

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEURE ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ M'HAMMED BOUGARA BOUMERDES



Département génie des procédés chimiques et pharmaceutiques
Faculté des hydrocarbures et de la chimie
Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme :

MASTER

Domaine : Sciences et technologies
Filière : Hydrocarbures
Option : Génie des procédés : Sécurité industrielle

Thème :

*Etude de la résistance mécanique de la
colonne de distillation ATM C101
« Raffinerie d'Alger »*

Présenté par :
HADROUG SAADI

Encadré par :
Mme : BENRAHOU.F

2015/2016

Remerciements

*D'abord, je tiens à remercier mon Dieu qui m'a donné
la vie et qui était avec moi tout le temps.*

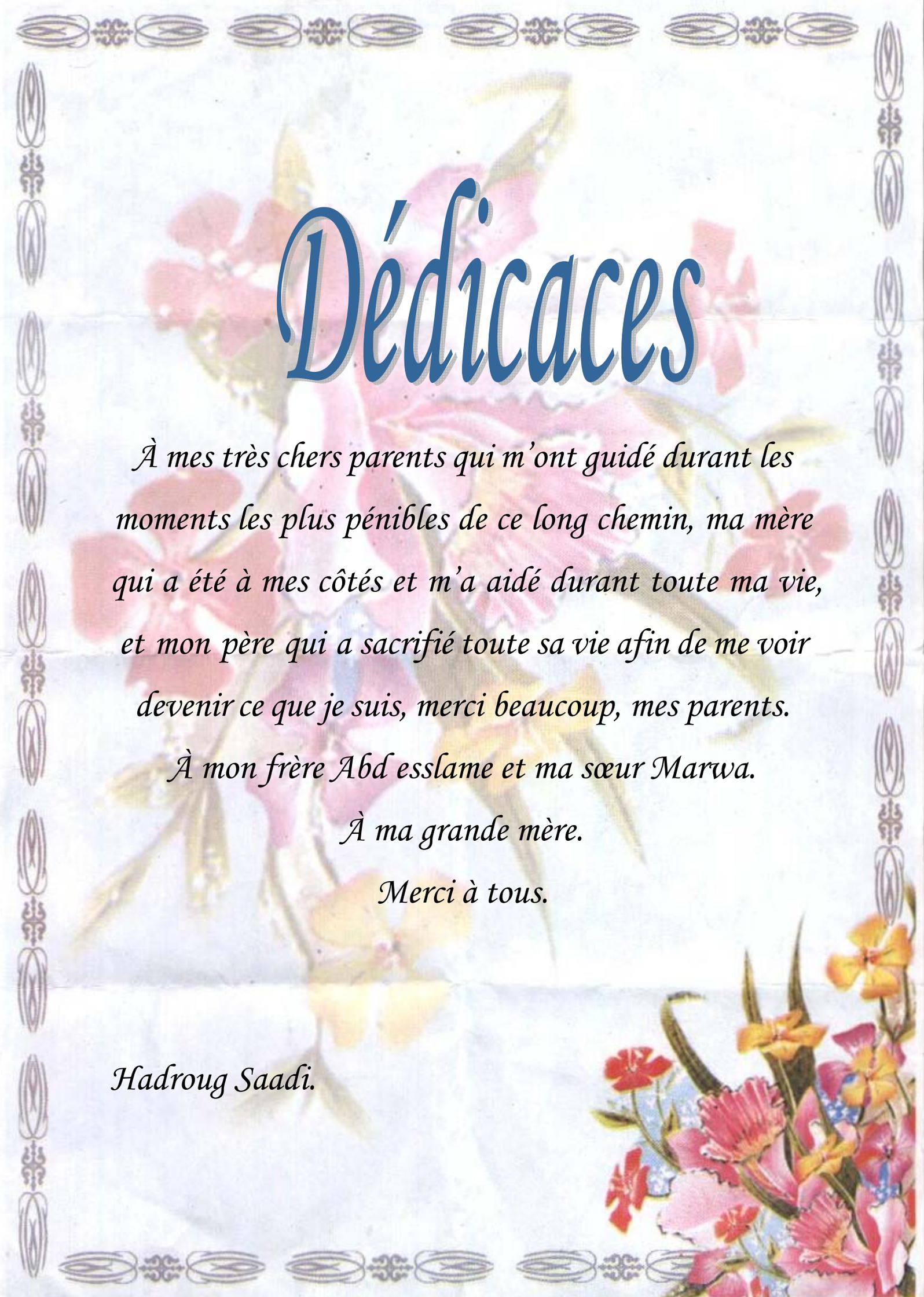
*Je veux remercier Mme. BEN RAHOU, qui m'a aidé
et m'a donné des conseils pour terminer ce modeste
travail.*

