

Université Mohamed 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 vérification et de stabilité de la colonne de distillation
atmosphérique C101**

Réalisé par :

KHELLAL Walid

suivi par :

Mr.KHELIFI TOUHAMI M.S

Devant le jury :

Président de jury : Mr. ZEMMOUR N

Examineur : Mr. BETTAYEB M

Examineur : Mr. HALIMI D



Remerciement

*En premier lieu, Je tiens à remercier notre DIEU "Allah", notre créateur
pour m'avoir donné la force pour accomplir ce travail.*

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tous mes professeurs qui ont
contribués à ma formation et qui n'ont pas hésité de nous donner plus.*

J'adresse mes vifs remerciements à mon promoteur

***Mr. Khefifi touhami** Pour m'avoir diligenté tout au long de ce travail, pour sa
compréhension, patience, compétence, et remarques qui m'ont été précieuses...*

(Que dieu vous bénisse).

*Mes remerciements également à tout le personnel de la raffinerie d'Alger
pour leur accueil et particulièrement **MR BENFEKHADOU Zinne Eddine***

*Mes derniers remerciements et ce ne sont pas les moindres, vont à tous ceux qui
ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.*





Dédicaces

Grâce à Dieu, ce mémoire a été réalisé.

C'est avec une très grande joie que je dédie ce travail à :

-Mes très chers parents qui m'ont donné la vie, l'espoir, l'amour et m'ont soutenu durant mes études.

Que dieu m'aide à leur rendre un peu de tout ce qu'ils ont fait pour moi.

-A tous ceux qui m'ont encouragé pendant les moments les plus difficiles.

-A mes frères et mes précieuses sœurs.

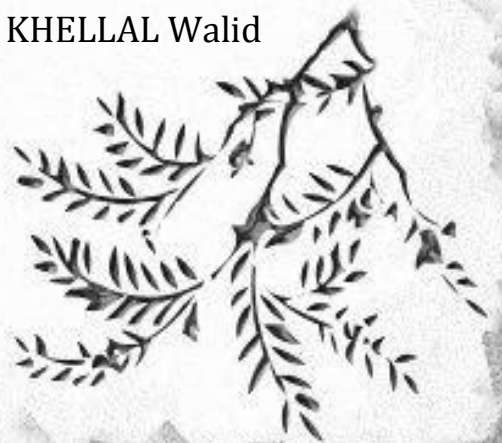
-A toute la famille KHELLAL .

-A tous mes amis : Yacine, Saad, Djaber Yacoub , Nazym, Lotfi, Rahim, Ismail, Kada, Hmed, Adel, Ayoub ,Mohamed et tous les amis proches.

-A BENFEKHADOU Zinne Eddine

-A mes collègues de toutes mes années estudiantines et surtout la MAUP11.

KHELLAL Walid



I.1	INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : DESCRIPTION DU LIEU DE STAGE		
I.1	INTRODUCTION	2
I.2	SITUATION GEOGRAPHIQUE	2
I.3	HISTORIQUE	3
I.4	RECEPTION DU BRUT	4
I.5	PRINCIPALES INSTALLATIONS	4
I.6	PROGRAMME DE REHABILITATION DE LA RAFFINERIE D'ALGER	8
CHAPITRE II : UNITE DE DISTILLATION ATMOSPHERIQUE U100		
II.1	INTRODUCTION	11
II.2	UNITE TOPPING U100	11
II.3	LA COLONNE DE DISTILLATION C101	13
II.4	LES CIRCUITS DE BRUT POUR L'OBTENTION DES FRACTIONS	13
II.4.1	Cercuit prechauffe	13
II.4.2	Cercuit residu	14
II.4.3	Cercuit distillat	15
II.4.4	Cercuit gazoil léger.....	15
II.4.5	Cercuit kerosene	15
II.4.6	Circuit solvant lourd.....	15
II.4.7	Circuit essence total.....	15
II.4.8	Les ballons de tête	16
CHAPITRE III : GENERALITES SUR LES COLONNES		
III.1	INTRODUCTION	17
III.2	DEFINITION DE LA DISTILLATION	17
III.3	DESCRIPTION DE LA COLONNE DE DISTILLATION.....	18
III.4	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	19
III.5	CONDITION DE FONCTIONNEMENT.....	20
III.6	DETAILS DE LA CONSTRUCTION	20
III.7	TYPES DE COLONNE DE DISTILLATION.....	24
III.6.1	Colonne à plateaux	24
III.6.2	Colonne à garnissage.....	33
CHAPITRE IV : CALCUL DE VERIFICATION		
IV.1	INTRODUCTION	40
IV.2	DONNEES DE DEPART.....	40
IV.3	CALCUL DE RESISTANCE DE LA COLONNE.....	41



IV.3.1	Epaisseur de la virole.....	41
IV.3.2	Epaisseur de la paroi des fonds	48
IV.3.1	Verification de résistance de l'appareil lors de l'essai hydraulique	50
IV.4	CALCUL DE STABILITE.....	53
IV.4.1	Calcul de moment fléchissant.....	54
IV.4.2	Vérification de la stabilité de l'équipement.....	60
IV.4.3	Vérification de l'épaisseur de l'anneau de base.....	60
IV.4.4	Vérification de la nécessité de l'ancrage.....	62
IV.4.5	Calcul des boulons d'ancrage.....	62
IV.4.6	Résistance de la fondation	64
IV.4.7	La stabilité de la jupe.....	65
 CHAPITRE V : MAINTENANCE ET SECURITE		
V.1	GENERA LITES SUR LA MAINTENANCE.....	66
V.1.1	DEFINITION	66
V.1.2	OBJECTIF DE LA MAITENANCE.....	66
V.1.3	LES DIFFERENES FORMES DE MAINTENANCE.....	66
V.1.3.1	La maintenance corrective.....	66
V.1.3.2	La maintenance préventive.....	67
V.1.4	INSPECTION ET REPARATION DE LA COLONNE	69
V.1.5	ESSAI HYDRAULIQUE.....	75
V.1.6	MISE EN PLACE DE LA COLONNE.....	78
V.2	SECURITE DANS LA RAFFINERIE.....	81
V.2.1	INTRODUCTION	81
V.2.2	DEFINITION DE LA SECURITE.....	81
V.2.3	SECURITE DANS LE DOMAINE DES HYDROCARBURES.....	81
V.2.4	SECURITE AU NIVEAU DE LA RAFFINERIE	84
CONCLUSION		87
BIBLIOGRAPHIE		

e : Epaisseur en [mm]

P : Pression en [MPa]

D, d : Diamètre en [mm]

φ : Coefficient de diminution de résistance dû au soudage

σ : Contrainte en [MPa]

n : Coefficient de sécurité

t : Température en [°C]

y : Facteur de la forme

H : Hauteur en [mm]

S : Surface/ section en [m²] ou [mm²]

Q : Charge en [N]

W : Module de la section [m³] ou [mm³]

M : Moment fléchissant en [N.m] ou [N.mm]

β : Coefficient d'augmentation de la poussée spécifique

q : Poussé spécifique du vent en [Kg/m²]

R_e : Nombre de Reynold

V : Vitesse en [m/s]

E : Module de Young en [MPa] / [m⁴]

ρ : Masse volumique en [Kg/m³]

e : Epaisseur en [mm]

P : Pression en [MPa]

D, d : Diamètre en [mm]

φ : Coefficient de diminution de résistance dû au soudage

σ : Contrainte en [MPa]

n : Coefficient de sécurité

t : Température en [°C]

y : Facteur de la forme

H : Hauteur en [mm]

S : Surface/ section en [m²] ou [mm²]

Q : Charge en [N]

W : Module de la section [m³] ou [mm³]

M : Moment fléchissant en [N.m] ou [N.mm]

β : Coefficient d'augmentation de la poussée spécifique

q : Poussé spécifique du vent en [Kg/m²]

R_e : Nombre de Reynold

V : Vitesse en [m/s]

E : Module de Young en [MPa] / [m⁴]

ρ : Masse volumique en [Kg/m³]

L'énergie occupe une place primordiale dans le développement économique mondial. Les sciences et les progrès techniques ont permis à l'homme de découvrir de nouvelles ressources énergétiques à savoir tous les produits à vocation énergétique dont nous citons : le pétrole et le gaz naturel ; seuls capables de répondre à l'accroissement des besoins en énergies.

L'industrie de raffinage en Algérie est gérée par la société nationale «SONATRACH », qui met en œuvre des techniques de traitements ou procédés qui permettant d'obtenir à partir des pétroles brutes tout un éventail de produits finis prête à la commercialisation.

Le raffinage de pétrole est constitué par des principaux équipements rencontrés en raffinerie ; le procédé de distillation ou « Topping » se trouve le premier dans un schéma d'une raffinerie, car il alimente les autres unités par une série de fractions élémentaires qui seront traitées ultérieurement pour l'obtention des produits commerciaux.

L'équipement le plus important dans l'unité de « Topping » de la raffinerie d'ALGER est la colonne de distillation atmosphérique C101. Cette colonne permet de fractionner le pétrole brut en une série de coupes ou de fractions en fonction des températures d'ébullition des hydrocarbures qui les composent, du plus léger (gaz) au plus lourd (résidu atmosphérique).

Notre projet de fin d'étude consiste à faire un calcul de vérification de la résistance de la colonne de distillation atmosphérique (C101) pendant leur fonctionnement normal et pendant l'essai hydraulique. Cela nous mène à comparer entre les résultats du cas actuel de la marche et le cas donné suivant les normes.

Pour cela le présent mémoire se compose de quelques chapitres qui touchent :

- Une généralité sur la raffinerie d'ALGER et description de leur processus.
- La description de la colonne de distillation atmosphérique (C101) et ces conditions de fonctionnement.
- Le calcul de vérification de la résistance de la colonne (C101).
- La maintenance de la colonne (C101).
- La sécurité générale dans la raffinerie d'Alger.

I. Présentation de la raffinerie d'Alger

I.1. Introduction :

La raffinerie d'Alger c'est le premier important complexe construit en Algérie, elle traite du pétrole brute provenant de Hassi-Messaoud pour satisfaire la demande sans cesse croissante centre du pays et exporte les produits tels que le Naphta et le Fuel-oil.

I.2. Situation géographique :

La raffinerie d'Alger est située a 5 Km au sud d'EL Harrach a Sidi-Arcine (Baraki) et a 20 km a l'est d'Alger, occupant une surface de 182 ha (bâti et clôture 96 ha) et est délimitée :

- Au Nord-Ouest par le dépôt NAFTAL GPL et le centre enfûteur ;
- Au Nord par les habitons d'El Harrach ;
- Au Sud par les habitations de Baraki ;
- Au Sud Est par la Direction Générale de SONATRACH/ACTIVITÉ



Fig I.1 : Vue aérienne présentant l'emplacement de la raffinerie d'ALGER.

I.3-Historique :

Constructeur : compagnie française des pétroles

Ouverture du chantier : 1960.

Mise en service en février 1964 avec :

- Démarrage de l'unité topping d'une capacité de 2,2 millions de tonnes et approvisionnement du pétrole brut par mer.
- Démarrage en mars de la même année de l'unité reforming avec une capacité maximale de 105 m³/h (15.000 bbl/jour).

Entre 1970-1972 :

- Réalisation d'un pipe a Beni-Mansour (Bouira) alimentant la raffinerie en pétrole brut.
- Extension du parc de stockage : un bac de brut de 35.000 m³, divers bacs de produits finis et semi-finis d'une capacité de 55.000 m³, une sphère de butane de 3.000 m³.
- Extension de l'unité topping avec augmentation de capacité de traitement a 2,7 millions de tonnes.
- Extension des tours de réfrigération d'eau.
- Augmentation de quantité du catalyseur de 23,5 T à 33,5 Tonnes pour pouvoir traiter le maximum de naphta produit à l'unité topping.
- La participation de SONATRACH dans les actions de la raffinerie a connu une progression constante :
 - ✓ 10 % en juin 1968.
 - ✓ 44% en janvier 1969.
 - ✓ 80% en janvier 1970.
 - ✓ 100% en janvier 1971.

I.4.Réception du brut :

Depuis janvier 1964, la raffinerie était alimentée en pétrole brut par tankers du port pétrolier de Bejaia au port d'Alger puis par pipe de diamètre 26'' jusqu'au parc de stockage.

A partir de 1971, la raffinerie est alimentée en pétrole brut par un oléoduc de diamètre 16'', d'une longueur de 131 Km et d'un débit horaire de 500 m³, grâce à un piquage réalisé au lieu dit Beni-Mansour (Bouira) sur le pipe 24'' réalisant Hassi-Messaoud au port pétrolier de Bejaia.

I.5.Principales installations :

La raffinerie est dotée des installations suivantes :

- Une unité de distillation atmosphérique de 2.700.000 T/an.

D'où sont soutirés les produits suivants :

- LPG + Essence légère + solvants légers.
 - Solvant lourd.
 - Kérosène.
 - Gas-oil léger.
 - Gas-oil lourd.
 - Résidu.
-
- Une unité de reforming catalytique de 2.500 m³/j dont le rôle est de transformer une coupe pétrolière à base indice d'octane (mélange de solvant léger et de solvant lourd) provenant de l'unité de distillation en un reformat à haut indice d'octane qui est la base principale pour la fabrication des carburants automobiles (essence normale et essence super) .
 - Une unité gas plant pour séparation des GPL.

Cette unité est alimentée à partir des unités de distillation atmosphérique reforming et dont le rôle est de séparer les LPG en butane et propane commerciaux.

- une unité de mélange (éthylation) pour la fabrication des essences (normale et super).
- une unité de pomperie expédition de produits par pipes aux dépôts El-Harrach, port pétrolier, aéroport Houari Boumediene et au dépôt Chiffa (Blida).

- Un parc de stockage d'une capacité de 290.000m³ dont 105.000m³ pour le pétrole brut 185.000m³ pour les produits finis et semi-finis.

La raffinerie dispose également d'installations générales telles que :

- Une centrale thermo-électrique pour la production et la distribution des utilités (électricité, vapeur, air...).
- Deux chaudières vapeur de 47 T/h chacune.
- Un) groupe turbo alternateur produisant de l'électricité d'une capacité de 6 MW.
- Deux stations de traitement des eaux.
- D'un laboratoire de contrôle de la qualité des produits.
- D'un poste de commandement d'intervention en 24/24.
- D'un port pétrolier équipé de trois (03) postes de chargement pour les exportations, le cabotage ainsi qu'une station de déballastage.
- Plusieurs ateliers de maintenance et de magasins.
- D'une rampe de chargement GPL alimentant les régions du centre du pays (Tizi-Ouzou, Chlef, Djelfa).

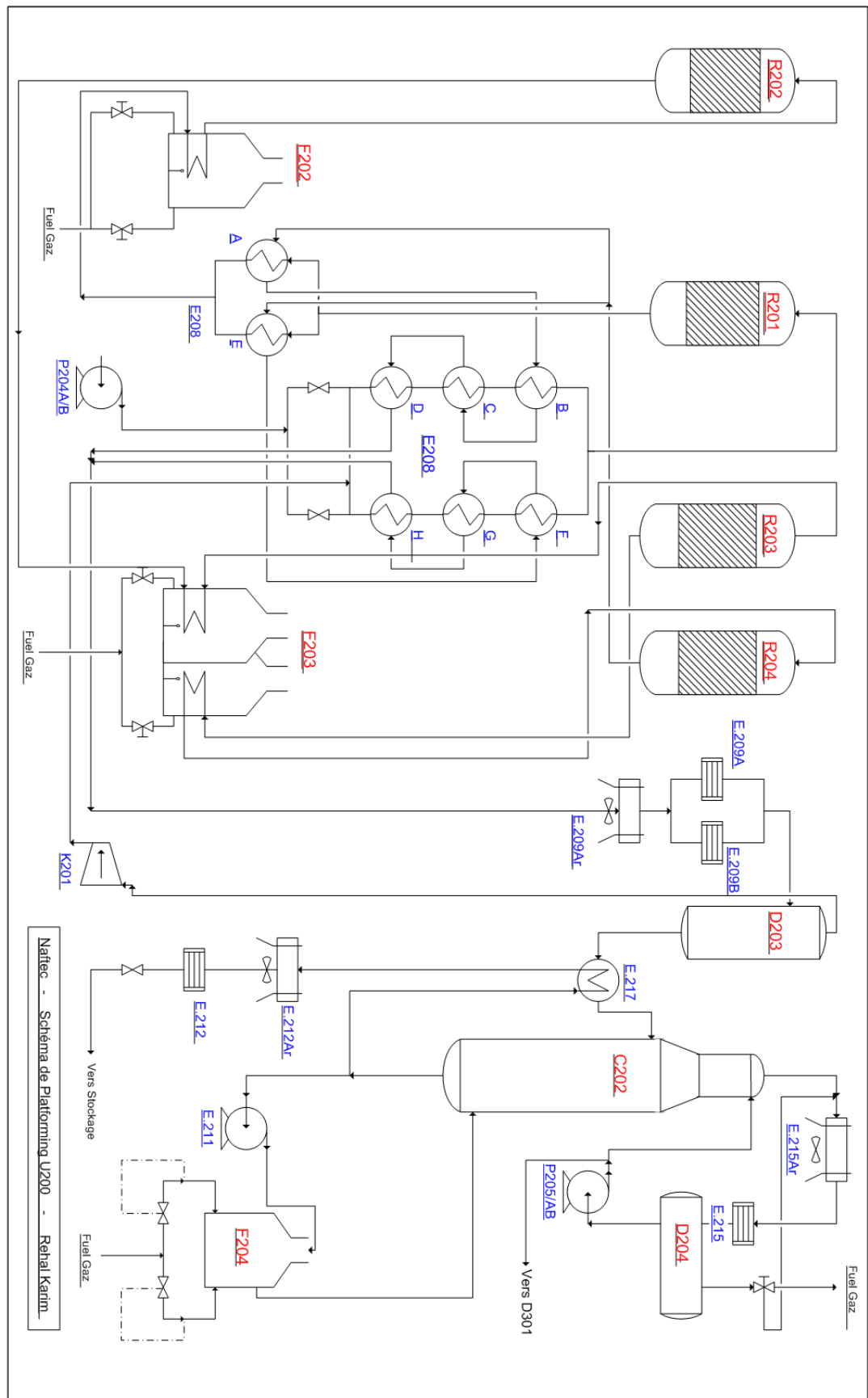


Fig I.2. Schéma de l'unité plat forming U200

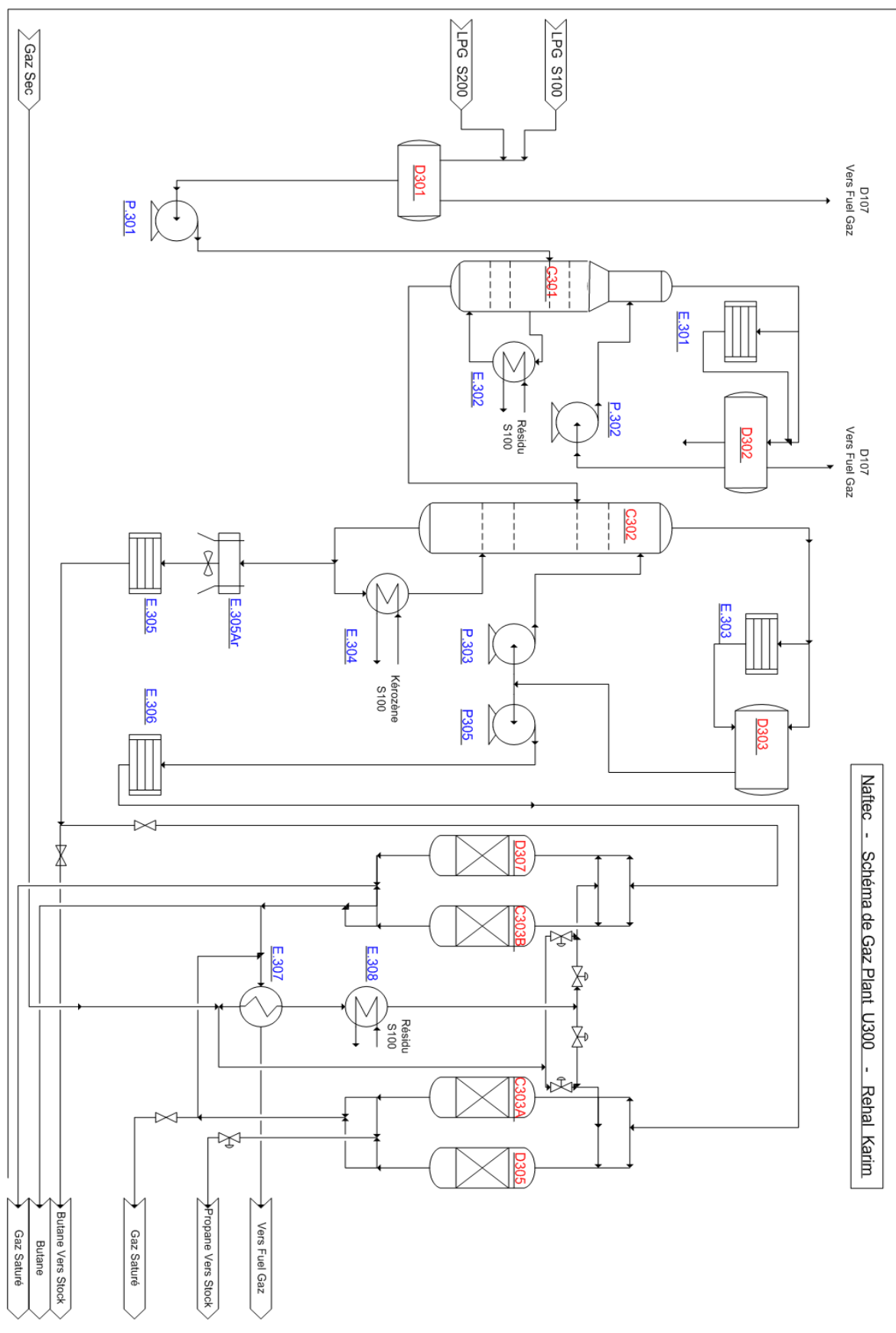


Fig I.3: Schéma de l'unité de gaz plant U300.

I.6. Programme de réhabilitation de la raffinerie d'Alger :

Fig I.4. Projet de réhabilitation et d'Adaptation de la raffinerie d'Alger

Le programme de réhabilitation et d'Adaptation de la raffinerie d'Alger est décliné en un seul et unique grand projet. Il comprend les unités suivantes :

- ✓ Réhabilitation et augmentation de +35% de la capacité de l'unité de distillation atmosphérique, avec notamment :
 - Remplacement du Four existant
 - Ajout d'une nouvelle section « PreFlash »
 - Remplacement de plusieurs moto-pompes process
 - Ajout et modification de divers équipement (Echangeurs et Aéro-réfrigérants).
 - Remplacement des internes et divers accessoires du Dessaleur.
 - Installation d'un nouveau ballon de torche (dédié aux unités existantes)
 - Raccordement de toutes les soupapes de sécurité vers le réseau torche
 - Démantèlement de la section stabilisation

- ✓ Réhabilitation de l'unité Gas-Plant pour le traitement du GPL issu de l'unité

Topping et MS- Block en :

- Remplacement des motopompes process
 - Modification de divers équipement (Echangeurs et Aéro-réfrigérants).
 - Ajout de deux section de séchage.
 - Raccordement de toutes les soupapes de sécurité vers le réseau torche
-
- ✓ Réhabilitation et extension du parc de stockage existant avec notamment :
 - Ajout de nouvelles capacités de stockage,
 - Intégration des bacs et sphères existants au nouveau système TFMS
 - Installation d'une nouvelle station BLENDING des essences
 - Raccordement des soupapes de Sécurité des sphères vers le réseau torche
 - Installation d'un nouveau ballon de torche (dédié au stockage LPG).
-
- ✓ Réhabilitation des autres installations existantes notamment :
 - Intégration des utilités existantes aux nouvelles utilités avec démantèlement de divers Systèmes,
 - Intégration du réseau anti incendie existant avec la nouvelle pomperie anti incendie,
 - Rénovation du réseau de drainage des eaux huileuses existant,
 - Intégration du système de rejet liquide a la nouvelle unité de traitement des effluents,
 - Démantèlement de l'unité platforming et divers systèmes
-
- ✓ La modernisation de l'instrumentation avec notamment :
 - Mise en place d'un DCS et implémentation d'un system ESD
 - Réalisation d'une salle de contrôle centralisée (Blast Resistant) et salle satellite
 - Remplacement de tous les instruments existants par des instruments SMART
 - Remplacement de toutes les vannes existantes
 - Installation de détecteurs de gaz et intégration dans le nouveau système F&G.
 - Installation de caméras CCTV.
 - Remplacement de toutes les plaques orifices des débitmètres.
 - Mise en place d'un system de Monitoring des émissions de la cheminée du four atmosphérique.

