande hauteur, elle est quelques fois construite en béton. A sa base, on trouve souvent un registre qui permet de régler le tirage. Ce registre doit être construit en acier résistant à la température des fumées.

II.3.2 TUBES ET ACCESSOIRES DU FAISCEAU TUBULAIRE

Pour certains fours cylindriques verticaux, on utilise un serpentin hélicoïdal, le faisceau tubulaire est en générale constitué de tubes droits en acier, placés parallèlement les uns aux autres, le passage d'un tube à l'autre se fait par un coude de 180° soudé à un appareil spécial appelé boîte de retour. Les tubes doivent satisfaire à un certain nombre d'essais.

Pour les fours équipés de boîte de retour, on choisit des tubes à extrémités calibrées. Quand on utilise des coudes, les extrémités des tubes et celles des coudes sont chanfreinées en vue de la soudure. Les coudes sont soit forgés à partir d'un élément de tube, soit fabriqués par moulage.

La boîte de retour est une pièce en acier moulé permettant le raccordement des tubes, elle est équipée de bouchons placés exactement dans l'axe des tubes et permettant le nettoyage intérieur de ces derniers. On utilise parfois des boîtes spéciales pouvant recevoir trois tubes ou plus, ce qui permet d'avoir plusieurs tubes en parallèle sur le circuit du fluide.

La nature du métal utilisé pour la fabrication des tubes et accessoires dépend des conditions de température et de la nature du fluide à réchauffer.

Les supports des tubes et les plaques tubulaires sont aussi soumis à des très hautes températures, supérieures même à celle des tubes, car ces pièces ne sont pas refroidies comme le sont celles en acier réfractaire ou en fonte.

II.3.3 GARNISSAGE DES PAROIS DU FOUR

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

Les propriétés requises pour un garnissage isolant réfractaire sont variées :

- Conductivité thermique faible.
- Résistance mécanique élevée ;
- Bonne résistance aux variations de température ;
- Facilité de mise en œuvre.

Ces propriétés sont contradictoires et la sélection d'un matériau pour une application particulière est le résultat d'un compromis .Dans certain cas, c'est un garnissage multicouche qui permettra d'allier les propriétés opposées de plusieurs matériaux.

II.3.4 LES BRULEURS

Ont pour rôle de provoquer le mélange intime de l'air et du combustible en vue d'obtenir la combustion complète de celui-ci. L'air de combustion est introduit par des volets du fait, la plupart du temps, de la dépression qui règne dans le four .Le combustible, gaz ou huile, débouche dans le courant d'air au centre d'un ouvre au réfractaire qui, par la chaleur qu'il rayonne, assure la stabilité de la flamme. Un brûleur est conçu pour brûler soit du gaz, soit de l'huile .Certains brûleurs sont équipés pour brûler l'un ou l'autre combustible (bruleurs mixtes).

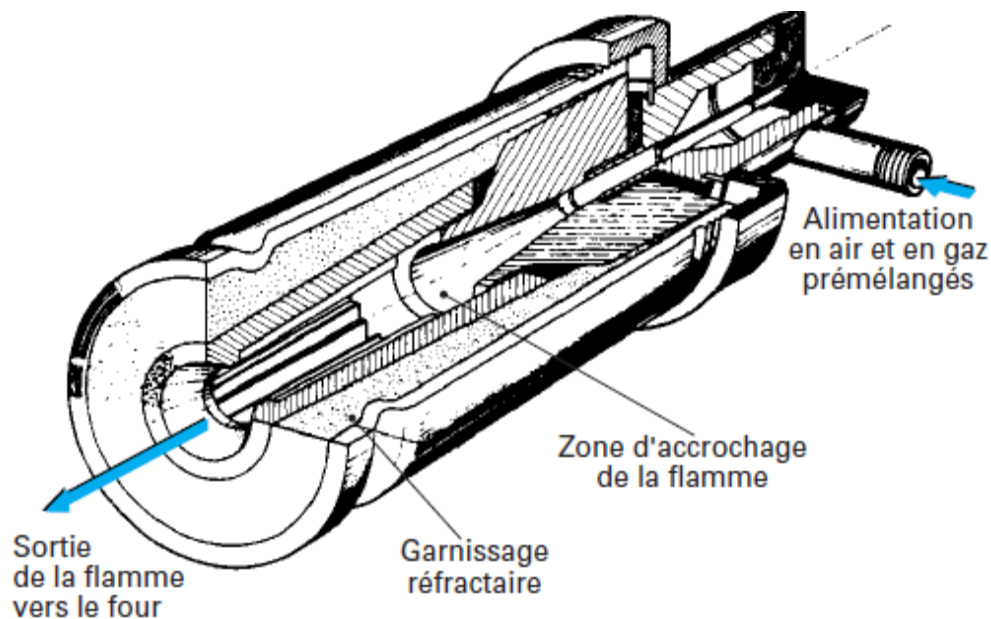


Fig II.1

II.3.5 RECHAUFFEUR D'AIR

Les préchauffeurs d'air ont été conçus et mis au point. Ce sont, en fait, des échangeurs de chaleur entre les fumées et l'air de combustion pour lesquels on cherche à obtenir une faible perte de charge pour éviter l'emploi de ventilateurs, tout en ayant un bon coefficient de transfert pour diminuer les investissements pour un taux de récupération de chaleur donné. D'autre part, les effets de la corrosion à l'acide sulfurique doivent être pris en considération lorsque la température des fumées à la sortie du préchauffeur est inférieure au point de rosée (170 à 200°C).

Lorsque la température d'entrée du fluide à réchauffer ne permet pas de refroidir les fumées à un niveau tel que le rendement du four n'est pas à son optimum économique, on peut effectuer un recyclage thermique avec changement de support. Il s'agit d'enlever la chaleur des fumées sortant du four pour la réintroduire à l'entrée de la chambre de combustion.

Un recyclage pur et simple de fumées n'apporte rien, car la température du fluide froid limite la température de refroidissement des fumées. Il faut donc nécessairement un fluide à température plus basse. L'air de combustion remplit ces conditions.

Plusieurs schémas peuvent être utilisés :

- L'air de combustion est réchauffé directement par les fumées (fig.1). Un échangeur de chaleur placé sur le circuit des fumées réchauffe l'air de combustion qui alimente les brûleurs.

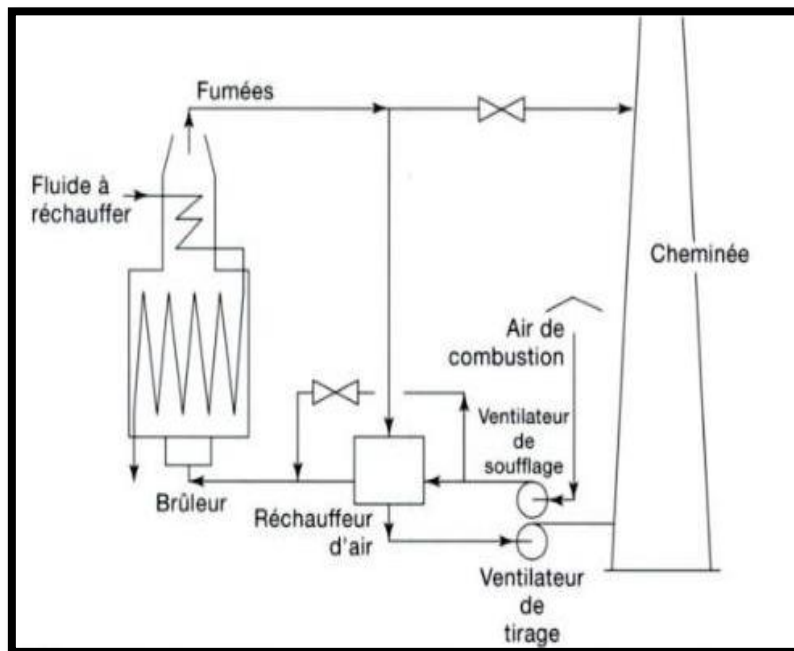


Fig II.2

- On interpose entre les fumées et l'air de combustion un fluide intermédiaire tel que l'eau sous pression, de l'huile (fig.2). Le caloduc constitue une application technologique particulière de ce schéma.

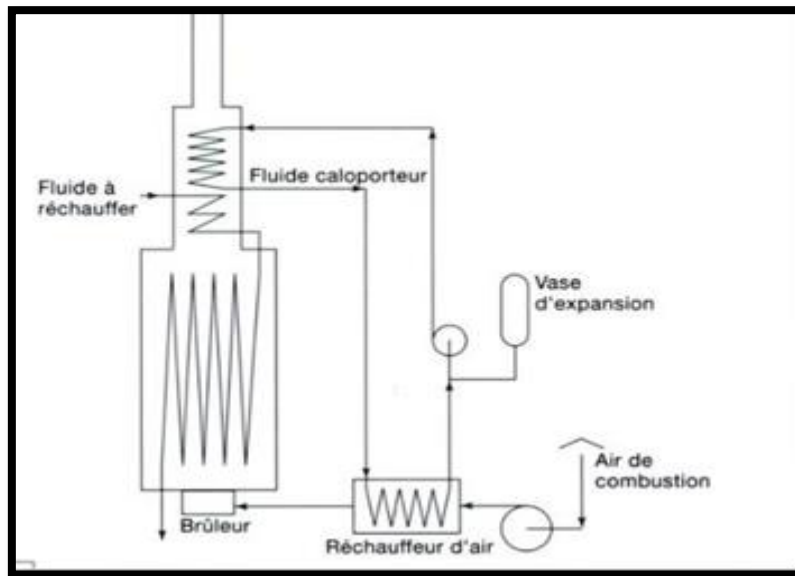


Fig II.03

- Une à ce schéma est constituée par le fluide principal à réchauffer (fig.3).dont la température est abaissée par de l'air de combustion, puis la température dans une zone de convection complémentaire avant de passer dans le circuit normal

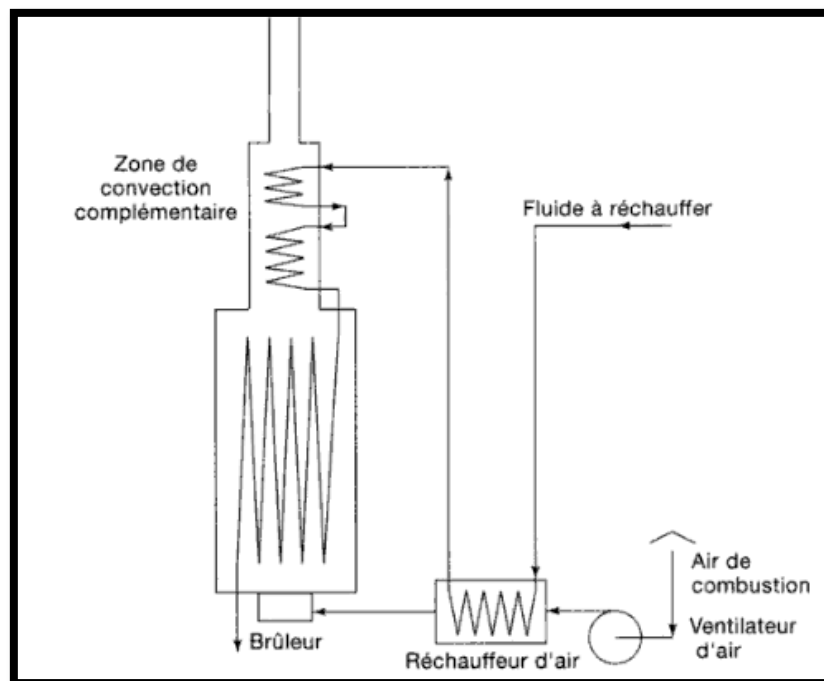


Fig II.04

Le fluide à réchauffer joue le rôle d'un fluide caloporteur

Quelle que soit la solution, un dispositif de réchauffage d'air de combustion devra être préféré muni de dispositif de by passage. Celui-ci permet l'entretien éventuel des réchauffeurs d'air sans être obligé d'arrêter l'ensemble de l'installation.

Remarque :

Dans les fours brûlant des combustibles liquides, il est important d'utiliser des appareils dans lesquels les espaces de passage des fumées sont de dimensions suffisantes pour que les encrassements dues aux cendres, ou éventuellement des suies, ne conduisent pas rapidement à une obstruction du circuit des fumées.

II.3.6 RAMONEURS

Afin de maintenir propre le circuit des fumées et ainsi conserver l'efficacité des surfaces d'échange, on installe dans les zones de convection des ramoneurs.

Plusieurs types sont disponibles :

- Appareils à soufflage d'air ou de vapeur. C'est des tubes rotatifs, fixes ou réfractaires, comportant des buses de soufflage. Ils sont utilisés de façon intermittente (en général 3 fois par 24 heures) pour souffler les dépôts pulvérulents qui ont pu se déposer sur les surfaces d'échange.
- Ramoneurs acoustiques ou subsoniques. Ce sont des appareils qui émettent des vibrations acoustiques ou infrasonores dans l'enceinte de la zone de convection, afin de maintenir en suspension les poussières et ainsi éviter leurs dépôts sur les surfaces d'échange.

II.4 CONTROLE ET MARCHE DES FOURS

La plupart des fours de l'industrie pétrochimique sont équipés d'une régulation automatique de la température de sortie du fluide réchauffé, le débit de combustible étant asservi à cette température. Les installations ont toutes un contrôle automatique poussé, les variations de température de sortie sont faibles et il n'est pas nécessaire de prévenir un réglage automatique de la combustion et en particulier de l'excès d'air.

Cependant dans le cas d'une variation importante du débit de combustible, il faut procéder au réglage manuel de l'excès d'air.

Il est nécessaire d'arrêter les brûleurs en cas d'arrêt de la circulation dans les tubes; en effet, si le débit du fluide à réchauffer devient nul sans que l'alimentation des brûleurs soit coupée, les tubes risquent très rapidement d'être surchauffés car ils ne sont plus refroidis par la circulation du fluide et cette surchauffe peut provoquer des dégâts importants.

Il faut donc prévoir une alarme de débit bas sur le débit de fluide à réchauffer et éventuellement, un système coupant l'arrivée de combustible aux brûleurs.

La combustion doit être l'objet d'une surveillance continue, en particulier, en ce qui concerne la température des fumées elles-mêmes, la dépression dans le four et la forme des flammes.

II.5 DESCRIPTION DES DIFFERENTS TYPES DE FOUR

Il existe de nombreuses dispositions des tubes, dans les zones de radiation et de convection, et d'une zone par rapport à l'autre. Il en résulte de nombreux types de fours. On peut, toutefois, distinguer les différentes catégories suivantes :

- **Les fours dits « cabines » à tubes horizontaux :** dans ces fours la forme générale de la zone de radiation est celle d'un parallélépipède, dont la plus grande longueur est horizontale. Les tubes sont placés horizontalement le long des parois latérales les plus longues. Les brûleurs sont situés sur la sole, ou sur la partie inférieure des murs latéraux les plus longs ou encore sur les murs d'extrémités ne recevant pas les tubes.

