

## Sommaire

Dédicaces.....	3
Remerciements.....	4
Introduction.....	5
Chapitre 1 : Présentation de la SAMIR	
1-Introduction générale.....	7
2-Le Pétrole.....	8
3-Fiche signalétique.....	9
4- Historique et Organigramme .....	10
5- Sécurité a la SAMIR.....	13
6- Les Unités et les Produits de la SAMIR .....	14
Chapitre 2 : processus de raffinage et de production	
1-Introduction mouvement produit.....	18
2- Le Raffinage du pétrole.....	19
3- Procédé de fabrication.....	22
4- Unité UPGRADE.....	28
Chapitre 3 : Etude et optimisation du rendement des fours de la raffinerie	
1-Généralité sur les fours.....	31
2- Rendement thermique du four.....	36
Chapitre 4 : Technologies d'amélioration du rendement	
1-Chaudière de récupération et ramoneurs.....	59
2-Les différents types de brûleurs.....	61
3-Tirage forcé.....	64
Conclusion .....	65

# Dédicaces

Nous dédions ce travail :

A nos très chers parents, sources inépuisables d'amour et de tendresse, en reconnaissance des sacrifices consentis avec dévouement pour notre éducation et notre formation.

A nos amis et à toute notre famille ainsi qu'à tous ceux qui nous sont chers veuillez trouver ici le symbole de l'amour et l'intime attachement que vous nous portez.

A notre parrain et à tous ceux qui étaient près de nous au cours de ce stage, surtout à nos très chers professeurs qui sont la source de notre inspiration qu'ils trouvent dans ce travail les sincères témoignages de notre profonde affectation et de notre haute considération.

# Remerciements

La réussite de ce stage vient d'un effort incontournable de la part de toute une équipe de travail. Dans l'impossibilité de citer nommément ces personnes, on adresse nos remerciements les plus distingués à :

Mr Issam Sbaiti : Ingénieur production au département UPGRADE

Mr Said haouache: Professeur encadrant

Mr Adil Merzouqi : Technicien de contrôle

Mr Adnane El Mourakouchi : Technicien de contrôle

# Introduction

Durant notre formation, on doit effectuer un stage pratique afin d'acquérir l'expérience nécessaire pour intégrer le monde du travail et d'affronter la réalité quotidienne de la vie professionnelle, d'édifier la personnalité de l'étudiant et aussi de concrétiser et améliorer nos connaissances théoriques et pratiques.

A cet égard, on a eu l'occasion d'effectuer un stage d'une durée de deux mois à la société Anonyme Marocaine de l'Industrie du Raffinage (SAMIR) au sein de la direction mouvement de production et expédition pour une durée de deux mois.

Notre stage consiste à étudier le rendement thermique du four DSV H1101 et de l'optimiser .

Ce manuscrit comportera quatre chapitres :

- 1-Présentation de la SAMIR
- 2-Processus de raffinage et de production
- 3-Etude et optimisation du rendement des fours de la raffinerie
- 4-Technologies d'amélioration du rendement du four

Et nous terminerons par une conclusion et quelques perspectives

# **Chapitre 1 : Présentation de la SAMIR**

# 1-Introduction générale

Le Maroc étant un pays non producteur du pétrole, a décidé d'assurer la maîtrise de ses besoins en énergie ainsi que son indépendance en créant, à la suite d'une convention signée entre l'état représenté par le bureau des études des participations industrielles BEPI et l'office Italien des hydrocarbures représenté par sa filiale ANIC, une raffinerie proche du port de Mohammedia dénommée « société anonyme marocaine d'industrie de raffinage » .

La SAMIR leader dans le domaine du raffinage du pétrole a été créée afin de satisfaire les besoins croissants en ce qui concerne les produits pétroliers. Elle constitue un élément essentiel dans le secteur pétrolier qui est l'un des principaux piliers de l'industrie énergétique.

Mission de la SAMIR :

Le raffinage du pétrole brut, l'industrie de transformation des dérivées du pétrole et d'une façon générale toutes activités relevant de l'industrie pétrolière destinées à satisfaire en priorité les besoins intérieurs du marché marocain, ainsi que toutes les opérations commerciales d'importation, exportation, admission temporaire ou autre, liées directement ou indirectement au raffinage.

La vente, la distribution des produits finis obtenus et la vente des sous-produits de raffinage ainsi que l'exportation des surplus des produits

La SAMIR se situe à l'ouest de la ville de Mohammedia, s'étend sur une superficie de 200ha.

Elle est reliée par un réseau de pipe-line au port pétrolier, ainsi qu'au dépôt de stockage des sociétés de distribution et à la centrale thermique de Mohammedia avoisinante.

## 2-Le pétrole

De nombreux indices et diverses données montrent que le Maroc dispose bien d'un réel potentiel en hydrocarbures.

Par ailleurs, l'outil industriel des raffineries marocaines a depuis sa création toujours été protégé par l'état. Pour améliorer la qualité et accroître la productivité, la privatisation des raffineries fut décidée en 1997.

L'état détenait, à travers la SNPP, une participation de 50% dans le capital des principales sociétés de distribution, filiales de multinationales. La SAMIR, unique raffineur détient le monopole de l'importation.

Il faut noter que les carburants constituent 80% de la demande en pétrole. Cette consommation passe par les pompes de stations services (au nombre de 1500) de 13

compagnies (dont trois majors internationales) qui se partagent un petit marché de 6 millions de tonnes de pétrole raffiné achetées à la SAMIR. Le prix de vente est encadré par l'état. Les 20% restants vont dans les grandes industries et les grands offices, l'ONE en consomme une part importante.

La réserve stratégique de produits raffinés est à la charge des compagnies pétrolières. Ce stock, dont la valeur est estimée à environ 3,5 milliards de dirhams, correspond à 2 mois de consommation du pays.

### **3-Fiche signalétique**

Raison sociale : société anonyme marocaine d'industrie de raffinage

Forme juridique : société anonyme (statut harmonisés avec la loi 17/95 sur les SA depuis le 9 octobre 1998)

Date de constitution : 1959

Capital social : 1.189.966.500dh

Actionnariat : CORRAL (66.72%), PUBLIC à travers la bourse (33.28%)

Effectif : 1700 personnes

Téléphone : 023.32.42.01/42 ; 023.32.74.80/87

Fax : 023.31.69.56 ; 023.31.71.88

Adresse : B.P 89, route côtière 111, Mohammedia, Maroc

Superficie : 200 ha

Chiffre d'affaire : 29 milliard de dirhams

Affiliation à la CNSS : 1417395

Numéro de patente : 39404860

### **4-Historique et organigramme**

Au cours des années 1950, l'office italien des hydrocarbures dénommé entreprise Nationale Idrocarbur (ENI) décide de s'implanter au Maroc dans le but de mener des activités de recherche et d'exploitation pétrolières.

En 1959, une convention est signée entre l'état marocain représenté par le bureau des études et de participations industrielles (BEPI) et l'office de l'hydrocarbures « Etat National Hydrocarbure », elle a pris la dénomination de « Société Anonyme Marocaine et Italienne du Raffinage ».

A la suite de la crise pétrolière en 1973 et après la fructueuse coopération Maroc Italienne, la SAMIR avait procédé la marocanisation de son capital, par conséquent sa raison social devient « Société Anonyme Marocaine de l'Industrie du Raffinage ».

En 1978, la SAMIR satisfait les besoins nationaux en produits pétroliers grâce à une diversification de ses activités. Dès lors, sa capacité de raffinage s'élevait à 6.250.000 T/an.

En 1980 Feu Majesté Hassan 2 inaugure la plus grande extension de la SAMIR et pose la 1ere pierre de son futur complexe des huiles lubrifiantes de 100.000 T/an qui démarrera fin 1983.

Depuis 1986, la SAMIR parallèlement à son activité principale, elle a participé au capital de plusieurs filiales ayant la plupart un lien étroit avec les activités du raffinage.

N'ignorant rien de l'art du management stratégique, SAMIR a choisi d-s le départ de produire sa propre électricité grâce aux deux centrales qui lui fournissent la vapeur et la pression indispensables au fonctionnement de ses appareils.

En 1977, 67% du capital est cédé par appel d'offre au groupe SUEDO-SAOUDIEN CORRAL qui a de même acheté plus de 70% du capital de la société chérifienne de pétrole.

La fusion entre la société chérifienne de pétrole (S.C.P) et la SAMIR qui prit effet le 01/01/1999 fait émerger une nouvelle entité disposant s'importants moyens financiers, techniques et humains ainsi que de nouvelles structures organisationnelles qui lui donneront une grande capacité d'adaptation et de compétitive.

En 2000, création de Somirgy en partenariat avec le groupe Somepi.

En 2002, la SAMIR a connu l'incendie la plus grave au Maroc après une pluie qui a causé l'allumage des feus (complexe des huiles et central thermique).

En 2003, création de la Fondation SAMIR.

Le 11 novembre 2004 : le laboratoire Samir Mohammedia vient d'avoir la certification NM iso 9001.

En 2004, un CORRAL s'engage a modernisé la SAMIR, un investissement de plus de 6 milliard de dirhams.

Début 2005, la SAMIR vend sa part de participation dans Somirgy d'un montant 115 million de dirhams.

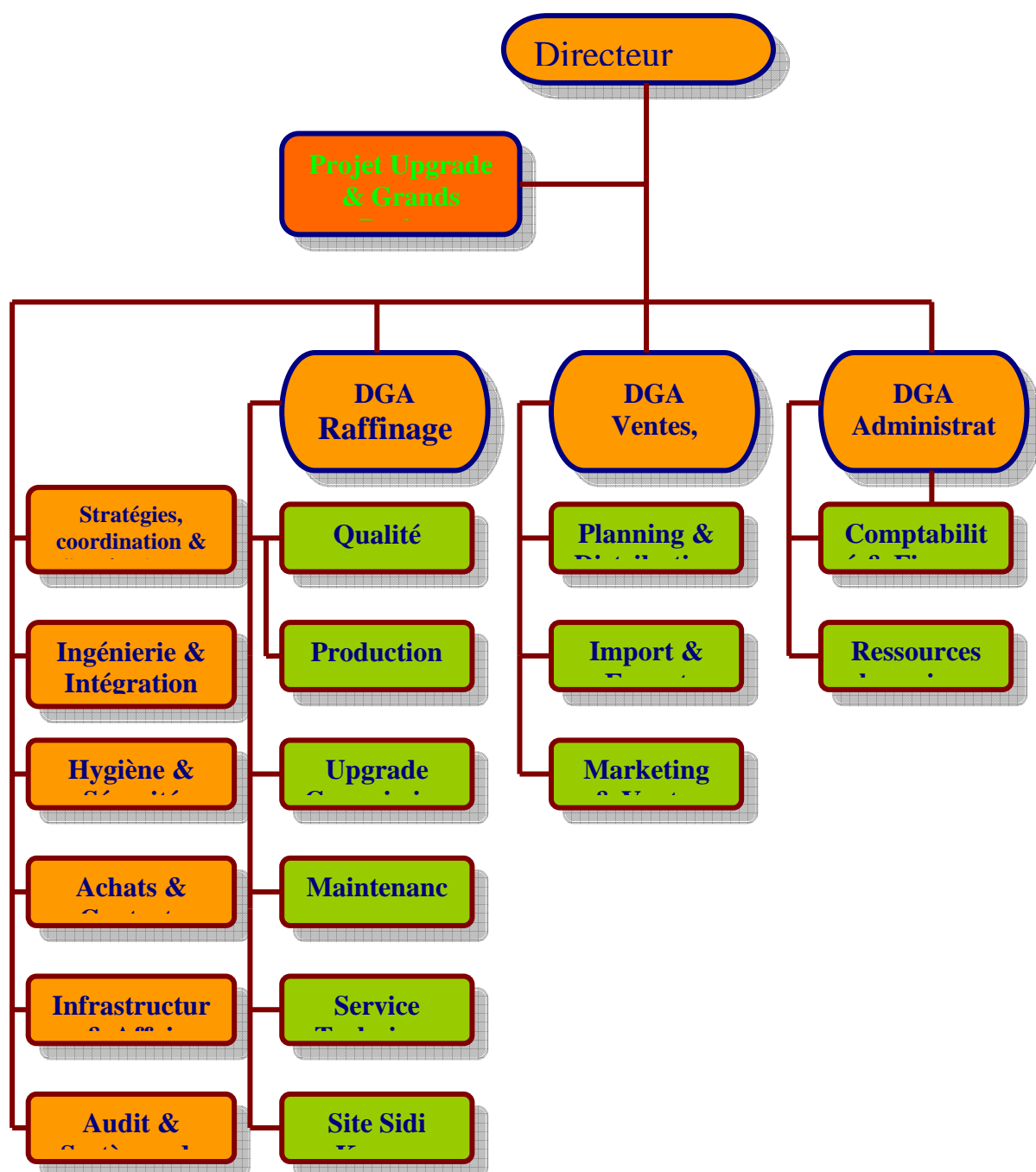
En 2006, la SAMIR ouvre une nouvelle station de traitement des eaux de regrets

En 2009, démarrage des unités Upgrade

En 2010, démarrage de l'unité d'hydrocrakage. La SAMIR vient d'avoir la certification iso 14001.



## L'organigramme de la SAMIR



## 5-Sécurité de la SAMIR

### 1) But de passer par la sécurité :

Le but de consacrer une journée de sécurité est de rappeler à l'ensemble du personnel de la raffinerie, ou tierces s'y trouvant, les règles de sécurité, leurs objectifs et les moyens de prévention et d'intervention applicable pour assurer la sécurité du personnel et des équipements.