- Installation des vannes d'isolement motorisées (MOV) au niveau des capacités (> 5m3)

- ✓ La Rénovation et la modernisation du réseau Electricité avec notamment :
 - L'installation de deux nouveaux générateurs d'Electricité types GTG et STG,
 - Mise en place d'un ECS et implémentation d'un system de gestion automatique de délestage
 - Réalisation de trois nouvelles sous-stations électriques
 - Rénovation de l'ensemble du réseau électrique
 - Installation d'un nouveau system de communication d'urgence (PCS).
 - Mise en place de la protection cathodique pour le parc de stockage existant.
 - Mise en place d'un réseau de protection contre la foudre
 - Mise en place d'un nouveau réseau de mise à la terre
 - Mise en place d'un nouveau system d'éclairage
 - Installation d'un nouveau poste blindé haute tension

- ✓ La réalisation d'un Bloc d'unités dénommé MS-Block, pour la production des essences aux normes européennes EURO V (2009) comprenant :
 - Une unité d'isomérisation de naphta léger, sous licence AXENS, de 375000Tonnes/an (10 643 bbl/jour),
 - Une unité de prétraitement de la charge naphtade 1 123 810 Tonnes/an (30 000 bbl/jour), commune aux deux unités d'Isomérisation et de CCR (Reforming à régénération continue),
 - Un Reforming type CCR, sous licence AXENS, de 660 000 T/An

- La réalisation d'une unité de conversion de résidu type RFCC, sous licence UOP, de 1 000 000 T/an, pour augmenter la production d'essences et de Gas-Oil,
- la réalisation d'un Block d'unités Souffre
- La réalisation d'une nouvelle station de traitement des effluents (ETP), de type biologique

II.1 INTRODUCTION :

Le raffinage consiste une série de processus destinés à transformer le pétrole brut en produits finis, tels que l'essence, le kérosène et le fioul, dans le respect de normes précises, notamment environnementales.

Il regroupe différentes opérations:

- Préchauffe du brut ;
- Obtention des produits intermédiaires par distillation ;
- Amélioration de la qualité ;
- Transformation des coupes lourdes en légères ;
- Obtention des produits finis à partir du mélange des produits intermédiaires ou semi-finis.

La première opération qu'il faut faire dans les raffineries est la séparation de divers produits pétroliers, ce processus est appelé **«distillation»**.

La raffinerie d'Alger contient une unité de transformation de pétrole en différents produits pétroliers appelé **unité de distillation atmosphérique U 100 (unité de topping)**.

Cette unité est constituée principalement de **la colonne** de distillation atmosphérique **C 101**.

II.2 UNITE TOPPING U 100 :

Cette unité a pour but de transformer le pétrole en différents produits pétroliers. Pour ce faire, on procède à différentes étapes (Comme il est indiqué sur le schéma de la figure II.1 Unité de distillation atmosphérique U100).

L'unité U100 est constituée de :

- Une colonne de distillation atmosphérique C101 ;
- Des colonnes C103A, B, C, C104, C105;
- Des pompes de P101 à P117 ;
- Des ballons D101, D102, D103, D104, D105, D110;
- Un ballon de flash D102 ;
- Un four tubulaire F101 ;
- Des échangeurs de chaleurs d'E101 à E127 ;
- Des aéroréfrigérants.
- Des vannes.

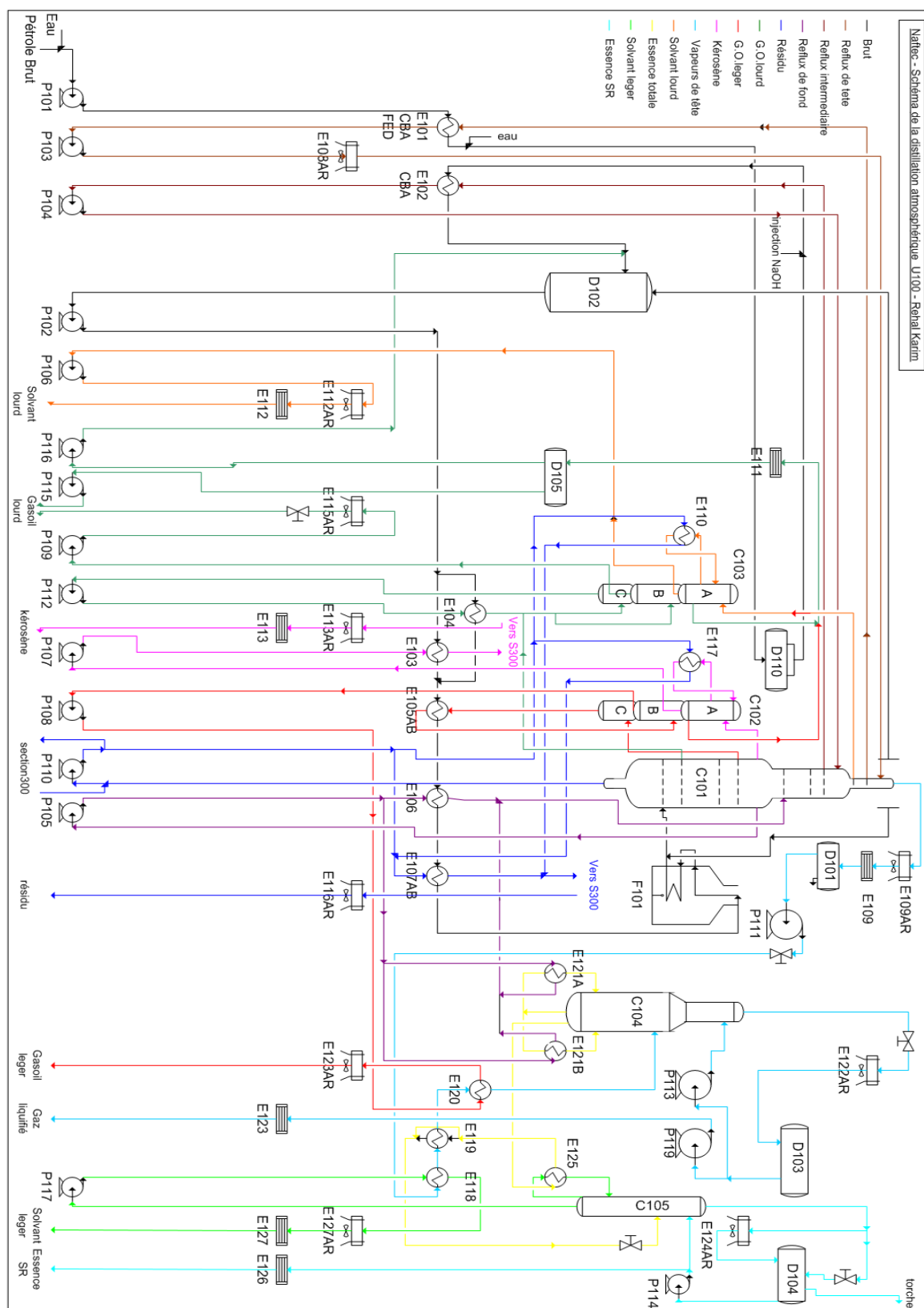


Fig II-1 : Unité de distillation atmosphérique U100.

II.3 LA COLONNE DE DISTILLATION C 101 :

La C101 est une colonne de distillation atmosphérique, qui est un équipement circulaire disposé verticalement d'une hauteur ($H = 47 \text{ m}$) bien supérieure à son diamètre. Elle est de quatre sections différentes a, b, c et d de diamètres (4670 mm ; 4970 mm ; 5400 mm et 1980 mm) et d'épaisseurs (15 mm ; 14 mm ; 16 mm et 10 mm)

La **C 101** est équipée de 49 plateaux à clapets, 6 plateaux dans la zone d'épuisement et 43 plateaux dans la zone de rectification. l'espacement entre plateaux est 500 mm , C'est à ce niveau qu'on obtiendra les différentes fractions de pétrole, en se basant sur les différentes températures d'ébullition de ces fractions. La distillation est dite « atmosphérique », car elle se fait à la pression ambiante.

Dans le but de réaliser un échange de matière, une partie du liquide obtenu en haut de colonne par condensation de vapeurs réinjectée sous forme de reflux en tête de colonne. Sa vaporisation progressive provoque la condensation d'un nombre égal de molécules plus lourdes qui rétrogradent vers les plateaux immédiatement inférieurs.

De la vapeur stripping à 16 bars et 420°C est injectée afin d'améliorer la séparation des fractions en entraînant les légers vers la haut de la colonne.

En lavant ainsi, par transfert de chaleur et de masse, les vapeurs ascendantes, le liquide descendant s'enrichit de tous les constituants lourds. La phase vapeur qui monte vers les plateaux supérieurs absorbe au contraire tous les constituants légers et la concentration de ceux-ci est de plus en plus grande dans cette phase.

II.4 LES CIRCUITS DE BRUT POUR L'OBTENTION DES FRACTIONS :

II.4.1 CIRCUIT PRECHAUFFE :

Le brut est stocké à température ambiante, et pour subir une distillation, pénètre dans la colonne à une température avoisinant les 355°C . On doit donc le chauffer et pour cela le chauffage demande énormément d'énergie, donc on doit utiliser des échangeurs de chaleurs dans lesquels est réalisé un transfert thermique entre deux milieux ayant une différence de température. Ils sont constitués d'un côté tube et d'un côté calandre.

Le brut arrive à la température ambiante, il est aspiré par la pompe P101A, et envoyé vers les échangeurs E101A, B, C, D, E, F, qui sont placés en parallèle. Le brut pénètre côté tube et est chauffé par les produits sortants de la colonne de distillation (gasoil léger et lourd). Il est donc chauffé progressivement. Il passera ensuite dans le dessaleur D110, pour le dessalage. S'ensuivra l'apparition de deux phases: organique (le brut), et aqueuse (eau et sels minéraux). En effet, l'eau aura absorbé les sels, aidée par un champ magnétique.

Les deux phases sont alors séparées physiquement, et le brut ressortira du dessaleur, pour aller vers une nouvelle série d'échangeurs E102A, B, C, ou il sera chauffé jusqu'à 145°C.

Le brut passe ensuite dans le ballon flash D102 à 2.4bars. Celui-ci permet de baisser la tension de vapeur, en séparant les gaz du brut. Il est alors récupéré au fond du ballon par la pompe P102 et pénètre les gaz dans les échangeurs E 103 et E104 en parallèle où le brut est chauffé par du kérosène et du distillat, puis dans les échangeurs E105, E106 et E107 par du gasoil léger, les reflux de fond et les résidus. Il en ressortira à une température avoisinant les 220°C, et pourra alors entrer dans le four.

➤ **Le four F 101 :** Le four est divisé en 2 zones : une zone de convection et une zone de radiation. Le brut pénètre dans la zone de convection ou il est chauffé jusqu'à 358°C. Il s'ajoute aux fractions légères venant du ballon de flash pour entrer dans la colonne de distillation C101.

➤ **La colonne de distillation C101 :** Les différentes coupes sont soutirées à plusieurs niveaux selon leurs températures d'ébullition et leurs densités.

On obtiendra :

Coupes	Température (°C)	plateaux
Essences totale	107	49
Solvants lourd	171	34-38
Kérosène	232	24-26
Gasoil léger	281	17-20
Distillat	336	10-12
Résidu	339	Le fond de la colonne

TabII.1 : Soutirage de différentes coupes pétrolières.

II.4.2 LE CIRCUIT RESIDU :

Le résidu est appelé plus communément fioul. C'est la seule coupe à ne pas passer à l'état vapeur avant de se condenser dans la colonne. Il est récupéré au fond de la colonne et est envoyé vers la pompe P110, pour passer à travers trois échangeurs afin de réchauffer des produits plus légers, tout en refroidissant il est ensuite refroidi jusqu'à 94°C et mélangé au distillat pour donner du fioul lourd qui sera stocké dans les bacs B3, B8 et B9.

II.4.3 LE CIRCUIT DISTILLAT :

Le distillat s'écoule vers le bas ou il subit la vapeur stripping. Après, il est aspiré par la pompe P112. Une partie est renvoyée à la C101 comme huile de lavage pour piéger les particules lourdes de résidus entraînés, et l'autre partie est refroidie dans l'échangeur E104, puis emmenée dans le sécheur sous vide C103B, pour en éliminer toute trace d'eau. Il sera ensuite repris par la P109 pour être refroidi, et enfin mélangé au résidu.

II.4.4 LE CIRCUIT GASOIL LEGER :

Le gasoil léger est envoyé vers la C102C, où il subit un stripping à la vapeur d'eau, une partie retourne à la C101 pour lavage, et l'autre partie est menée vers l'échangeur E105, puis est injectée dans le sécheur C102B, ou un vide de (-1) bar est créé par un éjecteur de vide. Le produit est aspiré par une pompe P108 Le gasoil léger est finalement refoulé vers le E120 et E123AR, ou il sera refroidi, puis stocké.

II.4.5 LE CIRCUIT KEROSENE :

Le kérosène entre dans le stripper C102A, où une partie s'évapore et est introduite dans la C101, et l'autre passe dans le rebouilleur E117, afin d'éliminer les particules d'eau dues à la vapeur stripping. Il est ensuite envoyé vers les échangeurs E103, afin de chauffer le brut, puis refroidi. Il entre alors dans l'aéroréfrigérant E113AR, et condensé dans l'échangeur E113 pour être stocké.

II.4.6 LE CIRCUIT SOLVANT LOURD :

Le solvant lourd est strippé dans le C103A selon le même principe que celui du kérosène, il est alors refoulé par la pompe P106 vers l'aéroréfrigérant E112AR, afin de le refroidir, et le condenseur E112 à une température de 40°C. Il sera alors mélangé au solvant léger puis stocké.

II.4.7 LE CIRCUIT ESSENCE TOTAL:

L'essence totale est un mélange d'essence SR (produit semi-finis) avec le solvant léger et la vapeur de tête. Le solvant total quant à lui est de l'essence total dans les vapeurs de tête.

L'essence totale sort de la C101 à une température de 100°C, il est alors refroidi dans les échangeurs E109AR, jusqu'à 45°C. Il entre dans le ballon D101, où deux couches se forment, en plus des C1 et C2, la couche inférieure est composée d'eau chargée de H₂S, qui est éliminé par chauffage à 150°C, et brûlé dans le four. La couche supérieure contenant l'essence totale est envoyée par la pompe P111 vers une série d'échangeurs E118, E119, E120, pour être chauffée à 90°C et pénétrer dans la colonne C104 où les vapeurs de tête (GPL+C1+C2) sont séparées du solvant totale.

Il sera alors chauffé dans le rebouilleur E121AB afin d'éliminer toute présence de GPL, puis il est refroidi dans les échangeurs E125 et E119 avec l'essence totale, avant d'arriver à la colonne C105 où l'essence SR est séparé du solvant léger.

Les GPL quant à eux entrent dans le ballon D103 afin d'éliminer toute trace d'eau puis sont refoulés vers l'échangeur E123 et enfin vers l'unité U300.

II.4.8 LES BALLONS DE TETE:

Ce sont les ballons rattachés aux colonnes. Ils permettent de maintenir la pression au sommet de la colonne constante. En cas de hausse de pression les ballons D101 et D104 dégazent vers la torche, et le D103 vers le gaz combustible, alors qu'en cas de chute de pression, on les réalimente en légers.

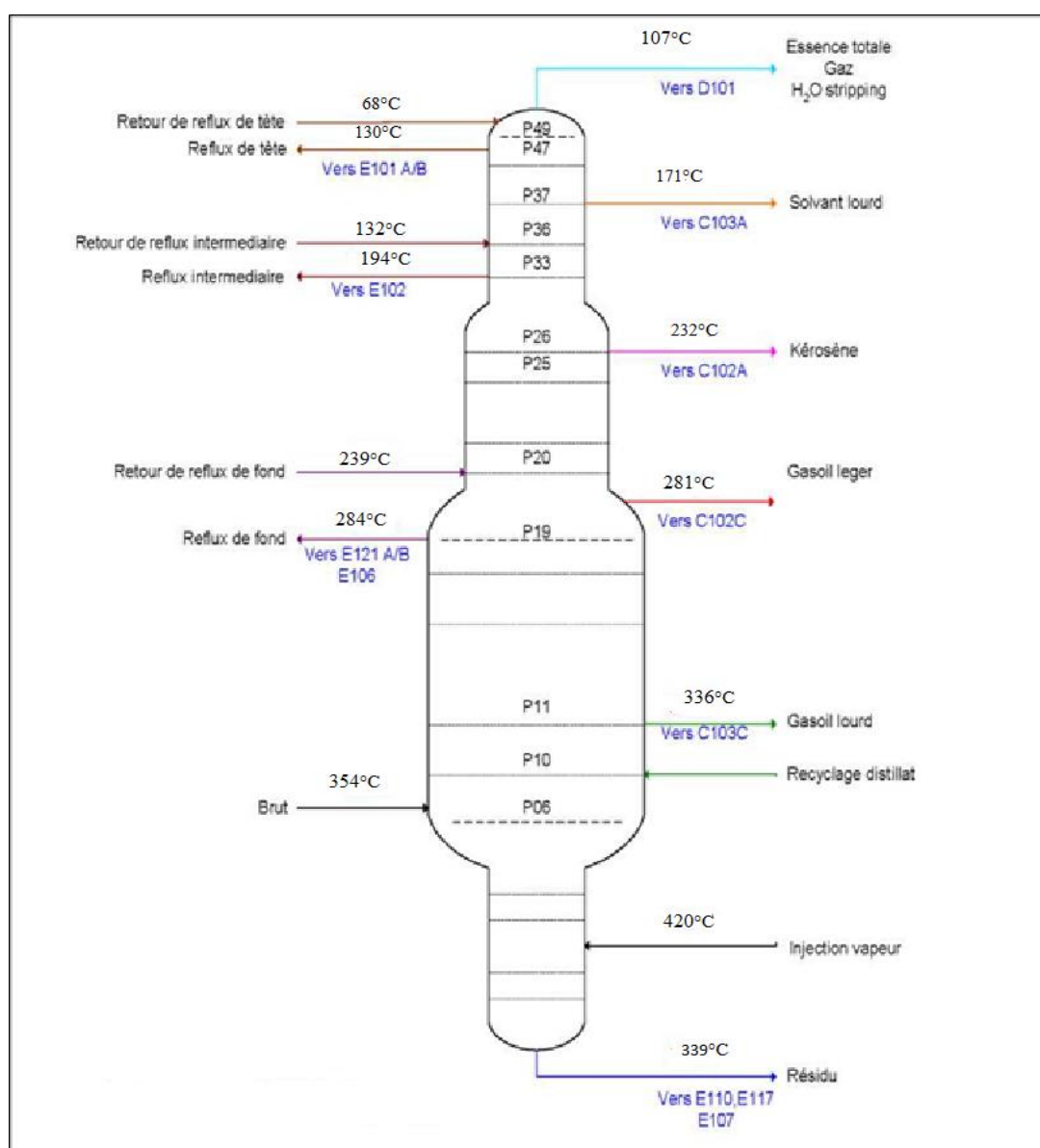


Fig II.2 : Schéma des soutirages de la colonne de distillation C101.

III. GENERALITES SUR LES COLONNES :

III.1.Introduction :

En exploitant les différences de volatilités des constituants d'un mélange, la distillation permet la séparation ou comme on dit généralement le fractionnement des constituants en fonction de leurs températures d'ébullition. Une telle opération est réalisée dans un appareil appelé : colonne de distillation.

III.2.Définition de la distillation

La distillation est un procédé physique de séparation d'un mélange homogène. Elle est basée sur les transferts de matière et la différence des températures d'ébullition des substances, ce procédé permet de séparer le mélange en une phase liquide riche en éléments les moins volatil et en une phase vapeur riche en éléments les plus volatil.

Sous l'effet de la chaleur ou d'une faible pression, les substances se vaporisent successivement, et la vapeur obtenue est liquéfiée pour donner le **distilla** (dit aussi produit de tête) dont la composition diffère de celle du mélange initial. La phase liquide non évaporée constitue le **résidu** (appelée produit de pied ou de fond).

Une telle séparation est réalisée à contre-courant en continu dans un appareil appelé : **colonne de distillation**, soit par étage dans une colonne à plateaux, soit dans une colonne à garnissage.



Fig III -1 Colonne de distillation atmosphérique

III.3. Description de la colonne de distillation:

La colonne de rectification est un appareil cylindrique vertical, qui peut être constitué de plateaux successifs ou de garnissages, dont le rôle consiste à assurer un contact intime entre les deux phases (vapeur, liquide).

Dans chaque plateau il y'a barbotage de la vapeur dans la phase liquide et ceci permettra le transfert de matière et d'énergie entre les deux phases, pour cela les plateaux seront munies d'éléments spéciaux comme les calottes, clapets...etc.

Le liquide se déplace par gravité de haut en bas, et la vapeur de bas en haut, grâce à l'énergie de pression utilisée pour qu'il y'est un bon barbotage. Le liquide arrivant au fond de la colonne est partiellement vaporisé dans le rebouilleur qui crée la phase vapeur nécessaire à la distillation, le liquide non évaporé est extrait du fond de la colonne est constitué le résidu. La vapeur arrivant en tête de la colonne est condensée, une partie du produit condensée est envoyée en tête de la colonne en qualité de reflux, le reste est soutiré en tant que distillat (produit de tête).

La colonne est devisée en trois zones (voir schéma ci-joint) :

- **Zone d'alimentation** : c'est l'entrée du mélange à fractionner.
- **Zone de rectification** : se situe au-dessus de la zone d'alimentation.
- **Zone d'épuisement** : se situe au-dessous de la zone d'alimentation.