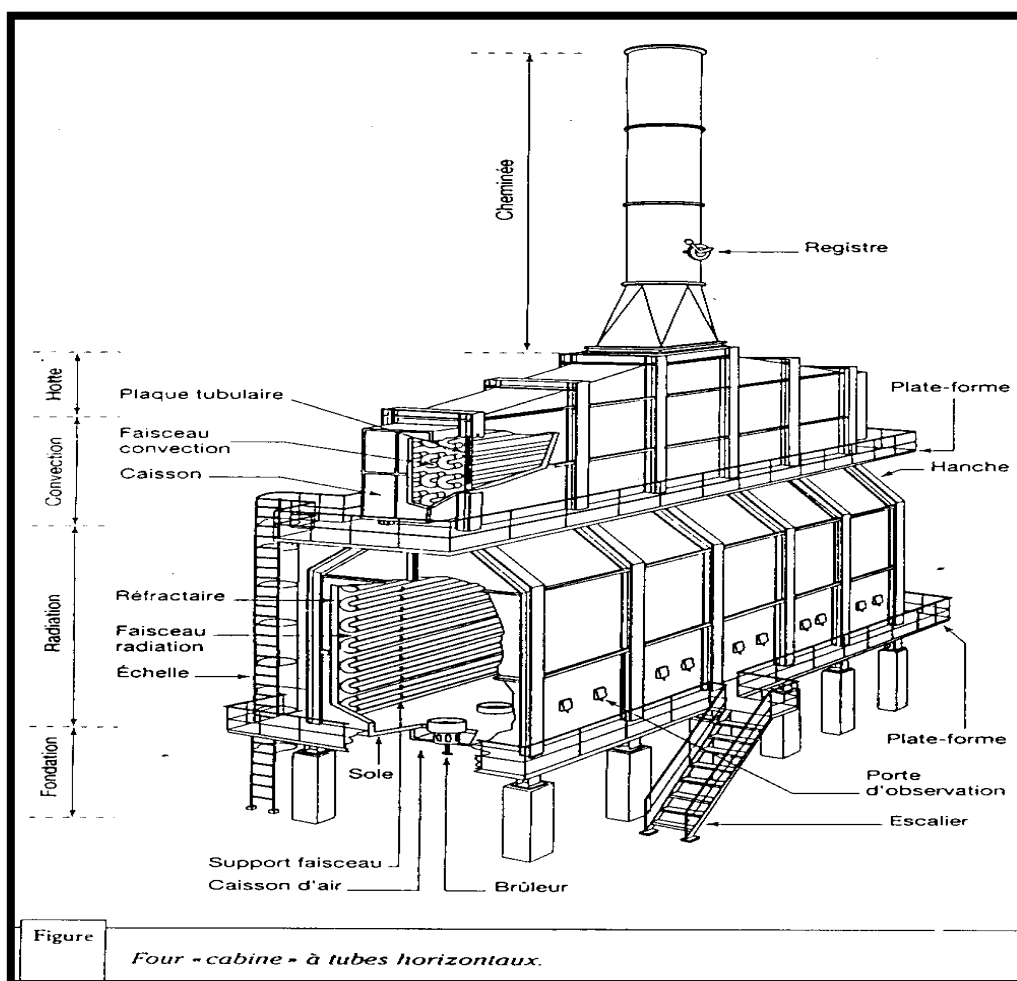
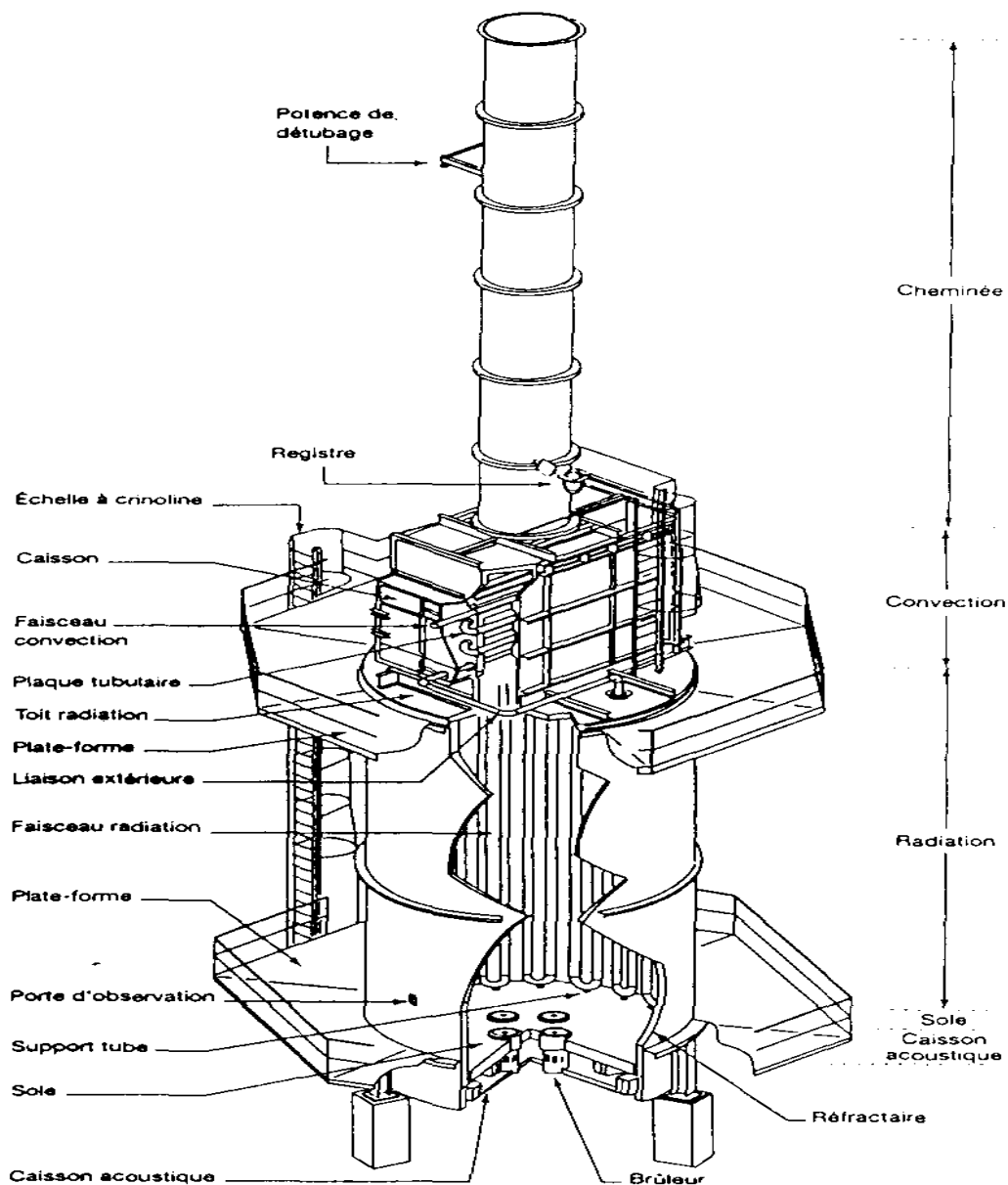


Fig II.5

- **Les fours dits « boîtes » à tubes verticaux :** dans ces fours, la forme générale de la zone de radiation est celle d'un parallélépipède, les tubes sont placés, dans la plus part des cas, circonférentiellement le long de la paroi intérieure. Les brûleurs verticaux sont disposés dans le sol du four. La zone de convection, placée au-dessus de la chambre, est constituée de tubes verticaux placés directement dans la cheminée, où

des tubes horizontaux, en général très courts, situés dans une chambre spéciale entre la chambre de combustion et la cheminée. Celle-ci est montée directement sur le four.

- **Les fours cylindriques verticaux :** la zone de radiation se présente sous la forme d'un cylindre à axe vertical .Les brûleurs sont placés sur le sol, à la base du cylindre .La surface d'échange couvre les parois verticales et présente donc une symétrie circulaire par rapport au groupe de chauffage.



Figure

Four cylindrique vertical.

Fig II.06

- **Les fours à chauffage par murs radiants :** La surface d'échange est placée dans le plan médian de la chambre de combustion. Les brûleurs sont répartis sur les parois latérales longitudinales.
- **Les fours dits à double chauffe :** Dans ces derniers, le plan des tubes constituant la surface d'échange, et dans le plan médian des rangs de brûleurs.

Pour tous les types de fours cités ci-dessus, à l'exception des cas où les brûleurs sont en voûte, la zone de convection peut être située au-dessous du four. La zone de convection peut également être placée sur le côté de la zone de radiation. Dans ce dernier cas des carneaux de fumées très chaudes assurent la liaison entre les deux zones.

Les tubes constituant la surface d'échange de la zone de radiation sont placés devant le garnissage réfractaire isolant de l'enveloppe. Un espace égal à environ un diamètre de tube est maintenu entre les tubes et cette paroi réfractaire. La chauffe du tube, bien qu'inégalement répartie, se fait sur toute la périphérie.

L'enveloppe du four n'est pas parfaitement étanchée, notamment suite au vieillissement et aux nombreux passages de tubes. Pour des raisons de sécurité ou pour la sauvegarde du matériel, l'intérieur du four est maintenu en dépression par rapport à l'air extérieur.

Cette dépression est, le plus souvent, obtenue par le tirage de la cheminée, ou quelquefois, par un ventilateur de tirage. Ces organes sont placés directement au-dessous de la zone de convection, ou au sol à côté du four.

L'air de combustion est introduit dans les brûleurs, soit par la dépression régnant dans la chambre de combustion (brûleur à tirage naturel), soit à l'aide d'un ventilateur (brûleurs soufflés).

Pour assurer la combustion complète du combustible, un excès d'air, par rapport à la valeur stœchiométrique, doit être ajouté. Cet excès d'air dépend, de la température de l'air de combustion et principalement du combustible.

Les valeurs d'excès d'air les plus couramment admises sont, en pour-cent de l'air stœchiométrique :

Combustible	Air froid (20°C)	Air chaud (300°C)
Fuel oil	20-25	5-15
Gaz	10-15	5-10

Tableau II.01 : Les valeurs d'excès d'air

Le choix d'un type de four dépend principalement des facteurs suivants :

- Nature des produits chauffés et condition de service (débit, température, pression).
- Drainabilité des faisceaux tubulaires.
- Présence ou non de catalyseur dans les tubes.
- Combustible.
- Encombrement.
- Facilité de construction ou de transport.
- Coût pour application donnée.

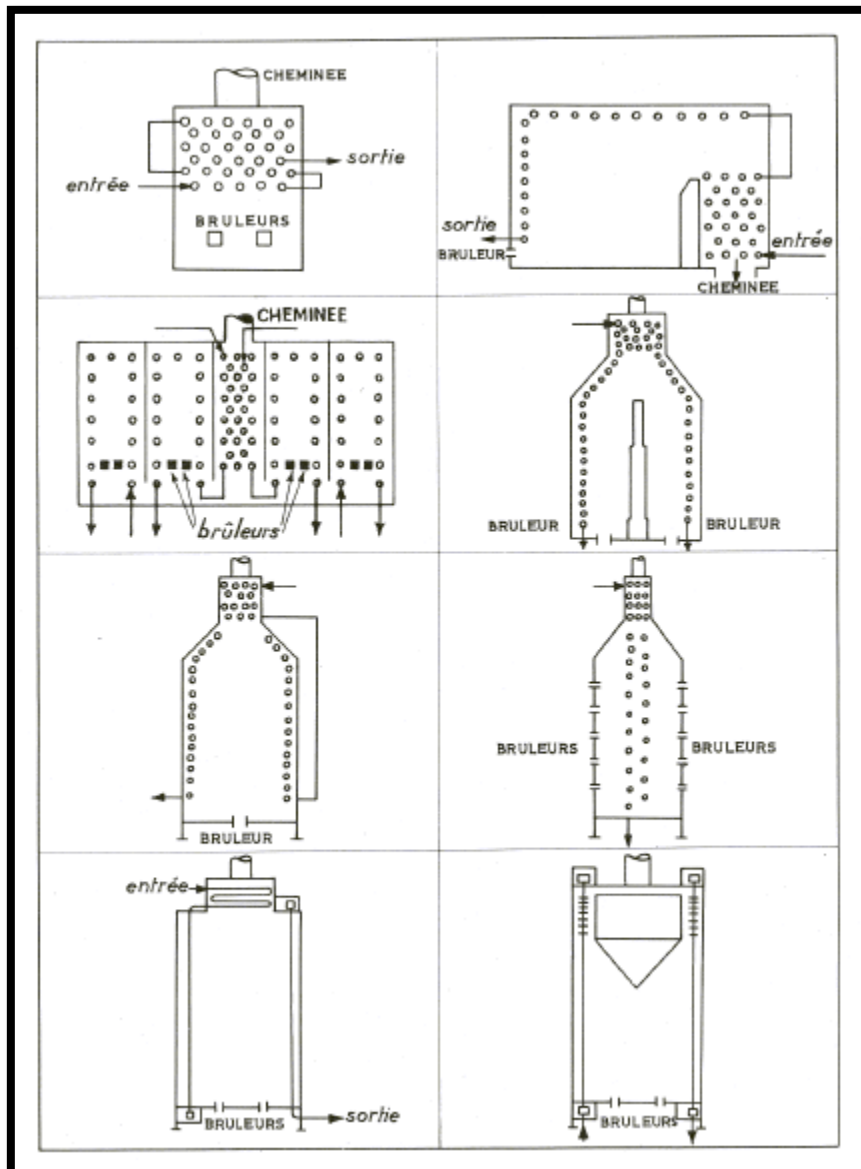


Figure II.07

II.6 RENDEMENT THERMIQUE D'UN FOUR

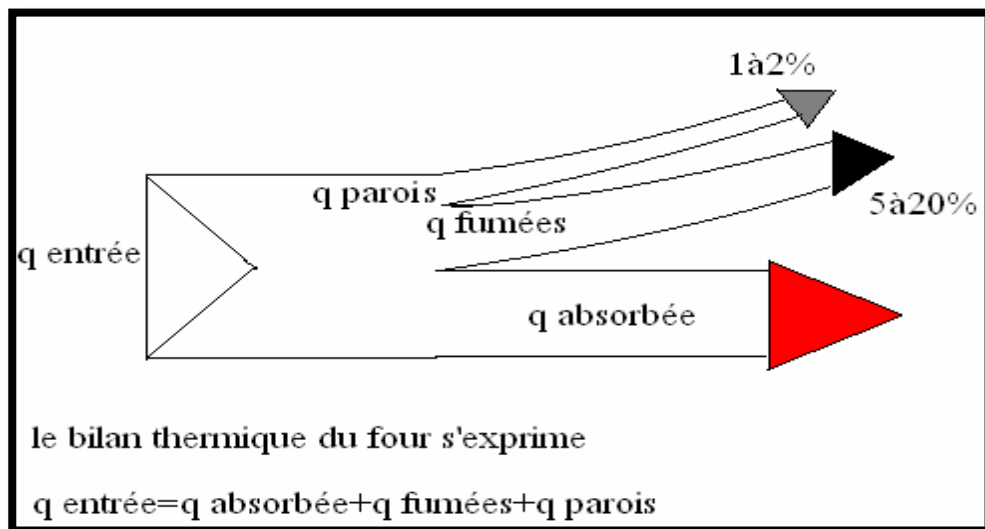
L'économie d'exploitation est un facteur prépondérant dans l'étude d'un four ; aussi la notion de rendement est-elle d'importance.