### 2) Les concernés :

- chaque membre du personnel **SAMIR**,
- responsables des entreprises tierces intervenant au sein de la **SAMIR**,
- visiteurs occasionnels devant séjourner au sein de la société pour une période nécessitant leur connaissance du règlement,
- stagiaires.

### 3) Les équipements personnels de sécurité :

- casque de sécurité,
- la tenue de travail,
- les chaussures de sécurité

# 6-Les unités et les produits de la SAMIR

## **1-Les différentes unités de la SAMIR :**

Unité de raffinage (zone1) qui comprend :

- deux unités de distillation atmosphérique (topping 1 et 2)
- une unité de désulfuration du kérosène
- une unité du lavage des GPL
- une unité de platforming
- deux unités de Mérox dont un est en marche (une pour le traitement du GPL et l'autre pour les essences légères et le kérosène)

## **2-Unité de raffinage (zone2) :**

- une unité de distillation atmosphérique (topping3)
- une unité d'hydrotraitement du Naphta
- une unité Mérox (GPL et essences légères)
- un reforming catalytique
- une unité d'hydrodésulfuration des gasoils et du kérosène
- une unité de lavage aux amines

## **3- Complexe de fabrication des huiles, bitumes et paraffines :**

- une unité de distillation sous vide (unité 10)
- une unité de désasphaltage au propane (unité 11)
- une unité d'extraction aux furfurals (unité 12)
- une unité de déparaffinage (unité 13)
- une unité d'hydrofinishing (unité 14)

## **4-Installations off sites comprenant :**

- deux centrales thermoélectriques pour produire les différentes utilités : vapeur, électricité, eau déminéralisée, eau tempérée, air comprimé...
- un parc de stockage de pétrole brut (600,601, 602), des produits finis et semi-fini (SLOP).
- une unité de traitement des eaux résiduelles.

## **5-Upgrade :**

- unité de distillation sous vide
- unité de production d'hydrogène
- unité d'hydro-cracker
- unité de régénération des amines
- unité de stripping des eaux acides
- unité de récupération du soufre
- unité hydrodésulfuration

## **6-Principaux produits pétroliers :**

Les produits issus du raffinage du pétrole, mélanges complexes d'hydrocarbures, ne peuvent être définis ou caractérisés que par des spécifications fixant un certain nombre de propriétés ou qualités qu'ils devront satisfaire.

Les carburants et les combustibles constituent environ 80% des produits issus du traitement du pétrole dans la raffinerie. Le reste est constitué des produits spécifiques tels les lubrifiants, les solvants et les matières premières pour la pétrochimie.

On distingue les catégories suivantes :

- Les essences et le kérosène
- Les gaz de pétrole liquéfiés : propane et butane
- Le gasoil

- Le fuel domestique
- Les produits spéciaux

La SAMIR élabore 14 produits à partir du pétrole brut importé de :

- A, saoudite ( Arabian light 32%)
- Russie ( Ural 6%)
- Irak ( Kirkuk 39%)
- Iran ( Iranian light 23%)

Ces produits peuvent être classés en deux grandes catégories :

### **7-les grands produits :**

- ◇ Propane : combustible dans le secteur industriel, chauffage domestique et hôtelier.
- ◇ Essence : combustible à usage domestique.
- ◇ Super sans plomb : carburant des moteurs à allumage commandé.
- ◇ Jet A1 : carburant pour les avions.
- ◇Fuel oïl : combustible industriel, combustible pour la fabrication de l'électricité.
- ◇ Gasoil : combustible (fuel domestique), gasoil moteur (moteur diesel).

### **8-Les petits produits :**

- ◇les huiles de base : BSS, 600NS, 300NS, 150NS, éléments qui rentrent dans la fabrication des huiles finies, destinés aux sociétés qui fabriquent les huiles lubrifiantes.
- ◇ bitumes : utilisés pour la construction des routes, l'étanchéité des bâtiments et les pneumatiques.
- ◇ Paraffines : utilisés dans l'industrie des bougies, pneumatiques, emballages et autres.

# **Chapitre 2 : Processus de raffinage et de production**

# 1-Introduction mouvement produit

Le département de mouvement produit et expédition (MPE) qui est sous la direction de la production a comme rôle la mise en œuvre de tonnage très important, il assure la gestion de la circulation des produits depuis la réception du brut jusqu'au chargement soit par camions soit par pipes. Le département MPE a comme fonctions principales :

- Réception des produits bruts.
- Alimentation des unités.
- Préparation des circuits et des bacs pour les coulages des unités.
- Corrections en cas de non qualité des produits venant des circuits (après coulage des unités), vérification de Gravité de Pompage et de Recyclage.
- Expédition vers dépôt ou camions.

La capacité de stockage de la SAMIR :

PRODUIT	CAPACITE (m3)
Brut	800000
Essence légère	55000
Essence lourde	22000
Essence unifiée	5000
Essence super	36600
Kérosène	27500
Gasoil	103800
Fuel oil	151800
Propane	5000
Butane	12000
Jet A1	29000
Bitumes	8400

## **2-Le raffinage du pétrole**

### **1-Intérêt du raffinage :**

C'est une étape incontournable avant la commercialisation des hydrocarbures, le raffinage permet de transformer le brut en une palette de produits pétroliers répondant aux besoins des consommateurs et des industriels. Il consiste en une série d'opérations qui visent à améliorer les caractéristiques et la qualité du pétrole brut.

Le raffinage purifie le pétrole et le transforme en produits finis adaptés à divers usages.

Cependant, on n'emploie pas tels quels les produits bruts issus de l'extraction pétrolière : avant de les utiliser, il faut passer par l'étape du raffinage. Cette opération purifie le brut et le transforme en produits finis de composition variée, adaptés aux usages que l'on souhaite en faire.

Le brut est composé de diverses molécules d'hydrocarbures plus ou moins lourdes.

Selon les gisements, ces molécules sont présentées dans le pétrole brut en proportions variables, qui définissent sa composition et sa densité.

Ainsi, il existe une multitude de bruts : certains, noirs et visqueux, comptent beaucoup de molécules lourdes, d'autres, bruns et fluides, sont plus légers. En outre, tous contiennent une certaine quantité de gaz dissous et de produits soufrés ou acides, très corrosifs pour les métaux.

Il n'est pas possible de construire un moteur ou une chaudière universels qui fonctionnerait avec tous les types de brut et qui résisterait à la corrosion, d'où la nécessité de raffiner le pétrole.

### **2-Les trois étapes du raffinage :**

Dans une raffinerie, le brut est transformé en produits finis selon un processus précis regroupant trois types d'opérations (séparation, conversion, amélioration) :

- la 1<sup>ère</sup> étape est celle de la séparation des molécules lourdes et des molécules légères par distillation. Ce procédé consiste à chauffer le pétrole pour qu'il s'évapore peu à peu, comme on pourrait le faire avec une casserole d'eau : avant que l'eau n'atteigne 100°C, l'eau bout et se transforme en vapeur. Au fond de la casserole, on trouve alors des résidus de sels blanchâtres, que l'on pourrait vaporiser en les chauffant à très haute température.

- la distillation du pétrole utilise le même principe : on le fait chauffer dans une tour de distillation de 60m, aussi appelée topping ou colonne de distillation atmosphérique (parce que la pression qui règne à l'intérieur est très proche de celle de l'atmosphère).

Lorsqu'il atteint 350 à 400°C, le pétrole s'évapore en partie et commence à monter dans cette tour, tandis que ses molécules les plus lourdes, ou résidus, restent à la base.

A mesure que les vapeurs s'élèvent, elles se condensent partiellement en liquides sous l'effet d'une baisse de température. Elles poursuivent leurs ascension jusqu'en haut de la tour, où la température est de 150°C. Là, on retrouve les dernières vapeurs non condensées, sous la forme de gaz pétrole. Sur toute la hauteur de la tour, à différents niveaux, des plateaux permettent de récupérer une dizaine de produits plus ou moins lourds nommés coupes pétrolières, depuis les bitumes (mélanges d'hydrocarbures très visqueux) jusqu'aux gaz. Les résidus lourds issus de cette distillation renferment beaucoup de produits de densité moyenne. On les soumet dans une autre colonne à une seconde distillation, qui permet de récupérer les produits moyens (fioul lourds et gazole).

- Après ces opérations de séparation, il subsiste beaucoup de molécules hydrocarbures lourdes. Pour répondre à la demande en produits légers, on les casse, c'est-à-dire qu'on sépare les atomes qui les composent pour obtenir des molécules plus légères.

Ce procédé de conversion, appliqué à 500°C, est également appelé craquage catalytique ou platforming car il fait intervenir un catalyseur (substance accélérant et facilitant les réactions chimiques). 75% des produits lourds soumis à la conversion sont ainsi transformés en gaz, essence et gazole. On peut même améliorer ce résultat par des ajouts d'hydrogène (hydrocraquage) ou en employant des méthodes d'extraction du carbone pour récupérer d'avantage de molécules légères (conversion profonde). Ainsi, tous les hydrocarbures lourds sont convertibles en hydrocarbures légers, mais l'opération peut se révéler coûteuse et gourmande en énergie.

- Vient ensuite une phase d'amélioration, les produits issus de la distillation et de la conversion sont débarrassés de leurs molécules corrosives ou néfastes à l'environnement, en particulier le soufre. En effet, les normes de l'UE en matière d'émissions de soufre sont strictes depuis 2008, le gazole contenant plus de 0,1% de soufre ne doit pas être utilisé sur le territoire européen. Ces mesures visent à limiter la pollution atmosphérique au soufre, gaz irritant pour l'appareil respiratoire qui contribue aussi à l'appauvrissement des sols et de la végétation. La désulfuration du gazole s'effectue à 370°C, sous une pression de 60 bars et en présence d'hydrogène : dans ses conditions physiques, les atomes de soufre se dissocient des molécules hydrocarbures et s'associent aux atomes d'hydrogène pour former du sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S). Ce dernier est traité pour donner du soufre liquide, réutilisé dans l'industrie. De même, le Kérosène, les gaz : butane et propane, sont lavés à la soude.

Ce traitement, nommé adoucissement, débarrasse ces produits des mercaptans qu'ils contiennent (il s'agit de molécules d'alcool nauséabond et corrosif, contenant un ou plusieurs atomes de soufre à la place des atomes d'oxygène).



- Enfin, avant de pouvoir proposer les essences ou les supers à la pompe il faut augmenter leurs indice d'octane, qui n'est pas assez fort pour qu'on puisse les utiliser directement dans un moteur.

Cet indice renseigne sur la résistance à l'auto-inflammation d'un carburant, quantifiée au moyen d'un chiffre par rapport à 100.

Si l'indice d'octane n'est pas assez élevé, l'essence aura tendance à s'auto-enflammer, provoquant à terme des dégâts à l'intérieur du moteur.

Pour éviter cela, on doit hausser l'indice d'octane jusqu'à 95 ou 98, de manière à ce que l'essence soit compatible avec les moteurs des véhicules. On effectue donc un reformage catalytique.

Cette réaction chimique opérée à 500°C, sous une pression de 10 bars, utilise du platine comme catalyseur.

Elle permet de restructurer le squelette des molécules hydrocarbures pour atténuer leurs tendances à l'auto-allumage. Il existe aussi d'autres réactions chimiques, comme l'alkylation, qui améliore également la résistance à l'auto-inflammation de l'essence.

### 3-Procédé de fabrication

Le brut est alimenté des stockages et pompé vers un train d'échangeurs de chaleur pour prélever les calories nécessaires à son préchauffage aux soutirages latéraux et au résidu atmosphérique sortant de l'unité.