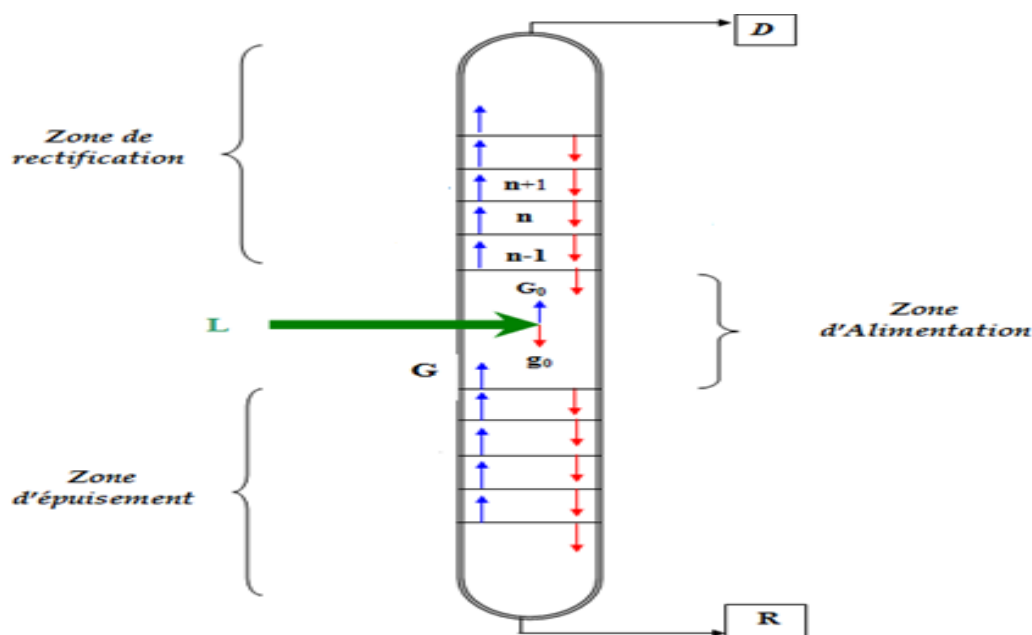


Fig III -2:Schéma générale de fonctionnement d'une colonne.

III.4. Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement d'une colonne à distillation est simple, tout en travaillant à une pression constante, il consiste à déplacer les équilibres de phases à l'aide d'un gradient de température crée par une source froide (condenseur), qui crée un flux de liquide froid descendant dans la colonne, une source chaude (le rebouilleur), générant un flux de vapeur chaude montant.

Pour assurer les transferts de matière et de chaleur entre ces deux flux, des éléments de contact sont placés à l'intérieur de la virole.

Ils sont constitués soit par des plateaux, dont le principe de base est de faire barboter la vapeur dans une rétention liquide provoquée par un barrage coupant la phase liquide, soit par des garnissages constitués le plus souvent par un treillis métallique dispersant les deux phases et assurant une bonne surface d'échange entre les fluides circulant à contre-courant.

Le rebouilleur fonctionne à l'aide d'un fluide extérieur (vapeur, huile chaude), le plus souvent refroidi par l'air ou de l'eau.

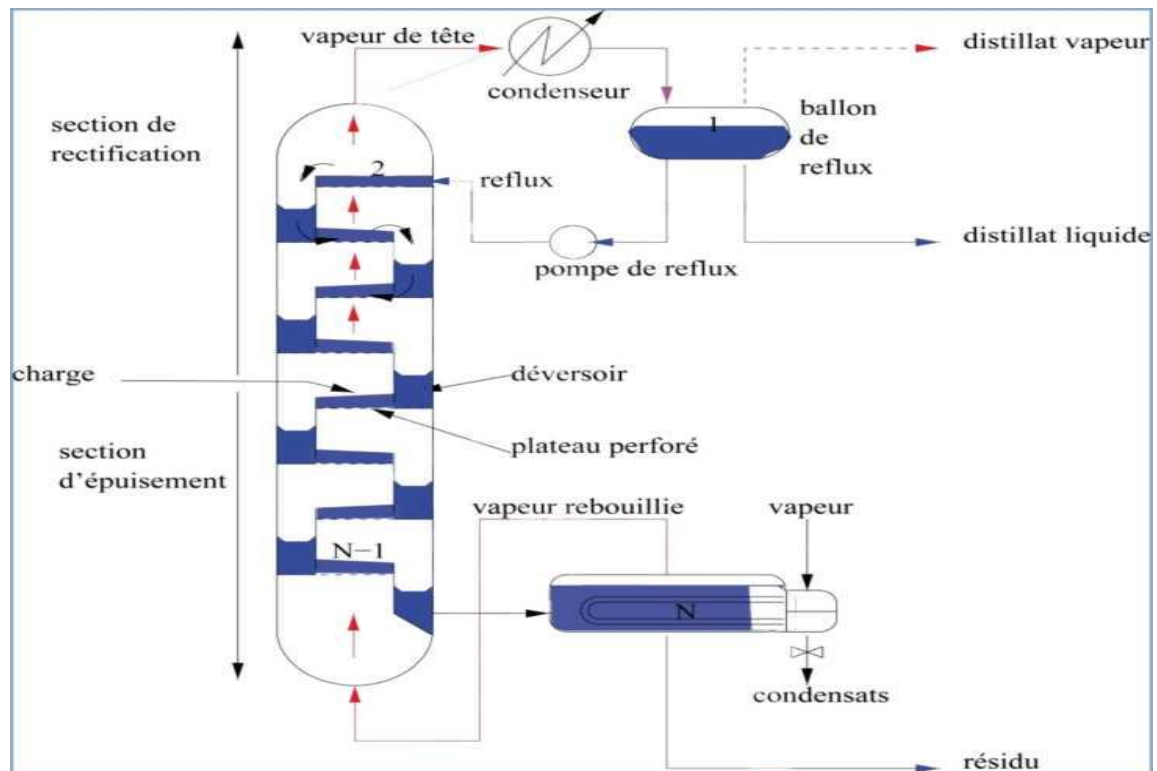


Fig III -3: Le principe de fonctionnement de la colonne

III.5. Condition de fonctionnement:

➤ Pression et température:

La pression est le facteur physique le plus important dans une distillation. On sait que toute réduction de la pression de marche provoque un abaissement des températures d'ébullition et de condensation. Inversement, toute augmentation de pression amène une élévation de ces températures.

Donc pour un fonctionnement normal de la colonne il faut respecter les conditions suivantes :

- La température maximale pour éviter la dégradation thermique du produit, il s'agit naturellement du produit qui sortira en pied de colonne.
- La température de chauffage qui dépend de la nature du fluide d'échauffement dans le rebouilleur.
- La température de refroidissement qui dépend de la nature du fluide de refroidissement dans le condenseur.

➤ Le débit de reflux externe:

Le débit de reflux réinjecté en tête de colonne est aussi en relation avec la qualité de la séparation recherchée.

III.6. Détails de la construction:

➤ La virole:

La virole est l'enveloppe de la colonne. Elle doit résister aux efforts de pression, de dilatation et éventuellement aux effets du vent et aux séismes.



Fig III.4 construction des viroles des colonnes

Il existe trois types de virole, représentés dans la figure ci-dessous.

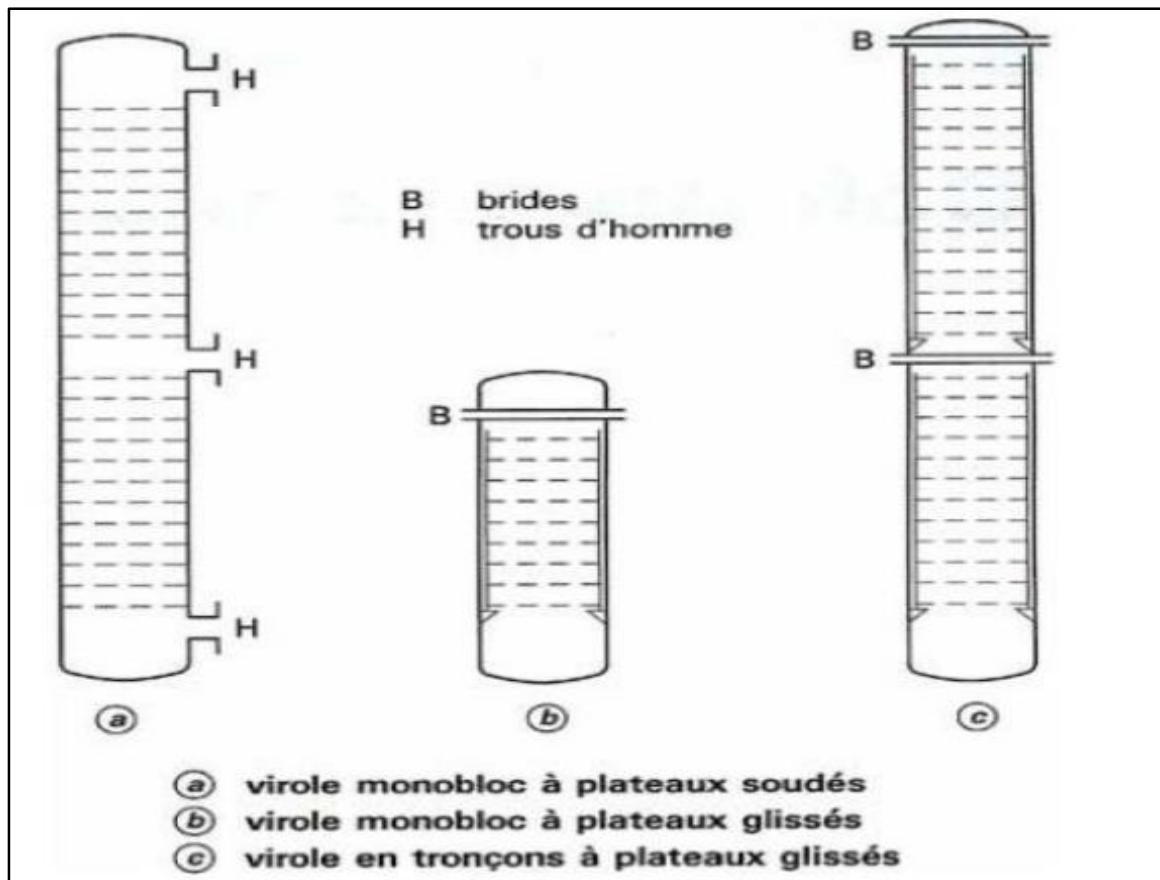


Fig III -5: Différents types de virole –

➤ **Les fonds:**

Les fonds sont de formes diverses ; les fonds utilisés couramment sont livrés emboutés jusqu'à 3 m de diamètre. Les fonds sont soudés à la virole, le fond supérieur peut être rapporté avec bride boulonnée. Il existe quatre 04 types selon les conditions de fonctionnement de l'appareil. Les fonds elliptiques et les fonds hémisphériques, les fonds coniques, les fonds plats. Le choix de la forme du fond dépend des conditions suivantes :

- Les caractéristiques du procèdes (température, pression).
- Les dimensions de l'appareil (diamètres).
- Les caractéristiques du milieu de travail.

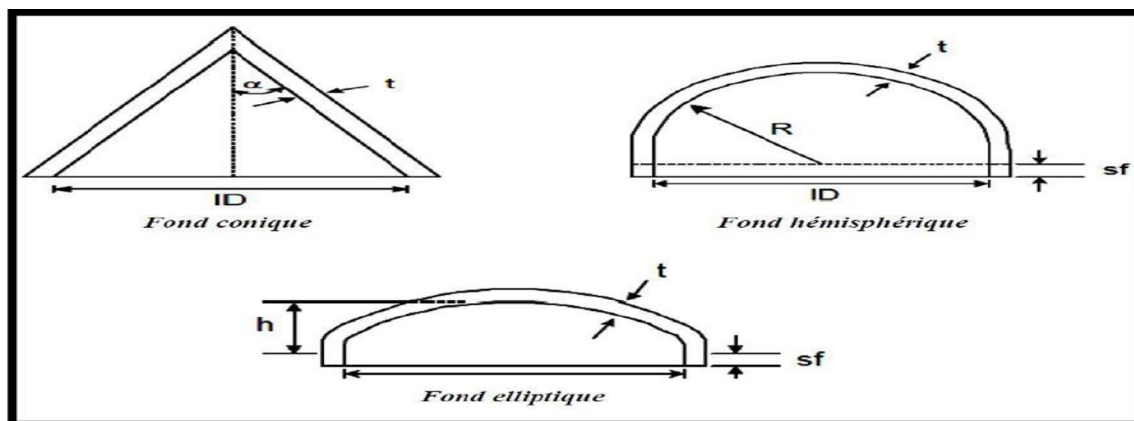


Fig III -6: Différents types de fonds -

➤ **La Jupe:**

La partie inférieure de la colonne repose quelquefois sur un fond plat appuyé directement sur un massif de béton. Le plus souvent, le fond de la colonne est bombé et la virole est prolongée par une jupe- support.

➤ **Accessoires:**

1. -La virole reçoit :

❖ **À l'extérieur :**

- Orifices de visite et trous d'homme qui permettent d'entretenir le matériel sans avoir à démonter l'ensemble de la colonne.
- Les divers piquages pour branchement de tuyauteries.
- Les prises pour appareils de mesure et de contrôle.
- Les goussets pour attaches d'échelles.
- Les clips pour supports de tuyauterie.
- Les supports de calorifuge.
- Des clips, tourillons de lavage.
- Les supports pour une potence de démontage à la partie supérieure.
- Tubulures de contrôle qui sont des piquages (tuyaux soudés sur la virole) pour la mesure du niveau en pied de colonne, mesure qui pourra être contrôlée par un regard à glace.
- Tubulures fonctionnelles : Les tubulures d'alimentation, les tubulures de liaison au condenseur, les tubulures de liaison au rebouilleur.

❖ À l'intérieur :

- Les éléments de contact (plateaux ou garnissages).
- Les supports des éléments de contact.
- Divers cloisons, chicanes, pots de soutirages.
- Des poignées au-dessus de trous d'homme.

2. La jupe reçoit :

- Des orifices de visite.
- Des trous d'évent.
- Des orifices de passage de tuyaux.
- Un cercle d'ancrage (anneau de base).
- Des chaises de fixation soudées sur la jupe et sur l'anneau de base.

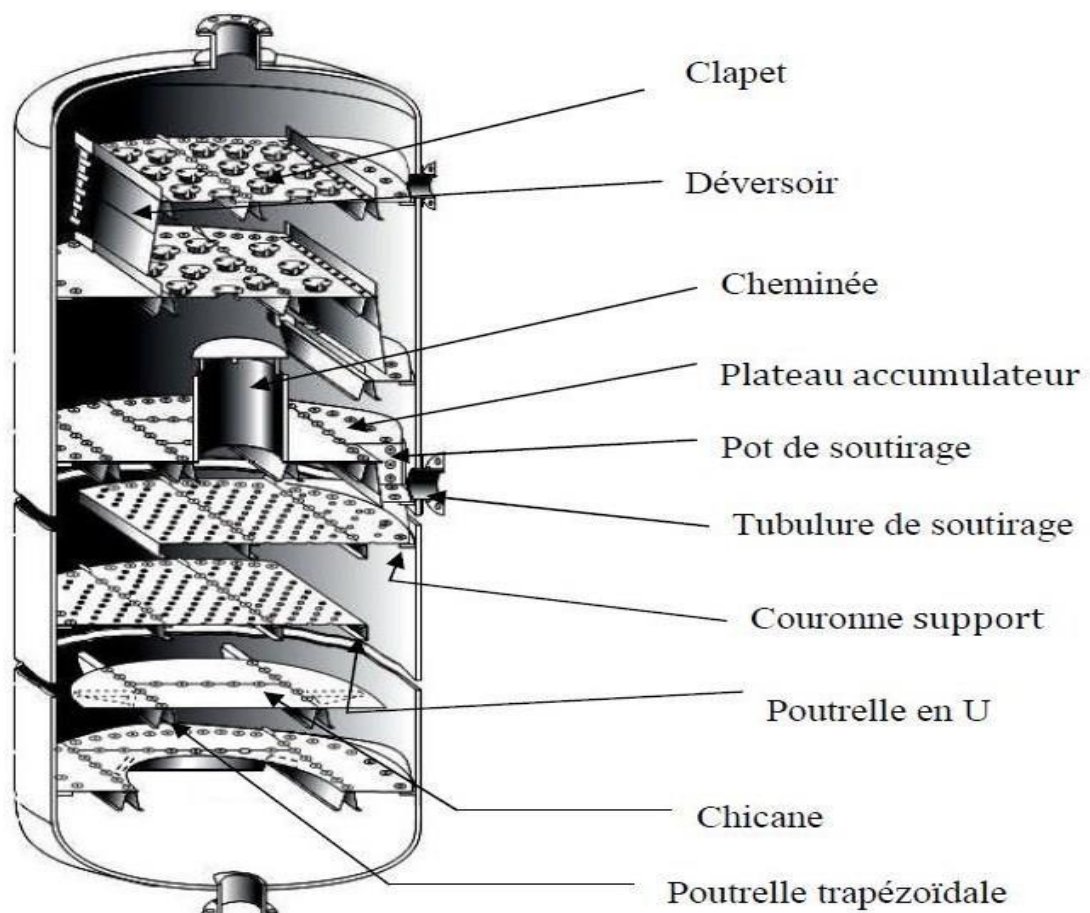


Fig III .7.Les accessoires intérieurs de la virole

III.7. Types de colonne de distillation:

La réalisation de contact entre les deux phases se fait par deux types de colonne dont les éléments de contact sont différents :

III.7.1. Les colonnes à plateaux :

Dans une colonne à plateaux, le transfert de matière est assuré par le barbotage de la vapeur au sein du liquide de chaque plateau pour former une véritable émulsion. Les plateaux d'une colonne comportent:

- Une aire active percée de trous, éventuellement équipés de clapets ou de cloches
- D'un barrage permettant de retenir sur le plateau une certaine épaisseur de liquide
- D'un déversoir permettant d'amener le liquide du plateau considéré vers le plateau inférieur
- Ces deux derniers étant remplacés par des tubes déversoirs pour des petites colonnes

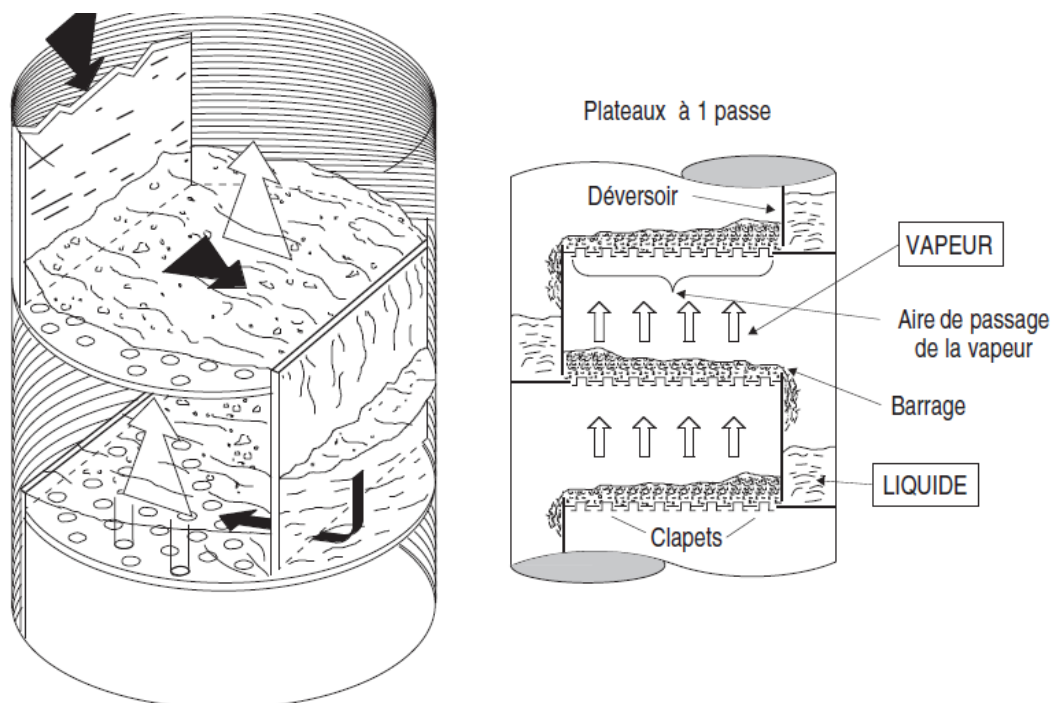


Fig III .8.Schéma d'une section de colonne à plateaux

III.7.1.1. Les différents types de plateaux :

Il existe différents types de plateaux qui varient selon les fournisseurs. Le choix du plateau dépend principalement du débit du liquide, de la souplesse d'utilisation souhaitée et du coût de l'installation. Les principaux types de plateaux sont :

1. Plateaux à calottes (cloches)
2. Plateaux à clapets (à soupapes)
3. Plateaux perforés.

III.7.1.1.1. Plateaux à calottes/cloches :**A. Description :**

C'est le modèle le plus ancien; il se rencontre encore dans les industries pétrolières ou chimiques. Il est constitué d'une plaque perforée ; chaque trou étant muni d'une cheminée; celle-ci sert à guider une calotte dont la fixation est assurée par une tige et un contre-écrou. Une centaine de formes différentes de calottes ont été imaginées et conduisent à des efficacités de contact plus ou moins bonnes.



Fig III .9. plateau à calottes

B. Principe de fonctionnement :

Le gaz sortant des fentes des calottes barbote dans le liquide et crée une émulsion sur le plateau. C'est au sein de cette émulsion que se produit l'échange de matière et de chaleur.

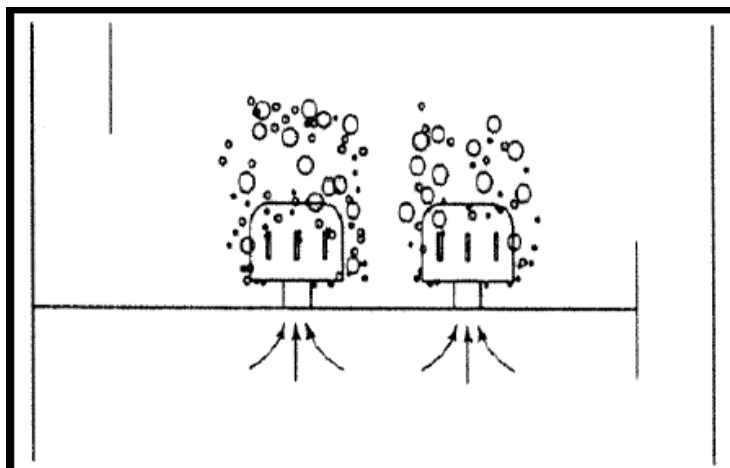


Fig III .10.Schéma du principe de fonctionnement

C. Domaine d'application:

Les plateaux à calottes classiques sont les plus anciens et sont en raison de leur coût, de moins en moins utilisés dans l'industrie. Toute fois ils sont encore recommandés dans des cas particuliers :

- Fonctionnement à très faible débit.
- Distillation sous vide moyen.
- Temps de séjour important sur le plateau, nécessité par une réaction chimique lente.

D. Avantages/inconvénients:

1. Avantage:

- Les plateaux à calottes diminuent le risque de drainage et offrent un bon mélange des phases gaz et liquide.
- Le temps de contact du gaz avec le liquide est supérieur à celui des autres plateaux.
- Ces plateaux ont une efficacité quasiment identique à celle des plateaux à soupapes, mais en cas d'augmentation du débit de gaz, ils s'engorgent plus facilement que les plateaux à soupapes.
- Ils assurent un bon fonctionnement pour différent régime (bon souplesse).
- Le contact liquide vapeur est assuré par le barbotage.
- Le rendement est assez bon.
- L'entraînement est faible.

2. Inconvénients:

- Pour des débits de gaz importants, les gouttes du liquide ascendantes inondent les calottes.
- Pour passer, le gaz est obligé de pousser le liquide par les petites fentes, ce qui augmente la perte de charge (Perte de charge est importante).
- Leur construction est lourde (beaucoup de métal).
- Le fonctionnement de ces calottes est sensible au risque de bouchage qui peut être provoqué par des phénomènes de corrosion.
- Le prix de revient est important.
- Leur montage et démontage est long.