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

$$\eta = Q_{\text{reçue}} / Q_{\text{combustion}} = 1 - (\text{Perte} / Q_{\text{combustion}})$$

Remarque :

- Une partie très faible de la chaleur non absorbée est perdue par conduction à travers les parois du four (1 à 2 % de la quantité libérée aux brûleurs)
- Les pertes les plus importantes sont les pertes à la cheminée, dissipées dans l'atmosphère par les fumées qui sortent du four à température assez élevée.



Remarque:

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

- L'excès d'air de combustion.
- La température de rejet des fumées.

a) L'excès d'air de combustion : le débit des fumées s'accroît avec l'excès d'air aussi faible que possible, tout en veillant à obtenir une combustion complète, sans imbrûlés ; on peut jouer sur ce facteur par un réglage correct de la combustion, encore que, même avec des brûleurs bien conçus, on ne puisse descendre en dessous d'une certaine limite car on risque d'avoir une combustion incomplète dont les inconvénients sont :

- D'abord la réduction du dégagement de chaleur par unité de poids de combustible brûlé, donc une réduction du rendement contraire à l'effet recherché ;

- la formation de CO susceptible de se combiner à l'oxygène encore présent dans les fumées en dehors de la chambre de combustion (phénomène de postcombustion qui peut endommager le four).

b) la température de rejet des fumées : La température des fumées dépend d'un très grand nombre de facteurs ; en fait, pour un excès d'air donné, la température à laquelle les fumées sortent de la zone de radiation est déterminée par charge thermique du four, la surface et la température des tubes .L'aménagement d'une zone dite de convection, constituée d'un faisceau tubulaire placé sur le trajet des fumées vers la cheminée, permet de récupérer une partie de a chaleur sensible de celles-ci. Il faut, toutefois, signaler que la température des fumées reste toujours supérieure à la température d'entrée de la charge dans le four.

Généralement, le fluide entrant au four est préchauffé par un système important d'échangeurs.

c) Possibilité et limite à l'amélioration du rendement d'un four :

Dans certaines installations comme par exemple les unités de craquage, la température d'entrée de la charge dans le four aurait trop peu d'effet sur le rendement.

On peut alors utiliser les fumées pour réchauffer un autre produit plus froid comme par exemple surchauffer ou même produire de la vapeur d'eau.

Un autre procédé permettant d'améliorer le rendement d'un four, s'il comporte déjà une zone de convection, et d'installer à la suite de celle-ci un préchauffeur d'air de combustion. Les calories ainsi récupérés augmente la quantité de chaleur libérée par la combustion .Mais, bien sûr, il faut que les surfaces d'échange en radiation et convection soit alors calculée pour permettre l'absorption de cette quantité de chaleur supplémentaire. Cependant, cet investissement supplémentaire ne peut souvent se justifier que pour les fours de grande capacité.

Pourtant, il faut signaler qu'on ne peut réduire toute la température des fumées. Nous vironnons en effet que le tirage de la cheminée diminue lorsque la température des fumées diminue, quand le tirage est trop faible et devient nécessaire d'utiliser un ventilateur et la consommation d'énergie nécessaire pour ce ventilateur doit être prise en compte dans le bilan général.

Une autre raison limitant la récupération de la chaleur des fumées et qu'en dessous d'une certaine température (point de rosée), les fumées laissent condenser des produits acides susceptibles de provoquer des effets corrosifs gênant.

INTRODUCTION

Chaque type de four a évidemment son processus de calcul propre, qui tient compte de sa technologie et de ses utilisations. On ne donnera donc ici que les principes de calcul communs à tous les fours.

III.1 CALCUL THERMIQUE DU FOUR

III.1.1 Bilans énergétiques

Quel que soit le four, l'objectif est de fournir aux produits une quantité de chaleur déterminée par :

- sa température initiale ou température d'enfournement ;
- La température finale désirée ou température de d'enfournement ;
- La masse des produits à chauffer ;
- La chaleur massique des produits et ; S'il a lieu, les chaleurs de transformation durant la montée en température.

Soit Q_u cette quantité de chaleur utile.

III.1.2 Rendement énergétique

le rendement d'un four est le rapport de l'énergie utile Q_u à l'énergie Q_p qu'il faut fournir au four sous forme de combustible ou d'électricité.

En appelant Q_p les diverses pertes thermiques, il vient :

$$Q = Q_u + Q_p$$

$$\eta = \frac{Q_u}{Q} = \frac{Q - Q_p}{Q}$$

le terme Q_p comprend :

- les pertes par les fumées Q_f ;
- les pertes par les parois Q_v ;
- l'énergie nécessaire au réchauffage des parois Q_{mv} ;
- les pertes par les ouvertures du four Q_e

il y a lieu de déterminer ces pertes pour calculer le rendement du four.

III.1.3 Rendement de combustion

Si l'on considère un combustible quelconque, il est caractérisé, entre autres, par :

- son pouvoir calorifique inférieur PCI ;
- le volume d'air nécessaire à sa combustion en stœchiométrie V_{ao}
- le volume de fumées produit par sa combustion en stœchiométrie V_{fo}

Dans les conditions usuelles d'utilisation dans les fours, la combustion se fait généralement

Avec de l'air en excès (et plus rarement avec de l'air eu défaut).

Si on appelle e l'excès d'air exprimé en pourcentage, **les volumes d'air utilisé et de fumées produites** lors de la combustion complète d'une unité de masse (pour les solides et les liquides) ou de volume (pour les gaz) de combustible s'écrivent

$$V_a = V_{a0} \cdot \left(1 + \frac{e}{100}\right)$$

$$V_f = V_{f0} \left(V_{a0} \times \frac{e}{100}\right)$$

III.1.3.1 Pertes par les fumées

$$Q_f = V_f \cdot C_{pf} \cdot T_f$$

- T_f : température de sortie de fumées du four ($^{\circ}\text{C}$).
- C_{pf} : capacité thermique volumique moyenne à pression constante dans l'intervalle de température 0°C à T_f .

La chaleur apportée par l'air s'écrit :

$$Q_a = V_a \cdot C_{pa} \cdot T_a$$

T_a : température de l'air à son entrée dans le four (en $^{\circ}\text{C}$),

C_{pa} : capacité thermique volumique à pression constante de l'air.

On appelle rendement de combustion, le rapport

$$\eta_c = \frac{PCI + Q_a - Q_f}{PCI}$$

Si on considère le four et l'équipement éventuel de préchauffage de l'air à partir des fumées comme un seul système et en considérant, dans ce cas, la température des fumées T_f à l'aval du réchauffeur d'air, la relation précédente devient :

$$\eta_c = \frac{PCI - Q_f}{PCI}$$

III.1.3.2 Relation entre le rendement énergétique et le rendement de combustion

Ramené à une unité de combustible, la relation précédente peut s'écrire :

$$\eta = \frac{PCI - Q_p}{PCI}$$
$$\eta = \frac{PCI - Q_f - (Q_v + Q_{mv} + Q_e)}{PCI}$$

Et en introduisant donné par la relation :

$$\eta = \eta_c - \frac{Q_v + Q_{mv} + Q_e}{PCI}$$

Dans un certain nombre d'installations, par exemple pour les fours continus à basse température, le terme:

$$\frac{Q_v + Q_{mv} + Q_e}{PCI}$$

est petit et, dans ce cas: il vient :

$$\eta = \eta_c$$

III.1.3.3 Rendement des fours continus

Dans un four continu en régime thermiquement stabilisé, les températures des fumées et de l'air de combustion sont constantes dans le temps et les parois sont en équilibre thermique, ce qui entraîne :

$$Q_{mv} = 0$$

Le calcul du rendement se fait, généralement, sur une base horaire, la chaleur utile Q_u et les pertes Q_v et Q_e seront déterminées sur une heure. On peut donc calculer facilement puis avec les fours de η_c .

Les fours continus étant assez peu souvent arrêtés et refroidis, l'énergie utilisée durant les périodes de mise en température est souvent négligeable dans le bilan global d'exploitation.

III.1.4 Détermination des pertes par les parois

Dans les **fours continus**, en régime thermique établi, on applique pour les parois planes (Murs, voûte, sole) la relation :

$$Q_v = K (T_i - T_e) S$$

$$K = \frac{1}{\left(\sum \frac{e_i}{\lambda_i}\right) + \left(\frac{1}{k_e}\right)}$$

avec

e_i : épaisseur des i couches successives de réfractaires ou d'isolants ;

λ_i : conductivité thermique des i couches successives de réfractaires ou d'isolants

K_e : coefficient d'échange de la paroi externe avec l'ambiance ;

T_i : température de la paroi interne du four ;

T_s : température externe ambiante ;

S : surface externe du four.

Dans les fours convenablement isolés, T_i est très proche de la température de l'ambiance du four

à l'endroit considéré. Le coefficient k_e regroupe :

- un facteur rayonnement qui croît avec la température de la Paroi externe T_e :

- un facteur convection qui croît avec la vitesse de circulation de l'air autour de la paroi externe.

III.1.5 Calcul de la chaleur accumulée

Calcul de l'énergie nécessaire au réchauffage des parois Q_{mv} demande la connaissance

de la distribution de température dans les parois lorsque l'équilibre thermique est atteint ainsi que celle des caractéristiques physiques, à la température considérée, de matériaux composants ces parois. Pour chacun des composants des parois on a

$$Q_{mvi} = M_i C_i (T_{fin} - T_{in})$$

M_i : masse du matériau considéré.

C_i : capacité thermique massique du matériau considéré,

T_{in}: température initiale du matériau,

T_{fin} : température finale du matériau

C_i : étant le plus souvent fonction de la température, on prendra la valeur moyenne entre T_{in} et T_{fin}

Les températures T_{in} et T_{fin} variant dans l'épaisseur de la paroi, on prendra les valeurs moyennes entre les deux faces de la paroi.

On se souviendra que, pour les fours continus, l'importance de Q_{mv} dans le bilan global de l'installation est relativement faible.

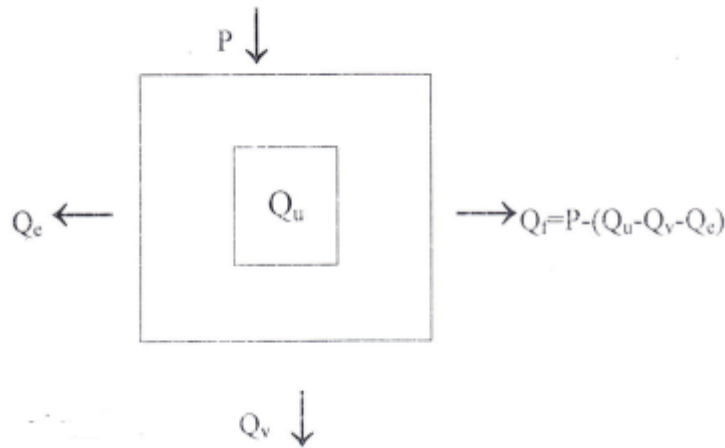
III.1.6 Puissance installée

C'est la quantité de chaleur maximale que l'on peut introduire par unité de temps dans le four

Dans un Four continu la puissance installée sur l'ensemble du four est donnée par :

$$P = Q_U / \eta = (Q_u + Q_v + Q_c) / \eta_c$$

Avec η_c et η sont respectivement rendement de combustion et rendement du four



III.1.7 Dimensionnement des fours

C'est le problème principal pour le concepteur et le constructeur.

Les calculs de dimensionnement sont, évidemment, spécifiques à chaque type de four.

Fondamentalement, ces calculs consistent à résoudre simultanément tout ou partie des relations suivantes.

La **loi de Stefan-Boltzman** qui régit les échanges par **rayonnement** entre le four et la charge

$$Q_c = \int k \cdot S (T_r - T_c) dt$$

La **loi de Newton** qui régit les échanges par **convection** entre le four et la charge :

$$Q_c = \int k \cdot S (T_r - T_c) dt$$

L'équation de Fourier qui régit les échanges par **conduction** à l'intérieur des produits :

$$\partial T / \partial t = (\lambda / C_p \rho) \nabla^2 T$$

Ils se font actuellement avec des programmes informatiques de calcul, par des méthodes numériques plus ou moins sophistiquées, et des simplifications adaptées à chaque type de four qui intègrent les données rappelées ci-dessous :

- Flux thermique acceptables.
- temps de séjour nécessaire à l'égalisation des températures.
- chaleur utile.
- rendement de combustion.
- pertes diverses ...etc.

On détermine de cette façon le temps de séjour du produit dans le four et, en fonction de la production souhaitée, les dimensions du four.

Des approches simplifiées sont souvent utilisées par les praticiens .elle consistent à utiliser des données expérimentales ou des règles du pouce pour déterminer rapidement les temps de séjour nécessaires.

III.2 Remarque importante

Dans notre calcul on a basé sur le calcul du rendement du four et le nombre de brûleurs qu'alimente le four F-103

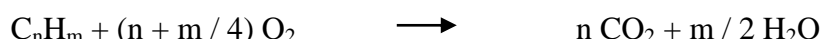
IV.1 Etude de la combustion

Pour assurer une combustion complète, les brûleurs provoquent un mélange intime de l’air et du combustible.

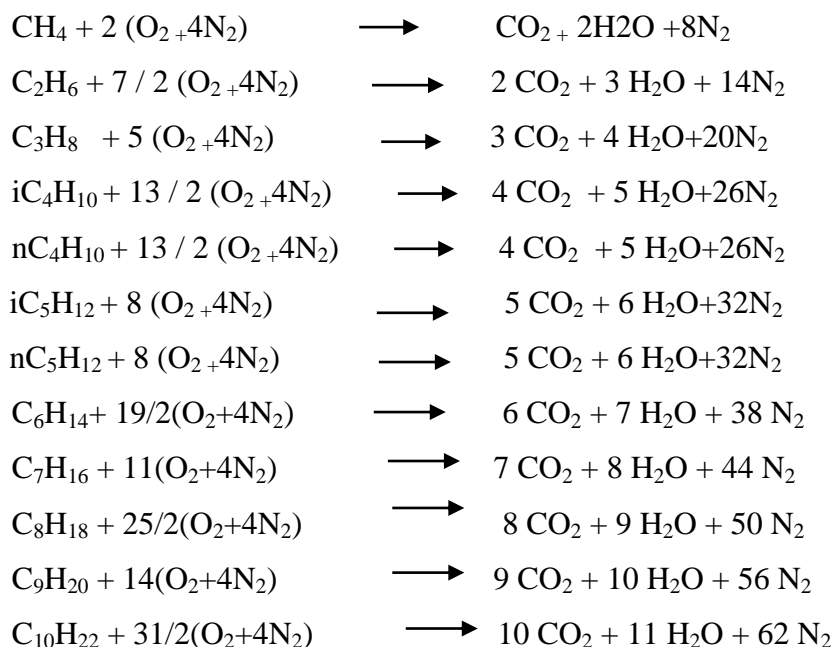
Le combustible utilisé dans le four F-103 est le fuel gaz (gaz de raffinerie). Il s’agit d’un mélange d’hydrocarbures pouvant contenir des impuretés, en particulier du soufre dont la teneur peut être négligeable.