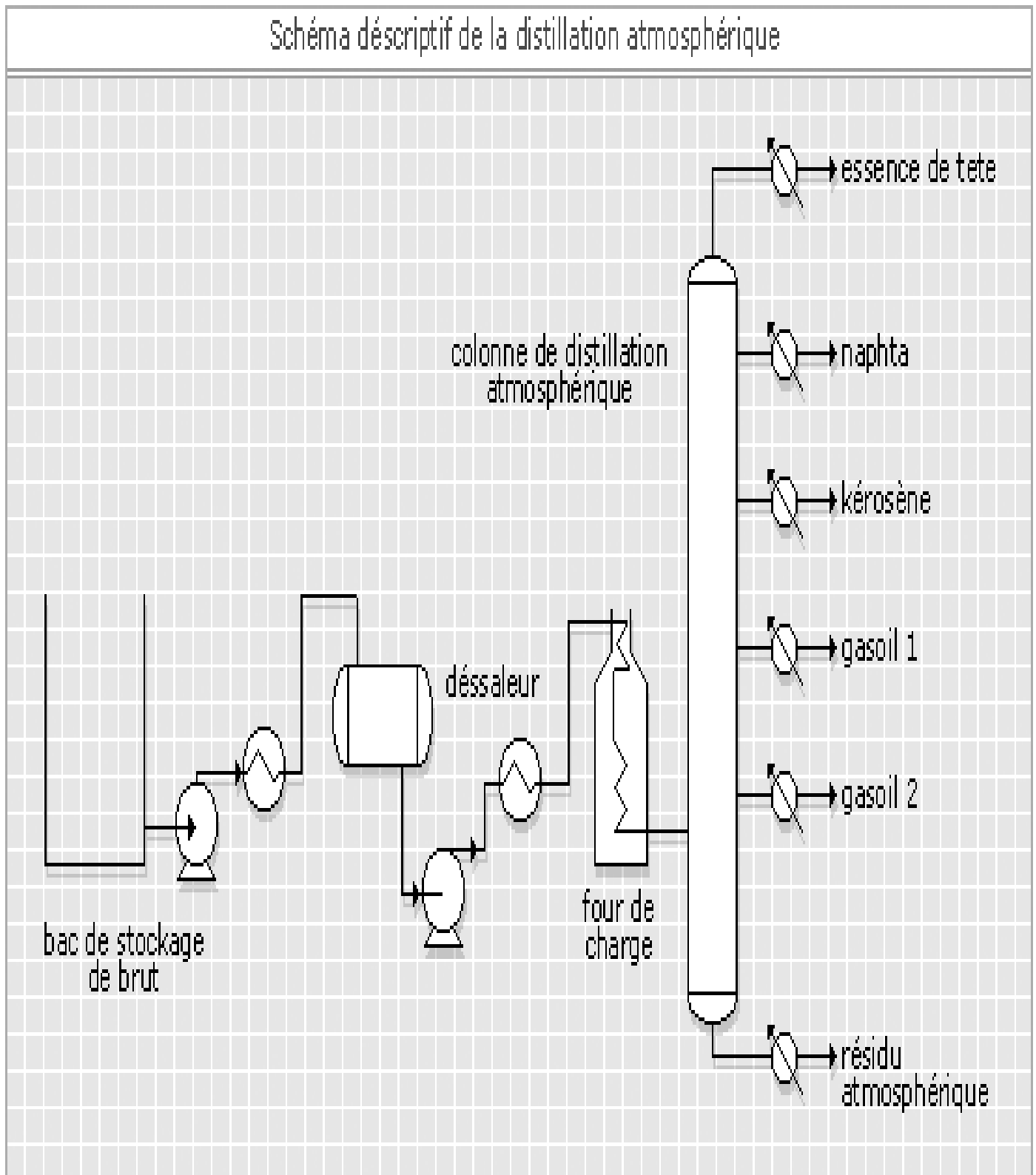
Dans un premier temps, le brut se réchauffe jusqu'à atteindre la température de fractionnement du dessaleur, dans le quel on procède à une première épuration afin de débarrasser le brut des sels et sédiments qu'il contient et d'augmenter l'efficacité des équipements utilisés pour effectuer sa distillation.

Le brut sorti du dessaleur ayant perdue une grande partie des chlorures subi une injection de soude pour neutraliser les chlorures résiduels. Puis, le pétrole dessalé prélève le maximum des calories dans un deuxième train d'échange, pour soulager le four atmosphérique ou la température du brut atteinte est de l'ordre de 350-370°C. A la sortie du four, le brut se dirige vers la colonne de distillation, qui fournit les produits semi-finis suivants :

- ◇ Des gaz
- ◇ Des produits blancs (distillats légers et moyen)
- ◇ Des produits noirs (résidus lourds)

- Distillation atmosphérique :

(figure 1)



A)

stillation atmosphérique :

Di

Le brut subit une distillation atmosphérique à 650°C (voir figure 1), dans une colonne de distillation à plateaux performés, et il se sépare en produits légers qui se trouvent en tête de la colonne et autres lourds au pied de la colonne :

- GPL : Gaz pétroliers liquéfiés :

Du méthane au butane ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ ), ils sont séparés en première étape par distillation pour récupérer le méthane et l'éthane de la tête, et qui sont envoyés vers le four ou bien vers la torche pour être brûler.

Le propane et le butane récupérés du fond sont envoyés vers une autre distillation pour récupérer le propane de la tête de la colonne et le butane du fond, et qui seront envoyés par suite aux ballons de stockage.

- Essence totale :

Elle passera à l'unité de stabilisation pour séparer l'essence légère de l'essence lourde.

Cette dernière sera traitée dans une unité catalytique afin d'éliminer les tracs de soufre et d'augmenter son indice d'octane. Cette essence se mélange avec l'essence légère pour avoir l'essence ordinaire. On lui ajoute le tétra pour obtenir l'essence super, autrement l'essence plate formée sera vendue comme essence sans plomb.

- Naphta :

Le Naphta est soutiré de la tour de distillation au niveau du plateau 13, ensuite il est strippé à la vapeur à basse, les vapeurs de tête sont retournées vers la colonne de distillation au niveau du plateau 10, et le Naphta lourd du fond est dirigé vers le stockage des essences lourdes ou du kérosène.

- Kérosène :

Il sera vendu comme pétrole lampant ou il passera par l'unité Merox pour être privé du soufre. Le produit résultant sera vendu sous forme de jet ou bien il servira pour la correction du gasoil.

- Gasoil :

Carburant des moteurs Diesels utilisé notamment dans le transport en commun, transport de marchandises ainsi que pour les machines agricoles.

- Fuel oil :

C'est le résidu atmosphérique récupéré au fond de la colonne. Une partie est dirigée vers le complexe vue sa production en grande quantité.

## **B) les unités de productions :**

Unité de séparation des GPL :

Les GPL issus des unités Topping et unités platformings sont envoyés dans une unité séparation GPL. Ils sont séparés en propane et butane commerciaux.

Les gaz produit dans cette unité rejoignent le système fuel gaz pour être brûlé comme combustible.

Reformage catalytique (platforming) :

Il s'agit des principales unités qui permettent l'amélioration de la qualité des essences provenant de l'unité d'hydrotraitement par augmentation de l'indice de l'octane, grâce à l'emploi d'un catalyseur sélectif (à base de platine). Ce dernier permet de convertir les paraffines et naphthènes en aromatique, iso paraffines et GPL. L'augmentation de l'indice d'octane permet de déduire la qualité de monoxyde de carbone dégageant de moteur et d'éviter les phénomènes de cliquetis dans les moteurs à essence.

Donc pour améliorer les essences, on modifie la structure moléculaire des paraffines et des naphthènes.

Mérox :

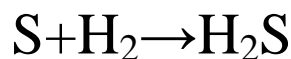
Dans cette unité il y a traitement des gaz de pétrole liquéfié (GPL) et des essences légères pour enlever les mercaptans qui confèrent à ces produits des odeurs désagréables.

Le procédé est basé sur la conversion du mercaptan en disulfure par l'oxydation du mercaptan en utilisant l'oxygène de l'air comme oxydant. C'est une réaction catalytique utilisant un complexe bimétallique de Cobalt et de Molybdène comme catalyseur. En plus du catalyseur il y a présence de la solution de soude qui a la propriété de dissoudre les mercaptans.

Hydrodésulfuration (HDS) :

Le kérosène et le Gasoil issus de la distillation de pétrole brut subissent une réduction de la teneur en soufre total, l'élimination du soufre se fait en présence d'H<sub>2</sub>.

Le procédé se base sur la combinaison du soufre de la charge avec l'hydrogène pour avoir la réaction :



Le gasoil est mélangé avec l'hydrogène avant de rentrer au four pour atteindre une température de 380°C. La charge rentre dans un réacteur catalytique avant qu'elle subit une deuxième injection de l'hydrogène.

Le produit est récupéré du fond du réacteur puis refroidi avant de passer à l'étape de séparation des phases gaz et liquides dans le ballon séparateur.

Les gaz contenant H<sub>2</sub>S seront évacués tandis que le liquide constitué par le gasoil désulfuré sera strippé par la vapeur surchauffée. Les vapeurs de tête seront condensées, les gaz seront évacués, et le liquide sera séparé de l'eau avant d'être envoyé vers le stockage. Les liquides du fond condensés dans un condenseur puis ils seront séparés des vapeurs dans une colonne avant d'avoir le gasoil désulfuré au fond de cette colonne.

Séparation des GPL :

Cette unité est de récupérer les GPL en leurs constituants : propane et butane commerciaux.

Les GPL issus des unités Toppings et unités platformings sont envoyés dans une unité séparation GPL.

Le gaz produit dans cette unité rejoint le système fuel gaz pour être brûlé comme combustible.

La séparation des GPL est réalisée en quatre étapes :

- Absorption des gaz dans la coupe Naphta et Kérosène respectivement.
- Reprise des liquides pour en éliminer les composés légers C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub>.
- Fractionnement du liquide obtenu en GPL et Naphta puis fractionnement des GPL en propane et butane.
- Séchage du propane pour en éliminer les dernières traces d'humidité et les légers résiduels.

Hydrotraitement :

Dans cette unité, les essences seront combinées à courant gazeux riche en H<sub>2</sub> et seront mis en contact avec le catalyseur « HYDROBON » formé d'un support d'alumine et de différents éléments tels que le nickel, le molybdène et le cobalt.

Dans certains cas le four de charge n'est utilisé qu'en démarrage parce que les réactions qui se déroulent sont exothermique :

- Elimination du soufre par obtention de H<sub>2</sub>S.

- Elimination de l'oxygène par obtention de  $H_2O$ .
- Elimination de l'azote par formation de  $NH_3$  (ammoniac).
- Elimination des métaux qui sont absorbés par le catalyseur.
- Saturation des oléfines par transformation des liaisons Carbone-carbone en simples liaisons.

#### Lavage aux amines

Le but du lavage aux amines est de débarrasser les coupes pétrolières légères (GPL) de l' $H_2S$  en lavant ces coupes avec une solution absorbante d'amines vue la solubilité de l' $H_2S$  dans cette solution.

La solution amine pauvre est injectée en tête de la colonne tandis que les GPL, en phase liquide venant du ballon de reflux de l'unité de stabilisation et de séparation des essences, pénètrent par le bas de la colonne d'absorption. Par différence de densité, les GPL montent dans la colonne et cèdent  $H_2S$  à la solution d'amines descendante.

Le lavage aux amines est un procédé régénératif : on régénère la solution d'amines.

#### Complexe des huiles :

Le complexe des huiles lubrifiantes est conçu pour la fabrication des huiles de bases, des paraffines et des bitumes.

Les huiles de bases sont en général un mélange de diverse fraction du procédé de raffinage du pétrole brut. On y ajoute ensuite des additifs pour leur transmettre des propriétés souhaitables supplémentaires, en plus de celle qu'elles possèdent déjà.

Les huiles de base sont raffinées en employant des techniques d'extraction par dissolvants (on utilise en général du propane à une pression suffisamment élevée pour en conserver la forme liquide) et d'hydrotraitement (réaction à l'hydrogène).

Ces procédés éliminent les hydrocarbures lourds et les aromatiques indésirables (produits chimiques à base de benzène) des huiles pour les rendre propres à l'utilisation en tant qu'huiles de base. Elles sont ensuite mélangées dans des proportions dosées à un ensemble d'additifs, jusqu'à obtention du degré de viscosité requis pour les machines qu'elles lubrifieront.

Par exemple, pour les huiles de moteur et certaines huiles pour engrenage, ce degré de viscosité est coté d'un numéro de la SAE, alors que la viscosité des huiles hydrauliques, des huiles de turbine et d'autres huiles pour engrenage s'exprime en degré de viscosité ISO.

## 4-Unités Upgrade

Le projet d'Upgrade est un projet récent créé en 2009 à la SAMIR, qui a facilité plusieurs tâches et qui comporte plusieurs unités qui sont :

#### Unité de distillation sous vide 31 :

L'objectif de l'unité de distillation sous vide est de fractionner le résidu atmosphérique en quatre coupes nommées : LVGO, MVGO, HVGO et résidu sous vide pour en produire la charge principale de l'unité d'hydrocraquage.

#### Unité d'hydrotraitement Gasoil 33 :

Cette unité a pour but d'éliminer des impuretés nuisibles dans le gasoil, telles que le soufre, l'azote, l'oxygène et tous les métaux à l'aide d'un traitement catalytique en présence d'hydrogène qui va transformé ces impuretés en  $H_2S$ ,  $NH_3$  ou  $H_2O$  afin de produire le Diesel 50PPM, Naphta et des gaz acides.

Unité d'hydro-cracker 34 :

L'objectif de cette unité consiste à craquer des charges généralement VGO à température d'ébullition élevées en produits à températures d'ébullitions basses.

Cette opération est mise en œuvre à l'aide d'un catalyseur actif et sous une pression élevée d'hydrogène ce qui permet de travailler à des températures relativement basses par rapport aux autres formes de craquage.

Unité de production d'hydrogène 36 :

L'unité de production de l'hydrogène est l'unité principale d'alimentation en hydrogène pur et la vapeur HP nécessaire pour les unités d'hydrotraitement de Diesel et d'hydrocracking à partir du butane et du gaz naturel.

Cette unité a pour objectif l'absorption des changements éventuels de la consommation d'hydrogène.

Unité de régénération des amines 37 :

L'objectif de cette unité consiste à retirer du gaz acide ( $H_2S$ ) de l'amine riche et alimenter en retour ces unités avec l'amine pauvre.

Unité de stripping des eaux acides 38 :

L'objectif de cette unité est de traiter et éliminer par stripage les gaz  $H_2S$  et  $NH_3$  présents dans les eaux acides en provenance des unités.

Unité de récupération du soufre 39 :

Le but de cette unité est de convertir les gaz acides riche en sulfure d'hydrogène et en ammoniacque, générées dans les unités de régénération des amines et de strippings des eaux acides et de produire du soufre liquide qui sera vendue par la suite à l'OCP.

# **Chapitre 3 :**

## **Etude et optimisation des fours de la raffinerie**

# 1-Généralités sur les fours de la raffinerie

## 1-Fonction d'un four :

Les fours sont des appareils dans lesquels le chauffage des fluides s'effectue par les fumées produites par la combustion d'un combustible liquide ou gazeux. Ils sont dits à chauffage direct, car la chaleur des fumées est cédée directement au fluide froid qui circule dans un serpentin tubulaire.