III.7.1.1.2. Plateaux à clapets :**A. Description :**

Il constitue un compromis entre les deux types (plateaux à calottes et perforés). C'est un plateau, dont les orifices sont équipés de clapets. La hauteur de soulèvement de ces derniers est en fonction du débit de vapeur, qui s'échappe horizontalement dans le liquide, exactement comme aux fentes des calottes. Les plateaux à clapets se sont progressivement substitués aux plateaux à calottes, car leurs performances sont légèrement supérieures, pour un prix de revient plus faible. Il existe une grande variété de formes des clapets : ronds, triangulaires ou allongés.

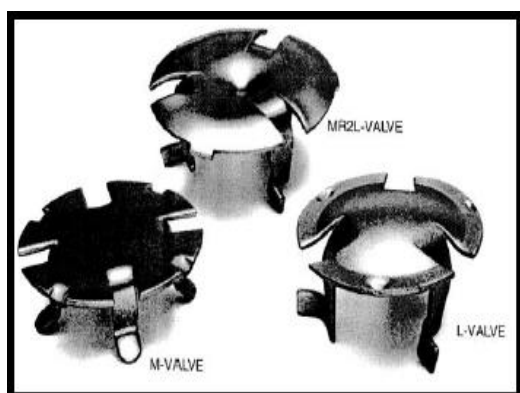


Fig III .11. plateau à clapets



Fig III .11.plateau à clapets

B. Principe de fonctionnement :

Le gaz s'écoulant dans la colonne passe par les trous du plateau perforé en poussant les soupapes qui couvrent les orifices. La soupape monte ou descend selon le flux du gaz. Le taux d'ouverture dépend donc du débit du gaz et de la masse de la soupape. Dans son mouvement vertical la soupape est limitée par les conduites attachées au plateau.

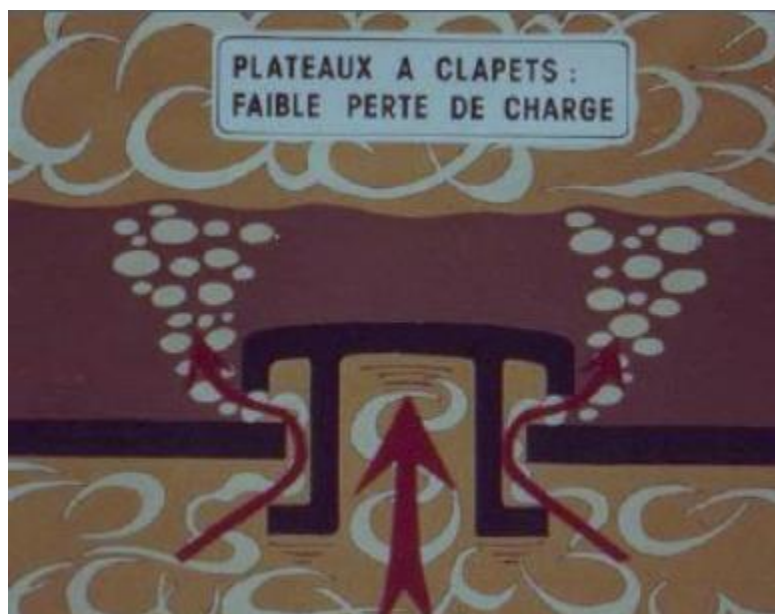


Fig III .12.Schéma du principe de fonctionnement

C. Domaine d'application :

Ils sont conseillés pour des opérations où de grandes fluctuations du débit de gaz peuvent se produire. Ils ne sont pas indiqués pour les faibles régimes (faibles débits de gaz permanent), mais pour des régimes élevés ; la perte de charge reste inférieure à celle des plateaux à calottes.

D. Avantages/inconvénients:**1. Avantage :**

- Grande vitesse de vapeur admissible.
- Prix de revient et poids assez faible.
- Montage et démontage rapide.
- Bon fonctionnement pour différents régimes.
- Circuit des chemins de vapeur assez court ce qui réduit les pertes de charges.
- Faible entrainement du liquide par la vapeur en fonctionnement normale (jusqu'à l'ouverture).

2. Inconvénients:

- Entartage des clapets en cas de travail avec des produits lourds (grippage).
- Les plateaux de ce type présentent une forte perte de charge en cas des faibles débits de gaz, car la section initiale de passage est faible et la pression du gaz doit monter pour équilibrer la masse de la soupape.
- Le plateau à soupapes n'est pas étanche et il se vide à l'arrêt. Son emploi n'est donc pas recommandé lorsque la colonne fonctionne par campagnes, avec des arrêts répétés.

III.7.1.1.3. Plateaux perforés à déversoirs :**A. Description:**

Ces plateaux gèrent le flux liquide de manière tout à fait classique à l'aide des déversoirs, par contre le passage de la vapeur est assuré par des simples perforations dans les plaques formant l'aire active

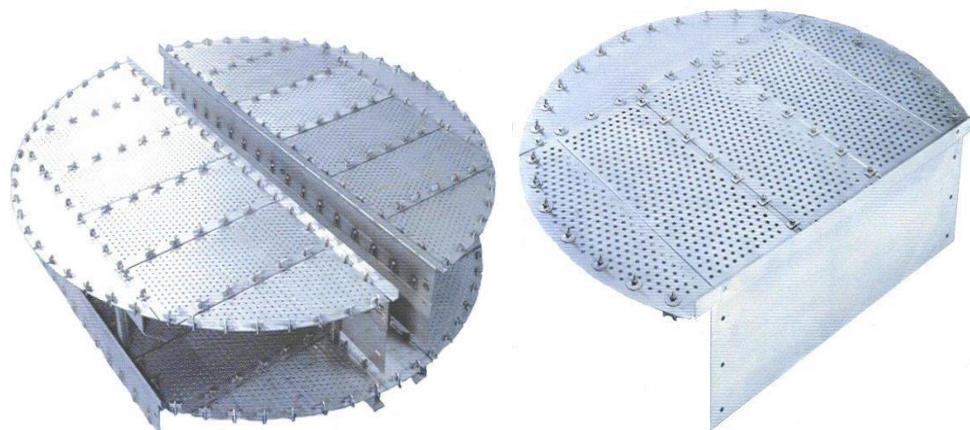


Fig III .13.Plateau perforé à déversoir (2passes et 1 passe)

B. Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement de ce type de plateaux est basé sur la différence de pressions de part et d'autre d'un plateau. Cette différence de pression permet de maintenir le liquide sur le plateau et elle permet le passage du gaz par les trous du plateau.

Les bulles résultant du passage du gaz dans le liquide prennent naissance dès la surface du plateau. Celles-ci barbotent dans le liquide, formant ainsi un brouillard constitué de petites gouttes.

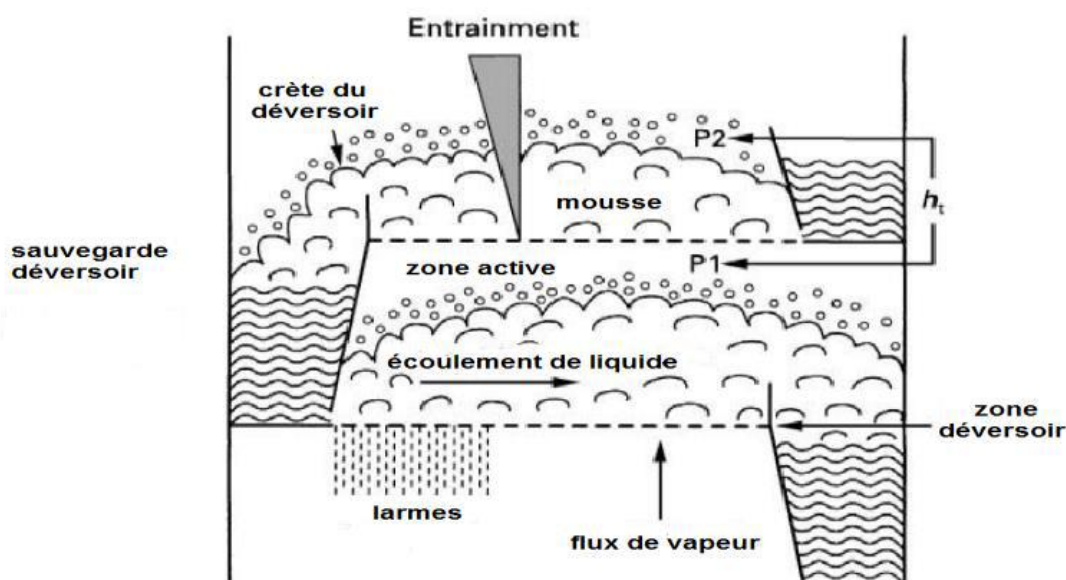


Fig III .14.Schémas de fonctionnement d'un plateau perforé

C. Avantages/inconvénients:**1. Avantage:**

- Leur faible coût.
- La vapeur débouchant directement dans le liquide sans avoir traversée d'autre canal que les trous, la perte de charge est presque entièrement utilisée pour créer l'échange de masse.
- le débit admissible du gaz est plus élevé que dans le cas des plateaux à calottes.

2. Inconvénients:

- Un manque de souplesse : aux faibles débits de gaz, le liquide peut s'écouler à travers les trous ce qui diminue l'efficacité de ce type de plateau.
- l'élévation de débit de vapeur provoque rapidement des phénomènes d'entraînement favorisé par le fait que les jets de vapeur ne sont pas braisés comme dans les autres technologies.
- Sensibilité aux défauts de planéité.

III.7.1.2. Problèmes rencontre dans les colonnes a plateaux :**➤ Pleurage (weeping) :**

Les plateaux perforés et les plateaux à clapet sont par nature non étanches, il existe donc toujours une légère fuite de liquide qui reste acceptable et ne perturbe pas trop l'efficacité. Lorsque le débit de vapeur est faible la poussé hydrostatique n'étant plus suffisante, le liquide s'écoule à travers les orifices. Cette fuite (pleurage) est extrêmement nuisible et le rendement chute anormalement.

Ce phénomène n'existe pas dans les plateaux à calottes car celles-ci forment un suifent qui interdit toutes redescendes de liquide.

➤ Effondrement (dumping) :

Est une situation qui correspond à une augmentation du phénomène de pleurage, la fuit du liquide à travers les orifices deviens excessive conduit à une chute brutalement

d'efficacité. Elle correspond à la limite inférieure du domaine de flexibilité (souplesse) du plateau.

➤ **Entrainement :**

On parle de phénomène d'entraînement lorsque le liquide est transporté par le gaz d'un plateau au plateau supérieur. L'entraînement des gouttelettes du liquide sur le plateau supérieur est dû à une vitesse trop élevée du gaz dans la zone de contact des phases. L'efficacité du plateau est réduite car il y a une diminution des forces motrices d'absorption due au versement du liquide du plateau moins volatile sur le plateau de plus grande volatilité. Dans ce cas, la colonne s'approche du point d'engorgement, car la quantité du liquide sur le plateau supérieur augmente.

➤ **Engorgement (flooding) :**

Pour des débits de gaz et de liquide trop importants, on peut atteindre les limites suivantes:

a) Le soufflage :

Ce phénomène se produit pour des débits vapeur très élevés par rapport au débit liquide. Il y'a formation d'un brouillard dispersé au-dessus de la zone de contact. Cette situation conduit à un mauvais transfert de liquide et vapeur avec formation de mousse et des fines gouttelettes entraînées vers le plateau supérieur.

b) Engorgement par entraînement :

Si le débit du gaz augmente trop, à un moment, le mélange de liquide et de gaz peut former une émulsion. Cette émulsion peut remplir tout l'espace entre les plateaux et atteindre le plateau supérieur. Cela augmente fortement la perte de charge et diminue l'efficacité du plateau supérieur, et donc de la colonne.

c) Engorgement due à une charge successive du liquide :

Le débit de liquide provenant de l'air active et alimentant le déversoir est très important ce qui provoque un débordement. Ce phénomène peut être due à un mauvais désengagement de la vapeur, une perte de charge excessive de la vapeur, espacement entre deux plateau insuffisant.

Remarque : le dimensionnement du déversoir doit satisfaire à deux critères :

- Un temps de séjour suffisant pour permettre le désengagement aux bulles de vapeur contenues dans la phase liquide.
- Une hauteur du déversoir supérieure à la hauteur du liquide clair ($h \geq 50\%$).

➤ **Mauvaise distribution du liquide :**

Ce phénomène engendre une réduction de la surface de contact entre les phases et une diminution de l'efficacité de la colonne. Ce problème peut se produire lorsque :

- Les plateaux ne sont pas placés horizontalement,
- Le débit du liquide est trop grand,
- Le débit du gaz est trop faible,
- Il y a un problème mécanique avec le plateau.

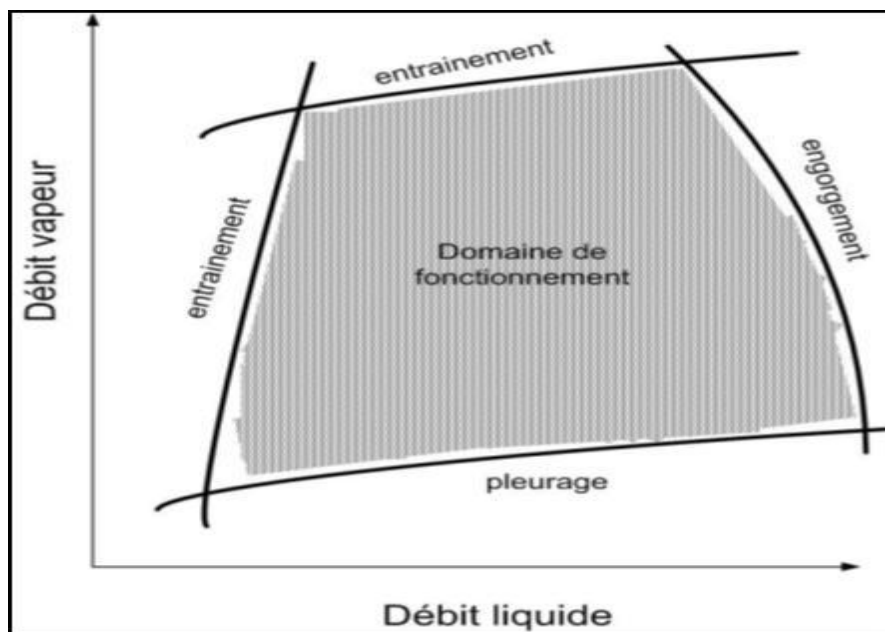


Fig III .15.Critère hydraulique de fonctionnement d'un plateau.

III.7.2. Colonne à garnissage :

Une colonne à garnissage est une colonne qui est remplie d'éléments permettant d'augmenter la surface de contact entre la phase gazeuse et la phase liquide .Ce sont ces éléments qui constituent le garnissage. La colonne contient également :

- Dans sa partie inférieure, un plateau pour supporter le garnissage et un injecteur de gaz,
- Dans sa partie supérieure, un distributeur de liquide,
- Parfois un redistributeur.

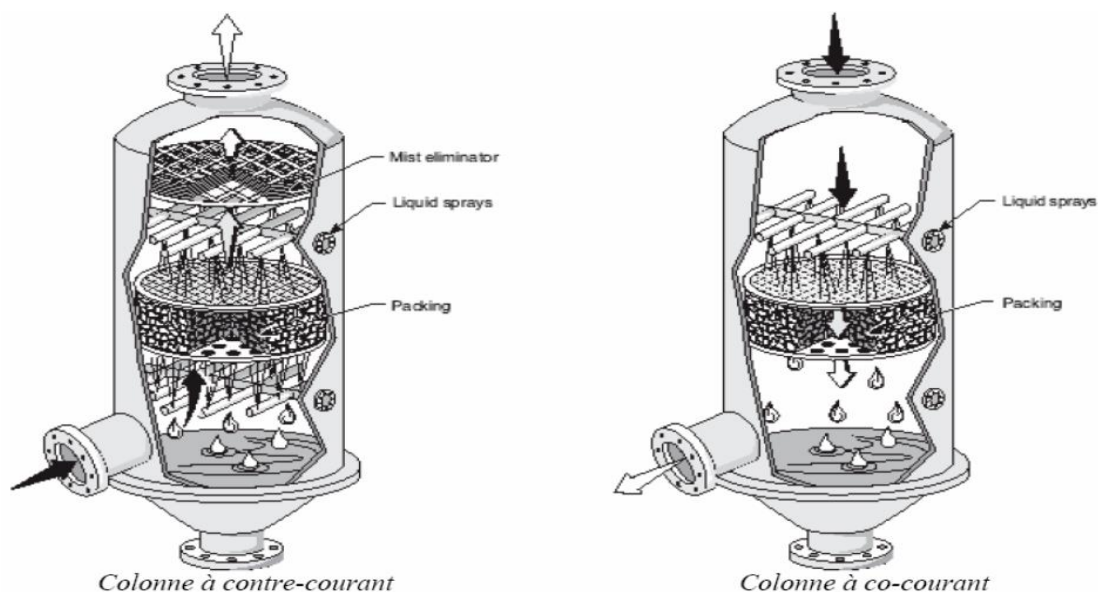


Fig III .16.Types de colonnes à garnissage

Dans les colonnes à garnissage, le liquide est pulvérisé sur le garnissage placé entre des grilles. La phase liquide forme un film sur les éléments de garnissage (zone de mouillage). Le garnissage qui crée une série d'obstacles sur le parcours du liquide et du gaz au sein de la colonne permet :

- d'augmenter la surface de contact entre les deux phases ;
- d'augmenter le temps de séjour des deux phases dans la colonne et donc leur durée de contact ;
- de créer un régime turbulent de la phase gaz.

III.7.2.1.Eléments internes d'une colonne à garnissage :

➤ Distributeurs de liquide:

L'efficacité d'une colonne à garnissage dépend de la surface et du temps de contact entre les deux phases gaz et liquide. Ces phases doivent être mises en contact de façon homogène sur toute la longueur de la colonne. Le garnissage en vrac est capable de redistribuer le liquide qui est versé dans un point au-dessus de la colonne, mais parfois, le garnissage n'est pas complètement mouillé. Pour augmenter ce taux de mouillage, le liquide est en général réparti dans toute la section transversale de l'entrée de la colonne à l'aide d'un distributeur. En général, on a deux types de distributeurs en fonction du mode de distribution :

- Par gravité
- À pression

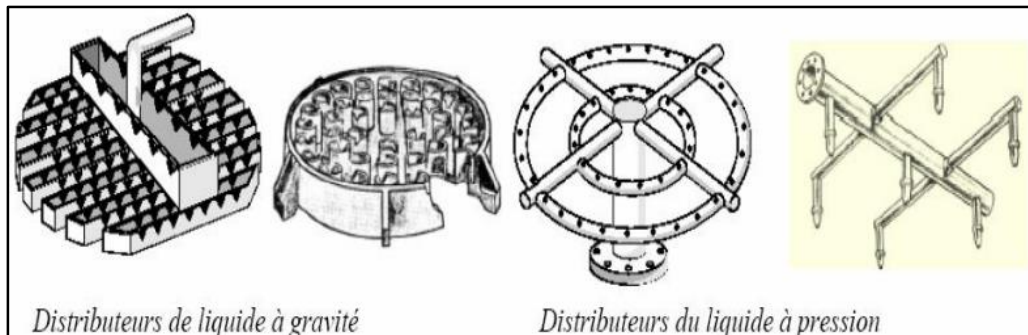


Fig III .17.Types de distributeurs

➤ **Grille de support du garnissage et de distribution de la phase gazeuse:**

La grille de support du garnissage doit tout d'abord être capable de supporter la masse du garnissage et la masse du liquide lié au garnissage (rétention du liquide).



Fig III .18.Supporteur du garnissage

➤ **Dévésiculeur :**

Placé en haut de colonne, il permet d'arrêter les gouttes de liquide entraînées par le gaz sortant de l'absorbeur. En absence de dévésiculeur, le liquide sortant de la colonne sous forme d'aérosol peut se condenser dans les autres parties de l'installation et produire des dommages (corrosion) aux équipements.

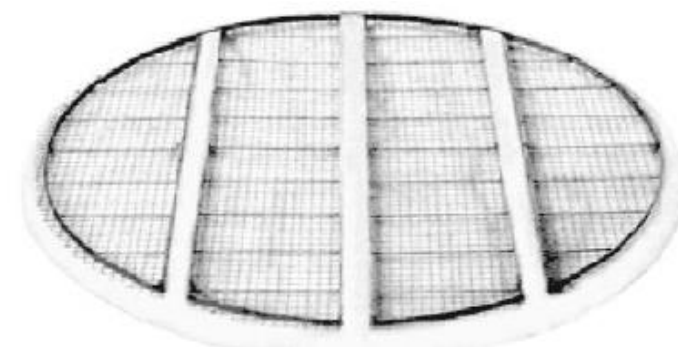


Fig III .19.le dévésiculeur

➤ **Garnissage:**

Ce sont les éléments qui permettent d'augmenter la surface de contact entre la phase gazeuse et la phase liquide dans ce type de colonne