IV.1.1 Réactions de combustion

Le calcul est basé sur les équations stœchiométriques de la combustion des hydrocarbures ayant la formule chimique générale suivante :



Les réactions qui peuvent avoir lieu sont :



Ces réactions permettent de déterminer la quantité d’oxygène, et donc d’air nécessaire à la combustion ainsi que la quantité des fumées formées lors de la combustion.

IV.1.2 Tableau récapitulatif des fractions molaire et PCI

La composition du gaz combustible est donnée par l’analyse chromatographique. Les fractions molaires sont citées dans le tableau ci- dessous.

Type de combustible		Gaz combustible
Excès d'air	%	20
Température de l'air	°C	12/50
Humidité relative	%	18/40
Composition du gaz combustible		
Constituants		% Molaire
N ₂		1.06
CO ₂		1.15
CH ₄		58.97
C ₂ H ₆		20.36
C ₃ H ₈		11.82
i-C ₄ H ₁₀		1.46
n-C ₄ H ₁₀		3.14
i-C ₅ H ₁₂		0.7
n-C ₅ H ₁₂		0.67
C ₆ H ₁₄		0.44
C ₇ H ₁₆		0.16
C ₈ H ₁₈		0.05
C ₉ H ₂₀		0.01
C ₁₀ H ₂₂		0.01

Tableau II-2 : Analyse chromatographique de fuel gaz

Constituants	La masse moléculaire	Y _i % (molaire)	PCI _i (kcal / Nm ³)	PCI _i × Y _i (kcal / Nm ³)
N ₂	28	1.06	-	-
CH ₄	16	58.97	8565	5050.78
C ₂ H ₆	30	20.36	15240	3102.86
C ₃ H ₈	44	11.82	21815	2578.53
<i>i</i> -C ₄ H ₁₀	58	1.46	28375	414.28
<i>n</i> -C ₄ H ₁₀	58	3.14	28375	890.98
<i>i</i> -C ₅ H ₁₂	72	0.7	34890	244.23
<i>n</i> -C ₅ H ₁₂	72	0.67	34890	233.76
C ₆ H ₁₄	86	0.44	41754	183.72
C ₇ H ₁₆	100	0.16	43758	70
C ₈ H ₁₈	114	0.05	44530	22.26
C ₉ H ₂₀	128	0.01	45670	4.56
C ₁₀ H ₂₂	142	0.01	46300	4.63
Total	-	100	-	12800.6

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) du gaz combustible est calculé à partir de l'équation suivante : $PCI(gaz) = \Sigma (PCI_i \times Y_i)$

Y_i : pourcentage molaire du gaz combustible

IV.1.3 Calcul de la quantité d'oxygène théorique nécessaire à la combustion

$$N_{(O_2)} = \Sigma(A_i \times Y_i)$$

$$N_{(O_2)} = 2 \times 0.5897 + \frac{7}{2} \times 0.2036 + 5 \times 0.1182 + \frac{13}{2} \times 0.0146 + \frac{13}{2} \times 0.0314 + 8 \times 0.007 + 8 \times 0.0067 + \frac{19}{2} \times 0.0044 + 11 \times 0.0016 + \frac{25}{2} \times 0.0005 + 14 \times 0.0001 + \frac{31}{2} \times 0.0001$$

$$N_{(O_2)} = 2.96 \text{ kmol/kmol}_{gaz}$$

IV.1.3.1 Calcule la quantité d'oxygène pratique:

En tenant compte l'excès d'air ($\alpha = 20\%$)

$$N_{(O_2)p} = N_{(O_2)th} + (\alpha \times N_{(O_2)})$$

$$N_{(O_2)p} = 2.96 + (0,20 \times 2.96)$$

$$N_{(O_2)p} = 3.552 \text{ kmol/kmol}_{\text{gaz}}$$

IV.1.3.2 Calcule la quantité d'air théorique à la combustion

Soit la teneur de l'oxygène dans l'air est 21%

$$N_{(air)th} = N_{(O_2)th} \times \frac{100}{21}$$

$$N_{(air)th} = 2.96 \times \frac{100}{21}$$

$$N_{(air)th} = 14.1 \text{ kmol/kmol}_{\text{gaz}}$$

IV.1.3.3 Calcule la quantité d'air pratique

$$N_{(air)p} = N_{(O_2)p} \times \frac{100}{21}$$

$$N_{(air)p} = (1 + \alpha) \times N_{(air)th}$$

$$N_{(air)p} = (1 + 0,20) \times 14.1$$

$$N_{(air)p} = 16.92 \text{ kmol/kmol}_{\text{gaz}}$$

IV.1.4 Les quantités des produits de la combustion (composition des fumes)

IV.1.4.1 La quantité de dioxyde de carbone (CO₂) dégagé

$$N_{(CO_2)} = \Sigma(A_i \times Y_i)$$

$$N_{(CO_2)} = 1 \times 0.5897 + 2 \times 0.2036 + 3 \times 0.1182 + 4 \times 0.0146 + 4 \times 0.0314 + 5 \times 0.007 + 5 \times 0.0067 + 6 \times 0.0044 + 7 \times 0.0016 + 8 \times 0.0005 + 9 \times 0.0001 + 10 \times 0.0001$$

$$N_{(CO_2)} = 1.65 \text{ kmol/kmol}_{\text{gaz}}$$

IV.1.4.2 La quantité d'eau(H₂O) dégagé par la combustion

$$N_{(H_2O)} = \Sigma(A_i \times Y_i)$$

$$N_{(H_2O)} = 2 \times 0,5897 + 3 \times 0,2036 + 4 \times 0,1182 + 4 \times 0,0146 + 5 \times 0,0314 + 5 \times 0,007 + 6 \times 0,0067 + 7 \times 0,0044 + 8 \times 0,0016 + 9 \times 0,0005 + 10 \times 0,0001 + 11 \times 0,0001$$

$$N_{(H_2O)} = 2,6 \text{ kmol/kmol}_{\text{gaz}}$$

IV.1.4.2.a La quantité de l'eau dégagée avec l'humidité d'air

C'est le nombre de mole de l'eau dans l'air ou la teneur de vapeur d'eau dans l'air de combustion à 25°C est donnée par l'équation d'Avogadro Dalton :

$$N_{(H_2O)} = N_{(\text{air})p} \times P_{H_2O} / (P - P_{H_2O})$$

Avec P_{H_2O} : pression partielle d'eau = 23,7 mmHg

P : pression atmosphérique = 760 mmHg

$$N_{(H_2O)} = \frac{16,92 \times 23,7}{760 - 23,7}$$

$$N_{(H_2O)} = 0,54 \text{ kmol/kmol}_{\text{gaz}}$$

IV.1.4.2.b La quantité d'eau avec l'humidité d'air

En tenant compte l'humidité relative d'air = 40%

$$N'_{(H_2O)} = N_{(H_2O)} \times \frac{40}{100}$$

$$N'_{(H_2O)} = 0,54 \times \frac{40}{100}$$

$$N'_{(H_2O)} = 0,216 \text{ kmol/kmol}_{\text{gaz}}$$

IV.1.4.2.c La quantité d'eau totale

$$N_{(H_2O)T} = N_{(H_2O)} + N'_{(H_2O)}$$

$$N_{(H_2O)T} = 2,6 + 0,216$$

$$N_{(H_2O)T} = 2,816 \text{ kmol/kmol}_{\text{gaz}}$$

IV.1.4.3 La quantité d'azote dans l'air

Soit la composition d'air : 78 % d'N₂

$$N_{N_2} = N_{(\text{air})p} \times 0,78$$

$$N_{N_2} = 16,92 \times 0,78$$

$$N_{N_2} = 13,20 \text{ kmol/kmol}_{\text{gaz}}$$

IV.1.5 Tableau récapitulatif des compositions des fumées

Le tableau indique la composition et la quantité obtenue des fumées ainsi que la quantité théorique d'oxygène nécessaire pour la combustion.

Constituants du combustible	Pourcentages volumiques (molaire) Y_i	O ₂ de la combustion (kmoles)	Composition des fumées				Constituants du combustible
			CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	
N ₂	1.06	-	-	-	-	-	N ₂
CO ₂	1.15	-	-	-	-	-	CO ₂
CH ₄	58.97	117.94	58.97	117.94	-	437.56	CH ₄
C ₂ H ₆	20.36	71.26	40.72	61.08	-	265.09	C ₂ H ₆
C ₃ H ₈	11.82	59.1	35.46	47.82	-	219.85	C ₃ H ₈
i-C ₄ H ₁₀	1.46	9.49	5.84	7.3	-	35.30	i-C ₄ H ₁₀
n-C ₄ H ₁₀	3.14	20.41	12.56	15.7	-	75.92	n-C ₄ H ₁₀
i-C ₅ H ₁₂	0.7	5.6	3.5	4.2	-	20.83	i-C ₅ H ₁₂
n-C ₅ H ₁₂	0.67	5.36	3.35	4.02	-	19.94	n-C ₅ H ₁₂
C ₆ H ₁₄	0.44	4.18	2.64	3.08	-	15.55	C ₆ H ₁₄
C ₇ H ₁₆	0.16	1.76	1.12	1.28	-	6.55	C ₇ H ₁₆
C ₈ H ₁₈	0.05	0.625	0.4	0.45	-	2.325	C ₈ H ₁₈
C ₉ H ₂₀	0.01	0.14	0.09	0.1	-	0.52	C ₉ H ₂₀
C ₁₀ H ₂₂	0.01	0.155	0.1	0.11	-	0.58	C ₁₀ H ₂₂
TOTAL	100	296	-	-	-	1100	Air de combustion
O ₂ dans l'excès d'air		59.2	164.75	263.08	59.2	1320	TOTAL
O ₂ dans l'air de combustion		284.16	9.12	14.56	3.27	73.05	Pourcentage molaire
N ₂ dans l'air de combustion		1320					
Nombres de kmoles d'air de combustion pour 100 kmoles de gaz combustible		1675.2	1807.03				Nombre de kmoles de fumées pour 100 kmoles de gaz combustible

Tableau II-4 : Composition des fumées.

On a le rapport entre la composition des deux constituantes est comme suit :

$$\frac{N_2}{O_2} = \frac{0,78}{0,21}$$

$$\frac{N_2}{O_2} = 3,71$$

IV.1.6 Calcule des spécifications des fumées et des gaz combustible

IV.1.6.1 La masse moléculaire des fumées

$$M_F = \sum_i^n (M_i \times Y_i)$$

$$M_F = M_{CO_2} \times Y_{CO_2} + M_{O_2} \times Y_{O_2} + M_{H_2O} \times Y_{H_2O} + M_{N_2} \times Y_{N_2}$$

$$M_f = 44 \times 0,0912 + 18 \times 0,1456 + 32 \times 0,0327 + 28 \times 0,7305$$

$$M_f = 28,13 \text{ kg/kmol}_{\text{gaz}}$$

IV.1.6.2 La masse volumique des fumées

$$\rho_f = \frac{M_f}{22,4}$$

$$\rho_f = \frac{28,13}{22,4}$$

$$\rho_f = 1,26 \text{ kg/Nm}^3$$

IV.1.6.3 Volume des fumées formées par la combustion de 1Nm³ de fuel gaz

Le volume de fumées pour 100 Nm³ de gaz est 1807.03 Nm³ → Alors ; la quantité de fumées dégagée par la combustion de 1Nm³ de gaz est 18.0703Nm³.

$$V_f = \frac{1807.03}{100} \quad V_f = 18.0703 \text{ Nm}^3$$

IV.1.6.4 La masse moléculaire de gaz combustible

$$M_{\text{gaz comb}} = \sum_i^n (M_i \times Y_i)$$

$$M_{(gc)} = 16 \times 0,5897 + 30 \times 0,2036 + 44 \times 0,1182 + 58 \times 0,0146 + 58 \times 0,0314 + 72 \times 0,007 + 72 \times 0,0067 + 86 \times 0,0044 + 100 \times 0,0016 + 114 \times 0,0005 + 128 \times 0,0001 + 142 \times 0,0001$$

$$M_{gc} = 24.02 \text{ kg/kmol}$$

IV.1.6.5 La masse volumique du combustible

$$\rho_{gaz\ comb} = \frac{M_{gaz\ comb}}{22,4}$$

$$\rho_c = \frac{24.02}{22.4}$$

$$\rho_c = 1,07 \text{ kg/m}^3$$

IV.1.6.6 Débit volumique d'air sec pour 1kg de combustible

$$L_s = \rho_{air} \times \left(\frac{N(\text{air})_{th}}{\rho_c} \right)$$

$$L_s = 1,294 \times \frac{14.1}{1.07}$$

$$L_s = 17.01 \text{ kg/kg combustible}$$

IV.1.6.7 La quantité des fumées rapportées à 1 kg de gaz

$$G_f = V_f \times \left(\frac{\rho_f}{\rho_c} \right)$$

$$G_f = 18.0703 \left(\frac{1,26}{1,07} \right)$$

$$G_f = 21,27 \text{ kg}_{fumées} / \text{kg}_{comb}$$

IV.1.6.8 La quantité de fumées formées par la combustion si on considère l'humidité d'air

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

$$G_f = V_f \times \left(\frac{\rho_f}{\rho_c} \right) \times \rho_f$$

$$G_f = 18.0703 \left(\frac{1,26}{1,07} \right) \times 1,26$$

$$G_f = 26,81 \text{ kg}_{fumées} / \text{kg}_{comb}$$

IV.2 CALCULE LA QUANTITE DE CHALEUR TOTALE LIBEREE

$$Q_T = Q_l + Q_s + Q_{sfg}$$

IV.2.1 Quantité de chaleur libérée

Pour 1kg du fuel gaz la quantité de chaleur libérée par le fuel gaz est :

$$Q_L = \frac{m \times PCI}{\rho_{gaz\ comb}}$$

$$Q_L = \frac{1 \times 12800.6}{1.07}$$

$$Q_l = 11963.18 \text{ kcal}$$

IV.2.2 Quantité de chaleur sensible d'air à l'entrée du four

$$Q_{S.Air} = m_{Air} \times Cp_{Air} \times T_{Air}$$

➤ Calcule de la masse d'air :

$$m_{air} = \frac{N(\text{air})p \times M_{air}}{Mgc}$$

$$m_{air} = \frac{16.92 \times 1,204}{1.07}$$

$$m_{air} = 19,04 \text{ Kg}$$

Température ambiante : 20°C

Chaleur spécifique d'air tirée du data book

$$Q_{s\ air} = 19,04 \times 0,242 \times 20$$

$$Q_{s\ air} = 92.15 \text{ kcal}$$

IV.2.3 La quantité de chaleur sensible du fuel gaz à l'entrée du four

$$Q_{s\ fg} = m_{fg} \times cp_{fg} \times T_{fg}$$

Cp_{fg} = 0,52 du databook

Température du fuel gaz : T_{fg} = 30°C

$$M_{fg} = 1 \text{ Kg}$$

$$Q_{s \text{ fg}} = 1 \times 0,52 \times 30$$

$$Q_{s \text{ fg}} = 15.6 \text{ kcal}$$

$$Q_T = Q_l + Q_{s \text{ air}} + Q_{f,g}$$

$$Q_T = 11963.18 + 92.15 + 15.6$$

$$Q_T = 12070.93 \text{ kcal}$$

IV.2.4 La quantité de chaleur dégagée par les fumées

$$Q_f = G_f \times c_{p_f} \times T_f$$

$$T_f = 435^\circ\text{C}$$

$$c_{p_f} = 0,28 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$Q_f = 26,81 \times 435 \times 0,28$$

$$Q_f = 3265,46 \text{ kcal}$$

IV.3 Calcul du rendement du four

$$\eta(\text{four}) = \frac{Q_T - Q_f}{Q_T}$$

$$\eta(\text{four}) = \frac{12070.93 - 3265,46}{12070.93}$$

$$\eta(\text{four}) = 73 \%$$

IV.4 CALCUL DE NOMBRE DE BRULEURS

- **Pouvoir calorifique inferieur de 1 Kg du combustible :**

$$Q_{inf} = \frac{PCI}{\rho_{com}} = \frac{12800.6}{1.97}$$

$$Q_{inf} = 11963.18 \text{ Kcal/Kg}$$

IV.4.1 Bilan thermique

- Pour faire les calculs on va choisir un four tubulaire F-103
 - **La quantité de chaleur absorbée par la charge**

$$Q_{\text{absr}} = G [(h_{165^{\circ}\text{C}} - h_{155^{\circ}\text{C}}) + (H_{165^{\circ}\text{C}} - h_{165^{\circ}\text{C}})]$$

Les enthalpies des phases liquides et vapeurs sont déterminées d'après la Fig 2

(voir les annexes)

$$\text{Pour : } h_{165^{\circ}\text{C}} = 1 \times 90 = 90 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\text{Pour : } h_{155^{\circ}\text{C}} = 1 \times 80 = 80 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\text{Pour : } H_{165^{\circ}\text{C}} = 150 - 5 = 145 \text{ Kcal/Kg}$$

1 est un facteur de correction dans la phase liquide.