Ces fours sont distincts des fours à chauffage indirect, dans lesquels le fluide à réchauffer circule dans un faisceau tubulaire baignant dans un fluide chaud, lui-même chauffé directement par les fumées du combustible.

Les fours à chauffage direct doivent aussi être distingués des fours à chauffage par mélange (tels que les régénérateurs de catalyseur), dans lesquels le fluide à réchauffer est porté en température par mélange avec les fumées d'un combustible.

La chaleur transmise au fluide chauffé peut servir :

- A un simple réchauffage : on élève la température du fluide traité afin de lui faire subir, ultérieurement, une transformation physique ou chimique (surchauffeur de vapeur, réchauffeur de gaz d'un reformeur catalytique, réchauffeur d'hydrocarbure liquide (charge d'unité de craquage catalytique, fluide caloporteur, etc...)
- A une transformation chimique : celle-ci peut s'effectuer par pyrolyse (fours de craquage à la vapeur pour la fabrication

D'éthylène, fours de craquage de dichloréthane, four de craquage d'acide acétique, etc...).

Dans d'autres cas, la transformation s'effectue en présence de catalyseur (fabrication de gaz de synthèse à partir de gaz naturel ou de naphta, fours de craquage d'alcool 'isopropylique, etc...)

- Mais dans le cas le plus courant, plusieurs opérations sont effectuées, simultanément ou successivement, dans le même four (par exemple : four de viscoréduction, où l'on a fournit de chaleurs sensible, de réaction (craquage thermique) et de vaporisation.

Par ailleurs, plusieurs fluides distincts peuvent être réchauffés simultanément dans un même four ; on dit que le four assure divers services. Cependant, en général, dans ce cas un seul des services

Peut être contrôlé, la chaleur fournie aux autres fluides étant fatale et un dispositif annexe doit alors être prévu pour contrôler leur température de sortie.

## 2-Constitution du four :

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

- a) Une zone dite de radiation, constituée essentiellement d'une chambre de combustion, dans laquelle des tubes sont disposés. Les tubes, non jointifs, sont reliés entre eux par des coudes. Le fluide à chauffer circule à l'intérieure de ce faisceau de tubes. La transmission de chaleur s'effectue principalement par radiation. Une fraction de l'échange se fait également par convection entre les fumées et les tubes.



La température des fumées, à la sortie de la zone de radiation est de l'ordre de 700°C et donc le rendement est faible de 50% du PCI.

- b) Afin de récupérer la chaleur sensible des fumées, ces dernières circulent à vitesse élevée à travers un faisceau de tubes, où l'échange s'effectue principalement par convection. Cette zone est en conséquence qualifiée de section de convection.

Ces tubes peuvent être garnis d'ailettes ou d'aiguilles, afin d'augmenter la surchauffe d'échange du côté des fumées, qui est en général le fluide présentant la résistance thermique la plus forte.

Le rendement d'un four avec zone de convection est bien entendu supérieur à celui d'un four ne comportant qu'une zone de radiation. Le rendement dépend de la température d'entrée du fluide chauffée (on ne peut refroidir des fumées en dessous de la température du fluide froid), mais également de l'importance de la surface d'échange que l'on a installée.

- c) Une cheminée d'évacuation des fumées.

### 3-Différents types de fours :

Il existe de nombreuses dispositions des tubes, dans les zones de radiations 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 cylindriques verticaux : (voir figure x)**

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

#### **Les fours dits « boîtes » à tubes verticaux :**

Dans ces fours, la forme générale de la zone de radiation est celle d'un parallélépipède. Les brûleurs sont situés sur la sole, la surface d'échange couvre les parois verticales latérales.

Parfois la chambre de combustion est divisée en plusieurs cellules par des rangées de tubes parallèles à une des faces des parois latérales.

#### **Les fours dits « cabines » à tubes horizontaux : (voir figure y)**

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.

L'enveloppe du four n'est pas parfaitement étanche, notamment suite au vieillissement et aux nombreux passages de tubes. Pour des raisons de sécurité (four placé dans une atmosphère confinée) 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-dessus de la zone de convection, ou au sol à côté du four.

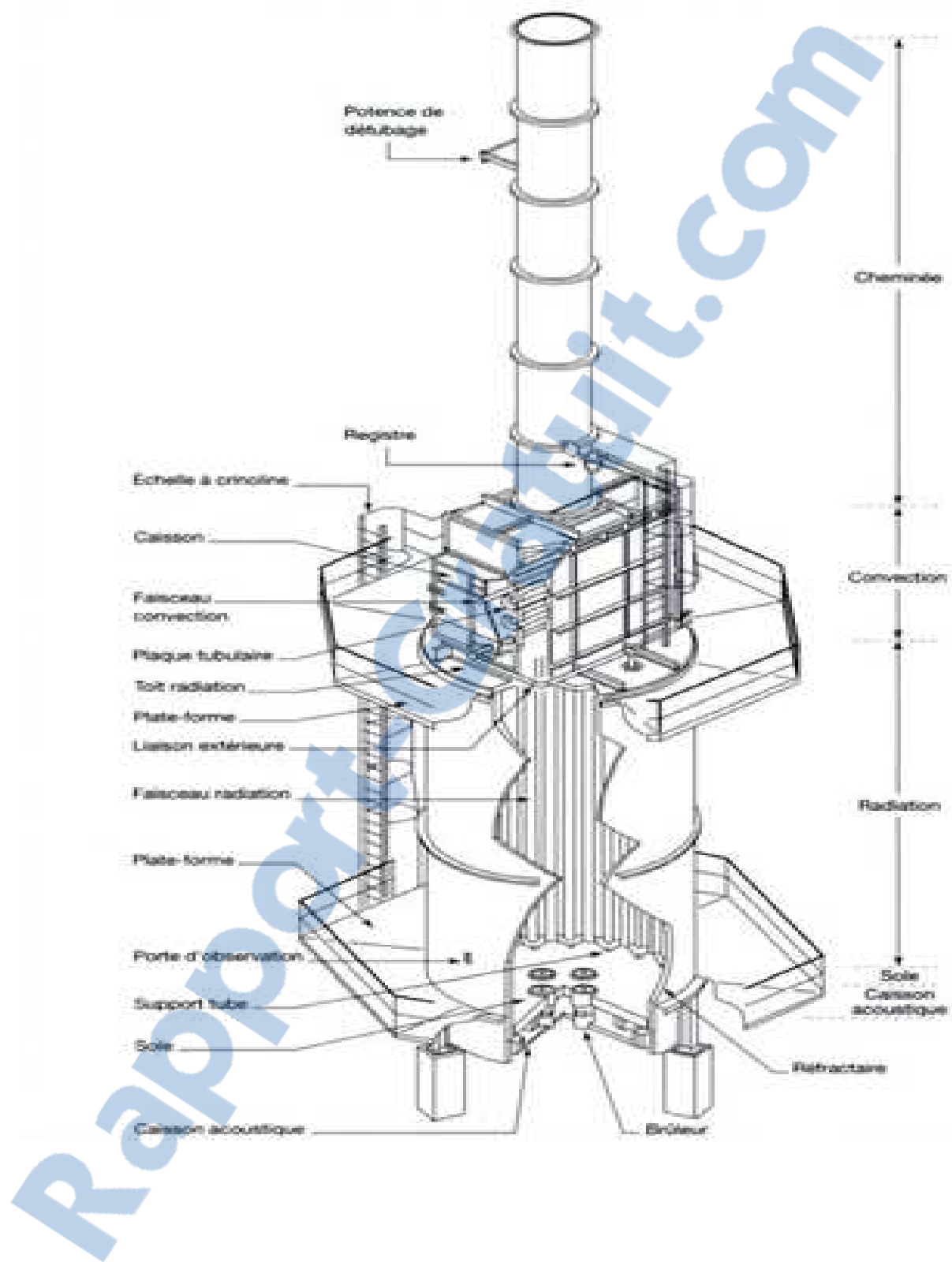
L'air de combustion est introduit dans les brûleurs, soit par la dépression régnant dans la chambre de combustion (brûleurs à tirage naturel), soit à l'aide d'un ventilateur (brûleurs soufflés).

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 du brûleur, de la température de l'air de combustion et principalement du combustible.

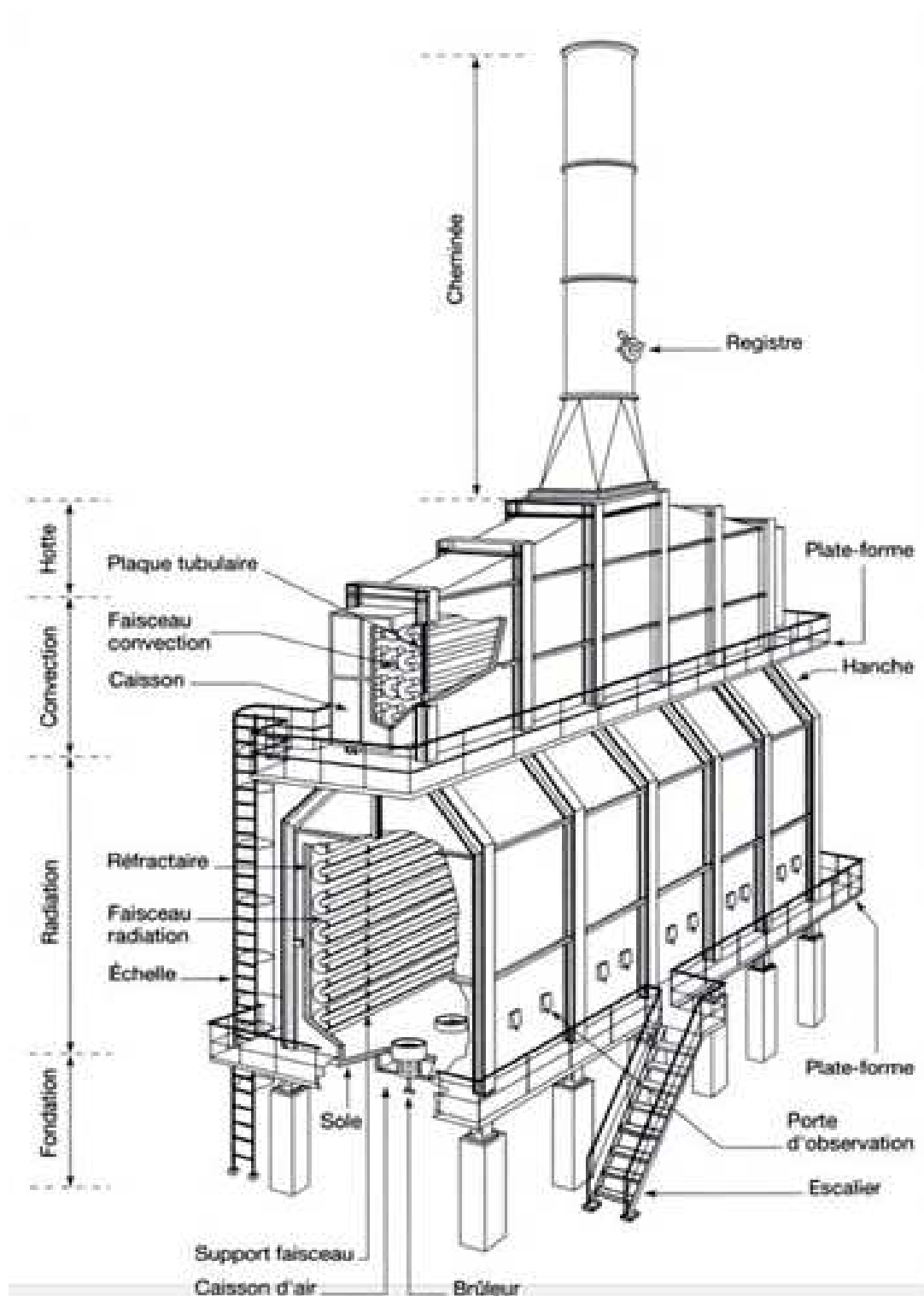
Le choix d'un type de four dépend principalement des facteurs suivants :

- Nature du produit chauffé et conditions de service (débit, température et pression)
- Drainabilité des faisceaux tubulaires
- Présence ou non de catalyseur dans les tubes
- Combustible
- Encombrement
- Facilité de construction ou de transport
- Coût pour une application donnée

Four cylindrique (figure x)



Four cabine ( figure y)



## 2-Rendement thermique d'un four

### Types de pertes :

Les pertes de chaleur à travers les parois du four dépendent de l'épaisseur et de la matière du garnissage réfractaire isolant. Toutefois, pour un garnissage isolant économiquement optimum, ces pertes sont faibles. Pour un four d'une puissance de 10 MW ou plus, elles sont de 1% à 2% du PCI. Ces pertes sont plus importantes pour un petit four, car le rapport de la surface des parois de l'enveloppe, par rapport au volume de la chambre de radiation, diminue lorsque la taille du four augmente.

Les pertes de chaleur les plus importantes sont celles dues au rejet à la cheminée de fumées chaudes. Celles-ci sont le résultat de deux facteurs : le débit de fumées et leur température. Le débit de fumées s'accroît avec l'excès d'air. Il y a donc lieu de fonctionner avec un excès d'air aussi faible que possible. Tout en veillant à obtenir une combustion complète, sans imbrûlés. Un fonctionnement à excès d'air trop bas peut conduire à des pertes par imbrûlés plus importantes que le gain réalisé par la réduction de l'excès d'air. Indépendamment de la perte de la chaleur latente des imbrûlés, ceux-ci entraînent l'encrassement des surfaces d'échange et, par conséquent, une élévation de la température des fumées qui persiste après le retour à un fonctionnement sans imbrûlés.