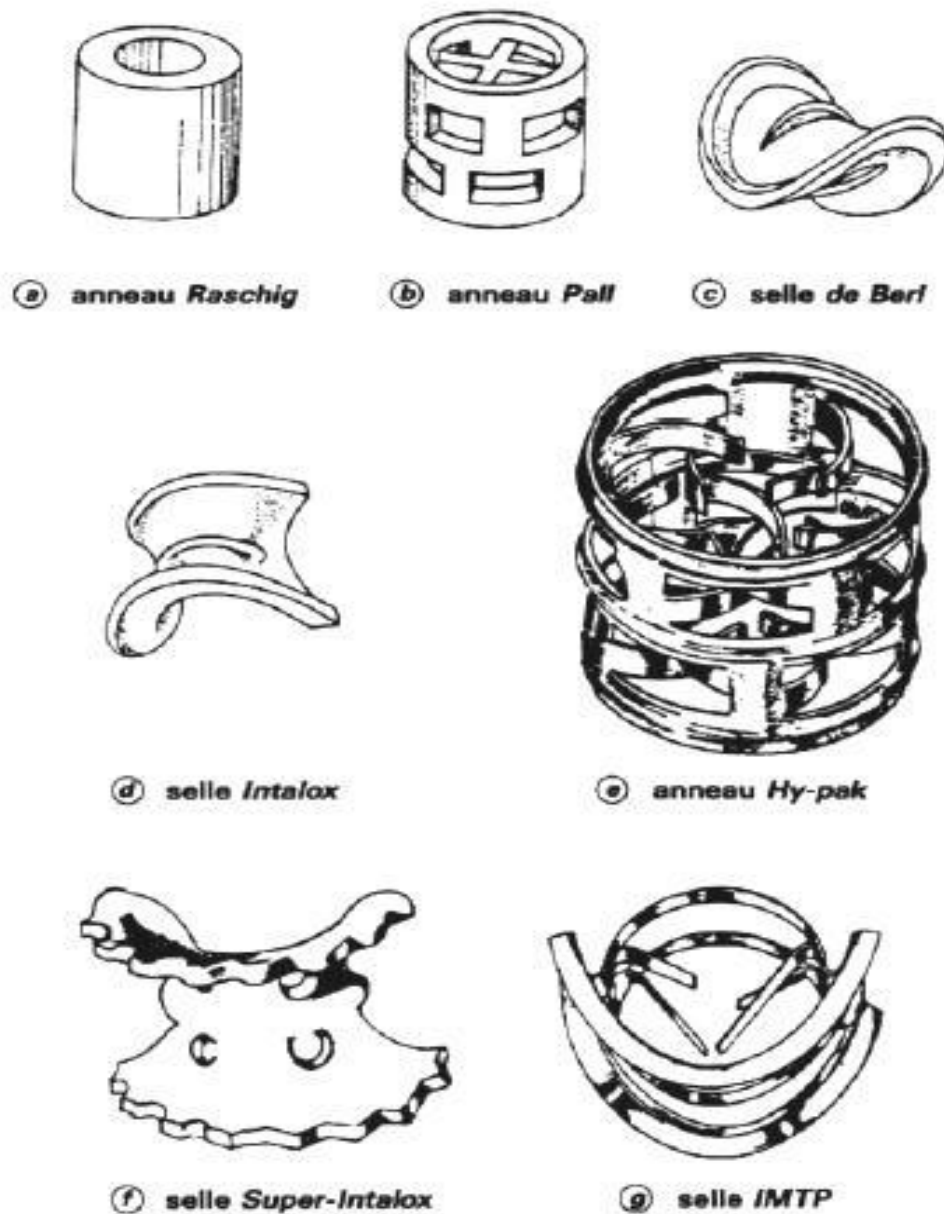


Fig III .20. Différents types de garnissage en vrac

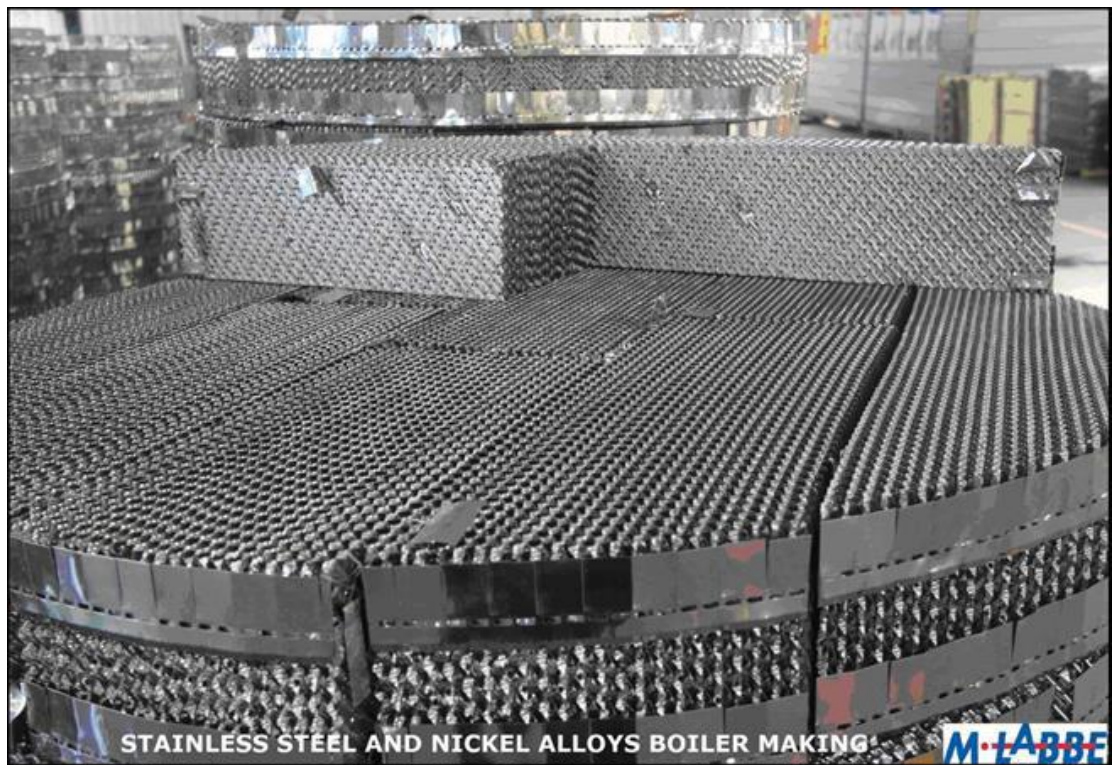


Fig III .21.Garnissage structuré métallique

III.7.2.2.Caractéristique de fonctionnement :

Les colonnes garnies peuvent avoir une grande efficacité. L'efficacité pour une colonne donnée dépend d'un grand nombre de facteurs, à savoir :

- la vitesse de la vapeur ;
- la solubilité et la concentration des phases ;
- la réactivité éventuelle du gaz avec les constituants du liquide ;
- la hauteur de la colonne.

Un des paramètres très importants pour le dimensionnement des colonnes à garnissages est la perte de charge, car c'est elle qui limite le débit de gaz introduit dans la colonne.

Les pertes de charge est proportionnelle :

- au carré de la vitesse de propagation du gaz au sein de la colonne ;
- à la masse volumique du gaz.

III.7.2.3.Domaine d'application :

Les colonnes à garnissage sont généralement utilisées pour l'absorption de gaz et de substances corrosives.

Si le barbotage de la phase gaz dans le liquide provoque un moussage, il est préférable de choisir une colonne du type à garnissage.

Il est préférable également d'utiliser une colonne à garnissage pour :

- les opérations discontinues, car la rétention du liquide dans ce type de colonne est faible.
- les transferts de matière limités par la phase gazeuse.

Les colonnes garnies ne sont pas utilisées pour la séparation des particules solides, car celles-ci peuvent rester bloquer sur le garnissage et empêcher le passage des phases (cause d'engorgement).

III.7.2.4.Limites de fonctionnement des colonnes à garnissage :

- Les colonnes à garnissage sont utilisées pour des opérations :
 - De distillation ;
 - D'absorption sans ou avec réaction chimique (vitesse de réaction moyenne ou très grande)
- Quel que soit le type de garnissage, sa dimension doit être adaptée au diamètre de la colonne.
- La hauteur à donner à un tronçon garni dépend du garnissage et de ses dimensions
- L'engorgement est un point de fonctionnement de la colonne où la valeur de perte de pression linéique est égale à 15 mbar/m et pour laquelle on se place à 100 % de capacité de la colonne. Ces limites déterminent le diamètre de la colonne.
- La rétention est le volume de liquide par unité de volume de la colonne. La rétention statique correspond au liquide qui reste emprisonné dans le remplissage quand on vide la colonne. Il s'y ajoute en cours de fonctionnement la rétention dynamique ou opératoire ; la somme des deux donne la rétention totale.

- L'efficacité est une mesure de la qualité de la séparation réalisée dans l'appareil tandis que pour les plateaux, l'étude de l'efficacité conduit à une correspondance entre le nombre de plateaux théoriques et le nombre de plateaux réels, ici on en déduira des moyens pour déterminer la hauteur de garnissage nécessaire pour réaliser une séparation donnée.
- La canalisation du liquide dont le phénomène est appelé « liquidchanneling », peut se produire si :
 - Le débit du gaz est trop faible ;
 - Le distributeur du liquide ne repartit pas le liquide de façon homogène ;
 - Le garnissage est mal positionné dans la colonne.

III.7.2.5. Avantages et inconvénients des colonnes à garnissage :

1- Avantage :

- Elles sont moins chères que les colonnes à plateaux, surtout si le diamètre de la colonne n'est pas trop grand ;
- Elles sont adaptées pour fonctionner dans un environnement acide et corrosif ;
- Comme le liquide est peu agité, il est possible d'utiliser les absorbants qui ont tendance à mousser ;
- Elles peuvent atteindre une grande efficacité d'absorption pour beaucoup de gaz ;
- La faible rétention du liquide peut être aussi un avantage, principalement si l'absorbant est sensible à la température.

2- Inconvénients :

- Les particules solides présentes dans la phase liquide ou gazeuse peuvent facilement bloquer l'écoulement des phases au niveau du garnissage ;
- Si le débit du liquide pour une raison quelconque diminue, la surface de garnissage ne peut pas être mouillée correctement et la surface effective de contact diminuera ;
- Les colonnes de petit diamètre et de grande hauteur nécessitent l'installation de ré-distributeurs de liquide.

IV Calcul de vérification:**IV.1 Introduction**

Le but de travail c'est le calcul de vérification de la résistance de la colonne de distillation atmosphérique (C101), aux conditions de service ainsi que sa stabilité contre les contraintes dues aux effets du vent. Ce calcul se fait en suivant les conditions de service et les dimensions données par le constructeur.

IV.2 Données de départ :

DONNEES D'OPERATION		
pression de service (tête de colonne ; pied de colonne)	1.8 ; 2.1	bar
Température de service (tête de colonne ; pied de colonne)	107 ; 360	°C
Nombre de plateau	49	
Nombre de plateaux dans la zone de rectification	43	
Nombre de plateaux dans la zone d'épuisement	6	
Espacement entre plateau	500	mm
DONNEES DE CONCEPTION MECANIQUE		
pression de calcul (tête de colonne ; pied de colonne)	2.8 ; 3.1	bar
Température de calcul dans les sections de la colonne (a ; b ; c et d)	122 ; 247 351 ; 375	°C
Diamètre intérieur des différents sections de la colonne (a ; b ; c et d)	4670 ; 4970 5400 ; 1980	mm
Hauteur de la colonne	47625	mm
Hauteur de la jupe	3000	mm
Epaisseurs des différents sections de la colonne (a ; b ; c et d)	15 ; 14 16 ; 10	mm
Epaisseur de fond supérieur	12	mm
Epaisseur de fond inférieur	10	mm

POIDS		
Colonne sans plateaux	109000	kg
Plateaux	57000	kg
l'eau	790000	kg
Calorifuge	17000	kg
Gunité (couche de béton pour protéger la jupe)	12000	kg
SPECIFICATION DES MATERIAUX		
Virole ; fonds ; jupe et anneau de base.	A 42 C3 S	

Tableau IV.1 : Données de départ**IV.3 CALCUL DE RESISTANCE DE LA COLONNE :**

1. On vérifie l'épaisseur de la virole dans chaque section de la colonne (a ; b; c et d).
2. On vérifie l'épaisseur des fonds inférieur et supérieure de la colonne.
3. On vérifie la résistance de la zone d'épuisement et la zone de rectification de la virole, plus la résistance des fonds inférieur et supérieur au cours de l'essai hydraulique.
4. On calcul le moment fléchissant de la colonne causés par la charge du vent.
5. On vérifie l'épaisseur de l'anneau de base.
6. On détermine les contraintes maximales et minimales dans l'anneau de base dûtes aux moments fléchissant.
7. Vérification des boulons d'ancrage et la résistance de la fondation de la colonne.
8. On vérifie la stabilité de la jupe.

IV.3.1 Epaisseur de la virole:

La virole de la colonne est divisée en quatre sections d'épaisseurs différentes, elle représente un cylindre à paroi mince dont l'épaisseur final est donnée par la formule suivante :

$$e_I = e_v + e_1 + e_2 + e_3$$

Où :

e_v : Épaisseur de résistance

e_1 : Surépaisseur de corrosion

e_2 : Surépaisseur de tolérance négative

e_3 : Surépaisseur due aux charges extérieures (vent, séisme...)

La virole représente un cylindre à paroi mince dont l'épaisseur est donnée par la formule suivante :

$$e_v = \frac{P_c \times D_i}{2 \times \varphi \times [\sigma] - P_c}$$

Où :

P_c : Pression de calcul ***Mpa***

D_i : Diamètre intérieur de la virole ***mm***

φ : Coefficient de diminution de résistance dû au soudage, $\varphi = 0.85$

$[\sigma]$: La contrainte admissible du matériau de la virole à la condition de service ***Mpa***

➤ ***Épaisseur de la virole (section a) :***

$D_i = 4670 \text{ mm}$

$$P_c = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} P_s + 1 = 1.8 + 1 = 2.8 \text{ bars} = 0.28 \text{ MPa} \\ P_s + 10\% = 1.8 + 0.18 = 1.98 \text{ bars} = 0.198 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

P_s : pression de service

Donc on prend : $P_c = 2.8 \text{ bars} = 0.28 \text{ MPa}$

Le matériau de la virole c'est l'acier (A 42 C3 S) dont la limite d'élasticité et la limite de résistance à la traction à 20 °C sont respectivement :

$$\sigma_e^{20} = 260 \text{ MPa} \quad \sigma_r^{20} = 420 \text{ MPa}$$

$$[\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_e^t}{n_e}; \frac{\sigma_r^t}{n_r} \right\}$$

Ou

σ_e^t , σ_r^t : Caractéristique du matériau à la température de calcul.

n_e, n_r : Coefficients de sécurité selon AFNOR : $n_e = 1,5$, $n_r = 3$

La température de calcul est : $t_c = t_s + 15 \text{ °C} = 107 + 15 = 122 \text{ °C}$

t_s : Température de service

Sachant que l'augmentation de la température provoque le changement des caractéristiques mécanique des aciers, ces caractéristiques à la température de calcul deviennent :

$$\sigma_e^t = K \times \sigma_e^{20} \quad \text{pour} \quad T > 20^\circ\text{C}$$

$$\begin{cases} \sigma_r^t = \sigma_r^{20} & \text{pour} \quad 20^\circ\text{C} < T < 350^\circ\text{C} \\ \sigma_r^t = K \times \sigma_r^{20} & \text{pour} \quad T > 350^\circ\text{C} \end{cases}$$

Où **K** Coefficient qui tient compte de l'influence de la température sur les caractéristiques du matériau qui est déterminé à partir du graphe de comportement des aciers sous haute température

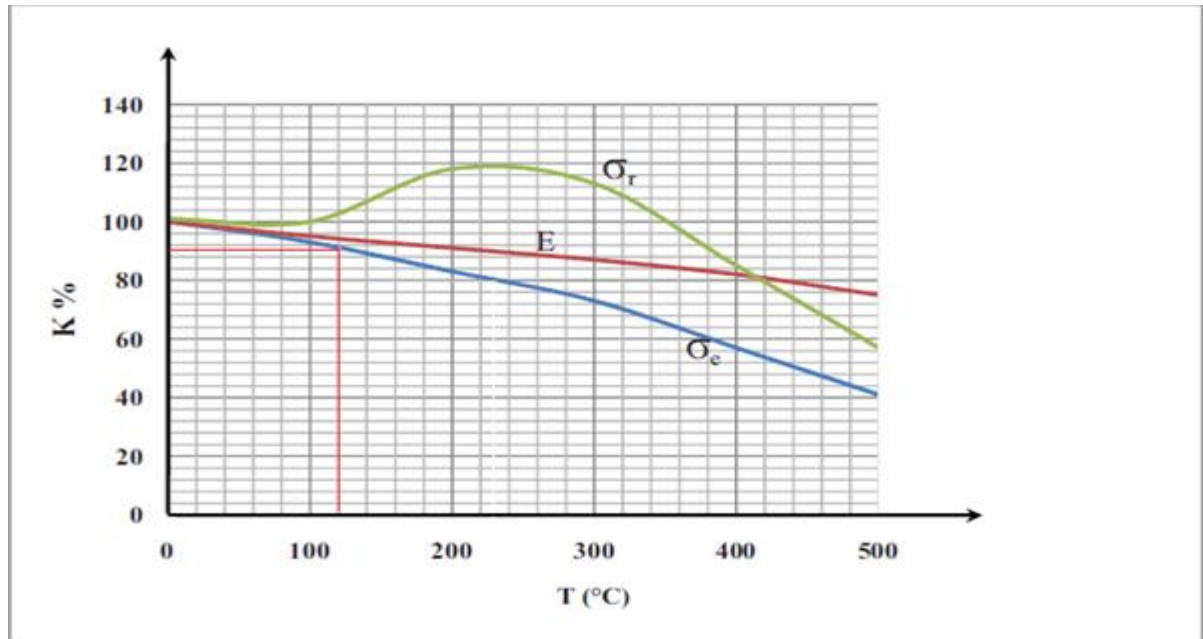


Fig IV.1 Comportement des aciers sous haute température

À la température $t_c = 122^\circ\text{C}$



$$k = 0.91$$

Donc : $\sigma_e^{122} = 0.91 \times \sigma_e^{20}$



$$\sigma_e^{122} = 0.91 \times 260 = 236.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_r^{122} = \sigma_r^{20} =$$



$$\sigma_r^{122} = 420 \text{ MPa}$$

Donc : $[\sigma] = \min\left\{\frac{236.6}{1.5}, \frac{420}{3}\right\} = 140 \text{ MPa}$

$$\text{Alors : } e_v = \frac{0.28 \times 4670}{2 \times 0.85 \times 140 - 0.28} = 5.5 \text{ mm}$$

$$e_I = e_v + e_1 + e_2 + e_3$$

Avec :

e_1 : Surépaisseur de corrosion qui est pour notre cas $e_1 = 3 \text{ mm}$

e_2 : Surépaisseur de tolérance négative, $0.8 \text{ mm} \leq e_2 \leq 1.33 \text{ mm}$, on prend $e_2 = 0.8 \text{ mm}$

e_3 : Surépaisseur tenant compte des charges supplémentaires (vent, séisme..), $e_3 = 5 \text{ mm}$

$$e_I = 5.5 + 3 + 0.8 + 5$$

$$e_I = 14.3 \text{ mm}$$

➤ Epaisseur de la virole (section b) :

$$D_i = 4970$$

$$P_c = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} P_s + 1 = 1.8 + 1 = 2.8 \text{ bars} = 0.28 \text{ MPa} \\ P_s + 10\% = 1.8 + 0.18 = 1.98 \text{ bars} = 0.198 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

Donc on prend : $P_c = 0.28 \text{ MPa}$

La température de calcul est : $t_c = t_s + 15^\circ\text{C} = 247 + 15 = 262^\circ\text{C}$

D'après le graphe à la température $t_c = 262^\circ\text{C} \Rightarrow k = 0.76$

$$\text{Donc : } \sigma_e^{262} = 0.76 \times \sigma_e^{20} \Rightarrow \sigma_e^{262} = 0.76 \times 260 = 197.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_r^{262} = \sigma_r^{20} \Rightarrow \sigma_r^{262} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Donc : } [\sigma] = \min \left\{ \frac{197.6}{1.5}, \frac{420}{3} \right\} = 131.73 \text{ MPa}$$

$$\text{Alors : } e_v = \frac{0.28 \times 4970}{2 \times 0.85 \times 131.73 - 0.28} = 6.22 \text{ mm}$$

$$e_I = e_v + e_1 + e_2 + e_3$$

Avec :

e_1 : Surépaisseur de corrosion qui est pour notre cas $e_1 = 3 \text{ mm}$

e_2 : Surépaisseur de tolérance négative, $0,8 \text{ mm} \leq e_2 \leq 1,33 \text{ mm}$, on prend $e_2 = 0,8 \text{ mm}$

e_3 : Surépaisseur tenant compte des charges supplémentaires (vent, séisme..), $e_3 = 3 \text{ mm}$

$$e_I = 6.22 + 3 + 0,8 + 3$$

$$e_I = 13.02 \text{ mm}$$

➤ Epaisseur de la virole (section c) :

$$D_i = 5400$$

$$P_c = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} P_s + 1 = 1.8 + 1 = 2.8 \text{ bars} = 0.28 \text{ MPa} \\ P_s + 10\% = 1.8 + 0.18 = 1.98 \text{ bars} = 0.198 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

Donc on prend : $P_c = 0.28 \text{ MPa}$

La température de calcul est : $t_c = t_s + 15^\circ\text{C} = 351 + 15 = 366^\circ\text{C}$

D'après le graphe à la température $t_c = 366^\circ\text{C} \Rightarrow k = 0.63$

$$\text{Donc : } \sigma_e^{366} = 0.63 \times \sigma_e^{20} \Rightarrow \sigma_e^{366} = 0.63 \times 260 = 163.8 \text{ MPa}$$

D'après le graphe à la température $t_c = 366^\circ\text{C} \Rightarrow k = 0.96$

$$\sigma_r^{366} = k \times \sigma_r^{20} \Rightarrow \sigma_r^{366} = 0.96 \times 420 = 403.2 \text{ MPa}$$

$$\text{Donc : } [\sigma] = \min \left\{ \frac{163.8}{1.5}, \frac{403.2}{3} \right\} = 109.2 \text{ MPa}$$

$$\text{Alors : } e_v = \frac{0.28 \times 5400}{2 \times 0.85 \times 109.2 - 0.28} = 8.16 \text{ mm}$$

$$e_I = e_v + e_1 + e_2 + e_3$$

Avec :

e_1 : Surépaisseur de corrosion qui est pour notre cas $e_1 = 3 \text{ mm}$

e_2 : Surépaisseur de tolérance négative, $0,8 \text{ mm} \leq e_2 \leq 1,33 \text{ mm}$, on prend $e_2 = 0,8 \text{ mm}$

e_3 : Surépaisseur tenant compte des charges supplémentaires (vent, séisme..), $e_3 = 2 \text{ mm}$

$$e_I = 8.16 + 3 + 0,8 + 2$$

$$e_I = 13.96 \text{ mm}$$


➤ Epaisseur de la virole (section d) :

$$D_i = 1980$$


$$P_c = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} P_s + 1 = 2.1 + 1 = 3.1 \text{ bars} = 0.31 \text{ MPa} \\ P_s + 10\% = 2.1 + 0.21 = 2.31 \text{ bars} = 0.231 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

Donc on prend : $P_c = 0.31 \text{ MPa}$

La température de calcul est : $t_c = t_s + 15^\circ\text{C} = 360 + 15 = 375^\circ\text{C}$

D'après le graphe à la température $t_c = 375^\circ\text{C}$  $k = 0.6$

Donc : $\sigma_e^{375} = 0.63 \times \sigma_e^{20}$  $\sigma_e^{375} = 0.6 \times 260 = 156 \text{ MPa}$

D'après le graphe à la température $t_c = 375^\circ\text{C}$  $k = 0.93$

$$\sigma_r^{375} = k \times \sigma_r^{20} \quad \text{--->---} \quad \sigma_r^{375} = 0.93 \times 420 = 390.6 \text{ MPa}$$

Donc : $[\sigma] = \min \left\{ \frac{156}{1.5}, \frac{390.6}{3} \right\} = 104 \text{ MPa}$

Alors : $e_v = \frac{0.31 \times 1980}{2 \times 0.85 \times 104 - 0.31} = 3.48 \text{ mm}$

$$e_I = e_v + e_1 + e_2 + e_3$$

Avec :

e_1 : Surépaisseur de corrosion qui est pour notre cas $e_1 = 3 \text{ mm}$

e_2 : Surépaisseur de tolérance négative, $0,8 \text{ mm} \leq e_2 \leq 1,33 \text{ mm}$, on prend $e_2 = 0,8 \text{ mm}$

e_3 : Surépaisseur tenant compte des charges supplémentaires (vent, séisme..), $e_3 = 1 \text{ mm}$

$$e_I = 3.48 + 3 + 0,8 + 1 = 8.28 \text{ mm}$$

$$e_I = 8.28 \text{ mm}$$

La virole	Epaisseur calculé (mm)	Epaisseur réelle (mm)
Section a	14.3	15
Section b	13.2	14
Section c	13.96	16
Section d	8.28	10

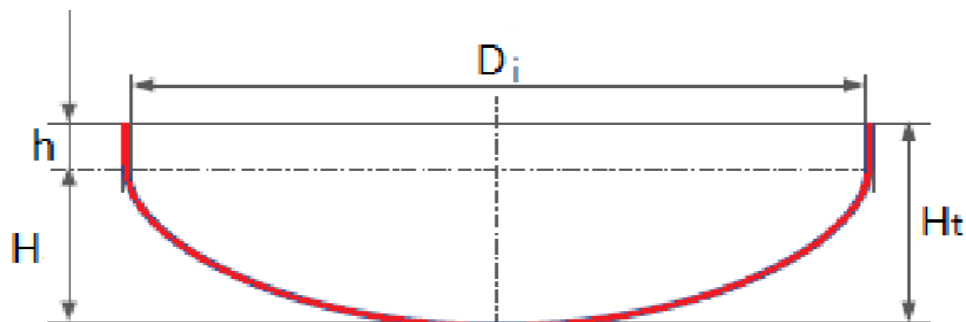
Tableau IV.2 : Comparaison entre les épaisseurs de la virole réelles et calculées

Conclusion :

D'après notre calcul de vérification, on peut conclure que la résistance de la virole dans toutes les sections de la colonne de distillation atmosphérique (c101) est parfaitement assurée.