5 est un facteur de correction dans la phase vapeur pour $k=12$

- **Détermination de taux de vaporisation :**

L'enthalpie a la sortie du four est :

$$h = C_p \cdot \Delta T = 0,462 \times 10 = 4,62 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\text{On a : } e = (h_{165^{\circ}\text{C}} + h_{5^{\circ}\text{C}}) - h / (h_{165^{\circ}\text{C}} - h)$$

Donc :

$$\longrightarrow e = 169.94 \%$$

$$Q_{\text{absr}} = 3480 \times [(90 - 80) + 1.69 \times (145 - 90)]$$

$$Q_{\text{absr}} = 358266 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{\text{réel}} = \frac{Q_{\text{absr}}}{\eta} = \frac{358266}{0.73}$$

$$Q_{\text{réel}} = 490775 \text{ Kcal/h}$$

IV.4.2 Le débit de combustible

$$B = \frac{Q_{réel}}{Q_{inf}} = \frac{490775}{11963.18}$$

$$B = 41.02 \text{ Kg/h}$$

IV.4.3 Le débit de la fumée

$$G_{ft} = G_f \times B$$

$$G_{ft} = 21,27 \times 2710.2 = 873 \text{ Kg/h}$$

IV.4.4 Le nombre de brûleurs

Suivant le constructeur on a le débit de combustible est de 576 à 700 kg/h

Dans ce cas-là on (cas du charge minimale) on prend 576 Kg/h

Donc

$$N_b = \frac{G_{ft}}{576} = \frac{873}{576} = 1.52 \cong 2$$

C'est le cas au CPF-BBK où on trouve 2 brûleurs alimente le four F-103

Introduction

Comme on le sait, les propriétés mécaniques des aciers déterminent à mesure que la température augmente.

D'après les courbes du comportement des aciers à hautes températures, on peut déterminer la valeur de la contrainte (σ_r ; σ_e ; σ_r^t ; σ_e^t)

Lors du démontage de l'appareil, la température est de 20° C donc la sollicité de l'acier est inférieur à celle de la température en service

Détermination des contraintes du matériau des tubes :

Acier au carbone faiblement allier A 106 Gr B

$$\sigma_r = 415 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e = 240 \text{ MPa}$$

Donc :

$$\sigma_e^t = \sigma_e \times k = 240 \times 0.8 = 192 \text{ MPa}$$

- Température de service 300°C, celle de calcul 328°C (la température admise Ta= 15°C)

$$[\sigma] \leq \frac{\sigma_r}{n_r} = \frac{415}{3} = 138.33 \text{ MPa}$$

$$[\sigma] \leq \frac{\sigma_e^t}{n_e} = \frac{192}{1.6} = 120 \text{ MPa}$$

$$[\sigma] = 120 \text{ MPa}$$

- Détermination des contraintes du matériau des supports à 600°C et 900°C

Le matériau utilisé est : 25 Cr Ni 20

$$\sigma_r = 540 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e = 220 \text{ MPa}$$

$$\sigma_r^{600} = \sigma_r \times k = 540 \times 0.5 = 270 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e^{600} = \sigma_e \times k = 220 \times 0.42 = 92.4 \text{ MPa}$$

$$[\sigma] \leq \frac{\sigma_e^t}{n_e^t} = \frac{92.4}{1.6} = 57.75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_r^{900} = \sigma_r \times k = 540 \times 0.11 = 59.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e^{900} = \sigma_e \times k = 220 \times 0.04 = 8.8 \text{ MPa}$$

$$[\sigma] \leq \frac{\sigma_e^t}{n_e^t} = \frac{8.8}{1.6} = 5.5 \text{ MPa}$$

Données de départ :

Diamètre extérieur du tube $D_{ext} = 168,3 \text{ mm}$

Epaisseur du tube $e = 7.11 \text{ mm}$

Hauteur totale du four $h = 28050 \text{ mm}$

Hauteur de la cheminée $H = 1200 \text{ mm}$

Pression de calcul $P_c = 1.2 \text{ MPa}$

Pression de service $P_s = 1.1 \text{ MPa}$

Pression d'épreuve $P_{ep} = 1.5 \text{ MPa}$

Température d'entrée $T_e = 280^\circ\text{C}$

Température de sortie $T_s = 300^\circ\text{C}$

Coefficient de soudage 1

Longueur du tube $L = 12830 \text{ mm}$

Nature de fluide Pétrole brut

V.1 CALCULE DU TUBE

V.1.1 Calcule de l'épaisseur du tube (Vérification)

L'épaisseur du tube est donnée par la formule suivante :
(Épaisseur résistant à la pression interne)

$$e = \frac{P_c \times D_{ext}}{2 \times [\sigma] \times \varphi + P_c} + C \quad [mm]$$

e : Épaisseur du tube installé $e_i = 7.11 \text{ mm}$

D_{ext} : Diamètre extérieur du tube 168.3 mm

$[\sigma]$: Contrainte admissible à la traction

D'après la fiche technique du four on a la pression de service **11.2 bar** donc la pression de calcul

$$P_c = P_s + 1 \text{ bar} = 12.2 \text{ bar} = 1.22 \text{ MPa}$$

- **Température de la paroi du tube de radiation**

$$T_{par} = T_{pro} + 60 = 300 + 60 = 360 \text{ }^\circ\text{C}$$

- **Pression de calcul**

$$P_c = 1.22 \text{ MPa}$$

D'après le graphe (Annex), on obtient les contraintes ; de rupture, et d'élasticité du matériau du tube aux différentes températures

$$\sigma_r = 415 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e = 240 \text{ MPa}$$

Puisque les températures ne dépassent pas 400°C donc, on détermine les contraintes, admissible d'après les formules suivantes :

$$[\sigma] \leq \frac{\sigma_r}{n_r} = \frac{415}{3} = 138.33 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e^t = \sigma_e \times k = 240 \times 0.68 = 163.2 \text{ MPa}$$

K : coefficient de passage de température

$$[\sigma] \leq \frac{\sigma_e^t}{n_e^t} = \frac{163.2}{1.6} = 102 \text{ MPa}$$

$n_r = 3$; $n_e = 1.6$; $n_{rt} = 1.6$ Sont des coefficients de sécurité

D'où la contrainte à adapter sur la plus petite c'est-à-dire : $[\sigma] = 102 \text{ MPa}$

Calcul de l'épaisseur du tube

$$e = \frac{P_c \times D_{ext}}{2 \times [\sigma] \times \varphi + P_c} + C$$

D'où :

φ : Coefficient de soudure $\varphi = 1$

C : Surépaisseur [mm]

$$C = C_1 + C_2$$

$C_1 = 3 \text{ mm}$ suépaisseur de corrosion

$C_2 = 0.2 \text{ mm}$ Tolérance de cokéfaction

$$C = C_1 + C_2 = 3 + 0.2 = 3.2 \text{ mm}$$

Donc :

$$e = \frac{P_c \times D_{ext}}{2 \times [\sigma] \times \varphi + P_c} + C = \frac{1.22 \times 168.3}{2 \times 102 \times 1 + 1.22} + 3.2 = 4.2 \text{ mm}$$

$$e = 4.2 \text{ mm}$$

Le calcul montre que l'épaisseur choisie par le constructeur résiste bien à la pression interne du moment qu'elle est supérieure à celle calculée.

$$e < e_i = 7.11 \text{ mm}$$

V.1.2 Calcul de la contrainte due à l'épreuve hydraulique

L'épreuve hydraulique se fait après le montage, le remontage, la réparation et avant le démarrage du four

Elle a pour but de vérifier la résistance et l'étanchéité des cordons de soudure, des jonctions du métal de base.

$$\sigma_{ep} = \frac{P_{ep} \times D_m}{2 \times (e - C)}$$

D_m : Diamètre moyen du tube

σ_{ep} : Contrainte due à l'épaisseur hydraulique

$(e - C)$: Épaisseur efficace (sans addition à la corrosion et l'érosion)

$$D_m = \frac{D_{ext} + D_{int}}{2} = \frac{168.3 + 154.08}{2} = 161.2 \text{ mm}$$

$$D_{int} = D_{ext} - 2e = 168.3 - 2 \times 7.11 = 154.08 \text{ mm}$$

P_{ep} : Pression de l'épreuve hydraulique 1.5 MPa

Et d'après le calcul on détermine P_{ep} d'après la formule :

$$P_{ep} = 1.5 \times P_S = 1.5 \times 1 = 1.65 \text{ MPa}$$

Calcul de la contrainte due à l'épreuve hydraulique

$$\sigma_{ep} = \frac{P_{ep} \times D_m}{2 \times (e - C)} = \frac{1.65 \times 161.2}{2 \times (4.2 - 3)} = 110.825 \text{ MPa}$$

Et d'après la condition :

$$\sigma_{ep} \leq 0.9 \sigma_e^t$$

σ_e^t : Limite d'élasticité à la T° 400°C $\sigma_e^t = 240 \times 0.63 = 151.2 \text{ MPa}$

$$\sigma_{ep} \leq 0.9 \times 151.2 = 136.08 \text{ MPa}$$

Donc la condition est vérifiée puisque **110.825 MPa < 136.08 MPa**

V.1.3 Calcul du tube à la flexion

Les tubes du four sont horizontaux et sont maintenus par les supports, les serpentins, plaque tubulaire, lors du calcul, ils sont considérés comme les poutres reposant sur des appuis et subissant une charge uniformément répartie due au poids propre du tube et au poids du produit circulé à l'intérieur des tubes.

Les supports sont suffisamment rapprochés les uns des autres pour éviter une flexion importante.

La condition est :

L'intervalle entre chaque support ne doit pas dépasser 35 fois le diamètre extérieur du tube

- **Calcul du tube à la flexion :**

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_f} \leq [\sigma]_f$$

- **Calcul du poids du tube :**

$$P_{tot\ tu} = P_{tu\ met} + P_{liq}$$

$$P_{tu\ net} = V_{tu} \times \rho$$

D'où

$$V_{tu} = V_{ext} - V_{int}$$

$$V_{ext} = \pi \times R_{ext}^2 \times L = 3.14 \times \left(\frac{168.3}{2}\right)^2 \times 12830 = 285.42 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$V_{int} = \pi \times R_{int}^2 \times L = 3.14 \times \left(\frac{168.3}{2}\right)^2 \times 12830 = 239.23 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

- **Volume du tube métal**

$$V_{tu} = V_{ext} - V_{int} = 285.42 \times 10^6 - 239.23 \times 10^6 = 46.19 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

- **Poids du tube**

$$P_{tu\ net} = V_{tu} \times \rho = 46.19 \times 10^6 \times 7.85 \times 10^{-6} = 362.59 \text{ Kg} = 3625.9 \text{ N}$$

$P_{tot tu}$: Poids totale du tube

V_{tu} : Volume du tube

V_{ext} : Volume extérieur du tube

V_{int} : Volume intérieur du tube

ρ : Masse volumique du métal $\rho = 7.85 \text{ Kg/dm}^3$

L : Longueur du tube

ρ_{eau} : Masse volumique de l'eau = $1000 \text{ kg/m}^3 = 10^{-3} \text{ dan/cm}^3 = 10^{-5} \text{ N/mm}^3$

➤ **Calcul du poids du liquide :**

$$P_{liq} = V_{int} \times \rho_{eau} = 239.23 \times 10^6 \times 10^{-5}$$

$$P_{liq} = 2392.3 \text{ N}$$

➤ **Poids totale du tube**

$$P_{tot tu} = P_{tu met} + P_{liq} = 3625.9 + 2392.3 = 6018.2 \text{ N}$$

$P_{tu met}$: Poids du métal du tube

P_{liq} : Poids du liquide

➤ **Calcul du tube a la flexion :**

Pour le calcul, on prend le cas le plus dangereux, en négligeant les appuis centre (donc le tube repose sur 2 appuis)

➤ **Calcul des moments et des réactions des appuis :**

$$\sum M_b = 0 \Rightarrow R_a \times \frac{l}{2} - N \times \frac{l}{4} = 0$$

$$R_b = \frac{P_{tot tu}}{2} = \frac{6018.2}{2} = 3009.1 \text{ N}$$

$$N = Q \times \frac{l}{2}$$

$$Q = \frac{P_{tot tu}}{l} = \frac{6018.2}{5400} = 1.115 \text{ N/mm}$$

$$N = Q \times \frac{l}{2} = 1.115 \times \frac{5400}{2} = 3010.5 \text{ N}$$

$$N \cong R_b = 3009.1 \text{ N}$$

R_a : Réaction sur l'appuis « A »

R_b : Réaction sur l'appuis « B »

Q : Charge répartie (charge spécifique)

l : Longueur totale du tube horizontale $l = 5.4 \text{ m}$

➤ **Moment fléchissant :**

$$M_f = R_b \times \frac{l}{2} - N \times \frac{l}{4} = 3009.1 \times \frac{5400}{2} - 3010.5 \times \frac{5400}{4} = 4.06 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

➤ **Module de flexion :**

$$W_f = 0.1 \times D_{ext}^3 (1 - \alpha^4)$$

$$\alpha = \frac{D_m}{D_{ext}} = \frac{161.2}{168.3} = 0.95$$

W_f : Module de flexion

D_m : Diamètre moyen du tube

α : Coefficient donnant le rapport des diamètres

$$W_f = 0.1 \times D_{ext}^3 (1 - \alpha^4) = 0.1 \times 168.3^3 (1 - 0.95^4)$$

$$W_f = 88426.33 \text{ mm}^3$$

Vérification :