Je veux aussi remercier mes enseignants

M. KHALASSI Mme. YOUNSI

Merci à tous.

Hadroug Saadi.



Dédicaces

À mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et m'a aidé durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci beaucoup, mes parents.

À mon frère Abd esslame et ma sœur Marwa.

À ma grande mère.

Merci à tous.

Hadroug Saadi.



Sommaire

Liste des figures et les tableaux	
Introduction générale	01

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA RAFFINERIE D'ALGER

I.1. La raffinerie d'Alger.....	02
I.1.1. Situation géographique de la raffinerie	02
I.1.2. Produits de la raffinerie d'Alger	03
I.2. Organisation du département HSE	05
I.2.1. Service intervention	05
I.2.2. Service prévention.....	05
I.2.3. Service accueil et identification	05
I.2.4. Cellule environnement	06
I.4. Description des installations	07
I.4.1. Fonctionnement général des installations	07
I.4.2. Installations existantes	07
I.4.3. Présentation des unités	07
I.4.4. Salle de contrôle	09
I.4.5. Parc de stockage	09
I.4.6. La pomperie	09
I.4.7. Les mélanges	10
I.4.8. Laboratoire	10
I.4.9. Les utilités	10
I.5. Bilan de production 2015	12
I.6. Organigramme de la raffinerie d'Alger	13

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉS SUR LES COLONNES

II.1. Introduction	14
II.2. Définition de la rectification	14
II.3. Types des colonnes de rectification	16
II.3.1. Colonne a garnissage	16
a) Caractéristiques des différents types des éléments de contact	17
b) caractéristique de fonctionnement	18
c) Domaine d'application	18

II.3.2.Colonne a plateaux	19
a) Constitution d'une colonne a plateaux	19
b) Détail de construction des colonnes a plateaux	20
c) Composant de base d'une colonne	22
d) Classification des plateaux	24
e) Différents types des plateaux	24
f) Hydrodynamique des plateaux	27
II .3.3. Avantages et inconvénients	30
a) Les colonnes à plateaux	30
b) Les colonnes à garnissage	31

CHAPITRE III : CALCUL DES APPAREILS CYLINDRIQUES

III.1. Introduction	32
III.2. La résistance des appareils cylindriques	32
III.2.1.La Pression de calcul	33
III.2.2. Epaisseur de résistance	33
III.2.3. Rayon moyen	34
III.3. La résistance admissible	34
III.3.1. Température de calcul	35
III.3.2. Caractéristiques des matériaux sous haute température	35
III.4. La condition de la résistance	36
III.5. La résistance des fonds	36
III.5. 1. La condition de la résistance	37
III.6. Mode de contrôle mécanique d'un appareil	38
III.6.1. Essai hydraulique	38
III.6.2. Ordre de l'essai	39
III.6.3. La résistance des fonds au cours de l'essai hydraulique	40
III.6.4. La condition de la résistance des fonds pendant l'essai hydraulique	41

CHAPITRE IV : PARTIE CALCUL

IV.1. Introduction	42
IV.2. La colonne de distillation C101	42
IV.3. L'objectif de travail	45
IV.4. Les données de départ	45
IV.5. La résistance de la virole	46
IV.5.1. Application	47
IV.5.2. résultants des calculs	52
IV.5.3. Conclusion	52
IV.6. La résistance des fonds	53
IV.6.1. Application	53

IV.6.2. résultants des calculs	54
IV.6.3. Conclusion	55
IV.7. Vérification de la résistance dans la virole et dans les fonds pendant l'épreuve hydraulique	55
IV.7.1. résultants des calculs	60
IV.7.1. Conclusion	60
IV.8. Interprétation	60
Conclusion générale.....	62
Bibliographie	