Mais la température des fumées constitue le facteur principal des pertes de chaleur d'un four. D'ailleurs, pour des fumées froides, l'excès d'air n'a plus d'importance puisque toute la chaleur cédée à l'air en excès a été récupérée sur les fumées. Pour refroidir les fumées, il est nécessaire de disposer d'un fluide froid à réchauffer. Si le fluide à réchauffer est à une température élevée qui ne permet pas d'obtenir une température de fumées suffisamment basse, c'est-à-dire un rendement thermique satisfaisant, on peut recourir aux solutions suivantes :

#### **Production de vapeur d'eau :**

Cette solution ne réduit pas la consommation du combustible, mais elle peut être intéressante si la vapeur d'eau peut être valorisée.

#### **Recyclage de la chaleur des fumées par réchauffage de l'air de combustion :**

Les fumées à leur sortie de la zone de convection, sont refroidies dans un échangeur de chaleur dont le fluide froid est l'air nécessaire au four pour brûler le combustible.

Le réchauffage de l'air de combustion permet d'obtenir un rendement thermique de l'ordre de 90% du PCI, mais il nécessite un ventilateur de soufflage d'air. Le refroidissement des fumées est limité par les problèmes de corrosion due aux condensations sulfuriques, ayant pour origine la présence de composants sulfureux dans les combustibles brûlés.

## **Constitution du four :**

### **a) Faisceau tubulaire :**

Les faisceaux tubulaires sont généralement constitués de tubes droits sans soudure reliés entre eux : Par des coudes à 180°C soudés sur les tubes

Par des liaisons spéciales appelées boîtes de retour, comportant un ou deux orifices fermés par des bouchons. Ces dispositifs permettent l'observation et le nettoyage de l'intérieure des tubes.

Le choix du matériau par le faisceau repose sur les critères suivant :

- Résistance à la corrosion par le fluide chauffé.
- Résistance à l'oxydation par les fumées chaudes.
- Résistance mécanique en température.

\*la pression à l'intérieure du fluide chauffé

\* aux contraintes mécaniques dues au poids du faisceau tubulaire et du fluide qu'il contient

Les faisceaux tubulaires doivent résister aux fumées, à l'oxydation, à la corrosion par les cendres de combustibles liquides (vanadates, sulfates...) et de présenter une bonne résistance mécanique à chaud domaine élastique et fluage).

### **b) 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 critères du choix du garnissage du four :

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

## **Différents types de garnissage :**

### **a)Matériaux utilisables directement au contact des fumées :**

- Brique réfractaire : constitués d'argiles réfractaires et possédantes une structure poreuse naturelle.
- Béton isolant réfractaire : mise en place par coulée ou par projection.
- Fibre céramique : 3  $\mu m$  de diamètre

### **b) Matériaux utilisables en 2<sup>ème</sup> couche :**

Pour accroître la résistance thermique d'une paroi résistante à la chaleur mais peu isolante.

- Fibre minérale :

Ces fibres sont obtenues par soufflage d'une masse réfractaire de roches synthétiques fondues. Ces fibres sont très isolantes et utilisés derrière des murs constitués de briques.

-Panneau rigide de silicate de calcium :

Très isolant utilisés en 2<sup>ème</sup> couche derrière une paroi de brique ou de béton réfractaires.

### Brûleurs :

Définition de la combustion :

La combustion est une réaction chimique entre un combustible (liquide ou gaz) et l'oxygène. Elle est accompagnée d'un important dégagement de chaleur.

C'est ce que l'on cherche à réaliser dans un four industriel : un combustible brûle dans l'oxygène de l'air et la chaleur libérée est absorbée par les fluides du procédé qui passent dans le four.

Les combustibles pétroliers sont composés essentiellement d'hydrocarbures et de composés soufrés, c'est-à-dire de trois éléments simples de base : carbone, hydrogène, soufre.

La quantité de chaleur dégagée dépend de la teneur en ces trois éléments dans le combustible.

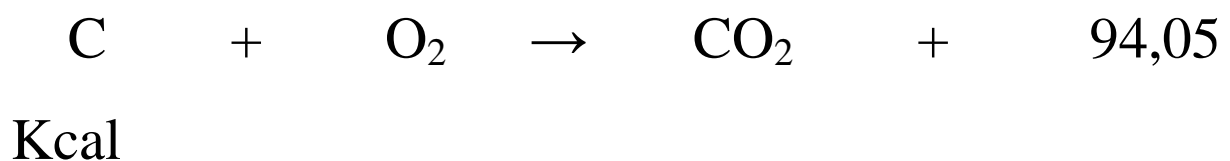
#### Combustion du carbone, de l'hydrogène et du soufre :

##### a) Combustion du carbone :

La combustion du carbone dans un excès d'oxygène donne comme produit du gaz carbonique CO<sub>2</sub>

La molécule de gaz carbonique étant constituée d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène, il faut une molécule d'oxygène (2 atomes d'oxygène) pour brûler un atome de Carbone. On peut dire que pour brûler N atomes de carbone (1 atome-gramme de carbone) il faut N molécules d'oxygène (1 mole d'oxygène) et il se forme N molécules de gaz carbonique (1 mole de gaz carbonique).

Ceci est représenté par l'équation chimique :



La quantité de chaleur dégagée dans cette combustion est de 94,05 kcal/mol d'atomes de carbone, soit 94,05 kcal pour 12 g de carbone.

On a l'habitude de rapporter cette quantité de chaleur au kilogramme de combustible pour les combustibles solides et liquides. Ainsi exprimée, la chaleur dégagée lors de la combustion est appelée pouvoir calorifique.

Pouvoir calorifique du carbone : 7 840 kcal/kg

#### b) Combustion de l'hydrogène :

La combustion de l'hydrogène dans l'oxygène donne toujours de l'eau, ce qui est décrit par l'équation chimique :



Pour exprimer la quantité de chaleur libérée lors de la combustion de l'hydrogène, on distingue deux cas, selon que l'eau formée dans la combustion est récupérée à l'état liquide ou à l'état vapeur.

Eau formée récupérée à l'état	Chaleur dégagée (Kcal/mol)
LIQUIDE	68,3
VAPEUR	57,8

La différence entre ces deux quantités de chaleur correspond à la chaleur de condensation de l'eau formée (l'eau étant récupérée liquide, la quantité de chaleur est plus grande).

De la même manière on distingue deux pouvoirs calorifiques :

➤ Le pouvoir calorifique supérieur (P.C.S.), l'eau formée étant récupérée liquide

Pouvoir calorifique supérieur de l'hydrogène :

- en masse : 33890 kcal/kg



- en volume : 3050 kcal/Nm<sup>3</sup>
- Le pouvoir calorifique inférieur (P.C.I.), l'eau formée étant récupérée à l'état vapeur  
Pouvoir calorifique inférieur de l'hydrogène :
  - en masse : 28670 kcal/kg
  - en volume : 2580 kcal/Nm<sup>3</sup>
- Dans les installations industrielles, l'eau formée dans la combustion est récupérée à l'état vapeur. Aussi s'intéresse-t-on essentiellement au pouvoir calorifique inférieur.
- Le pouvoir calorifique inférieur de l'hydrogène exprimé en masse est très élevé, mais celui exprimé en volume est très faible car 22,4 Nm<sup>3</sup>( normal mètre cube) d'hydrogène ne représentent qu'une masse de 2 kg.
- La combustion d'un atome de carbone nécessite davantage d'oxygène que celle d'un atome d'hydrogène.

#### c) Combustion du soufre

La combustion du soufre dans l'oxygène donne du dioxyde de soufre SO<sub>2</sub> encore appelé gaz sulfureux.



Le pouvoir calorifique du soufre est de 2205 kcal/kg. Cette valeur est plus faible que celles du carbone et de l'hydrogène. Aussi la présence de soufre dans un combustible a pour conséquence d'en diminuer le pouvoir calorifique.

Si l'oxygène est en excès, il se forme un peu de trioxyde de soufre



Qui, en présence d'humidité, donne de l'acide sulfurique



La formation du SO<sub>3</sub> est d'autant plus importante qu'il y a d'oxygène en excès, ce qui augmente le risque de formation d'acide sulfurique, cause de corrosion.

Combustion d'un combustible :

a) **Produits de la combustion des hydrocarbures :**

Les combustibles utilisés en usine sont le fuel-gas et le fuel-oil qui sont des mélanges d'hydrocarbures et de composés sulfurés. Les atomes de carbone, d'hydrogène et de soufre constituant ces combustibles conduisent à la formation de gaz carbonique, de vapeur d'eau et de dioxyde de soufre lors de la combustion.

**Hydrocarbures + oxygène  $\longrightarrow$  gaz carbonique + vapeur d'eau + dioxyde de soufre**

Dans un four, l'oxygène utilisé pour la combustion est l'oxygène de l'air. L'air étant composé de 21 % d'oxygène et de 79 % d'azote, il faut des volumes d'air environ 5 fois plus importants que ceux d'oxygène nécessaires à la combustion.

D'autre part, l'azote de l'air introduit dans le four se retrouve dans les fumées (puisque'il ne participe pas à la combustion) contribuant à augmenter le volume de celles-ci.

**Quantités d'air nécessaires et de fumées produites :**

(Quantités stœchiométriques, c'est-à-dire juste nécessaires pour assurer la combustion complète du combustible).

- **Fuel-oil**

Il faut environ 11 Nm<sup>3</sup> d'air pour brûler 1 kg de fuel-oil et les fumées produites occupent un volume d'environ 11 Nm<sup>3</sup>.

Ces 11 m<sup>3</sup> contiennent presque 9 m<sup>3</sup> d'azote.

- **Fuel-gas**

Pour brûler 1 Nm<sup>3</sup> de gaz il faut environ 17 Nm<sup>3</sup> d'air et les fumées occupent un volume de 18 Nm<sup>3</sup> environ.

Ces 18 Nm<sup>3</sup> contiennent presque 14 m<sup>3</sup> d'azote.

Ces volumes exprimée en Nm<sup>3</sup> (c'est-à-dire dans les conditions de pression = 1 atm et température = 0°C) sont importants. Ils le sont bien plus encore dans les conditions réelles de températures de ces fumées.

**Condition nécessaire à la combustion :**

a) **Combustible :**

Les combustibles utilisés en raffinerie sont le fuel-gas et le fuel-oil. Les principales propriétés qui les caractérisent sont :

- Leur pouvoir calorifique (P.C.I.) qui est lié à la  $d$  (densité) pour un fuel-oil et à la densité Schilling pour un fuel-gas
- La viscosité des fuel-oils

La combustion n'a lieu que si le combustible est à l'état vapeur. Pour favoriser la vaporisation du fuel-oil, celui-ci est pulvérisé, c'est-à-dire divisé en fines gouttelettes. Si les gouttelettes obtenues ne sont pas assez fines, le fuel se vaporise mal et ne brûle pas complètement.

La qualité de la pulvérisation obtenue est liée à la viscosité du fuel. Les constructeurs de brûleurs demandent que la viscosité du fuel arrivant au brûleur soit aux environs de 20 centistokes pour assurer une pulvérisation convenable.

La viscosité à 50°C des fuel-oils utilisés en raffinerie étant de l'ordre de 800 cSt, c'est à température plus élevée (130 à 140°C) que la viscosité a la valeur requise. Il faut donc préchauffer le fuel.

Pour les fuels très lourds, une température élevée conduit à un risque de cokage.

- Leur teneur en impuretés telles que :
  - le soufre : dans la combustion le soufre donne du dioxyde de soufre  $\text{SO}_2$ , cause de pollution atmosphérique. Les fuels brûlés en raffinerie peuvent contenir jusqu'à 5 % de soufre
  - le vanadium (dans les fuel-oils). Les composés du vanadium sont des agents de corrosion de la surface extérieure des tubes
  - les particules solides en suspension qui nécessitent la filtration du fuel-oil afin d'éviter l'encrassement du système de pulvérisation

## b) Oxygène :

L'oxygène utilisé pour la combustion dans les fours est l'oxygène de l'air, c'est-à-dire de l'oxygène dilué par des gaz inertes, essentiellement de l'azote.

Composition de l'air sec :

	% Volume
Oxygène	21
Azote + gaz rares	79

Chaque molécule d'oxygène est donc accompagnée d'environ 4 molécules d'azote.

### c) Mélanges air et hydrocarbures :

Pour que la réaction de combustion ait lieu, il faut que les molécules de combustible rencontrent les molécules d'oxygène, celles d'azote ne participant pas à la combustion.

Les éléments favorables à ces rencontres "efficaces" pour la combustion sont :

- la turbulence du mélange air + hydrocarbures assurée par le brûleur
- la présence d'un nombre de molécules d'oxygène plus grand que celui juste nécessaire, c'est-à-dire que l'on introduit dans le four un excès d'air. Cet excès d'air est d'autant plus faible que le brûleur réalise une meilleure turbulence. Avec les brûleurs utilisés classiquement en raffinerie il faut introduire dans le four 1,15 à 1,3 fois la quantité d'air stœchiométrique. On dit que le four fonctionne avec 15 à 30 % d'excès d'air.

- Allumage du mélange "air + hydrocarbures"

La combustion ne se produit ou ne se poursuit que si l'on apporte de l'énergie au mélange "air + hydrocarbures".