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_f} \leq [\sigma]_f$$

$[\sigma]_f$: Contrainte admissible à la flexion est déterminée d'après la condition :

$$[\sigma]_f = 1.2 \times [\sigma]$$

$$[\sigma]_f = 1.2 \times [\sigma] = 1.2 \times 102 = 122.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_f} = \frac{4.06 \times 10^6}{88426.33} = 46 \text{ MPa}$$

Donc la condition est vérifiée $\sigma_f \leq [\sigma]_f$

$$46 \text{ MPa} < 122.4 \text{ MPa}$$

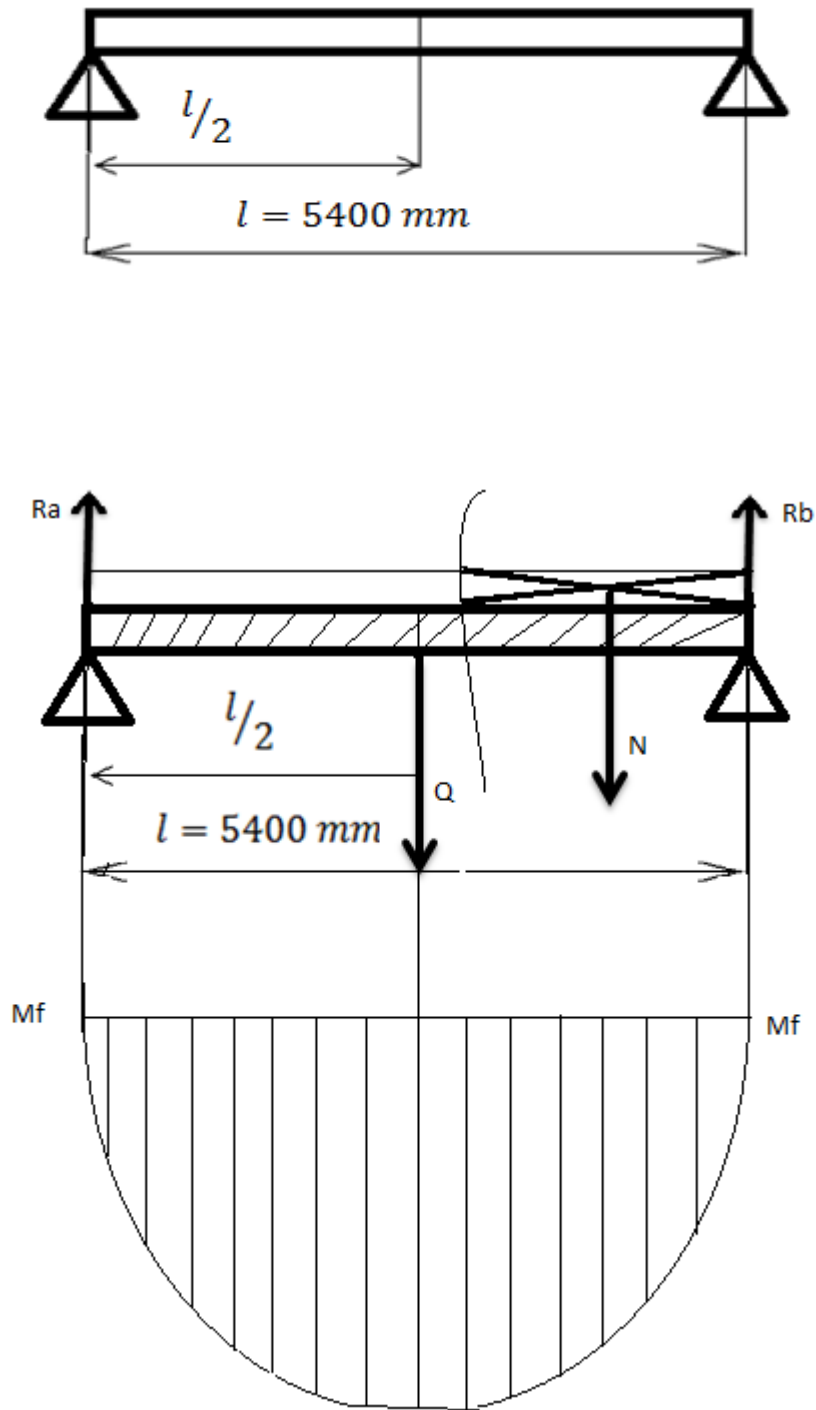


Fig V.1

V.2 CALCUL DE CHEMINEE (POUSSE DE VENT)

On suppose que l'effet du vent agit toujours horizontalement sur toute la zone et le point d'application est le milieu de la zone considérée.

La poussée spécifique varie selon la région dans la zone de BERKINE la poussée spécifique normalisée est $q_0 = 153 \text{ Kgf}$

Poussée spécifique du vent

$$q = q_0 \times \theta$$

θ : coefficient de correction

q : Poussée spécifique du vent

q_0 : Poussée spécifique normalisée

L'effort du vent est déterminé d'après la formule suivante :

$$P = K \cdot \beta \cdot q \cdot S$$

Où :

K: Coefficient aérodynamique de la résistance de la surface face au vent, il dépend du régime d'écoulement : $K = f(Re)$

β : Coefficient d'augmentation de la poussée spécifique qui tient compte de l'action dynamique du vent sur l'appareil.

q : Poussée spécifique du vent en (**Kgf/m²**)

S: La surface face au vent.

❖ Pour le calcul du coefficient aérodynamique K, on utilise le tableau suivant :

Re	0,15.10⁶	0,4.10⁶	10⁶	1,5.10⁶	2.10⁶
K	1,2	0,45	0,45	0,6	0,6

Avec **Re** : Nombre de Reynold, on l'utilise pour savoir le régime d'écoulement :

$$Re = \frac{V \times D_{ext}}{\nu_{air}}$$

Avec :

ν_{air} : Viscosité cinématique de l'air

$$\nu_{air} = 0,146 \cdot 10^{-4}$$

D_{ext} : Diamètre extérieur avec revêtement.

- Pour le cheminée :

$$D_{ext} = D_{int} + 2(e_p), \text{ Avec } e_p : \text{ épaisseur de la paroi de cheminée,}$$

$$D_{ext} = 1,2 + 2(0,006) = 1,212 \text{ m}$$

V : Vitesse du vent en (m / s), $V = 3,3\sqrt{q} = 3,3\sqrt{q_0 \cdot \theta}$ avec:

q : Poussée spécifique du vent

q_0 : Poussée spécifique au niveau de sol en (kgf/m²) selon le constructeur

$$q_0 = 1,53 \text{ KN/m}^2 = 153 \text{ kgf/m}^2$$

θ : Coefficient de surcharge en fonction de la hauteur de l'appareil, $\theta = f(H)$:

- Si $H \leq 10 \text{ m} \implies \theta = 1$
- Si $H > 10 \text{ m}$, on utilise le tableau suivant :

H (m)	10 ÷ 20	40	60	80	100	150
θ	1,4	1,8	1,9	2,05	2,2	2,3

$$H = 12 \text{ m}$$

- Pour la cheminée : $H = 12 \text{ m} \implies \theta = 1,4 \implies q = 153 \times 1,4 = 214,2 \text{ Kgf/m}^2$

Donc : $V = 3,3\sqrt{214,2} = 48,3 \text{ m/s}$

Et : $Re = \frac{48,3 \times 1,212 \times 10^4}{0,146} = 4,34 \times 10^6 \implies K = 0,6$

- ❖ Pour le calcul du coefficient d'augmentation de la poussée spécifique β , on utilise la formule suivante:

$$\beta = 1 + n\varepsilon$$

n : Coefficient de la pulsation de la poussée du vent qui dépend de la hauteur.

ε : Coefficient dynamique qui dépend de la période des oscillations propre de l'appareil.

- Pour le coefficient n , on le détermine par le tableau suivant :

H (m)	Jusqu'à 20	40	60	80	100 ÷ 120
n	0,33	0,32	0,28	0,25	0,21

On a: $H = 12 \text{ m} \longrightarrow n = 0,33$

- Pour le coefficient ε , d'après le constructeur $\varepsilon = 0.5$

Et on aura : $\beta = 1 + (0,33 \times 0.5) = 1.165$

- ❖ Pour le calcul de la surface face au vent on a la formule:

$$S = D_{ext} \cdot H$$

C'est-à-dire :

$$S = D_{ext} \times H = 1.212 \times 12 = 14,544 \text{ m}^2$$

Donc pour la poussée du vent :

$$P = K \cdot \beta \cdot q \cdot s = 0,6 \times 1.165 \times 1530 \times 14.544 = 1.555 \text{ KN}$$

- Calcul de la contrainte de flexion :

$$M_f = P \times \frac{H}{2} = 1555 \times \frac{12000}{2} = 933 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$W_f = \frac{\pi}{64} \times \frac{D_{ext}^4 - D_{int}^4}{D_{ext}/2} = \frac{\pi}{64} \times \frac{D_{ext}^4 - (D_{ext} - 2e_p)^4}{D_{ext}/2}$$

$$W_f = \frac{\pi}{64} \times \frac{1212^4 - (1212 - 2 \times 6)^4}{1212/2} = 6816649 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_f} = \frac{933 \times 10^4}{6816649} = 1.37 \text{ MPa}$$

On a pour l'acier **25 Cr Ni 20** :

$$[\sigma] = \frac{\sigma_r}{3} = \frac{540}{3} = 180 \text{ MPa}$$

$$[\sigma]_f = 1.2 \times [\sigma] = 1.2 \times 180 = 216 \text{ MPa}$$

Donc le métal de cheminée résiste bien à la poussée du vent

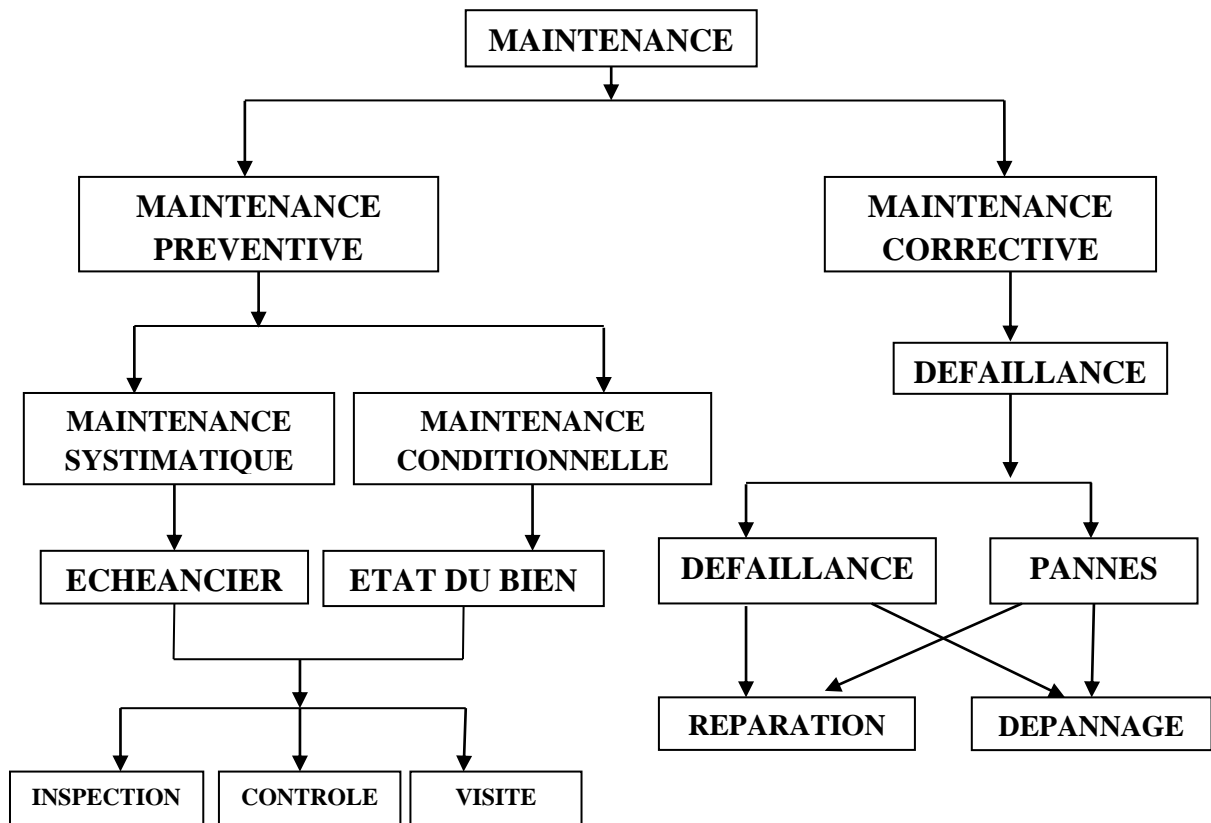
$$1.37 \text{ MPa} < 216 \text{ MPa}$$

INTRODUCTION :

La maintenance joue un rôle central dans l'entreprise. Elle contribue à augmenter la productivité, diminuer les coûts engendrés par les arrêts de production causés par les pannes et assurer un bon état des équipements et des installations ; elle tend à occuper une place prépondérante dans l'entreprise grâce à ces objectifs qui sont :

- ↪ Contribuer à assurer la production prévue.
- ↪ Contribuer à maintenir la qualité des produits fabriqués.
- ↪ Contribuer à respecter les délais.
- ↪ Recherche des coûts optimaux.
- ↪ Respecter les objectifs humains : condition de travail et de sécurité.
- ↪ Préserver l'environnement.

Les méthodes de la maintenance sont résumées dans le schéma suivant :



- Figure VI.1

VI.1 MAINTENANCE

VI.1.1 Pré-fonctionnement

Remarques générales

Il est de la responsabilité du personnel de construction d'installer l'équipement, tuyauterie, structures, etc., complètement selon les dessins d'étude, de sorte que l'usine soit prête à être Pré-commissionné et préparé au démarrage. Ceci inclut l'achèvement d'hydrostatique examinant sur tous les équipements et tuyauterie, s'il y a lieu.

Des précautions nécessaires devraient être prises pour maintenir l'équipement propre et pour protéger sensible équipement, instruments, machines, emballage de valve, etc. des dommages. Les opérateurs devraient se familiariser avec l'emplacement et le fonctionnement de tout l'équipement et contrôles.

En outre, vérifiez la disponibilité des utilités suivantes :

- Pouvoir électrique
- eau se Refroidissant
- Azote
- air d'Instrument
- air D'équipement
- Gaz naturel et gaz du combustible
- Disponibilité de système de condensateur

VI.1.1.1 Nettoyage

Le système examiné mécaniquement réalisé et de pression contiennent habituellement des quantités de corps étrangers qui doivent être enlevés. Les corps étrangers, sinon enlevé, pourraient obstruer les valves, les filtres ou les lignes. Ceci peut causer la fermetures d'usine imprévue, plus courte intervalles fonctionnants ou efficacité opérationnelle diminuée.

Par conséquent, un nettoyage soigneux d'équipement et de tuyauterie est nécessaire par l'application procédures données par les paragraphes suivants.