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure I-1: Vue aérienne de la raffinerie d'Alger.....	03
Figure I-2: schéma de fabrication des produits commerciaux.....	04
Figure I-3 : schéma descriptif de département HSE.....	06
Figure I-4 : Organigramme de la raffinerie d'Alger.....	13

CHAPITRE II

Figure II-1: Schéma simplifié de la Rectification.....	14
Figure II-2: Répartition des composants pétrolière passants par la colonne.	15
Figure II-3 : Colonne à garnissage.....	16
Figure II-4 : différent types de garnissage.....	17
Figure II-5 : schéma d'une colonne rectification avec des plateaux	19
Figure II-6 : présentation de différentes aires de plateaux	23
Figure II-7 : schématisé un plateau en fonctionnement nominal.....	23
Figure II-8 : plateau perforé à déversoir	24
Figure II-9 : schéma de la calotte	25
Figure II-10 : Plateau à clapets	26
Figure II-11: différent types des clapets	27
Figure II-12 : diagramme de différent régime de fonctionnement dans le plateau.....	28
Figure II-13:a)schéma de fuite b) schéma de pleurage	28
Figure II-14 : a) engorgement par entrainement b) engorgement déversoir	29
Figure II-15 : domaine de fonctionnement acceptable pour un plateau	30

CHAPITRE III

Figure III-1 : effet de pression sur un appareil cylindrique	32
Figure III-2 : Diagramme des caractéristiques des aciers au Carbone	35
Figure III-3 : fond elliptique d'une colonne de distillation ATM	36
Figure III-4 : schéma descriptif de l'essai hydraulique.....	38

CHAPITRE IV

Figure IV-1: Schéma des soutirages de la colonne de distillation C101	44
Figure IV-2 : Colonne de distillation C101.	47
Figure IV-3 : la zone de rectification de la colonne C101	55
Figure IV-4 : la zone d'épuisement de la colonne C101	58

Liste des tableaux

Tableau I-1 : destination des produits de l'unité 100	08
Tableau I-2 : stockage de l'eau dans la raffinerie d'Alger.....	11
Tableau I-3 : bilan de production 2015.....	12
Tableau III-1 : surépaisseur de corrosion.....	33
Tableau III-2 : surépaisseur des charges supplémentaires.....	34
Tableau III-3 : coefficient de soudure longitudinale.....	36
Tableau III-4 : temps de maintenir de la pression d'essai hydraulique.....	39
Tableau IV-1 : Soutirage de différentes coupes pétrolières.....	43
Tableau IV-2 : Résistance de la virole.....	52
Tableau IV-3 : Résistance des fonds.....	54
Tableau IV-4 : Résistance des zones de la colonne C101	60

Introduction

L'utilisation de la pression dans les procédés industrielle est un avantage technologique et énergétique mais aussi présent des risques qui peuvent engendrer en cas d'accidents des dommages matériel et humain très significatifs. Pour cette raison, la réglementation exige des mesures préventives très strictes, dans le prochain travail on va calculer la résistance d'un équipement très important dans le domaine de raffinage, ce calcul permet à éviter les risques liés à la pression telle que : explosion, rupture, fissuration...Etc.

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.

Parmi les équipements les plus importants dans l'unité de distillation ATM « unité100 » de la raffinerie d'Alger, la colonne de distillation atmosphérique C101, cette colonne permet de fractionner le pétrole brut en une série de coupes ou fractions en fonction de la température d'ébullition des hydrocarbures qui les composent, du plus léger (gaz) au plus lourd (résidu atmosphérique) .

durant notre stage pratique nous visons à atteindre certain niveau de qualification par l'application des connaissances théoriques de base vécues pendant les années de formation dans le domaine industriel sur l'un des principaux équipements de raffinage qui est la colonne.

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

- ❖ Une présentation générale de la raffinerie d'Alger et leurs principales unités.
- ❖ Une généralité sur les colonnes de distillation atmosphérique et sur la rectification.
- ❖ La théorie du calcul d'un appareil cylindrique fonctionne sous pression.
- ❖ Le calcul de la résistance de la colonne de distillation atmosphérique C101.