Cet apport d'énergie peut être réalisé à l'aide :

- d'une étincelle (allumeur électrique)
- d'un corps chaud (flamme d'une torche, réfractaire chaud)

Dans le brûleur, le gueulard (ou ouvreau) est une pièce de réfractaire qui est portée au rouge par la combustion et rayonne de ce fait de la chaleur sur le mélange air + hydrocarbures qui arrive en permanence, assurant son allumage et entretenant ainsi la combustion.

## Rendement des fours :

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

- les pertes par parois du four sont dues aux imperfections de l'isolation thermique par les matériaux réfractaires. Dans le cas des fours récents de grande puissance thermique elles représentent 1 à 2% de chaleur libérée aux brûleurs.

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

- les pertes par les fumées qui évacuent à l'atmosphère un débit de chaleur relativement important représentant en général entre 5 et 20% de celui qui est libérée aux brûleurs.

Le bilan thermique du four s'exprime :

$$Q_{\text{entrées}} = Q_{\text{absorbée}} + Q_{\text{fumées}} + Q_{\text{parois}}$$

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

$$\text{rendement (\%)} = \eta = \frac{Q_{\text{absorbée}}}{Q_{\text{entrées}}} \times 100$$

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

$$Q_{\text{absorbée}} = Q_{\text{entrées}} - Q_{\text{fumées}} - Q_{\text{parois}}$$

L'expression du rendement devient :

$$\begin{aligned} \text{rendement } \eta (\%) \\ = \frac{Q_{\text{entrées}} - Q_{\text{fumées}} - Q_{\text{parois}}}{Q_{\text{entrées}}} \times 100 \end{aligned}$$

$$\eta (\%) = 100\% - \% \text{pertes fumées} - \% \text{pertes parois}$$

Calcul du rendement :

Calcul du rendement d'un four à pulvérisation mécanique sans vapeur :

(Toutes les relations suivantes sont prises du cours de l'IFP institut français du pétrole)

① Chaleur emportée par les fumées :

Poids des fumées de fuel :

$$P_{\text{fumée F}} = \left[ 1 + (1 + e) \frac{137,5 + 412H/C}{12 + 12H/C} \right] CF \quad ①$$

Poids des fumées de gaz :

$$P_{\text{fumée G}} = \left[ 1 + (1 + e) \left( \frac{1,36}{dG} + 14,75 \right) \right] CG \quad ②$$

Chaleur emportée par les fumées QF

$$QF = (P_{\text{fumée G}} + P_{\text{fumée F}}) C_p \Delta T \quad ③$$

C<sub>p</sub> : chaleur sensible des fumées

Chaleur emportée par le fluide à chauffée Qs :

$$QS = m C_p \Delta T \quad ④$$

m : débit du fluide

C<sub>p</sub> : chaleur sensible du fluide

ΔT : différence de température entre l'entrée et sortie de four

Chaleur de vapeur emportée dans les fumées Q<sub>ve</sub>

$$QVE = i \times CF \frac{7,77 TF + 1,38 \cdot 10^{-3} TF^2}{18} \quad ⑤$$

② Air :

Poids d'air nécessaire à la combustion du fuel en T/j :

$$\mathbf{PAF = CF (1 + e) \frac{137,5 + 412 \text{ H/C}}{12 + 12 \text{ H/C}}} \quad \textcircled{6}$$

Poids d'air nécessaire à la combustion du gaz en T/j :

$$\mathbf{PAG = CG (1 + e) \left( \frac{1,36}{dG} + 14,75 \right)} \quad \textcircled{7}$$

Calcul de la chaleur entrante  $Q_e$  :

▪ chaleur sensible entrante du combustible  $Q_c$  :

$$\mathbf{Q_c = (CF \times 0,5 \text{ TF}) + (CG \times 0,5 \text{ TG})} \quad \textcircled{8}$$

▪ chaleur sensible entrante de l'air  $Q_a$  :

$$\mathbf{QA_F = PAF \frac{32,46 \text{ TA} + 4,048 \cdot 10^{-3} \text{TA}^2 - 4,058 \cdot 10^{-7} \text{TA}^3}{137,5}} \quad \textcircled{9}$$

$$\mathbf{QA_G = PAG \frac{32,46 \text{ TA} + 4,048 \cdot 10^{-3} \text{TA}^2 - 4,058 \cdot 10^{-7} \text{TA}^3}{137,5}} \quad \textcircled{10}$$

Alors :  $\mathbf{QA = QA_G + QA_F}$

Chaleur libérée par le combustible  $Q_L$  :

$$\mathbf{QL_F = CP \times PCI_F}$$

$$\mathbf{QL_G = CP \times PCI_G}$$

Chaleur sensible entrante de la vapeur d'atomisation  $Q_v$  :

$$\text{Poids de vapeur d'atomisation} = \mathbf{i * CF}$$

On prend en général  $\mathbf{i=0,35}$

$$\mathbf{QV = i \times CF \frac{7,77 \text{ TV} + 1,38 \cdot 10^{-3} \text{TV}^2}{18}}$$

Tv : température de vapeur

$$\rightarrow QE = QC + QA + QL + QV$$

**Rendement :**

$$\text{rendement brut} = \eta = \frac{Q_{\text{absorbée}}}{QE} \times 100 = 78,86\%$$

**Paramètres dont dépend le rendement d'un four :**

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

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

**Possibilités et limites à l'amélioration du rendement d'un four :**

L'expression indirecte du rendement montre que celui-ci est affecté par des pertes de deux natures :

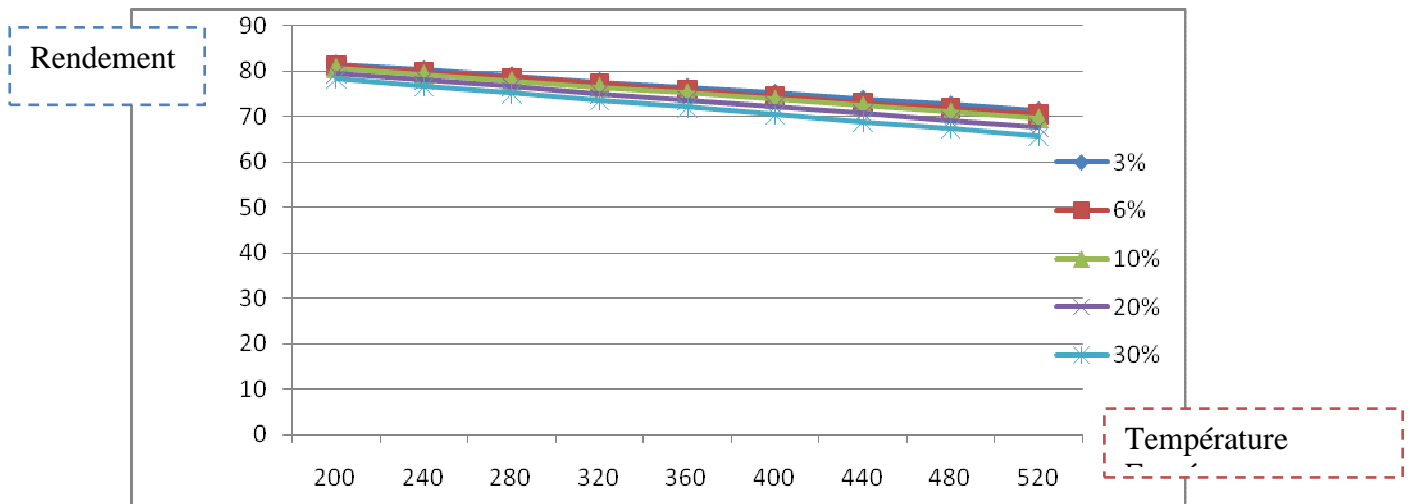
- Pertes aux fumées.
- Pertes aux parois.

L'amélioration du rendement repose sur la réduction de ces pertes.

Réduction des pertes aux fumées :

Variation du rendement en fonction de la température des fumées





**On remarque qu'à excès d'air constant, un abaissement de la température des fumées de 20°C améliore le rendement de 1%.**

**Cette augmentation est plus importante si l'excès d'air est minimum.**

**Alors l'amélioration du rendement consiste sur la réduction des températures des fumées.**

### Réduction de l'excès d'air :

Cette réduction permet l'économie de combustible utilisé pour réchauffer l'air en excès de la température ambiante à la température des fumées.

Elle rencontre cependant comme limite l'apparition d'imbrûlés dans les fumées auxquels correspondent :

- une perte de chaleur de combustion.
- un encrassement de la zone de convection réduisant son efficacité.
- un risque de postcombustion des imbrûlés présentant un danger pour le personnel et le matériel.

Les équipements de contrôles permettant d'apprécier l'apparition d'imbrûlés aux fumées sont :

- l'opacimètre, dans le cas de combustibles liquides.
- l'analyseur de CO dans le cas de combustible gazeux.

La réduction de l'excès d'air peut toutefois être obtenue :

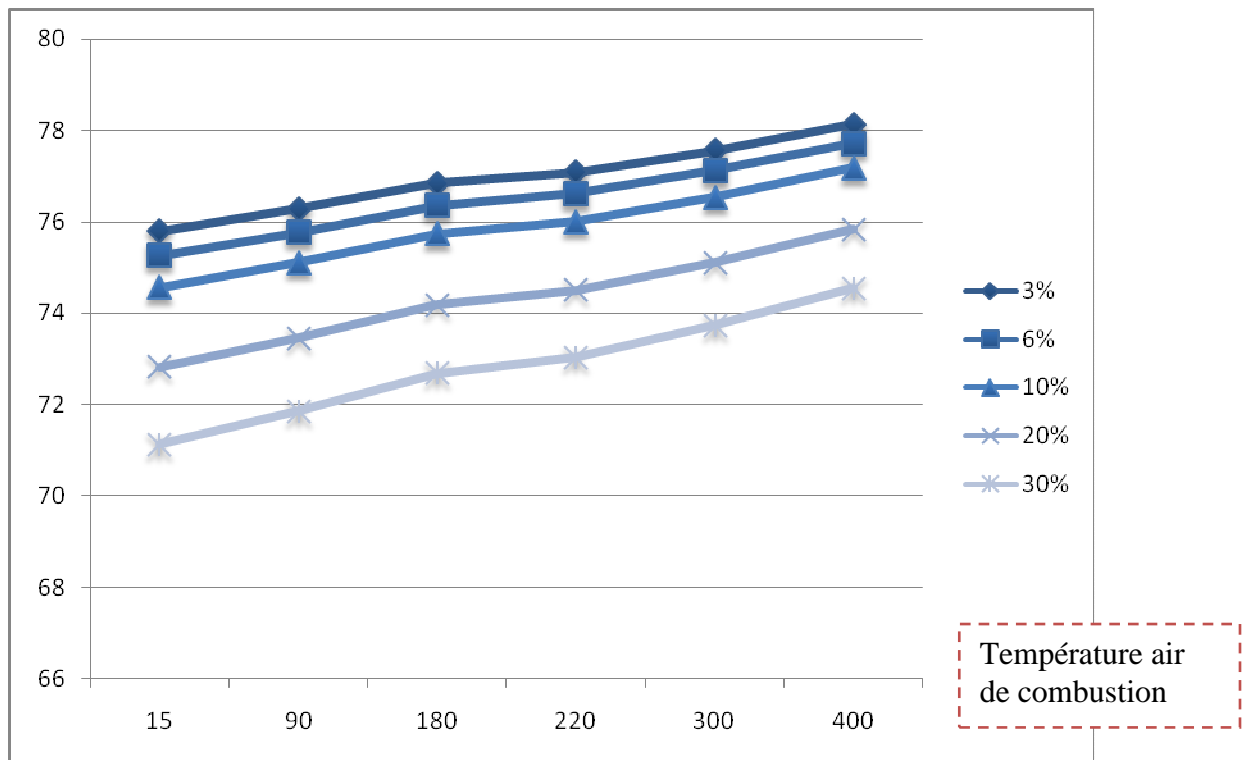
- en utilisant des brûleurs soignés réalisant un bon mélange de l'air et du combustible, en particulier, par la turbulence de l'écoulement imposé à l'air, celui-ci étant nécessairement admis sous pression
- en utilisant de l'air chaud préchauffé qui favorise la combustion.

Enfin, si la température de rejet des fumées est basse, la recherche de la combustion à bas excès d'air présente un intérêt limité.

Dans le cas de brûleurs à air pulsé, l'air étant admis par un ventilateur, son débit peut être réglé par action sur les vannes à l'aspiration du ventilateur ou dans les gaines d'air au refoulement et être asservi au débit de combustible.

Variation du rendement du four en fonction de la température de l'air de combustion :

Rendement



**L'augmentation de la température de l'air de combustion augmente le rendement.**

→ Ceci a des avantages économiques.

#### Réduction des pertes aux parois :

Ces pertes peuvent être réduites par l'accroissement de l'isolation thermique. Cependant, leur niveau actuel étant faible (1 à 3%) l'intérêt économique de cette solution est relativement limité.

#### Autre méthode de calcul du rendement du four :

L'évaluation des performances d'un four nécessite la connaissance et la maîtrise des flux entrants et sortants (matières et chaleurs).