➤ **Nettoyage de la tuyauterie**

Pour nettoyer des lignes exempt des débris qu'ils sont habituels pour appliquer une des procédures de nettoyage suivantes :

- rinçant avec de l'eau toutes les lignes contenant de l'eau ou d'autres liquides de processus pendant l'usine normale opération ;
- soufflant avec de l'air toutes les lignes contenant le gaz de processus, air, O₂, N₂ pendant l'usine normale opération ;

Notre suggestion est d'employer le soufflement d'air. L'intensité d'air purgeant exigée dépend au moment la propreté avec laquelle des tuyaux ont été installés.

➤ **Soufflement avec de l'air**

Une détermination précise des sections à souffler doit être faite par le personnel de démarrage pendant la pré-commission sur le site, puisque la disposition de tuyau et les conditions locales sont mieux connues. Le résultat de la planification doit être marqué dans un ensemble de diagrammes de P&I

Les principes de l'opération de soufflement sont :

- De l'air d'usine est fourni à partir des stations de service. Le rapport à une ligne choisie est établi par un tuyau provisoire ;

- Une enquête claire de passage d'écoulement est établie en déterminant le point de décharge précis.

Le point de décharge est choisi sous les aspects de la commodité et de l'efficacité du soufflement. La ligne ne devrait pas décharger l'air d'usine dans l'équipement pour lequel accès le nettoyage est difficile et qui ne peut pas être purgé effectivement ou qui a déjà été nettoyé ;

- Le passage d'écoulement doit être limité en fermant les valves appropriées. Si les valves n'existent pas, il est nécessaire d'installer temporairement rompent des disques. Cependant, cette solution devrait être exception ;

La pressurisation d'un système doit être répétée plusieurs fois, jusqu'à ce que l'air épuisé soit exempt des impuretés

- Menez l'air d'échappement à un emplacement sûr s'il est libéré à l'atmosphère.

VI.1.1.2 Essai d'étanchéité de l'usine

Par conséquent, un essai debout d'étanchéité devrait être effectué sur l'usine pour assurer l'étanchéité.

La meilleure méthode pour l'essai d'étanchéité de l'usine est de pressuriser chacune des sections et laissez les sections se tenant sous pression. Si la pression chutant par plus que 5% dedans 12 heures alors toutes les brides devrait savon-être examiné et n'importe quelle fuite trouvée devrait être réparé. Les sections d'usine devraient être pressurisées à la pression maximum de N₂ respectivement jusqu'à la pression de conception de la section qui doit être examinée.

Après l'essai est complet, toutes ces sections devraient rester sous une pression positive de gaz inerte.

VI.1.1.3 Préparation des arrangements de mesure

On le suppose que les contrôles ou les essais suivants ont été déjà effectués :

- Contrôle de tous les instruments de champ selon la procédure de détail de l'essai d'instrument programme ;
- Contrôle de tous les boucles et dispositifs électriques pour le bon fonctionnement ;
- Calibrage de tous les instruments, émetteurs, etc., selon les dernières fiches techniques ;
- Les indications sur les affichages de DCS sont conformes le réel ou simulé valeur de processus. En outre, la gamme correcte d'instrument a été programmée sur Système de PCS ;

En outre, vérifiez ce qui suit :

- Assurez-vous que toutes les lignes d'air et d'instrument sont en service ;
- Vérifiez la disponibilité du courant électrique pour tous les mesure et systèmes de contrôle ;
- Vérifiez soupapes de commande ce les toutes les, orifices, rotamètres et d'autres instruments intégrés sont correctement installé. Assurez-vous que des valves pneumatiques sont entièrement frottées au signal d'air faites pression sur et avez étroitement assis quand en position de fermeture ;

Vérifiez si tout le réglage des alarmes est correctement ajusté sur le système de PCS et dedans accord avec les spécifications de base de poste de mesure ;

- Vérifiez la fonction correcte des systèmes d'arrêt automatique comme spécifique dans logique de base ;

- Vérifiez les tous les arrangements de voyage aussi presque en simulant la valeur de processus comme possible à l'élément primaire.

VI.1.1.4 Préparation et vérification du système de four

Vérifiez les bouts de brûleur pour voir qu'ils sont fermement en place et qu'aucune saleté ou étranger le matériel s'est accumulé dans eux pendant la construction ;

- Vérifiez les trous d'éclairage dans les blocs de brûleur pour assurer le passage libre ;

Vérifiez que les pièces d'aspiration d'air de combustion sont propres ;

- Vérifiez que tous les amortisseurs d'air sont fonctionnels au-dessus du plein voyage (en particulier après la finale peinture) ;

- Vérifiez que toutes les valves de brûleur sont fonctionnelles ;

- Examinez la doublure réfractaire de la boîte rayonnante pour déceler les dommages causés pendant la construction ;

- Vérifiez que toutes les portes d'accès et couvertures de trou se fermeront solidement ;

- Assurez-vous que toutes les ouvertures sur le four sont scellées aussi étroitement que possible d'éliminer l'air dans la fuite dans le foyer, qui abaisse l'efficacité. De l'intérieur du foyer aucune lumière extérieure doit être évident ;

- Toutes les ouvertures devraient être scellées avec l'emballage de fibre en céramique ou un équivalent approprié. Des ouvertures de porte d'inspection devraient être remplies d'isoler le matériel approprié.

VI.1.1.5 Inspection finale

L'inspection intérieure et extérieure en présence de l'acheteur d'appareil de chauffage est une étape essentielle dans la commission d'un nouveau four ainsi que les dernières étapes décrites dans ce qui précède sections.

VI.1.2 Entretien

La nature du service exigé de l'appareil de chauffage fait l'entretien approprié des éléments essentiels. Pour l'équipement, comme les brûleurs, le réfractaire, les amortisseurs, la référence etc. pour détaillé des instructions et le programme d'entretien doit être faites à l'opération du fabricant et manuel de maintenance.

Les pages suivantes suggéreront seulement un programme d'entretien minimum.

D'abord de tous une inspection périodique en tant que décrit ci-dessous constitue l'étape essentielle à exécutez un bon et optimisé entretien de l'appareil de chauffage et de ses composants.

VI.1.2.1 Inspection visuelle

L'inspection visuelle de l'appareil de chauffage devrait être effectuée sur un programme et un détail fréquents l'accent mis sur le brûleur, l'amortisseur, la doublure interne, les tubes et leurs appuis.

Tous les impacts de flamme et points chauds devraient être notés et les emplacements précis être enregistrés.

Toutes les indications du cintrage de tube ou des fissures extérieures réfractaires devraient être enregistrées.

IV.1.2.2 Inspection mécanique

L'inspection mécanique de l'appareil de chauffage devrait être généralement effectuée dans l'ordre, quels résultats dans l'inspection des articles les plus critiques d'abord. Aux points suivants certains des procédures sont suggérées pour assurer une longue opération satisfaisante de four.

IV.1.2.3 Instrumentation

L'instrumentation devrait être vérifiée fréquemment pour assurer le fonctionnement approprié. des thermocouples en particulier devraient être soigneusement vérifiés. Tout morceau incorrectement de fonctionnement de l'équipement devrait être rapporté immédiatement et remplacé à la première disponible occasion.

Toutes les données de fonctionnement de l'appareil de chauffage devraient être régulièrement rassemblées et examinées. Quels des changements peu communs de la représentation devraient être vérifiés et pourraient être utiles que disque entier y compris l'opération, des résultats d'inspection et d'entretien devraient être récapitulés dans un rapport pour chaque période d'inspection.

Les problèmes inattendus et les modifications importantes peu communes de l'inspection précédente des rapports devraient être indiqués. L'information opérationnelle d'appareil de chauffage devrait alors être comparée avec les conditions de conception de l'appareil de chauffage pour déterminer la cause et les corrections immédiates devrait être fait si l'opération défectueuse ou dangereuse est indiquée

IV.1.2.4 Bobines de processus

La bobine de processus est généralement l'article le plus critique dans l'appareil de chauffage. Les bobines, si fonctionné dans leur marge de conception, devrait fournir de longs services supposant qu'aucune corrosion le problème est expérimenté.

Les dommages de la plupart des bobines de four sont résulté pendant la capacité excessive ou la sous-capacité opération. La plupart d'état critique est la sous-capacité causant l'écoulement inégal distribution ou augmentation dans des appareils de chauffage à multi passage.

Le résultat surchauffe et cokéfié des tubes dans les passages avec de façon inégale débit faible distribué.

Les bobines devraient être soigneusement inspectées pour assurer l'épaisseur minimum (chaque prévu arrêté).

Le diamètre extérieur devrait être soigneusement examiné pour assurer amincir dans l'épaisseur de paroi dans choisi secteurs en particulier du côté de flamme du tube où cette action de éclaircissement pourrait se produire.

Les garnitures devraient être soigneusement examinées par inspection visuelle pour déceler tous les fissures ou défauts et pour l'épaisseur par le type instruments de calibre, sonique ou de rayonnement.

IV.1.2.5 Doublure réfractaire

À l'arrêt de four la doublure réfractaire sera intérieur inspecté.

Les facteurs principaux causant la détérioration de la doublure réfractaire sont des conditions climatiques.

Les fissures ou les ouvertures dans le logement externe de l'appareil de chauffage peuvent permettre la pluie ou l'humidité à

Attaquez ce matériel en particulier quand l'appareil de chauffage n'est pas en fonction.

La température de fonctionnement et la façon dans lesquelles le four est mis le feu est une cause importante de la détérioration du réfractaire. Aux températures plus haut que la conception, le réfractaire va le faire détériorez par la délitescence, l'échec du matériel obligatoire, la fonte et la perte de force mécanique.

Les produits de la combustion contiennent souvent les composants corrosifs. Si les fissures ou les ouvertures sont présentez dans la doublure réfractaire, ces gaz peuvent atteindre le métal et causer la détérioration.

Les briques, le béton isolant, la fibre en céramique et les joints de dilatation devraient être soigneusement vérifié des dommages de la chaleur, de la déformation, des débris ou des joints ouverts.

Si les fissures se sont produites, elles devraient être nettoyées pour la pleine épaisseur du matériel. Si la délitescence se produit, le secteur entier affecté devrait être remplacée.

Dans le cas du matériel moulable, le soin doit être pris pour employer renforcer le matériel attaché de retour à l'enveloppe s'il est nécessaire de placer une couche de moulable sur des autres.

Dans le cas des dommages mécaniques à l'arrangement, l'affecté réfractaire devrait être remplacé.

VI.1.2.6 Brûleurs

Le brûleur devrait être vérifié visuellement lors du fonctionnement et tous les changements exigés devraient soyez fait actuellement. Si des réparations mécaniques sont exigées, le brûleur devrait être enlevé et remplacé par un brûleur disponible immédiatement pour assurer des états uniformes appropriés de mise à feu.

un examen plus détaillé pour l'érosion, la corrosion et l'oxydation devrait être fait quand l'unité est arrêtée.

VI.1.2.7 Structures

Une inspection visuelle devrait être faite de tous les membres chargés d'acier de construction, c.-à-d. colonnes, structure porteuse, escaliers, passages couverts, plates-formes, etc.

Si cette inspection en indique n'importe quelle condition anormale telle que le débattement ou le recourbement dans le membre, la cause du problème devrait être immédiatement déterminé.

Une fois la cause du problème a été déterminée, il devrait être relativement simple à protégez ou renforcez le membre de sorte que la condition causant dans le recourbement ou le débattement peut plus ne l'affecter.

Sur les membres, qui ont corrodé le secteur restant en métal, un contrôle devrait être fait à déterminez l'aptitude des membres pour remplir sa fonction.

Sinon, des mesures correctives satisfaisantes devraient être immédiatement prises.

En outre les connexions entre les colonnes et les faisceaux et les poutres devraient être vérifiées pour voir que les soudures sont brutes, les boulons sont serrés et aucun joint n'est cassé.

Ceci devrait être fait en particulier où la corrosion est un problème.

VI.1.2.8 Secteur externe

Le plat, les escaliers et les plates-formes d'enveloppe devraient être examinés pour assurer les conditions inexactes et pour des fuites dues à la corrosion.

Les portes de vue devraient être examinées pour détecter la fuite et l'ajustement inexact puisque ceci peut affecter l'opération de four.

Les portes d'accès devraient être inspectées pour voir qu'un ajustement approprié de cachetage est obtenu.

VI.1.2.9 Supports du tube

Des appuis de tube devraient être visuellement examinés pour des fissures, l'oxydation et la corrosion et si trouvé pour être désormais inapte au service devrait être remplacé.

VI.1.2.10 Pile et canalisation

La pile et les conduits de fumée sont intérieurement garnis de béton. Ils seront vérifiés pendant les revêtements intérieurement.

La canalisation et la pile peuvent être visuellement inspectées extérieurement pour donner une indication d'oxydation venant d'une surchauffe du métal.

Si la canalisation est peinte et l'échec de l'écaillage ou autre est indiqué, le secteur affecté devrait être nettoyé et peint.

VI.2 SECURITE 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 un degré minimal les dangers afin de protéger l'intégrité du matériel et d'éviter les préjudices humains.

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.

VI.2.1 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.
- Suppression 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.

VI.2.2 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 chauffes 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 encas d'extinction (le risque est important aux faibles débits du combustible).

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 suppression 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'intermédiaire 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.

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.

V.2.3 L'automate de sécurité (ESD)

L'ESD est un système automatisé qui intègre un très grand niveau de sécurité. Il est traditionnellement utilisé dans les zones présentant un haut niveau de risque.

Ce type de systèmes est à base d'automates de sécurité Prosafe ayant un temps cycle très rapide afin de détecter toutes les anomalies apparaissant durant le fonctionnement et de pouvoir réagir en temps réel. Il est conçu principalement pour la gestion des sécurités et des arrêts d'urgence ainsi que les séquences de démarrage.

PROSAFE est le diminutif de « programmable safety systems » qui comprend une gamme complète de produits dédiés aux fonctions de sécurité tant pour les fonctions d'arrêt d'urgence que pour les fonctions de protection contre le feu et le gaz.

II.2.3 Système de détection feu et gaz (FGS)

Le FGS est un système de détection de feu et de gaz à base d'un système d'alarme. Pour assurer ces fonctions, il est nécessaire d'utiliser des automates de sécurité à scrutation rapide comme les automates Prosafe APACS+.

Ce système permet les fonctions suivantes :

- Détection des Hydrocarbures.
- Détection des Hydrogènes.
- Détection de l'Acide Sulfurique H₂S.
- Détection des fumées
- Détection de toutes sortes de gaz nuisible à la présence humaine

Le stage pratique que nous avons effectué au centre CPF de « BIRBRKINE » nous a permis d'exploiter nos connaissances théoriques acquises durant nos études dans le milieu industriel, ainsi de réaliser notre travail sur le four rebouilleur « F-103 ».

Dans ce mémoire nous avons vu :

Le procès du centre CPF-BBK qui a pour objet de traiter le brut et lui mettre aux conditions d'exploitation et de stockage (TVR, densité, viscosité...)

Les différents types et composants d'un four, son principe et ses conditions de fonctionnement, et les domaines où il est utilisé, afin de bien comprendre le sujet de notre travail sur le four F-103.