IV.3.2 Epaisseur de la paroi des fonds :

La colonne distillation atmosphérique (c101) a des fonds de forme elliptique.



H: la hauteur de la partie elliptique.

h : la hauteur de la partie cylindrique.

Ht : la hauteur totale de fond.

Di: diamètre intérieur.

la formule pour calculer l'épaisseur de ce type des fonds est la suivante :

$$e_{fond} = \frac{y \times P_c \times D_i}{2 \times [\sigma] \times \varphi - y \times P_c}$$

Où :

y : Facteur de la forme du fond dépend de rapport $\left(\frac{D_i}{H}\right)$, sa valeur est donnée par la formule suivante:

$$y = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D_i}{2H} \right)^2 \right]$$

Où $H = \frac{1}{4} D_i$ alors $y = 1$

➤ **Fond supérieur:**

$$e_{fond.sup} = \left(\frac{1 \times 0.28 \times 4670}{2 \times 140 \times 0.85 - 1 \times 0.28} \right) = 5.50 \text{ mm}$$

➤ **Fond inférieur:**

$$e_{fond.inf} = \left(\frac{1 \times 0.31 \times 1980}{2 \times 104 \times 0.85 - 1 \times 0.31} \right) = 3.48 \text{ mm}$$

On ajoute une surépaisseur qui tient compte la corrosion, les tolérances négatives, et les charges supplémentaires (le vent, séisme...), et surépaisseur qui tient compte de la diminution de l'épaisseur de la tôle lors de l'emboutissage, on ajoute 1 mm.

Donc l'épaisseur finale des fonds devient :

$$e_{f.sup.final} = e_{fond.sup} + e_1 + e_2 + e_3 = 5.5 + 3 + 0.8 + 1 = 10.3 \text{ mm}$$

$$e_{f.inf.final} = e_{fond.inf} + e_1 + e_2 + e_3 = 3.48 + 3 + 0.8 + 1 = 8.28 \text{ mm}$$

Résultats de calcul :

Fonds	Epaisseur calculé (mm)	Epaisseur réelle (mm)
Fond supérieur	10.3	12
Fond inférieur	8.28	10

Tableau IV.3 : Comparaison entre les épaisseurs des fonds réelles et calculées

Conclusion :

D'après les résultats qu'on a obtenu, on peut conclure que la résistance des fonds est parfaitement assurée.

IV.3.3 Verification de résistance de l'appareil lors de l'essai hydraulique :

IV.3.3.1 Partie inférieure de la virole (zone d'épuisement) :

$$\sigma_{v.inf} = \frac{(\Sigma P + P_f) \times D_e}{2 \times (e_{v.inf} - e_1)} \leq \sigma_{ess}$$

Où :

ΣP : Pression réel dans la partie inférieure de la virole lors l'essai hydraulique en **Mpa**

P_f : Pression fictive correspondant à la charge supplémentaire sur le corps de l'appareil **Mpa**

σ_{ess} : Contrainte pendant l'essai hydraulique, $\sigma_{ess} = 0.9 \sigma_e$ **Mpa**

σ_e : Limite d'élasticité à la température de calcul, $\sigma_e = 260$ **Mpa**

$$\sigma_{ess} = 0.9 \times 260 = 234 \text{ Mpa}$$

$e_{v.inf}$: Épaisseur de virole inférieure, $e_{v.inf} = 10$ mm

e_1 : Addition supplémentaire à l'épaisseur du corps de l'appareil, $e_1 = 3$ mm

P_{inf} : Pression du fond inférieur, $\Sigma P = P_{essai} + P_{st}$

Où :

P_{essai} : Pression d'essai hydraulique **Mpa**

En général P_{essai} est fonction de la pression de service et pour les appareils verticaux installés dans les raffineries d'Algérie :

$$P_{essai} = 1.5 \times P_s = 1.5 \times 2.1 = 3.15 \text{ bars} = 0.315 \text{ Mpa}$$

P_{st} : Pression de l'eau contenue dans la colonne, $P_{st} = \rho g H$

$$H = H_{fond\ supérieur} + H_{de\ la\ virole} + H_{fond\ inférieur}$$

$$H = 1.1675 + 45 + 1.4575$$

$$H = 47.625 \text{ m}$$

Donc $P_{st} = 1000 \times 9.81 \times 47.625 = 0.467 \text{ Mpa}$

$$\Sigma P = 0.315 + 0.467 = 0.782 \text{ Mpa}$$

$$P_f = \frac{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot \Delta_e}{D_e + \Delta_e}$$

Où :

Δ_e : Addition qui tient compte des charges supplémentaires, $\Delta_e = 2 \text{ mm}$

D_e : Diamètre de la zone d'épuisement, $D_e = 1980 \text{ mm}$

φ : Coefficient de soudure longitudinale, $\varphi = 0.85$

$[\sigma]$: Contrainte admissible à la température d'essai hydraulique **Mpa**

$$\sigma_e^{20} = 260 \text{ MPa} \quad \sigma_r^{20} = 420 \text{ MPa}$$

$$[\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_e^t}{n_e}; \frac{\sigma_r^t}{n_r} \right\}$$

$$[\sigma] = \min \left\{ \frac{260}{1.5}, \frac{420}{3} \right\} = 140 \text{ MPa}$$

$$P_f = \frac{2 \times 0.85 \times 140 \times 0.002}{1.980 + 0.002} = 0.24 \text{ Mpa}$$

$$\text{Donc} \quad \sigma_{v.inf} = \frac{(0.782 + 0.24) \times 1.980}{2 \times (0.01 - 0.003)} = 144.54 \text{ Mpa} \leq 234 \text{ Mpa}$$

IV.3.3.2 Partie supérieur de la virole (zone de rectification) :

$$\sigma_{v.sup} = \frac{(\Sigma P + P_f) \times D_e}{2 \times (e_{v.sup} - e_1)} \leq \sigma_{ess}$$

$e_{v.inf}$: épaisseur de virole supérieur, $e_{v.sup} = 15 \text{ mm}$

$$P_{st} = \rho g H_r$$

H_r hauteur de la zone de rectification **$H_r = 35.85 \text{ m}$**

Donc $P_{st} = 1000 \times 9.81 \times 35.85 = 0.351 \text{ Mpa}$

$$P_{essai} = 1.5 \times P_s = 1.5 \times 1.8 = 2.7 \text{ bars} = 0.27 \text{ Mpa}$$

$$\Sigma P = 0.270 + 0.351 = 0.621 \text{ Mpa}$$

$$P_f = \frac{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot \Delta_e}{D_r + \Delta_e}$$

Où : D_r Diamètre de la zone de rectification, $D_r = 4670 \text{ mm}$

$$P_f = \frac{2 \times 0.85 \times 140 \times 0.002}{4.670 + 0.002} = 0.10 \text{ Mpa}$$

Donc $\sigma_{v.sup} = \frac{(0.621+0.10) \times 4.670}{2 \times (0.015 - 0.003)} = 140.29 \text{ Mpa} \leq 234 \text{ Mpa}$

IV.3.3.3 Fond inferieur :

$$\sigma_{f.inf} = \frac{(\Sigma P + P_f) \cdot Y \cdot D_{f.inf}}{2 \times (e_{f.inf} - e_1)} \leq \sigma_{ess}$$

$e_{f.inf}$: Épaisseur du fond inférieur, $e_{f.inf} = 10\text{mm}$

Y: Facteur de la forme du fond, $Y = 1$

Donc $\sigma_{f.inf} = \frac{(0.782+0.24) \times 1 \times 1.980}{2 \times (0.01 - 0.003)} = 144.54 \text{ Mpa} \leq 234 \text{ Mpa}$

IV.3.3.4 Fond supérieur :

$$\sigma_{f.sup} = \frac{(\Sigma P + P_f) \cdot Y \cdot D_{f.sup}}{2 \times (e_{f.sup} - e_1)} \leq \sigma_{ess}$$

$e_{f.sup}$: Épaisseur du fond supérieur, $e_{f.sup} = 12\text{mm}$

Y: Facteur de la forme du fond, $Y = 1$

Donc $\sigma_{f.sup} = \frac{(0.621+0.10) \times 1 \times 4.670}{2 \times (0.012 - 0.003)} = 187.06 \text{ Mpa} \leq 234 \text{ Mpa}$

Résultats de calculs :

<i>Contraintes</i>	<i>Contraintes réelles pendant l'essai</i> [Mpa]	<i>Contraintes limites pendant l'essai</i> [Mpa]
Zone d'épuisement	144.54	234
Zone de rectification	140.29	234
Fond inférieur	144.54	234
Fond inférieur	187.06	234

Tableau IV.4 : Comparaison entre les contraintes réelles et limites**Conclusion :**

D'après notre calcul de vérification, on peut conclure que la résistance la zone de rectification, d'épuisement, des fonds de la colonne de distillation atmosphérique (c101) est parfaitement assurée lors de l'essai hydraulique.

IV.4 Calcule de stabilité

La contrainte est maximale pendant le service elle est calculée comme suit :

$$\sigma_{max} = \frac{Q_{max}}{S_{ab}} + \frac{M_v}{W_{ab}}$$

Avec :

S_{ab} : l'aire de l'anneau de base en m^2

$$S_{ab} = \frac{\pi}{4} (D_e^2 - D_i^2)$$

W_{ab} : module de la section de l'anneau de base en m^3

$$W_{ab} = \frac{\pi}{32} \left(\frac{D_e^4 - D_i^4}{D_e} \right)$$

M_v : Le moment fléchissant dû à la poussée du vent.

Q_{max} : le poids de la colonne pleine d'eau l'hors l'essai hydraulique

D_e : diamètre extérieur de l'anneau de base, $D_e = 5,74 \text{ m}$

D_i : diamètre intérieur de l'anneau de base, $D_i = 5,14 \text{ m}$

$$S_{ab} = \frac{\pi}{4} (5,74^2 - 5,14^2) = 5,13 \text{ m}^2$$

$$w_{ab} = \frac{\pi}{32} \left(\frac{D_e^4 - D_i^4}{D_e} \right) = 6,63 \text{ m}^3$$

IV.4.1 Calcul de moment fléchissant M_v :

Pour calculer la pousse de vent on divise le corps de la colonne en plusieurs tronçons.

On admet qu'un effet du vent P , agit horizontalement et que le point d'application de cette force se trouve au milieu de la zone, dont la distance au sol est égale X_i (**Fig IV.2**)

Le moment fléchissant dû à la poussée du vent est donné par la formule suivante:

$$M_v = \sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i$$

Où :

P_i : La poussée du vent dans les différentes sections de la colonne.

X_i : La distance entre le point d'application de la poussée de chaque section et la base de la colonne.

A. Calcul de la poussée du vent :

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.

✓ Calcul du coefficient aérodynamique K

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

Re	0,15.10 ⁶	0,4.10 ⁶	10 ⁶	1,5.10 ⁶	2.10 ⁶
K	1,2	0,45	0,45	0,6	0,6

Avec **Re** : Nombre de RYNOLD, il nous donne le régime d'écoulement de l'air:

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

Avec :

ν_{air} : Viscosité cinématique de l'air $\nu_{air} = 0,146.10^{-4}$

D_{ext} : Diamètre extérieur avec calorifugeage.

La vitesse de vent est déterminée d'après les normes AFNOR par la formule suivante :

$$V = 3,3\sqrt{q} = 3,3\sqrt{q_0 \cdot \theta}$$

V: Vitesse du vent en (m/ s),

q: Poussée spécifique du vent

q₀ : Poussée spécifique au niveau de sol en (**kgf/m²**) selon AFNOR

Pour les cotes algériennes : $q_0 = 450 \text{ N/m}^2 = 45 \text{ kgf/m}^2$

θ : Coefficient de surcharge en fonction de la hauteur de l'appareil,

$\theta = f(H)$:

- Si $H \leq 10 \text{ m}$ $\theta = 1$

- 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

On a :

- $H_1 = H_2 = H_3 = 10 \text{ m}$ alors $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 1$

Donc $V_1 = V_2 = V_3 = 3.3\sqrt{45} = 22.14 \text{ m/s}$

$$Re_1 = \frac{22.14 \times 5.432}{0.146} \times 10^4 = 8,33 \cdot 10^6 \quad \Rightarrow \quad K_1 = 0,6$$

$$Re_2 = \frac{22.14 \times 5.432}{0.146} \times 10^4 = 8,33 \cdot 10^6 \quad \Rightarrow \quad K_2 = 0,6$$

$$Re_3 = \frac{22.14 \times 4.998}{0.146} \times 10^4 = 7,58 \cdot 10^6 \quad \Rightarrow \quad K_3 = 0,6$$

- $H_4 = 11,70$ alors $\theta_4 = f(H) = 1.4$

$$V_4 = 3.3\sqrt{45} \times 1.4 = 26.19 \text{ m/s}$$

$$Re_4 = \frac{26.19 \times 4.7}{0.146} \times 10^4 = 8,43 \cdot 10^6 \quad \Rightarrow \quad K_4 = 0,6$$

✓ Calcul coefficient d'augmentation de la poussée spécifique β :

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

$$\beta = 1 + m\varepsilon$$

m : 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 m , on le détermine par le tableau suivant :

H (m)	Jusqu'à 20	40	60	80	100 ÷ 120
m	0,35	0,32	0,28	0,25	0,21

$$H_1, H_2, H_3 \text{ et } H_4 < 20 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad m = 0.35$$

$$\varepsilon = f(T) \quad \left\{ \begin{array}{ll} - \text{Si } T \leq 0,25 & \varepsilon = 1 \\ - \text{Si } T > 0,25 & \varepsilon = f(T), \text{ en utilisant le tableau suivant :} \end{array} \right.$$

ε	1,5	1,75	2	2,5	3	3,1	3,1
T (s)	0,5	1	1,5	2,75	4	5	6

Et:
$$T = 1,79 \cdot H_c \cdot \sqrt{\frac{Q_{max} \cdot H_c}{g \cdot E \cdot I}}$$

Avec :

H_c : Hauteur de la colonne

Q_{max} : Charge maximale de la colonne

$$Q_{max} = Q_{\text{colonne sans plateaux}} + Q_{\text{plateaux}} + Q_{\text{eau de l'essai hyd}} + Q_{\text{calorifuge}} + Q_{\text{gunite}}$$

$$Q_{\max} = (109000 + 57000 + 790000 + 17000 + 12000) \times 9.81$$

$$Q_{\max} = 9662850 \text{ N}$$

E : Module de Young du matériau à la température de calcul $E = 2.10^{11} \text{ N/m}^2$

I : Moment d'inertie de la section inférieure de la jupe donc

$$I = \frac{\pi}{64} \times (D_{ej}^4 - D_{ij}^4) = 0.95 \text{ m}^4$$

Donc : $T = 1,79.41.7. \sqrt{\frac{9662850 \times 41.7}{9.81 \times 2.10^{11} \times 0.95}} = 1.09 \text{ s}$

$$T = 1\text{s} \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon_4 = 1.75$$

Donc $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 1 + 0.35 \times 1.75 = 1.61$

✓ Calcul de la surface face au vent S

$$S_i = D_{ext} \cdot H_i \cdot k$$

C'est-à-dire :

$$S_1 = D_{ext} \cdot H_1 \cdot k = 5.432 \times 10 \times 1.2 = 65.18 \text{ m}^2$$

$$S^2 = D_{ext} \cdot H_2 \cdot k = 5.432 \times 10 \times 1.2 = 65.18 \text{ m}^2$$

$$S^3 = D_{ext} \cdot H_3 \cdot k = 4.998 \times 10 \times 1.2 = 59.98 \text{ m}^2$$

$$S_4 = D_{ext} \cdot H_4 \cdot k = 4.700 \times 11.7 \times 1.2 = 65.99 \text{ m}^2$$

✓ Calcul de q pour différents hauteurs de la colonne

$$q = q_0 \cdot \theta$$

Alors $q_1 = q_2 = q_3 = 450 \times 1 = 450 \text{ N/m}^2$

$$q_4 = 450 \times 1.4 = 630 \text{ N/m}^2$$

Donc pour les poussées du vent :

$$P_1 = K \cdot \beta \cdot q_1 \cdot S_1 = 0,6 \times 1.61 \times 450 \times 65.18 = 28333.75 \text{ N}$$

$$P_2 = K \cdot \beta \cdot q_2 \cdot S_2 = 0,6 \times 1.61 \times 450 \times 65.18 = 28333.75 \text{ N}$$

$$P_3 = K \cdot \beta \cdot q_3 \cdot S_3 = 0,6 \times 1.61 \times 450 \times 59.98 = 26073.31 \text{ N}$$

$$P_4 = K \cdot \beta \cdot q_4 \cdot S_4 = 0,6 \times 1,61 \times 630 \times 65,99 = 40160,19 \text{ N}$$

✓ Calcul des Distances X_i :

$$X_1 = \frac{H_1}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{ m}$$

$$X_2 = H_1 + \frac{H_2}{2} = 10 + \frac{10}{2} = 15 \text{ m}$$

$$X_3 = H_1 + H_2 + \frac{H_3}{2} = 10 + 10 + \frac{10}{2} = 25 \text{ m}$$

$$X_4 = H_1 + H_2 + H_3 + \frac{H_4}{2} = 10 + 10 + 10 + \frac{11,7}{2} = 35,85 \text{ m}$$

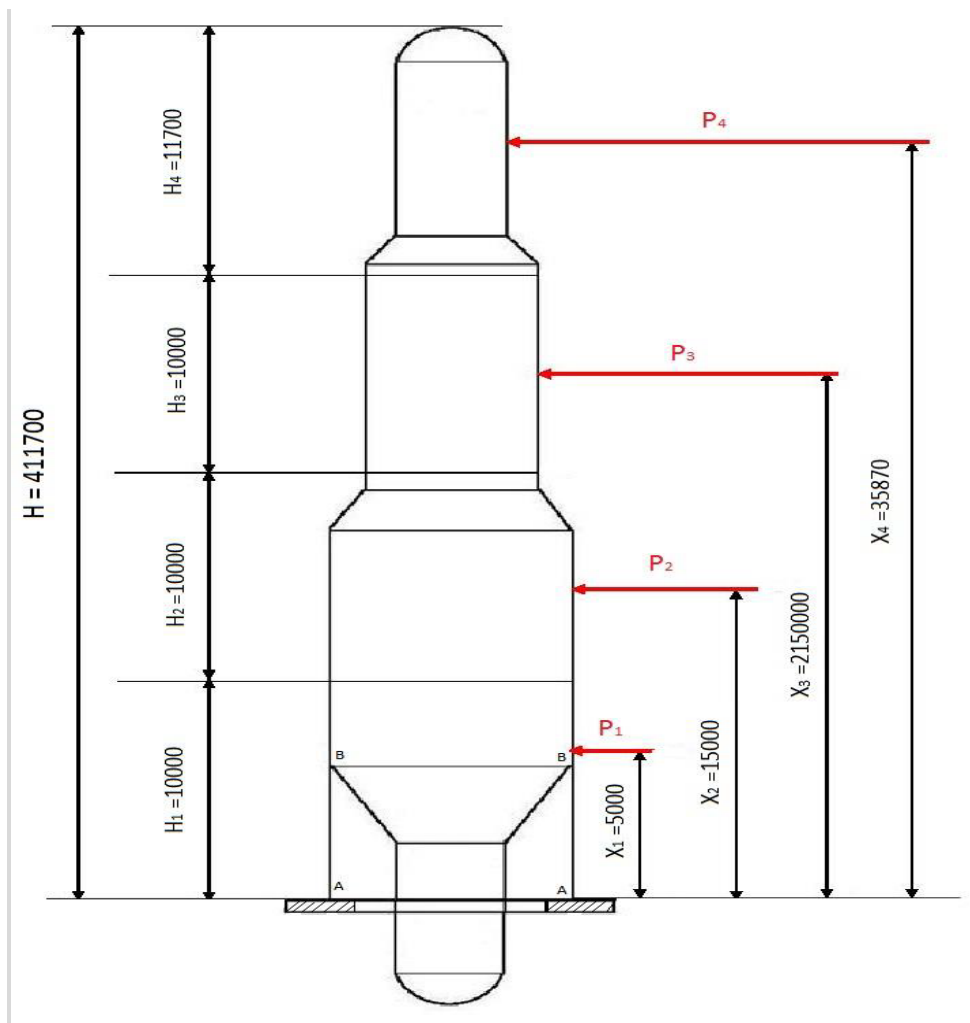


Fig IV.2 Les tronçons de la colonne soumis à l'effet du vent

B. Moment fléchissant dans les différentes sections de la colonne :

La valeur du moment fléchissant sera la somme des moments de chaque tronçon :

$$M_v = P_1 \cdot X_1 + P_2 \cdot X_2 + P_3 \cdot X_3 + P_4 \cdot X_4$$

$$M_v = 28333.75 \times 5 + 28333.75 \times 15 + 26073.31 \times 25 + 40160.19 \times 35.85$$

$$M_v = 2658250.56 \text{ N}$$

IV.4.2 Vérification de la stabilité de l'équipement :

la condition de stabilité est :

$$\sigma_{\text{compression}} = \frac{Q_{\text{max}}}{S_{ab}} > \sigma_{\text{flexion}} = \frac{M_v}{W_{ab}}$$

$$\frac{Q_{\text{max}}}{S_{ab}} = \frac{9662850}{5.13} = 1883596.49 \text{ N/m}^2$$

$$\frac{M_v}{W_{ab}} = \frac{2658250.56}{6.63} = 400942.77 \text{ N/m}^2$$

On a :

$$\sigma_{\text{compression}} = 1883596.49 \text{ N/m}^2 > \sigma_{\text{flexion}} = 400942.77 \text{ N/m}^2$$

Donc la stabilité de l'équipement est assurée

IV.4.3 Vérification de l'épaisseur de l'anneau de base :

L' épaisseur de l' anneau de base est déterminée d' après la formule :

$$e = 1,73 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{max}}}{[\sigma]_{fl}}}$$

Avec :

b : La largeur de l'anneau de base, ***b* = 147 mm**

$[\sigma]_{fl}$: Contrainte admissible à la flexion de l'anneau de base.

$$[\sigma]_{fl} = \beta[\sigma]$$

β : Coefficient de passage de la contrainte de traction à la contrainte de flexion, sa valeur est 1,2 Pour les aciers ordinaires.

$$[\sigma]_{fl} = \beta[\sigma] = 1,2 \cdot 100,5 = 120,6 \text{ MPa}$$

Et

$$\sigma_{max} = \frac{Q_{max}}{S_{ab}} + \frac{M_v}{W_{ab}}$$

$$\sigma_{max} = \frac{9662850}{5,13} + \frac{2658250,56}{6,63} = 2,28 \text{ Mpa}$$

$$e = 1,73 \times 147 \times \sqrt{\frac{2,28}{120,6}}$$

$$e = 34,96 \text{ mm}$$

Pour tenir compte de la corrosion atmosphérique on ajoute une surépaisseur de 1 [mm]

$$e_{final} = 34,96 + 1 = 36 \text{ mm}$$

CONCLUSION :

Epaisseur réel de l'anneau de base est 40 [mm] donc l'anneau de base résiste parfaitement à la charge maximale et au moment provoqué par cette charge lors de l'essai hydraulique et lors du fonctionnement normale de la colonne de distillation atmosphérique c 101.