C'est dans ce but que nous allons procéder à un bilan thermique du four H101 dans sa marche actuel :

Le flux de chaleur entrant  $Q_e$  est la somme du flux suivant :

- flux de chaleur du combustible :

$$Q_{comb} = Q_{fo} + Q_{fg}$$

Chaleur apportée par le combustible du fuel Oil :

$$Q_{fo} = PC_{ifo} * D_{fo} + C_p * D_{fo} * (T_{en} - T_{ref})$$

$PC_{ifo}$ : pouvoir calorifique inférieure du fuel oil en Kcal/Kg

$C_p$  : chaleur spécifique du fuel oil en Kcal/Kg °C

$D_{fo}$  : débit du fuel oil en KG/h

$T_{en}$  : température d'entrée du fuel oil en Kelvin

$T_{ref}$  : température de référence (=293K)

Chaleur apportée par le combustible du fuel gaz :

$$Q_{fg} = PC_{ifg} * D_{fg} + C_p * D_{fg} * (T_{en} - T_{ref})$$

$PC_{ifg}$ : pouvoir calorifique inférieure du fuel gaz en Kcal/kg

$C_p$  : chaleur spécifique du fuel gaz en Kcal/Kg°C

$D_{fg}$  : débit du fuel gaz en KG/h

$T_{en}$  : température d'entrée du fuel gaz en kelvin

$T_{ref}$  : température de référence du fuel gaz(=293K)

Chaleur totale de l'air :

$$Q_{air} = C_p * D_{air} * (T_{en_{air}} - T_{ref})$$

$C_{p_{air}}$  : chaleur spécifique de l'air en cal/kg.K

$D_{air}$  : débit massique de l'air en Kg/h

$T_{en_{air}}$  : température d'entrée de l'air en kelvin

$T_{ref}$  : température de référence de l'air (=20°C)

Chaleur totale de vapeur d'atomisation :

$$Q_{vap} = D_{vap} * (H_{vap} - H_{ref})$$

$D_{vap}$  : débit de la vapeur d'atomisation en Kg/h

$H_{vap}$  : enthalpie de la vapeur d'atomisation à la température  $T_{vap}$  en KJ/Kg

$H_{ref}$  : enthalpie de la vapeur d'atomisation à la température  $T_{amb}$  en KJ/Kg

$$\rightarrow Q_{entrée} = Q_{comb} + Q_{vap} + Q_{air}$$

La quantité de chaleur absorbée par le produit :

$$Q_a = C_{p_{pdt}} * D_{pdt} * (T_{s_{pdt}} - T_{e_{pdt}}) + D_{pdt \text{ vap}} * L_v$$

$C_{p_{pdt}}$  : chaleur spécifique de l'huile chaude en Kcal/Kg°C

$D_{pdt}$  : débit massique de l'huile chaude en Kg/h

$T_{s_{pdt}}$  : température de sortie de l'huile chaude en kelvin

$T_{e_{pdt}}$  : température d'entrée de l'huile chaude en kelvin

$L_v$  : chaleur latente de l'huile en Kcal/Kg

La quantité de chaleur perdue par parois :

$$Q_{\text{parois}} = 2\% Q_{\text{entrée}}$$

La quantité de chaleur perdue par fumées :

$$Q_f = D_f * C_{p_f} * (T_f - T_{\text{ref}})$$

$C_{p_f}$  : chaleur spécifique apportée par les fumées en Kcal/Kg°C

$D_f$  : débit fumées Kg/h

$T_f$  : température des fumées en kelvin

Calcul du débit des fumées :

$$D_f = (D_{fo} + D_{fg}) * V_{f_{\text{humide}}} * \gamma_f$$

Calcul du pouvoir comburivore :

$$(V_{\text{air}}^{\text{sto}})_{\text{oil}} = \left( \frac{C\%}{M(C)} + \frac{1}{2} * \left( \frac{H\%}{M(H)} + \frac{S\%}{M(S)} - \frac{O\%}{M(O)} \right) \right) * (V_m / 21)$$

$$(V_{\text{air}}^{\text{sto}})_{\text{gaz}} = (V_m / 21) * \left( \frac{H_2\%}{M(H_2)} + D(n + (m/4)) * \frac{C_n H_m}{M(C_n H_m)} + \frac{3}{2} * \frac{H_2 S}{M(H_2 S)} \right)$$

Donc la quantité d'air stœchiométrique totale de la combustion est définie par :

$$(V_{air}^{sto})_{totale} = ((V_{air}^{sto})_{oil} * D_{oil}) + ((V_{air}^{sto})_{gaz} * D_{gaz}) / (D_{oil} + D_{gaz})$$

Calcul du pouvoir fumigène:

$$(V_f^{sto})_{oil} = ((C\%/M(C)) + (S\%/M(S)) + (N\%/M(N))) * V_m + ((V_{air}^{sto})_{oil} * \% N_2) * (1/100)$$

$$(V_f^{sto})_{gaz} = ((C_n H_m \%)/M(C_n H_m \%)) * V_m + (V_{air}^{sto})_{gaz} \% N_2 * (1/100)$$

La quantité stœchiométrique de fumées totale à la combustion est :

$$(V_f^{sto})_{totale} = ((V_f^{sto})_{oil} * D_{oil}) + ((V_f^{sto})_{gaz} * D_{gaz}) / (D_{oil} + D_{gaz})$$

Calcul de l'excès d'air:

$$E\% = 100 * (w(V_f^{sto})_{totale}) / (Z_{O_2} - w) * (V_{air}^{sto})_{totale}$$

Avec :

W: teneur d'oxygène dans les fumées

Z<sub>O<sub>2</sub></sub> : la quantité d'oxygène dans l'air

Volume des fumées sèches :

$$V_{f,sèches} = (V_f^{sto})_{totale} + (V_{air}^{sto})_{totale} * (e\%/100), \text{ avec } e : \text{excès d'air}$$

Volume des fumées humides :

$$V_{f,humide} = V_{f,sèches} + V_{H_2O}$$

Avec :

$$V_{H_2O} = V_m * (H\%/2M(H)) + (1/\&) * (H\%/100) + ((\Phi(m/2)) * ((C_n H_m \%)/100))$$

$$\rightarrow \mu = (Q_{abs}/Q_{entrée}) * 100$$

### Résultat du calcul du bilan thermique :

Les caractéristiques des matières entrante et sortante sont données dans le tableau suivant :

	Notation	Valeur ( Kcal/h)
Fuel oil	$Q_{fo}$	17,5 E6
Fuel gaz	$Q_{fg}$	13,03E6
Vapeur d'atomisation	$Q_{vap\ at}$	189,06E3
L'air carburant	$Q_{air}$	6490,8
Quantité entrante	$Q_{entrée}$	30,72E6

Les quantités de chaleur entrante dans le four

	Notation	Valeur (Kcal/h)
Absorbé par l'huile	$Q_{abs}$	6,15 E6
Perte par parois	$Q_{parois}$	614,4 E3
Perte par fumées	$Q_f$	6,20E6
Quantité sortante	$Q_{sortante}$	12964400

Les quantités de chaleur sortante dans le four

Rendement du four H101 :

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

☛ Pertes par les parois du four sont dues aux imperfections de l'isolation thermique par les matériaux réfractaires. Elles représentent 1 à 2% de chaleur libérée par les brûleurs, dans notre cas 2%.

☛ Les pertes par les fumées, qui évacuent à l'atmosphère un débit de chaleur relativement important représentant en général

Entre 5 à 20% de celui qui est libérée aux brûleurs.

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

$$\mu = (Q_{\text{abs}} / Q_{\text{entrée}}) * 100$$

$$\mu = ((Q_{\text{entrée}} - Q_f - Q_{\text{parois}}) / Q_{\text{entrée}}) * 100$$

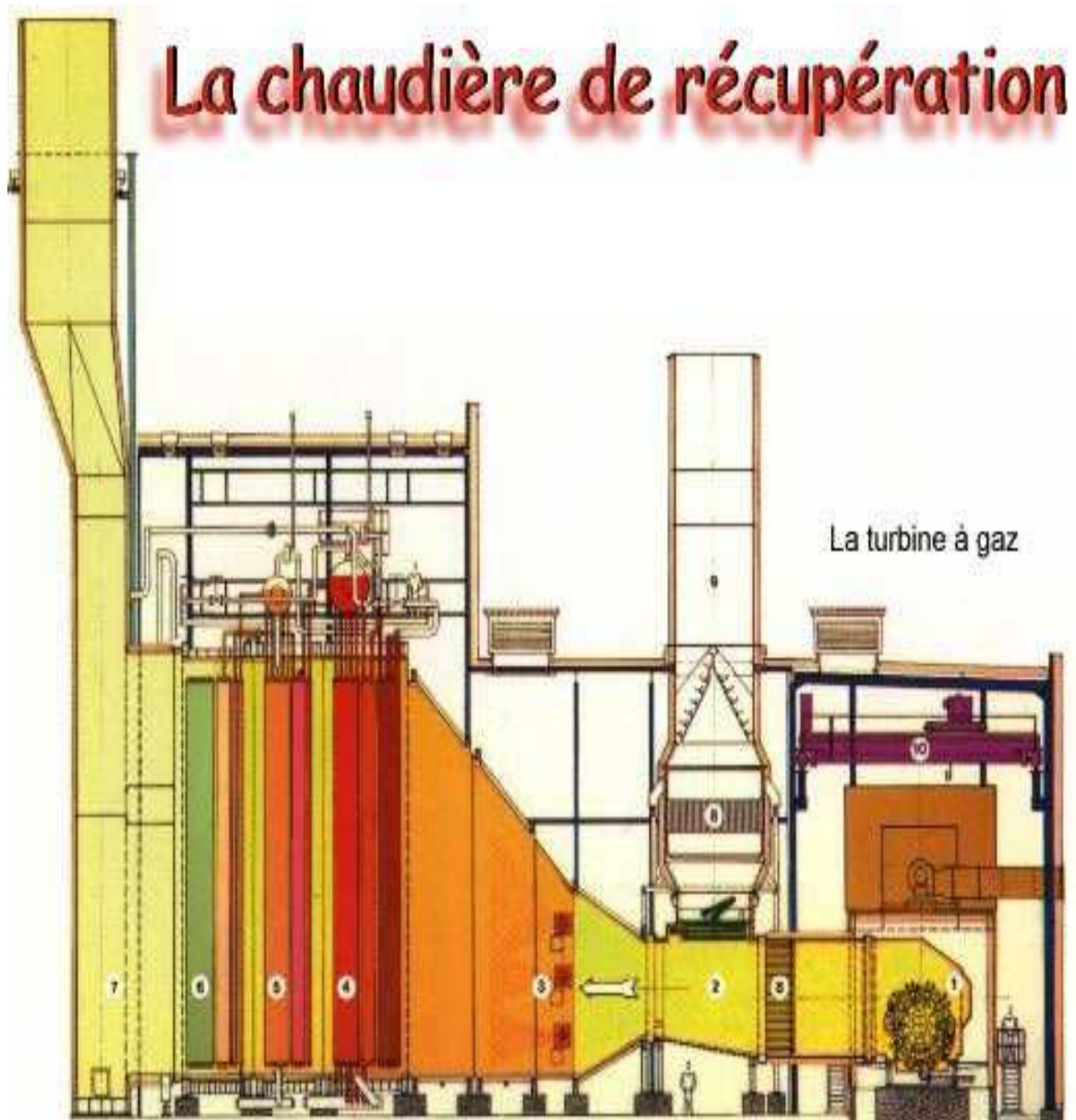
$$\mu = 78,07\%$$



# **Chapitre 4 : les technologies d'amélioration du rendement du four**

## **Les technologies d'amélioration du rendement du four :**

### **1-Chaudière de récupération :**



La chaudière de récupération utilise la chaleur des gaz d'échappement de la turbine à gaz. Cette chaleur va servir à réchauffer l'eau d'un réseau de chauffage urbain. Elle permet également de produire de la vapeur d'eau, qui sert à produire de l'électricité. Elle est énorme, on se sent tous petit à côté et il fait chaud.

### Ramoneurs :

Pour conserver le rendement de la récupération de chaleur sur les fumées, il est nécessaire d'entretenir l'état de propreté des surfaces d'échange. La mise en place de surfaces

étendues (ailettes ou picots) rend possible l'accumulation de suies lors de brûlage de combustibles liquides.

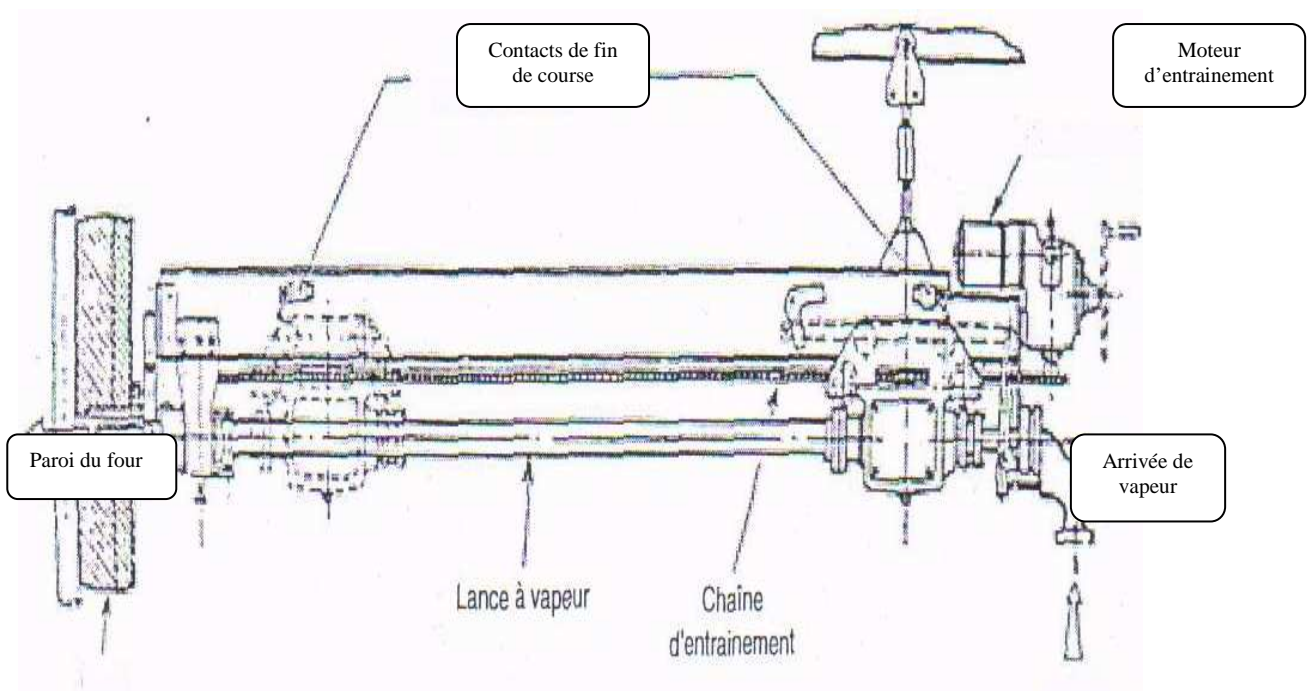
La méthode classique utilisée pour éliminer ces dépôts repose sur le soufflage des suies par un jet de vapeur.