Le calcul de thermique a permis de comparer le rendement du four avec la fiche technique du constructeur.

Le nombre de brûleurs qu'alimente le four durant notre période de stage avec un débit réduit du pétrole brut donc un débit réduit de combustible au brûleurs.

Pour le calcul mécanique on a vérifié la résistance du fiscaux tubulaire à la pression interne d'exploitation ainsi à la pression hydrostatique (essai hydraulique), et encore la résistance des supports des tubes au poids des tube à l'exploitation.

Dans le calcul hydrodynamique (poussé du vent) on a vérifié la résistance de cheminée du four F-103 à la poussée du vent.

Manuels Opératoires CPF-BBK ;

Documentation TOTAL

Le LENOGESS ;

P. Trambouze « Matériels & Equipements », Tome 4, Editions Technip (1999) ;

M.Kharitchko « Calcul de la résistance d'un appareil cylindrique verticale», Boumerdes, ALGERIE (1975) ;

TECHNIQUE DE L'INGENIEUR

Mémoires de fin d'études (Four tubulaire du topping –ARZEW- année 76/77) ;

Sites internet.

Figure 1 : Comportement des aciers sous haute température

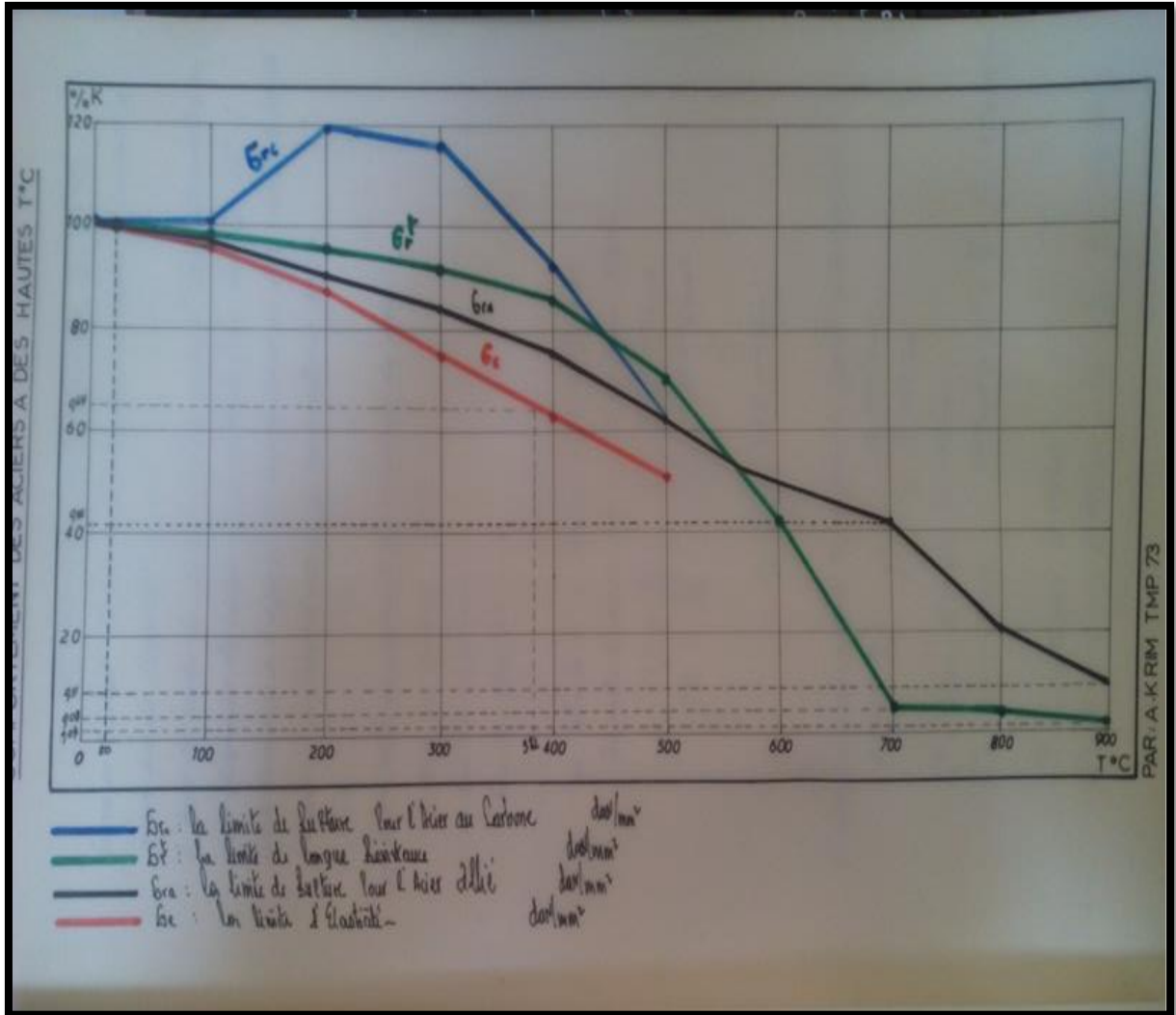


Figure 2 : variation de l'enthalpie en f(T°C)

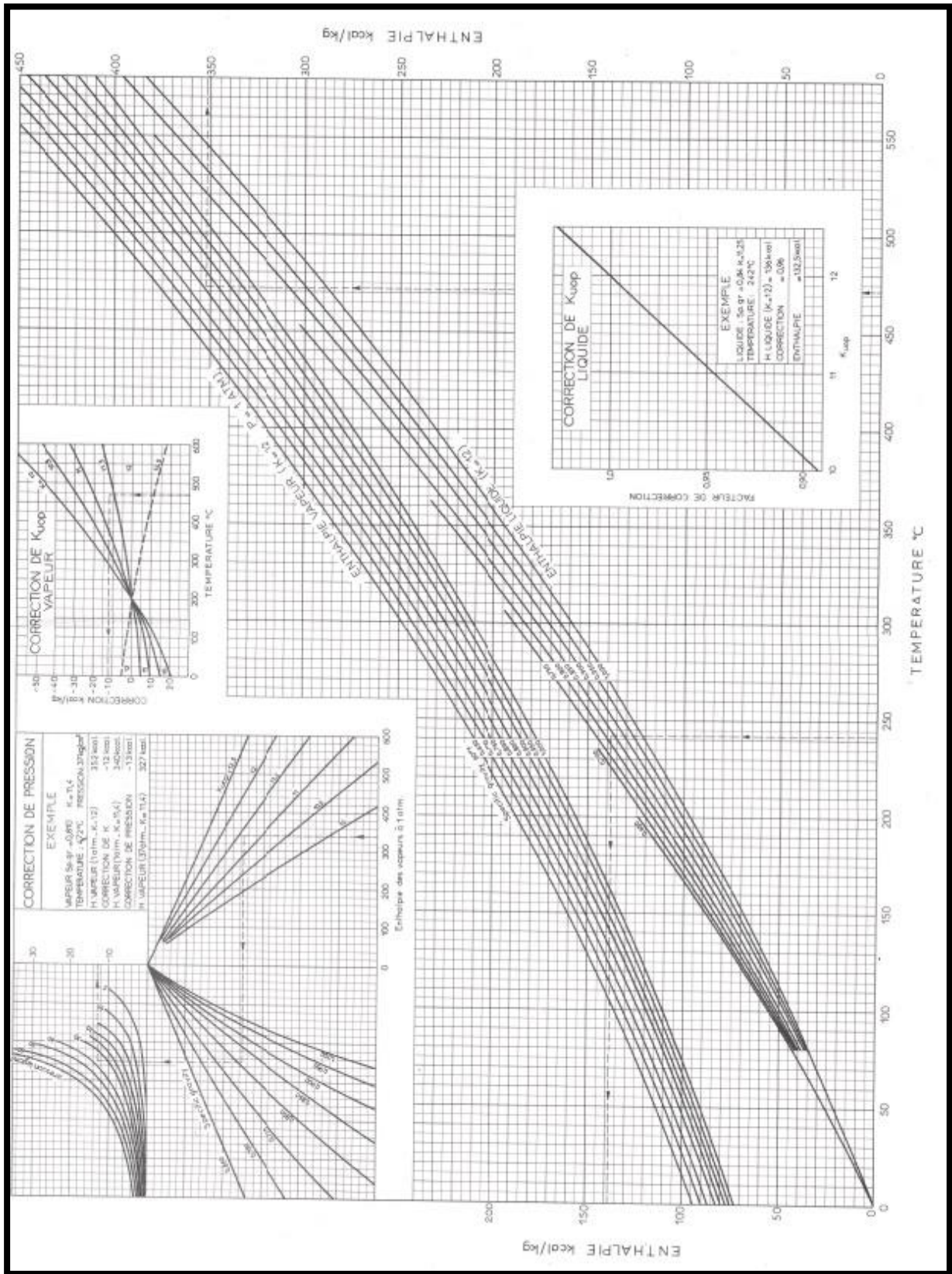


Figure 03 : Chaleur spécifique des hydrocarbures gazeux et de quelques gaz sous pression atmosphérique

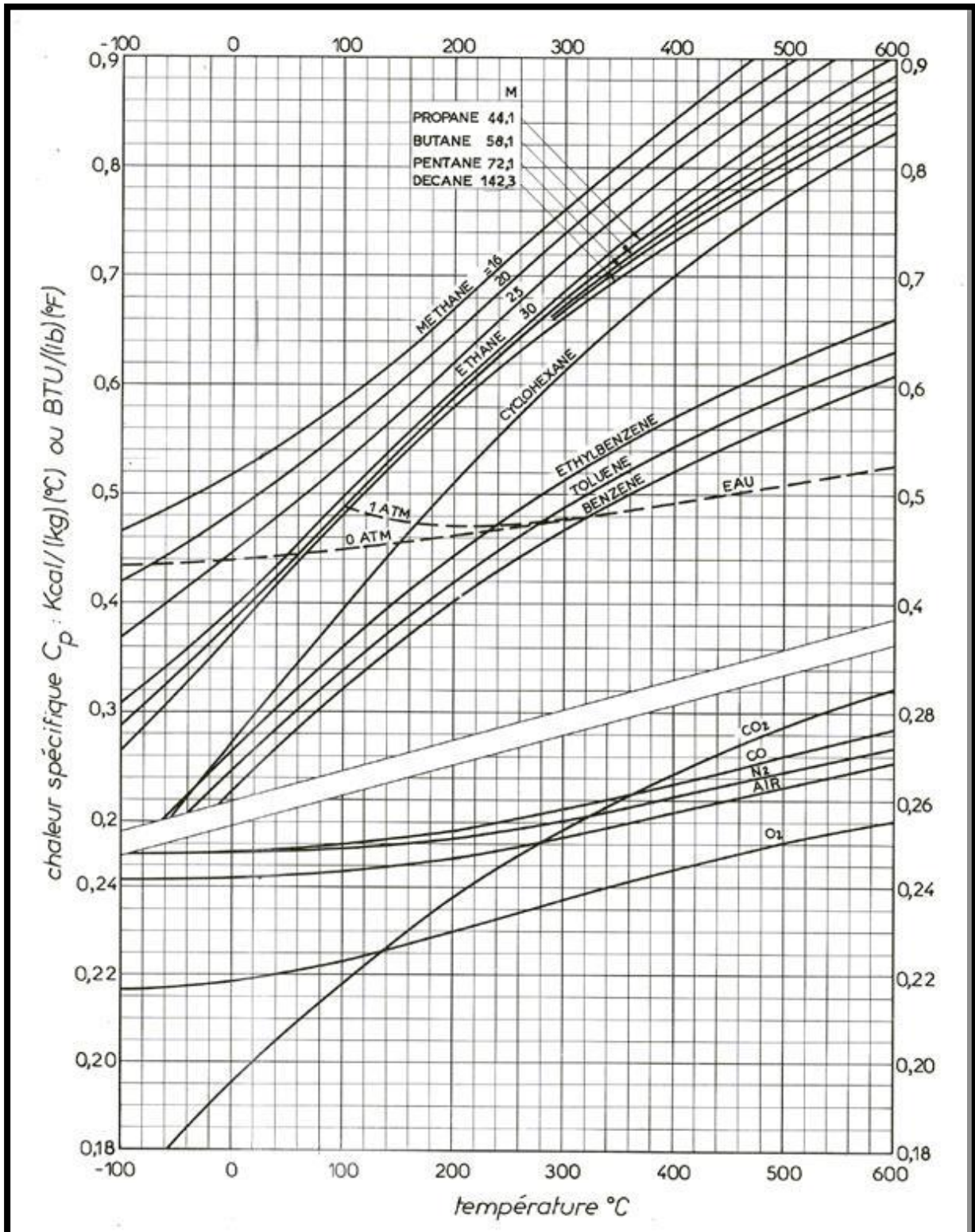


Figure 04 : pouvoir calorifique inférieur massique PCI_m de composés organiques purs (à 20 °C)

Composé	PCI_m (kJ/kg)	Composé	PCI_m (kJ/kg)
Paraffines		Acétyléniques	
Méthane	50 009	Acétylène	48 241
Ethane	47 794	Méthylacétylène	46 194
Propane	46 357	Butyne-1	45 590
Butane	45 752	Pentyne-1	45 217
Pentane	45 357	Aromatiques	
Hexane	44 752	Benzène	40 170
Heptane	44 566	Toluène	40 589
Octane	44 427	o-Xylène	40 961
Nonane	44 311	m-Xylène	40 961
Décane	44 240	p-Xylène	40 798
Undécane	44 194	Ethylbenzène	40 938
Dodécane	44 147	1,2,4-Triméthylbenzène	40 984
Isoparaffines		Propylbenzène	41 193
Isobutane	45 613	Cumène	41 217
Isopentane	45 241	Alcools	
2-Méthylpentane	44 682	Méthanol	19 937
2,3-Diméthylbutane	44 659	Ethanol	28 865
2,3-Diméthylpentane	44 496	n-Propanol	30 680
2,2,4-Triméthylpentane	44 310	Isopropanol	30 447
Naphtènes		n-Butanol	33 075
Cyclopentane	43 636	Isobutanol	32 959
Méthylcyclopentane	44 636	Tertiobutanol	32 587
Cyclohexane	43 450	n-Pentanol	34 727
Méthylcyclohexane	43 380	Ethers	
Oléfines		Oxyde de diméthyle	28 703
Ethylène	47 195	Oxyde de diéthyle	33 867
Propylène	45 799	Oxyde de dipropyle	36 355
Butène-1	45 334	Oxyde de dibutyle	37 798
Butène-2 cis	45 194	Aldéhydes et cétones	
Butène-2 trans	45 124	Formaldéhyde	17 259
Isobutène	45 055	Acétaldéhyde	24 156
Pentène-1	45 031	Propionaldéhyde	28 889
2 Méthylpentène-1	44 799	Butyraldéhyde	31 610
Hexène-1	44 426	Acétone	28 548
Dioléfines		Autres espèces chimiques	
Butadiène 1-3	44 613	Carbone (graphite)	32 808
Isoprène	44 078	Hydrogène	120 971
Dérivés nitrés		Oxyde de carbone	10 112
Nitrométhane	10 513	Ammoniac	18 646
Nitropropane	20 693	Soufre	4 639