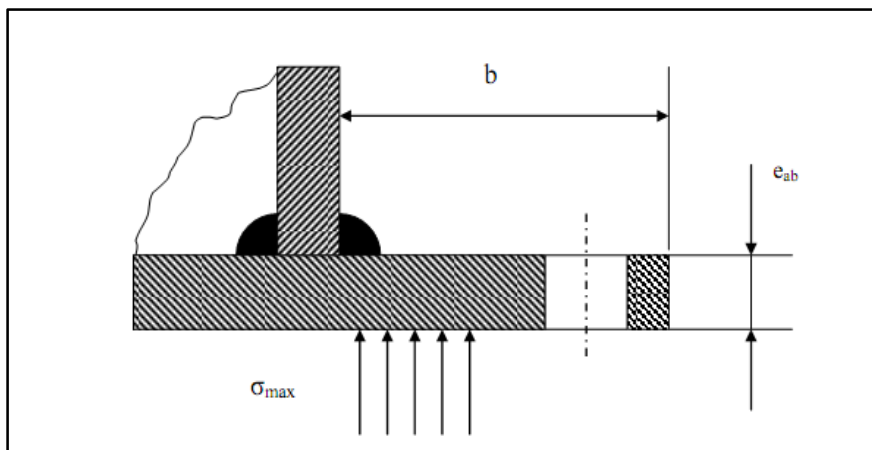


Fig IV.2: Contrainte sur l'anneau de base

IV.4.4 Vérification de la nécessité de l'ancrage :

Les boulons d'ancrage sont fixés sur la couronne d'assise qui subit la contrainte due au poids de la colonne ainsi que l'effort du vent. On doit déterminer la contrainte minimale σ_{min} qui est la différence entre la contrainte de compression et celle de la flexion.

Dans le cas où σ_{min} est négative, les boulons subissent le soulèvement et doivent résister à la traction tel que :

$$\sigma_{min} = \sigma_{com} - \sigma_{fl} = \frac{Q_{min}}{S_{ab}} - \frac{M_v}{W_{ab}}$$

- Si $\sigma_{min} > 0$ $\frac{Q_{min}}{S_{ab}} > \frac{M_v}{W_{ab}}$ L'équipement est stable (Pas nécessité d'ancrage)

- Si $\sigma_{min} = 0$ $\frac{Q_{min}}{S_{ab}} = \frac{M_v}{W_{ab}}$ Equilibre théorique

- Si $\sigma_{min} < 0$ $\frac{Q_{min}}{S_{ab}} < \frac{M_v}{W_{ab}}$ L'équipement n'est pas stable (nécessité d'ancrage)

Q_{min} est la charge de la colonne à vide,

$$Q_{min} = Poids \text{ à vide} \times g$$

$$= 178000 \times 9,81 = 1746180 \text{ N}$$

$$\sigma_{min} = \frac{1746180}{5.13} - \frac{2658250.56}{6.63} = -0.06055680 \text{ Mpa} < 0$$

Donc : l'équipement n'est pas stable (nécessité d'ancrage)

IV.4.5 Calcul des boulons d'ancrage:

Les boulons sont en acier A 42 dont la contrainte admissible à la traction est 121 Mpa

✓ La charge totale sur l'anneau de base :

$$P = \sigma_{min} \times S_{ab} = |-0.06055680| \times 5.13 \cdot 10^6 = 0.31 \times 10^6 \text{ N}$$

La charge exercée sur un boulon est

$$P_{boulon} = \frac{P}{n}$$

$$n = 30$$

$$P_{boulon} = \frac{0.31 \times 10^6}{30} = 0.01 \times 10^6 \text{ N}$$

✓ Condition de résistance du boulon:

$$\sigma_{boulon} = \frac{P_{boulon}}{S_{boulon}} \leq [\sigma]_{boulon}$$

Avec: S_{boulon} : Surface de chaque boulon,

$$S_{boulon} = \frac{\pi}{4} (D_{boulon})^2 = \frac{\pi}{4} (100)^2 = 7.85 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

D_{boulon} : Diamètre du boulon

D'où : $\sigma_{boulon} = \frac{0.01 \times 10^6}{7.85 \times 10^3} = 1.27 \text{ Mpa} \leq 120 \text{ MPa}$

D'après la comparaison on voit que les boulons d'ancrage résistent bien à la traction s'il y a une poussée de vent.

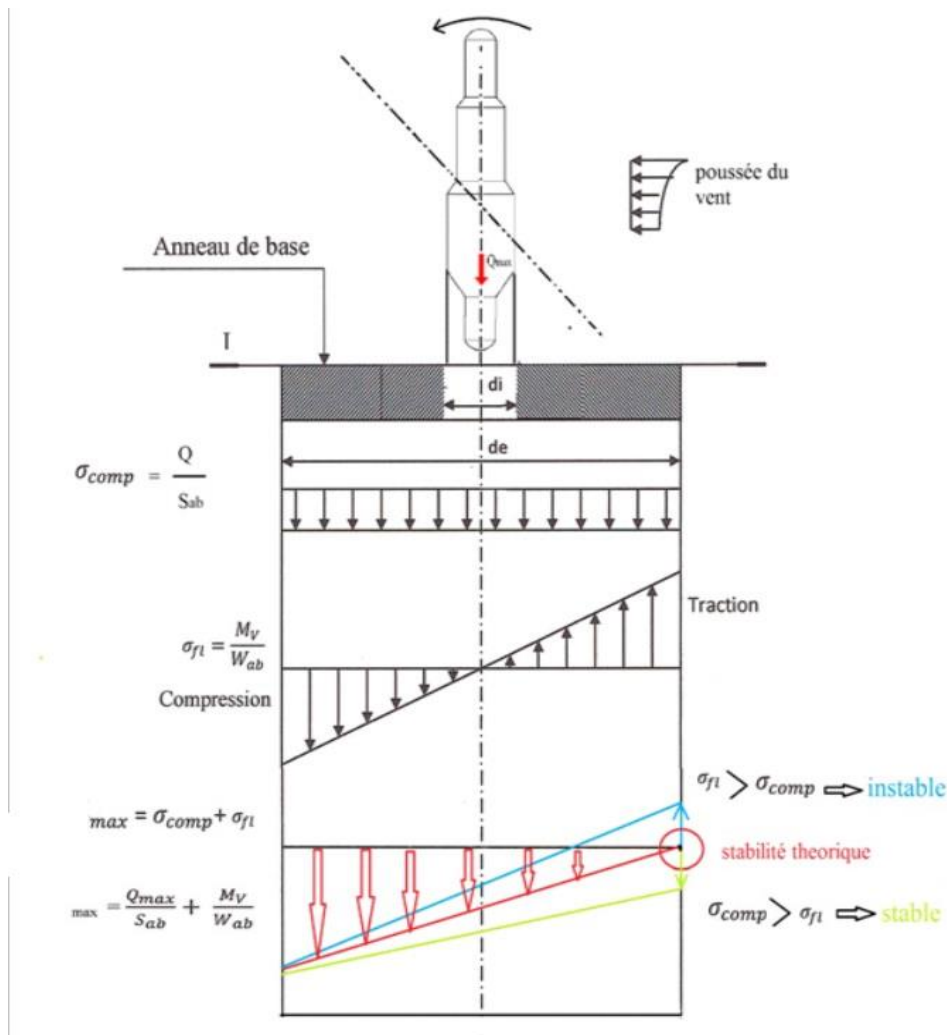


Fig IV.3 Contraintes agissantes sur les boulons d'ancrage lors de la poussée du vent.

IV.4.6 Résistance de la fondation:

Le choix du béton dépend de la contrainte maximale due au moment de vent et au poids de la colonne, donc la fondation sur laquelle repose la colonne il faut satisfaire à la condition suivante :

$$\sigma_{max} \leq [\sigma]_{\text{béton}}$$

$[\sigma]_{\text{béton}}$: Le taux de travail admissible (Contrainte admissible) de compression pour le béton choisi, tel que :

$$[\sigma]_{\text{béton}} = \frac{\sigma_c}{n_r}$$

σ_c : La limite de résistance à la compression, en **Mpa**

n_r : Le coefficient de sécurité, **$n_r = 2,5$**

Sachant que la contrainte limite de résistance à la compression du béton fabriqué sur chantier varie de **25 ÷ 35 MPa** et parfois atteindre **50 MPa**.

On prend : **$\sigma_c = 25 \text{ MPa}$** $[\sigma]_{\text{béton}} = \frac{25}{2,5} = \mathbf{10 \text{ MPa}}$

Et on a : **$2.28 \text{ MPa} < 10 \text{ MPa}$**

$$\sigma_{max} < [\sigma]_{\text{béton}}$$

Donc, D'après la comparaison on peut dire que la fondation résiste bien au poids de l'appareil

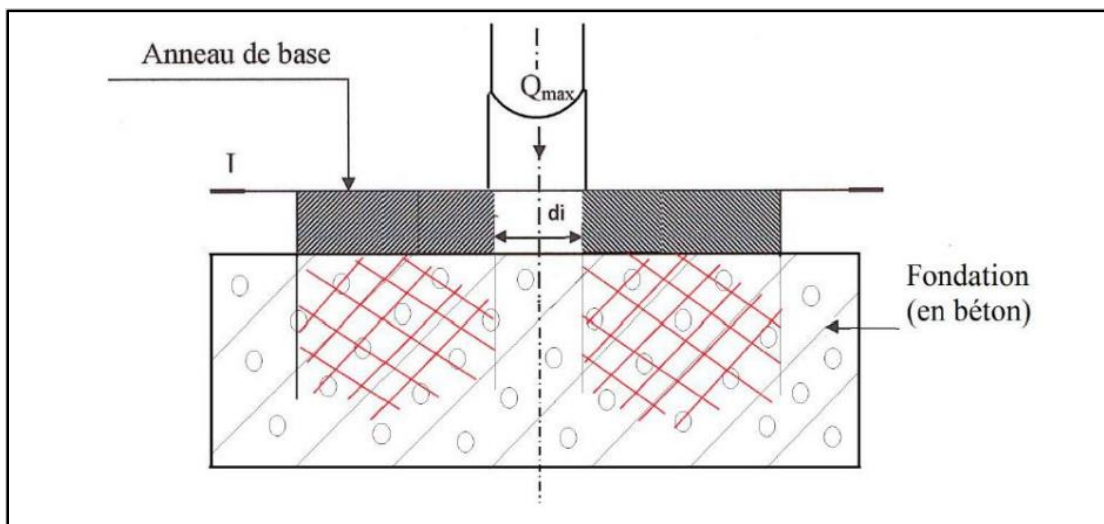


Fig IV.4 Contrainte agissant sur la fondation d'une colonne

IV4 .7 La stabilité de la jupe:

La contrainte dans la paroi de la jupe est déterminée comme étant la somme des contraintes provoquées par le poids de l'appareil et par le moment fléchissant M.

Condition de stabilité de la jupe :

$$\sigma_{max} \leq [\sigma_s]$$

Avec $[\sigma_s] = \frac{\sigma_{cr}}{n_s}$

n_s : Coefficient de la réserve, $n_s = 2$

σ_{cr} : Contrainte critique du matériau de la jupe en [N/m²], $\sigma_{cr} = f(H_j, L_{cr})$

Où :

H_j : La hauteur de la jupe, $H_j = 3 \text{ m}$

L_{cr} : Longueur critique , $L_{cr} = 1,009. \pi. R_{ej}$

et $R_{ej} = \frac{D_{ej}}{2} = \frac{5.432}{2} = 2.716 \text{ m}$

alors $L_{cr} = 1,009 \times \pi \times 2.716 = 8.61 \text{ m}$

On a le rapport: $\frac{H_j}{L_{cr}} = \frac{3}{8.61} = 0.35 < 0,707$

$$\sigma_{cr} = 0.06 \times E \times (e_j - c)^2 \times \left(\frac{9}{8} \frac{H_j^2}{R_{ej}^4} + \frac{7}{6} \frac{\pi^4}{H_j^2} \right)$$

Avec e_j : épaisseur de la jupe

c : surépaisseur de corrosion

$$\sigma_{cr} = 0.06 \times 200 \times 10^3 \times (0.016 - 0.003)^2 \times \left(\frac{9}{8} \times \frac{3^2}{2.716^4} + \frac{7}{6} \times \frac{\pi^4}{3^2} \right)$$

$$\sigma_{cr} = 25.985 \text{ Mpa}$$

$$[\sigma_s] = \frac{25.985}{2} = 12.99 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{max} = 2.28 \text{ Mpa} < 12.99 \text{ Mpa}$$

Donc la stabilité de la jupe est assurée.

V.1 Généralités sur la maintenance:

V.1.1. Définition :

C'est une ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Maintenir c'est donc effectuer des opérations qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production.

V.1.2. Objectif de la maintenance :

Les objectifs de la maintenance peuvent être classés en deux types :

A. Objectifs financiers :

- Réduire au minimum les dépenses de maintenance.
- Assurer le service de maintenance dans la limite d'un cout faible.

B. Objectifs opérationnels :

- Maintenir les équipements dans les meilleures conditions possibles.
- Assurer la disponibilité maximale de l'équipement à un prix minimum.
- Augmenter la durée de vie des équipements.
- Entretenir les installations avec le minimum d'économie et les remplacer à des périodes prédéterminés.
- Assurer un fonctionnement sur et efficace à tout moment.
- Augmenter le rendement des équipements.

V.1.3. Les différentes formes de maintenance :

L'arbre de la maintenance (voir figure **IV.1**) comprend deux grands embranchements principaux: la maintenance corrective ou curative et la maintenance préventive qui se subdivise en maintenance systématique et en maintenance conditionnelle ou prédictive.

V.1.3.1. La maintenance corrective (ou maintenance curative) :

Est effectuée après défaillance du matériel. À celle-ci correspond deux formes d'intervention: le dépannage et la réparation après panne.

Par dépannage :

On entend généralement une intervention de type provisoire, le plus souvent immédiate, rendue nécessaire soit par l'absence de pièces de rechange, soit pour préparer le terrain avant la réparation définitive. Ce type de pratique est fréquent en période de mise au point et de rodage d'une machine ou d'un procédé de fabrication ou, au contraire, en fin de vie d'un matériel.

La réparation:

C'est le but ultime de la maintenance et, par la même occasion, là où se situe le plus fort pourcentage des activités qui y sont liées. Cette première forme de maintenance permet d'introduire un certain nombre d'améliorations visant:

- la suppression ou la diminution des pannes ou d'anomalies.
- l'augmentation de la durée de vie des organes de la machine.
- la réduction de la consommation (de lubrifiants, par exemple).
- la standardisation des composantes.

V.1.3.2. La maintenance préventive :

Fait appel à des critères prédéterminés, dans le but de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu par un équipement de fabrication. Dans le cadre de la maintenance préventive, on peut opérer: Selon un échéancier relativement fixe: c'est la maintenance systématique; ou en fonction d'un événement défini préalablement et révélateur de l'état de dégradation d'un équipement (grâce à l'information d'un capteur, la mesure d'une usure...): il s'agit alors de maintenance conditionnelle (ou prédictive). Dans la maintenance préventive, on retrouve habituellement l'ensemble des opérations suivantes:

A. Les opérations de surveillance:

Rondes sur les matériels en fonctionnement, interventions légères, corrections de petites pannes, interventions de premier niveau; cette pratique est pertinente pour tous les matériels automatisés ou stratégiques dans le procédé de fabrication;

B. Les visites périodiques:

Si on ignore les durées de vie des pièces et composants de l'équipement, ces visites imposent très souvent des travaux de maintenance décidés sur-le-champ, parce qu'ils sont urgents ou planifiés. Cette pratique s'applique aux matériels arrivés à maturité, accessibles ou placés en redondance dans le procédé de production, et pour lesquels le diagnostic et le délai d'obtention des pièces de rechange peuvent être rapides.

C. La maintenance systématique:

Lorsque les durées de vie des différents sous ensembles et composants de l'équipement sont bien connus, quand ces matériels sont soumis à des normes strictes (les appareils sous pression, les ascenseurs, etc.) ou lorsque le coût d'immobilisation peut être diminué, en procédant à des échanges standards de sous-ensembles.

D. La maintenance conditionnelle:

Pour le même équipement que ci-dessus, mais lorsque les causes et les modes de ses défaillances sont suffisamment bien connus et que l'on sait corréler leur apparition avec un phénomène physique enregistrable au moyen d'un capteur (tels que les vibrations, les bruits, l'usure...)

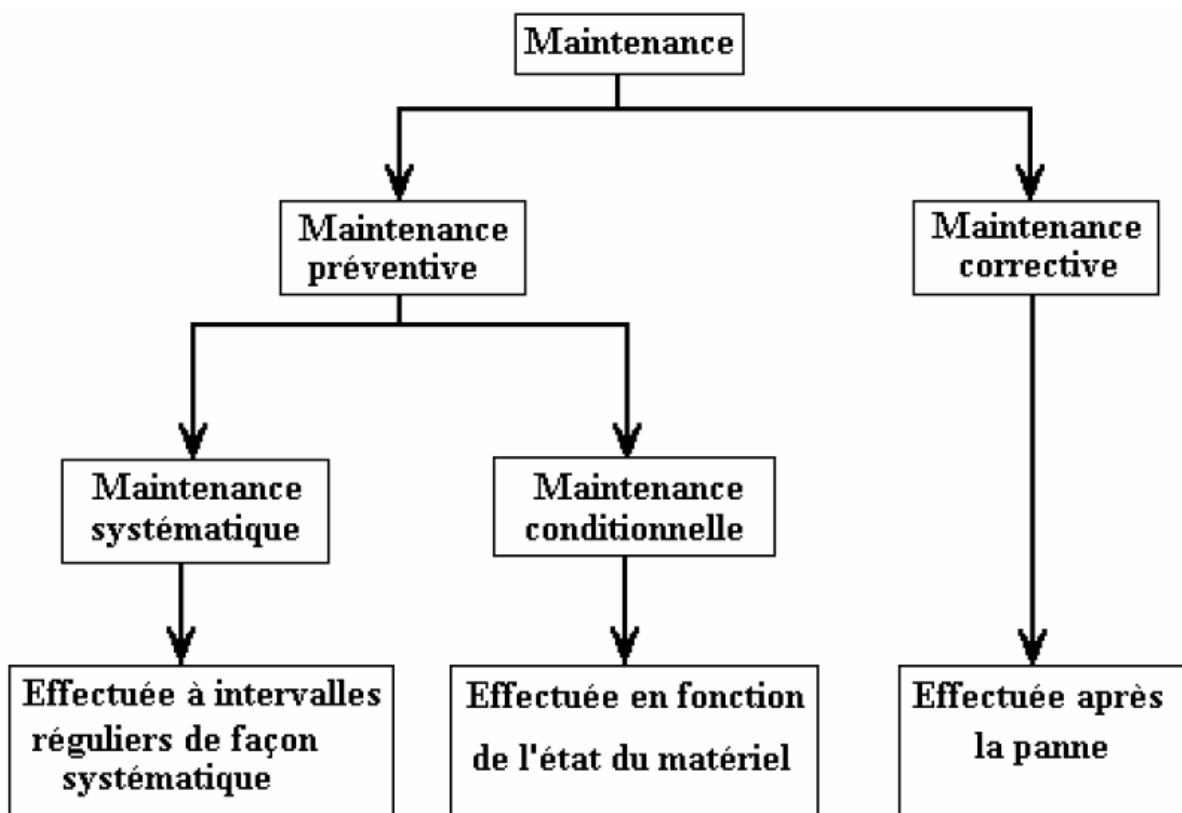


Fig .V.1. Les différentes formes de la maintenance –

V.1.4. Inspection et réparation de la colonne :

Les inspections ou les vérifications périodiques sont des actions préventives et doivent être effectuées périodiquement selon les échéances réglementaires pour les appareils à pression de gaz soumis à la réglementation. Tout les trois années effectives (révision triennale) même s'il s'agit d'un équipement conditionné par un chômage d'exploitation cette échéance étant assez élevée par rapport à la réglementation vapeur et ce pour des raisons que la vapeur d'eau étant plus corrosive que le gaz Ces vérifications doivent porter sur l'ensemble du corps externe et les surfaces internes de l'appareil toute imperfection de surface doit être relevée et appréciée et ce dont le but de la sécurité de l'équipement

V.1.4.1 Préparation de la colonne pour l'inspection :

V.1.4.1.1 Procédure d'arrêt normal de l'unité

La préparation d'une unité de distillation pour intervention de l'entretien est une longue opération qui nécessite deux à trois jours suivant l'importance et la quantité des équipements concernés, donc on trouvera ci-dessous l'énoncé chronologique des différentes étapes de la préparation de l'unité.

Avant de commencer des maintenances des installations de production, s'assure que les premières opérations de travail ont bien été effectuées, émises et signalées. Les premières opérations doivent spécifier que la colonne a été préalablement purgée, dégazéifiée et refroidies.

C'est généralement un arrêt pour révision et maintenance, la procédure est comme suit :

- vider tous les liquides hydrocarbures de l'unité
- Drainage et isolement des pompes par joints pleins
- Préparation d'un Bac de stockage pour recevoir les effluents de lavage
- Dépressurisation de l'unité à la pression du circuit torche
- Lavage à l'eau de tous les circuits
- Vidange de tous les circuits et équipements de l'eau de lavage
- Inertage de tous les circuits avec la vapeur

- Rallumage du four pour éviter la condensation de la vapeur dans les lignes
- Inertage à la vapeur de tous les circuits vers l'atmosphère
- Mise en place des joints pleins d'isolement de l'unité.

V.1.4.1.2. Préparation de la colonne :

La visite et l'inspection de la colonne nécessite les opérations suivantes :

- Elimination des gaz d'hydrocarbures
- Dépose des soupapes et pose de brides pleines
- Ouverture des trappes de visite internes
- Le décalorifugeage.
- Drainage complet de la colonne afin d'éviter les risques du gel.
- Ouvrir les trous d'homme progressivement de haut en bas,
- Laver l'intérieur de la colonne par vapeur d'eau puis par l'eau afin d'évacuer les hydrocarbures existant dans la colonne. Cette opération s'effectue dans le cas où il est nécessaire d'effectuer des réparations à l'intérieur de la colonne. Ensuite, on fait l'analyse de l'air à l'intérieur de l'appareil.
- Démontage des plateaux.
- On nettoie les éléments des plateaux et des déversoirs ainsi de tous les dépôts.
- Nettoyage de la partie basse de la colonne à l'aide d'une brosse métallique.
- Isolement à l'aide joint plein.

L'isolement de l'appareil est nécessaire afin d'éviter l'entrée accidentelle des matières étrangères qui pouvaient présenter un danger pour le personnel d'entretien et permettre de travailler sans risque.

V.1.4.1.3 Inspection externe :

L'inspection externe de la colonne se fait de haut en bas, elle comprend les opérations suivantes :

- a) Examen de la paroi externe de l'Équipement la détection de défauts et les dommages constatés sur cette paroi au cours de son exploitation.
- b) Inspection des semelles, des supports, charpente, boulons, tiges d'ancrage et... etc.
- c) Inspection des soudures et les joints de soudure et des supports.
- d) Relevés géométriques de la position des supports et de l'Équipement par rapport aux plans horizontal et vertical.
- e) Inspection des événements, des drains, des tubulures des indicateurs de niveau.
- f) Inspection des jupes des équipements (intérieurement / extérieurement).
- g) Mesure et vérification des épaisseurs des parois externes de l'Équipement par des méthodes radiographiques, Ultra sonores, par perçage, l'affaiblissement des parois à lieu en conséquence de la corrosion.
- h) Relevé des points de contrôle d'épaisseur.
- i) Vérification l'état de La peinture de protection est une partie intégrante pour l'appareil en question apprécier cet état particulièrement à sa dégradation ou altération aux surfaces car tout dommage de ce revêtement se caractérise par une corrosion de surface suivant le milieu considéré.