Cela peut être réalisé par des lances équipées de nombreux orifices, placées à demeure dans la zone de confection et par lesquelles est injecté périodiquement de la vapeur moyenne pression.

Ces lances peuvent encore être rétractiles et ne pénétrer dans la zone de convection que lors des injections de vapeur. Elles ne comportent alors que deux orifices d'injection et pénètrent en tournant dans la zone de convection entraînées par un mécanisme extérieur, un contact de fin de course inversant le déplacement de la lance en fin de trajet.

Ce dernier type évite de laisser en place dans les fumées chaudes les lances en dehors des cycles de ramonage et ont une efficacité plutôt supérieure dans la mesure où le nombre d'orifice d'injection étant limité, le jet de vapeur est plus concentré sur les surfaces à nettoyer.

Le schéma ci-dessous en montre un exemple.



### **Ramoneur**

L'efficacité des souffleurs de suie est malgré tout limitée puisque les tubes concernés protègent leurs voisins de l'impact du jet de vapeur (on ne peut guère espérer atteindre plus de 3 rangées de tubes au-dessus et au-dessous de la lance). Cela conduit à la mise en place d'un

grand nombre de ramoneurs et par suite à une consommation de vapeur relativement importante (environ 300 kg de vapeur par ramoneur et par cycle).

Les cycles de ramonage sont d'une fois par quart à une fois par jour.

Une technique plus récente fait appel à l'émission d'infrasons par un tube de résonance. Cette technique plus efficace (puisque les sons se propagent dans toute la zone de convection) dans la mesure où les zones ne sont pas trop amorties par la géométrie du four et peu onéreuse (absence de consommation de vapeur) est mise en œuvre avec une très grande fréquence (un cycle de 2 minutes tous les quarts d'heure, par exemple).

Un nettoyage mécanique ou chimique de l'extérieur des tubes est également possible avec des fréquences variables (1 fois/trimestre).

## 2-Les brûleurs :

### Différents types de brûleurs :

- **Brûleurs à air induit** (tirage naturel)

Il s'agit ici des brûleurs les plus simples. Le débit d'air nécessaire à la combustion est assuré par la différence de pression régnant à la sole du four. Cette dépression de l'ordre de 20 mm de colonne d'eau ne permet d'assurer qu'un faible débit d'air et donc un faible débit de combustible. Ce mode de tirage limite la puissance thermique des brûleurs et conduit à en prévoir un grand nombre par four. La technologie simple et robuste les rend fiables mais ils ne permettent pas d'accéder à de faibles excès d'air. Ils ont par ailleurs l'inconvénient d'être bruyants, ce qui conduit parfois à l'installation de caissons isolants.

- **Brûleurs à air pulsé** (tirage forcé ou air soufflé)

Ils utilisent une circulation forcée de l'air assurée par une ventilation. La différence de pression de part et d'autre du brûleur peut atteindre 150 à 200 mm C.E., ce qui permet d'accéder à d'importants débits d'air et donc de combustibles (jusqu'à plusieurs tonnes de combustibles par heure).

Ils peuvent comprendre des organes de distribution d'air complexes (rosace, rondelles de balayages...) et, associés à un mode de pulvérisation performant, permettent d'assurer une combustion correcte avec des excès d'air de l'ordre de 5 %.

- **les brûleurs à fuel :**

Si le fuel est utilisé comme combustible, il est nécessaire de le briser en fines particules avant qu'il sorte au nez du brûleur. Cette opération, appelée **atomisation** est

réalisée en combinant le fuel à de la vapeur d'eau sous pression (18 bar). Elle est rendue possible par la technologie particulière des brûleurs.

Cette pulvérisation préalable peut être réalisée suivant 3 modes :

- ✓ **pulvérisation mécanique** : c'est le procédé mis en œuvre le plus simple et le moins cher à l'installation.

L'énergie nécessaire à la pulvérisation du combustible est assurée par sa pression qui devra être élevée : 30 à 35 bars.

A l'extrémité de la canne amenant le combustible se trouve le couple " Pastille-Diffuseur" qui assure la pulvérisation.

Le diffuseur met le fuel en rotation, l'injection du combustible s'effectuant par des canaux répartis tangentiellement à une chambre interne. La pastille limite le débit et génère un cône de pulvérisation. "Pastille" et "Diffuseur" sont assortis de manière à obtenir le débit de combustible et l'angle de jet désirés.

- ✓ **Pulvérisation vapeur** :

Il n'y a plus dans ce cas de diffuseur; c'est la vapeur MP (10 à 18 bar) qui fournit l'énergie nécessaire à l'atomisation du combustible. La pression du combustible est variable de 1 à 12 bars suivant la régulation de la chauffe et la vapeur est maintenue en général à une pression supérieure de 1 à 2 bars à celle du combustible

- ✓ **Pulvérisation mécanique avec assistance vapeur** :

L'énergie nécessaire à l'atomisation du combustible est issue :

- du combustible (pulvérisation mécanique).
- de la vapeur BP (2 à 4 bars) d'assistance.

La pression du combustible est variable et dépend de la charge du four alors que la pression de la vapeur est maintenue constante.

C'est le mode de pulvérisation le plus employé car il permet d'accéder à un faible excès d'air de l'ordre de 10 à 15 % et produit peu d'imbrûlés.

Dans le cas d'utilisation de brûleur à fuel à pulvérisation, il est nécessaire de filtrer le combustible pour éviter l'encrassement, le colmatage et l'érosion des pastilles et diffuseurs et également protéger le matériel de régulation et de comptage.

- **Brûleurs à gasoline**

Le fonctionnement est pratiquement identique au brûleur à fuel, seule la pression différentielle vapeur-combustion est réduite à 0,6 b

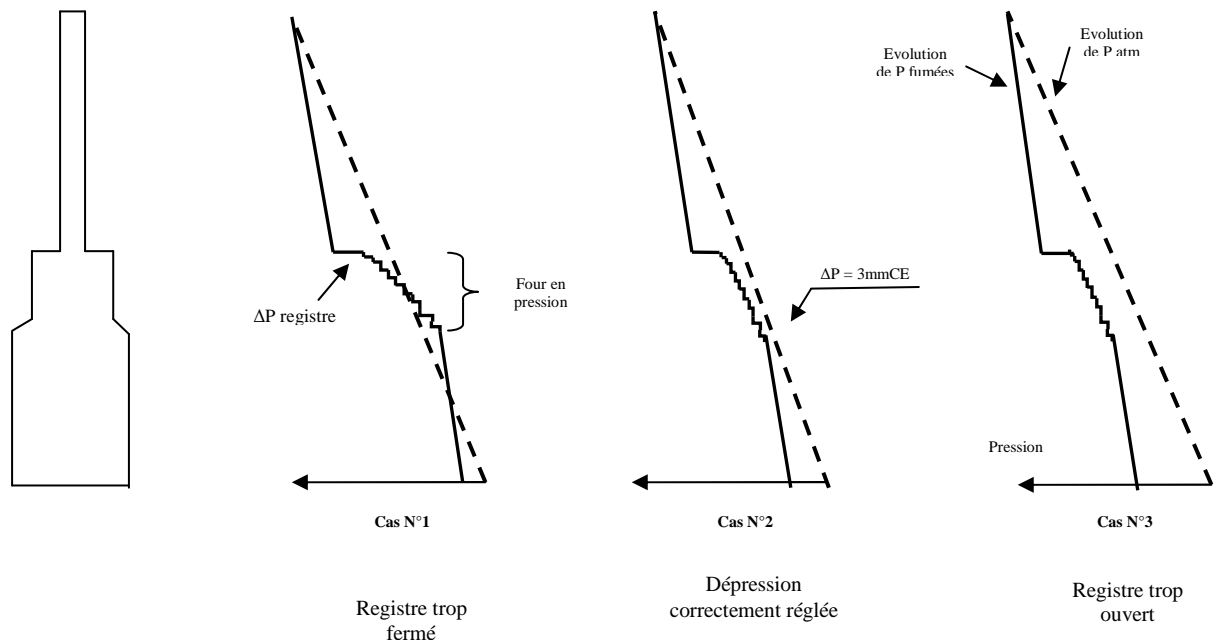
- **Brûleurs mixtes**

Cette sorte de brûleurs permet de faire fonctionner simultanément le fuel et le gaz. Un soutien de chauffe au gaz favorise la combustion du fuel lourd, notamment au démarrage et apporte un élément supplémentaire de sécurité dans la chauffe à l'essence.

**Circulation des fumées dans un four-tirage :**

La circulation des fumées des brûleurs à la cheminée, au travers des différentes surfaces d'échange de chaleur avec les produits à chauffer dans le four, peut être naturelle - c'est-à-dire sans aucun dispositif mécanique - ou au contraire assurée par un ventilateur d'extraction.

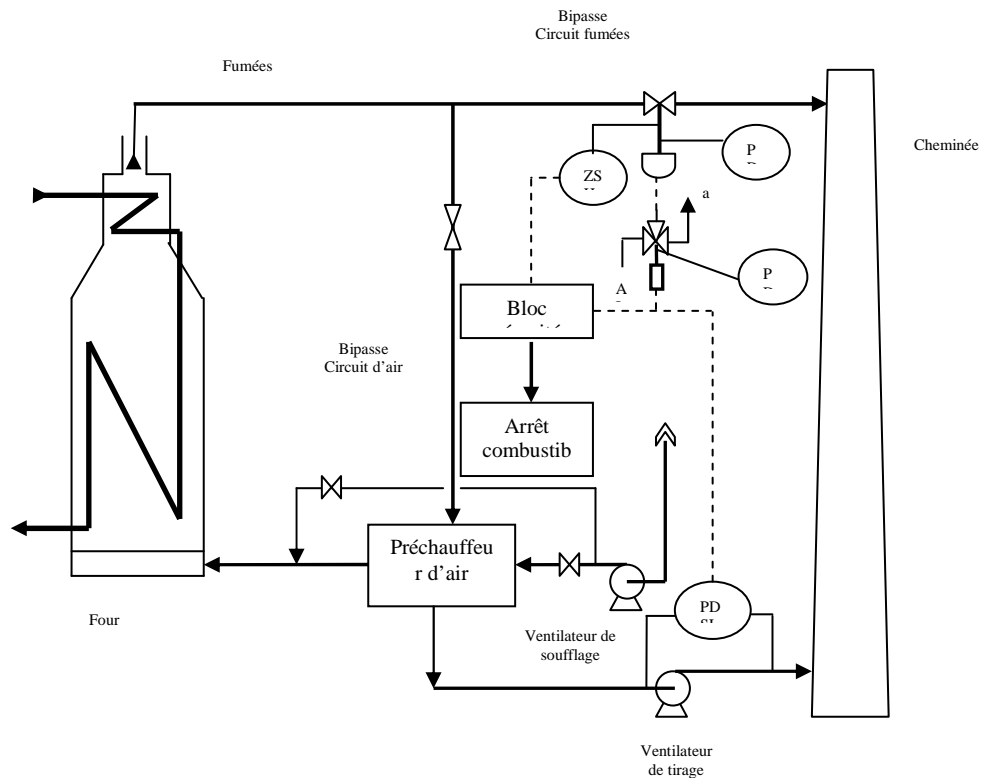
- **Tirage naturel :** La circulation naturelle des fumées, ou le tirage naturel, est obtenue par la simple présence de la cheminée du four qui crée à sa base une dépression permettant l'aspiration des fumées de la chambre de combustion au travers de la zone de convection.



### **3-Tirage forcé**

Lorsque les zones de récupération de chaleur sur les fumées sont plus complexes (zone de convection importante, préchauffage de l'air de combustion par les fumées), le tirage

naturel est insuffisant pour assurer seul la circulation des fumées. La présence d'un ventilateur de tirage ou d'extraction des fumées conduit alors à parler de tirage forcé.



## Conclusion:

Rappelons que pendant notre période de stage nous étions amenés à faire le calcul du rendement du four DSV H101. Cela a été fait par deux méthodes différentes et les deux convergeaient vers le même résultat, en plus de ce calcul était validé par le service énergétique au sein de l'entreprise de la SAMIR.

On a constaté que beaucoup de solutions pourraient être appliquées afin d'améliorer encore le rendement.



## Bibliographie :

Cours d'institut français du pétrole  
British Petroleum  
IFP training 2010