V.1.4.1.4 Inspections internes

Se déroule dans un éclairage adéquat suivant les opérations comme suite :

- a) Inspection des parois internes et des fonds bombés de l'Équipement.
- b) Examen des joints de soudure de l'équipement.
- c) Inspection des accessoires internes de l'équipement
- d) contrôle de l'état des plateaux (déformation quelconque, fissuration, perte de clapets, cisaillement des boulons de fixation, etc.).
- e) contrôle des déversoirs et de la tuyauterie interne (déformation quelconque, fissuration,...etc.).
- f) contrôle de la quantité du dépôt au niveau du reflux, le plateau cheminé, le fond de colonne.

g) contrôle des parois de la virole et des fonds, c'est-à-dire mesurer leurs épaisseurs par la méthode des ultra-sons. Les valeurs obtenues seront comparés aux épaisseurs de référence données par le constructeur afin de déterminer la perte de métal.



Fig .V.2. photos montre l'intérieur d'une colonne à plateau –

À la suite de cette inspection on distingue un ensemble de défauts, de déformations, ou des problèmes de corrosion. Les figures qui suivent regroupent quelques problèmes révélées lors de la visite de colonne de distillation.



Fig .V.3. Cisaillement des boulons de fixation de plateaux à clapets



Fig .V.4. manque des clapets sur les plateaux

V.1.4.2. Réparation de la colonne :

V.1.4.2.1.Réparation des fissures :

Au niveau de la virole on observe généralement des piqures dues à la corrosion puis des fissures aussi, des piqures au niveau des cordons de soudure. On observe des piqures au niveau de la virole soit sous forme des trous locaux soit en ensemble des trous sur la surface bien déterminée.

Pour le premier cas on fait le perçage de ces trous but d'éliminer la virole piquée cela on fait le soudage. Cette opération est effectuée soit par le soudage ou bien par le rapiéçage.

Après avoir analysé l'air à l'intérieur de la colonne, on fait soigneusement l'inspection du corps de la colonne. Si l'on remarque une fissure, il faut nettoyer la surface du corps pour déterminer la frontière de la fissure.

- Si la fissure n'est pas grave, on procède par le soudage. Pour cette raison, on fait le chanfreinage de cette fissure, puis on fait le perçage aux deux extrémités de la fissure pour éviter son prolongement et la concentration des contraintes. Et on effectue le soudage.
- Dans le cas où la détérioration du corps est assez grave on fait le rapiéçage. On découpe la zone fissurée au chalumeau, on fabrique une pièce de même dimensions, on fait le cintrage, on la soude.
- Contrôle du cordon de soudure soit par (Ultra son) ou par (ressuage).

V.1.4.2.2.Réparation des plateaux :

Elle consiste au nettoyage des plateaux, et changement des pièces usées. Pour les plateaux on utilise le même nettoyage que la colonne. La vérification de l'horizontalité des plateaux se fait à l'aide d'un niveau ou bien versement d'eau. L'étanchéité des plateaux est vérifiée par versement d'eau. À la fin des travaux de réparation on procède au remontage des éléments internes de la colonne. On commence par le plateau de bas on effectue les opérations suivantes :

- On place les barrages de sortie.
- On assemble les éléments sous déversoirs.
- On place les éléments de plateaux.
- On place les trappes de visites.
- Et en fin les peignes qui servent à stabiliser les déversoirs.

Une fois le remontage des plateaux est terminé, on procède à la fermeture des trous d'hommes, en remplaçant d'abord les pièces usées (garnitures, goujons,...).



Fig .V.5. la réparation d'un plateau à clapets-

V.1.5. Essai hydraulique :

L'épreuve hydraulique étant une opération réglementaire qui se fait chaque 10 ans (Révision décennale) permettant d'apprécier la résistance de l'équipement sous la contrainte du fluide.

V.1.5.1. Préparation de l'appareil à l'épreuve :

- Isoler la colonne par ces vannes de garde.
- Après l'opération de l'inertage commencer la pose des brides pleines ou joints pleins.
- Démonter la sortie vers le drain et installer une vanne à passage intégrale bridée à un raccord pour permettre le remplissage en eau de la colonne.
- Démonter ou isoler tous les équipements auxiliaires connectés à la colonne et poser les brides ou les joints.
- Avant de commencer la vidange de la capacité, assurer que l'évent est ouvert.
- Le vidange doit se faire lentement.
- Le test hydraulique doit se faire avec un diagramme d'enregistrement.
- Le temps qu'il faut sera fixé par l'ingénieur des mines.
- Faire éloigner le personnel des alentours pendant le test.

Avant d'entamer cette opération il y a lieu de vérifier certains points à savoir :

- La valeur effective de la pression d'épreuve.
- Vérifier que les épaisseurs des brides d'isolement ont été correctement choisissent.
- La vérification de l'accessibilité à toutes les parois.
- Le décalorifugeage correct.
- Le brossage des parois et des cordons de soudure mis hors calorifuge.
- La Vérification de la verticalité avant le test (à vide).
- Le branchement des manomètres et des enregistreurs nécessaires :

L'équipement est pourvu de 2 manomètres montés en parallèle :

- Un manomètre destiné à suivre la montée en pression.
 - Un manomètre étalon, avec certificat d'étalonnage, mis en communication lorsque la pression d'épreuve est atteinte.
 - Un enregistreur de pression est exigé pour une fiabilité de la chute de pression en fonction du temps.
- Disposer d'une pompe d'épreuve dont la pression de refoulement est au moins supérieure à la pression d'épreuve à effectuer.

V.1.5.2.Epreuve:

- Ouvrir l'évent supérieur et commencer le remplissage en eau jusqu'à débordement par l'évent.
- Le remplissage de l'appareil s'effectuera par palier : 1/4, 1/2, 3/4 avec un liquide jusqu'à l'élimination complète de l'air accumulé dans le système à tester, pour cette raison et pendant l'opération, les événements situés aux points hauts des conduites et des capacités resteront ouverts.
- La Vérification de la verticalité à chaque palier de remplissage.
- On procédera à la fermeture de tous les événements, dès qu'on verra que l'air contenu dans le système a été éliminé, et cela par l'apparition de liquide au niveau de ces événements.
- La montée en pression suivra une progression en paliers, jusqu'à l'obtention de la pression d'épreuve désirée (1,5 pression de calcul).
- A chaque palier de stabilisation, procéder à des vérifications sur les ensembles soudés, filetés ou bridés de façon à détecter toute fuite éventuelle.
- Une fois la pression d'épreuve atteinte, prévoir un palier de stabilisation de 10 minutes.
- La pression sera maintenue au moins pendant tout le temps nécessaire à l'examen complet du système (au minimum 30min).

V.1.5.3.Dispositions à prendre en cas de présence de fuite:

Les dispositions suivantes devront être prises en cas de fuite survenant au niveau des ensembles suivants :

A- Ensemble bridé ou fileté :

- Décompresser le système jusqu'à la pression atmosphérique.
- Vérifier les filetages et assurer l'étanchéité avec du téflon.
- Vérifier les brides et procéder au serrage ou changement des joints si nécessaire.
- Recommencer l'épreuve telle que définie précédemment.

B- Ensembles soudés:

- Décompresser le système jusqu'à la pression atmosphérique.
- Vidanger l'endroit à réparer.
- Procéder à la réparation conformément à la procédure établie à cet effet par les structures techniques ou maintenance.
- Recommencer l'épreuve telle que définie précédemment.

V.1.5.4. Dispositions à prendre après l'épreuve:

Une fois que les tests ont été conclus, les mesures suivantes devront être respectées :

- Procéder à la dépressurisation de l'appareil jusqu'à la pression atmosphérique par l'ouverture des événements.
- Procéder par la suite au vidange de l'appareil en ouvrant les vannes de purges.
- Evacuer les quantités d'eau du test hydrostatique par un système de drainage ou vers des endroits appropriés.
- Remettre en état le système par le démontage des supports provisoires éventuellement installés sous les tuyauteries.
- Remonter les organes de régulation (vanne de contrôle, instrument, soupapes...) et tout ce qui a été enlevé avant les tests hydrostatiques et remplacés par des joints pleins.

Lors de la remise en état du calorifuge cette isolation doit être étanche à tout liquide ou d'humidité du milieu, car cette infiltration peut avoir des conséquences néfastes sur le comportement des surfaces externe de l'appareil.

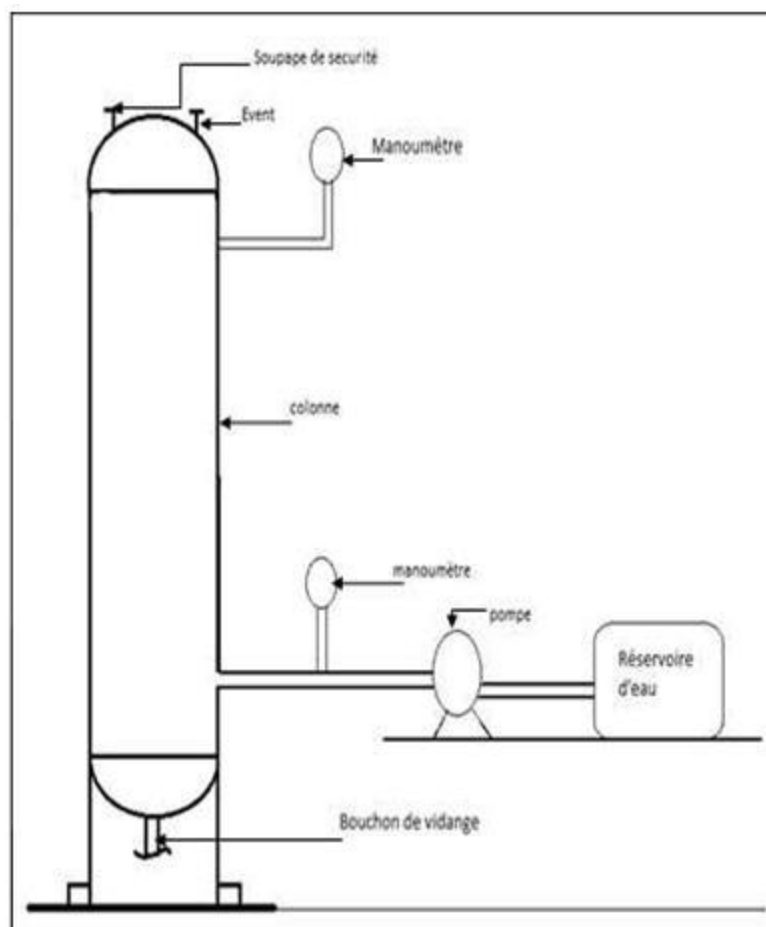


Fig .V.6. schéma d'essai hydrostatique

V.1.6. Mise en place de la colonne:**V.1.6.1. Choix du terrain:**

La nature du terrain doit être examinée tout autant que son profil. On s'assurera notamment que la portance du sol est suffisante pour assurer la stabilité de la colonne et qu'il n'est nécessaire de forer des pieux de grande profondeur pour la supporter. L'imperméabilité du sol ou tout au moins d'une couche sous-jacente peu profonde sera également recherchée pour ne pas polluer la nappes d'eau souterraines.

V.1.6.2. Fondation:

Les fondations des appareils verticaux doivent, d'une part transmettre les efforts du sol et d'autre part assurer la fixation en position des supports. Généralement, la construction des fondations est en béton ou en béton armé, elles sont relativement pas coûteuses et peuvent avoir toutes les formes désirées du fait de la mise en oeuvre commode du matériau utilisé. Les règles normalisées d'essais indiquent que la résistance à la compression prévue par les projets devra être atteinte après 28 jours. Beaucoup de facteurs influent sur la résistance de béton, mais le plus important est l'eau. Ainsi dans les projets, on cherche toujours le niveau du gel maximal.

V.1.6.3. Boulons d'ancrage:

Les boulons d'ancrage sont mis en place avant la coulée dans des trous prévus et réservés au coulage, dans ce dernier cas, le trou devra s'inscrire dans une frette hélicoïdale de longueur suffisante. Ils seront montés avec mandrin de garde pour offrir une certaine altitude de réglage. Généralement, ils sont soumis à des essais d'arrachement donnant une rupture par traction et non pas par cisaillement.

V.1.6.4. Montage de la colonne sur la fondation:

Les méthodes de montage des colonnes sur les fondations sont nombreuses, elles dépendent de plusieurs facteurs (poids de la colonne, espace disponible,...). La plupart des appareils verticaux de unités pétrochimiques sont montés à l'aide des mâts et des grues mobiles.

Dans ce cas la colonne a été amenée par un transport routier spécial, pour son déchargement on se sert de deux grues à chaudière.



Fig .V.7 Transport et déchargement d'une colonne.

L'appareil étant soulevé par les deux engins, on essaye du maître en position verticale juste au dessus de la semelle. A fin de cette opération, la colonne est soutenue à sa partie supérieure par une seule grue.



Fig .V.8. La mise en place d'une colonne

Pour la mise en place finale de la colonne, les ouvriers guident l'équipement de telle manière à ce que tous les boulons d'ancrage prennent leurs positions à travers les trous de passage de la couronne d'assise et des chaises.



Fig .V.9. la dernière étape de la mise en place

Après le contrôle de la verticalité de l'appareil, on procède au serrage des écrous des boulons d'ancrage.

V.2.SECURITE DANS LA RAFFINERIE:***V.2.1.Introduction :***

Depuis l'apparition de l'industrie au monde, la sécurité personnelle exploitant ainsi que les équipements de production a été l'une des précautions majeures des responsables industrielles. L'application des mesures de sécurité surtout dans le domaine pétrolier nécessite à ce que le personnel exploitant soit très conscient du bien résultant du risque et des consignes de sécurité, des affiches et des panneaux doivent être portées dans tous les coins sur le périmètre de l'unité de production.

V.2.2.Définition de la sécurité:

C'est l'ensemble des mesures et des moyens techniques et d'hygiène dont la finalité est de créer de bonnes conditions de travail, en limitant l'influence des facteurs industriels dangereux provoquant les avaries.

Elle étudie les dangers industriels, les accédants et les maladies personnelles, et met en évidence les méthodes de réduction de ces accédants dans le but d'augmenter la production et le rendement.

La sécurité technique s'intéresse essentiellement à l'homme ; aux appareils ; aux procédés technologiques et à l'organisation de travail.

V.2.3.Sécurité dans le domaine des hydrocarbures :

La sécurité doit être l'œuvre de tous, pour y participer il faut :

- connaître les risques.
- Connaître les moyens de protection.
- Connaître les mesures à prendre en face d'un danger.

V.2.3.1.Les types des risques :**➤ *Feu et explosion :***

Les risques majeurs dans l'industrie pétrolière demeurent : l'explosion et l'incendie, non par leur fréquence, mais par la gravité de conséquence.

Les vapeurs d'hydrocarbures forment avec l'air des mélanges inflammables pourront entraîner des incendies et des explosions.

Toute personne travaillant dans l'industrie de pétrole doit avoir la hantise du feu, une fausse manœuvre dans la conduite des unités ou un détail négligé au cours des travaux peut conduire à une perte de vies humaines et la destruction d'importante installation.

➤ ***Matières dangereuses :***

Parmi les produits rencontrés dans l'industrie et qui peuvent causer des dommages graves s'ils sont absorbés par les voies respiratoires nous citerons :

- l'hydrogène sulfuré, le chlore, l'oxyde de carbone, le benzol.
- les vapeurs d'essence éthyliques sont toxiques en atmosphère.
- les vapeurs d'hydrocarbures sont toxiques par elles-mêmes, créant des vertiges pourront entraîner des chutes.

Certains autres produits que nous devons manipuler sont dangereux et il convient d'éviter le contact et l'absorption, cela entraîne notamment une toilette soignée avant les repas, nous citerons :

- le plomb, tétra-éthyle, la soude, la potasse, les acides, certains additifs, ...etc.

➤ ***Electricité :***

Le matériel sous tension peut entraîner des brûlures ou la mort par électrocution en cas de contact direct ou par l'intermédiaire d'un matériau insuffisamment isolé, ce peut être le cas si l'on arrose avec un jet d'eau du matériel sous tension.

➤ ***Travail en hauteur :***

Risquer de chute, soit de personnes soit d'objets.

➤ ***Machines tenantes et machines tournantes :***

Tous les organes en mouvement présentent un danger si on entre accidentellement en contact avec eux dans notre industrie, par exemple : un risque important est constitué par les accouplements des pompes.

➤ ***Chocs, chutes, efforts :***

Ils peuvent se produire dans de nombreuses circonstances, aux cours du travail.

V.2.3.2.Service de sécurité :

Pour créer un milieu de travail sain, augmenter la production, conserver la vie du personnel et éliminé au maximum les accidents de travail, il faut installer un service de sécurité dotée d'un système de mesure et des moyens techniques et organisationnels qui limite l'influence des facteurs industriels dangereux sur les travailleurs ont garantissant la sécurité des équipements installés.

➤ ***Service de surveillance :***

Ce service organise des contrats afin de réaliser une bonne surveillance au sein de la raffinerie.

Ces contrats consistant à effectuer une vérification des matériels entrant et sortant de l'enceinte ainsi que le mouvement de l'ensemble du personnel surtout ceux de production.

Les agents travaillent 24 /24h en service de quart pour assurer à chaque moment une bonne surveillance.

➤ ***Service de prévention :***

Le Service de prévention est formé d'inspecteur de sécurité affecter au niveau de chaque zone afin d'être le conseiller de chef de zone en matière de sécurité.

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

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

➤ ***Service d'intervention :***

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

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

V.2.3.3.Organisation de la sécurité :

Pour que la sécurité puisse être bénéfique, il faut que les responsables du service concernes. Soient chargés de :

- Définir une politique de sécurité industrielle
- La mise en place d'une structure prenant en charge cette politique et ces objectifs.
- De pense au développement de la fonction sécurité au sein de l'entreprise.
- Étudier les bonnes consignes et procédure de sécurité spécifique à l'entreprise.
- Organisation des campagnes d'information à travers l'ensemble des travailleurs.

V.2.4.Sécurité au niveau de la raffinerie:

Dans le fonctionnement de toute installation, la sécurité du personnel et d'équipement est considérée très importante. Même si l'installation a des dispositifs intégrée de sécurité à prendre soin d'urgence, les procédures appropriées de fonctionnement et l'utilisation de dispositifs en sécurité doivent être sûrs pour l'opération de l'usine et la prévention des dommages aux hommes et aux équipements. Par conséquent, les règles de sécurités et les procédures d'opération de l'installation de traitement des hydrocarbures doivent être suivies.

V.2.4.1.Interdictions :

- Il est strictement interdit de fumer à l'intérieur du complexe, sauf dans les endroits définis (fumeurs).
- Il est interdit de pratiquer des soudures, d'utiliser des outils ou des procédés susceptibles de faire jaillir des étincelles sans autorisations écrites.
- Il est interdit de photographier.
- Il est interdit d'introduire des boissons alcoolisées ou d'accéder en état d'ébriété dans le complexe.
- Il est interdit de courir et de siffler.

V.2.4.2.Obligations :

- Port de casque de sécurité obligatoire
- Port des équipements de sécurité approprié en cas de besoin : gants, chaussure de sécurité, lunettes, écran pu masques, tablier...etc.
- Eviter l'étincelle sur un corps incandescent tombant sur des endroits dangereux.
- Avant de faire une faille contacter le service électrique.
- Entretenu les équipements lorsqu'on aperçoit quelques anomalies.
- Utilisation des alarmes pour avertir directement le service d'intervention et les personnels au même temps.

V.2.4.3.Les moyens de lutte contre l'incendie:

Parmi les différents moyens de lutte contre les incendies dont dispose la raffinerie on peut citer :

- Les extincteurs à mousse, à poudre et à CO_2 maniables et à chariots, les extincteurs sont implantés au niveau des unités et salles de contrôle dans des endroits facilement accessibles pour permettre aux agents d'intervention ou opérateurs de les utiliser en cas de début d'incendie.
- Véhicule anti-incendie.
- Réseau anti-incendie constitué par un ensemble de tuyaux englobant toute la raffinerie.
- Système de refroidissement des réservoirs.

V.2.4.4.Sécurité des ateliers de mécanique :

Dans le but d'assurer la sécurité du matériel et des personnes de l'atelier mécanique, afin d'éviter tout incident lors de manipulation du matériel, et pour garantir une gestion conforme à la raison de tous les ateliers les constructeurs fournissent les consignes de sécurité.

Il est nécessaire pour les mécaniciens qui sont aux ateliers mécaniques de respecter les méthodes de travail soient pour l'utilisation d'outils.

Chaque fois qu'il est recommandé ainsi on peut éviter la détérioration de l'équipement de respecter les instructions du constructeur qui fût se présenter comme suit :

- Maintenir la zone de travail où la machine sera démontée bien propre et bien rangée.
- Maintenir les outils propres et bien rangés pendant les travaux de remontage.
- Pour le serrage d'un boulon ou d'un écrou il faut utiliser la clé qui convient.

V.2.4.5.Matériels de protection individuelle :***➤ Masque anti-poussière :***

Il comporte un filtre destiné à protéger les poumons des poussières de tout ordre, ces masques doivent être utilisés en particulier dans les travaux suivant :

- Manipulation ou manutention catalyseur et criblage.
- Tous les nettoyages développant d'abondantes poussières etc.

➤ ***Protection de la tête :***

Les blessures à la tête peuvent provenir de chutes d'objet, de choc contre un objet fixe, à la suite d'une chute ou d'un faux mouvement ; un casque assure la protection dans tous les cas, il n'est ni lourd ni gênant et il est recommandé de le porter pendant toute la durée d'un travail.

➤ ***Protection des mains :***

Les mains sont parmi les parties du corps les plus exposées, leur protection est assurée par le port de gants.

➤ ***Protection des pieds :***

Les pieds se trouvent naturellement sur le chemin de l'objet laissé tomber et les pièces reçues peuvent être lourdes par exemple les brides ...etc.

C'est pour cette raison que le port de chaussures de sécurité possède une coquille en acier pour la protection des orteils est vivement recommandée et obligatoire à certains postes de travail.

CONCLUSION

L'étude réalisée nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques en les appliquant dans l'industrie, aussi de mieux comprendre le mode de fonctionnement des colonnes.

Le calcul de vérification de la résistance et de la stabilité a révélé l'aptitude de la colonne à résister aux différents efforts aux quels elle sera soumis durant le fonctionnement.

La maintenance de la colonne consiste à effectuer périodiquement des opérations (réparation, entretien,...etc.) qui permettent d'adopter les réparations nécessaires maintenir l'équipement pour assurer la continuité.

Il est nécessaire d'appliquer les règles de sécurité qui ont pour but de protéger les ouvriers contre les accidents de travail, et les biens contre les incendies et les explosions.

- ❖ Manuels Opératoires de la raffinerie d'Alger.
- ❖ TOTAL 2007 : Les équipements ; les colonnes (Manuel de formation EXP-PR-EQ100 Révision 01).
- ❖ TOTAL 2007 : Le process ; la distillation (Manuel de formation EXP-PR-EQ180 Révision 01).
- ❖ Cours de Dr : ZEMMOUR.N (2014) ; Equipements des unités pétrochimiques, FHC-Boumerdès.
- ❖ P. Trambouze « Matériels & Equipements », Tome 4, Editions Technip (1999).
- ❖ Henry Z.KISTER « Distillation Design » (1992).
- ❖ Distillation, Absorption « Colonnes à plateaux : dimensionnement », Documents « Techniques de l'ingénieur ».
- ❖ Mémoires de fin d'études (Bibliothèque de la Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie).
- ❖ IFP document (formation industrie).
- ❖ Sites internet.