CHAPITRE I

I.1. La raffinerie d'Alger :

La Raffinerie d'Alger fut créé en décembre 1959 suite à la découverte du pétrole au sud algérien en septembre 1959, le chantier fut ouvert en janvier 1960, le démarrage de la raffinerie n'a eu lieu que le 19 janvier 1964 par un groupe de compagnies étrangères participantes en projet qui sont :

- ❖ Société Shell Algérie 24%.
- ❖ Compagnie française de pétrole 20%.
- ❖ ESSO méditerranéen Inc 17,6%.
- ❖ Total S.a.h.m 12%.
- ❖ Société française de pétrole BP 10,4%.
- ❖ SN Repal 10%.

Dans la première phase l'Algérie acquies des actions par l'intermédiaire de SONATRACH en suite elle a procédé à la nationalisation dans une seconde phase, la raffinerie devient en 1972 propriété à 100 %de l'état.

Avant 1971, l'alimentation de la raffinerie était par tankers du pétrole de Bejaia au port pétrolier d'Alger, en suite par pipe de 26 pouces, jusqu'au parc de stockage.

Un piquage a eu lieu à Beni Mansour à partir de pipe reliant Hassi-Messaoud - Bejaia, un oléoduc de 26 pouces d'une longueur de 131 Km jusqu' à la raffinerie avec un débit de 500 m³/h. En ce qui concerne le choix de la région algéroise, elle se présente comme un pôle futur de développement industriel.

I.1.1. Situation géographique de la raffinerie :

La raffinerie d'Alger est située à Sidi Arcine sur la commune de Baraki à 20km à l'est d'Alger et se trouve à une altitude de 20 m.

Le site de la raffinerie d'Alger occupe une superficie totale de 182 hectares (bâti et clôturé 96 Hectares) Cet emplacement a été choisi après une étude du sol et la découverte d'une nappe d'eau nécessaire pour l'alimentation des systèmes de refroidissement. Elle est délimitée :

- ❖ au Nord-Ouest par le dépôt NAFTAL GPL et le centre enfûter
- ❖ au Nord par les habitons d'El Harrach
- ❖ au Sud par les habitations de Baraki

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA RAFFINERIE D'ALGER

❖ au Sud Est par la Direction Générale de SONATRACH/ACTIVITÉ AVAL/DIVISION RAFFINAGE et le siège de Sonatrach/TRC

❖ au Nord, Nord-Ouest, Sud-ouest et Est par des terrains agricoles.

La raffinerie d'Alger est liée au port pétrolier par une nappe de pipes d'une longueur de 14 km. Cette nappe est essentiellement souterraine. Néanmoins elle présente quelques portions aériennes :

❖ à l'intérieur de dépôts à accès réglementé (2 portions aériennes)

❖ à proximité d'habitations et d'infrastructures de transport pour la traversée de cours d'eau notamment (3 portions aériennes).

Le port pétrolier se trouve dans l'enceinte du port d'Alger du côté Est, appelé aussi Quai 37.



Figure I-1: Vue aérienne avec Google Earth présentant l'emplacement de la raffinerie d'Alger

I.1.2. Produits de la raffinerie d'Alger :

Le but primordial de la raffinerie est de continuer à assurer la couverture des besoins en produits de première nécessité, ainsi que les divers produits pour l'industrie pétrolière.

Au démarrage de la raffinerie la capacité de production est de 1800 tonnes/an et par la suite a atteint le plafond en 1991 avec 3 millions de tonnes/an, et dernièrement est de 2700000 tonnes/an

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA RAFFINERIE D'ALGER

La raffinerie a une gamme variée de produits qui répondent aux normes nationales et internationales qui sont :

- Propane **2300 m³ / jour.**
- Butane **6200 m³ / jour.**
- Essence normale/ super **46000 m³ / jour.**
- Jet / lampant **15000 m³ / jour.**
- Gasoil moteur **52780 m³ / jour.**
- Fuel lourd **10500 m³ / jour.**
- Essence SR **16300 m³ / jour.**
- Solvant total **26000 m³ / jour.**
- Plat format **4920 m³ / jour.**

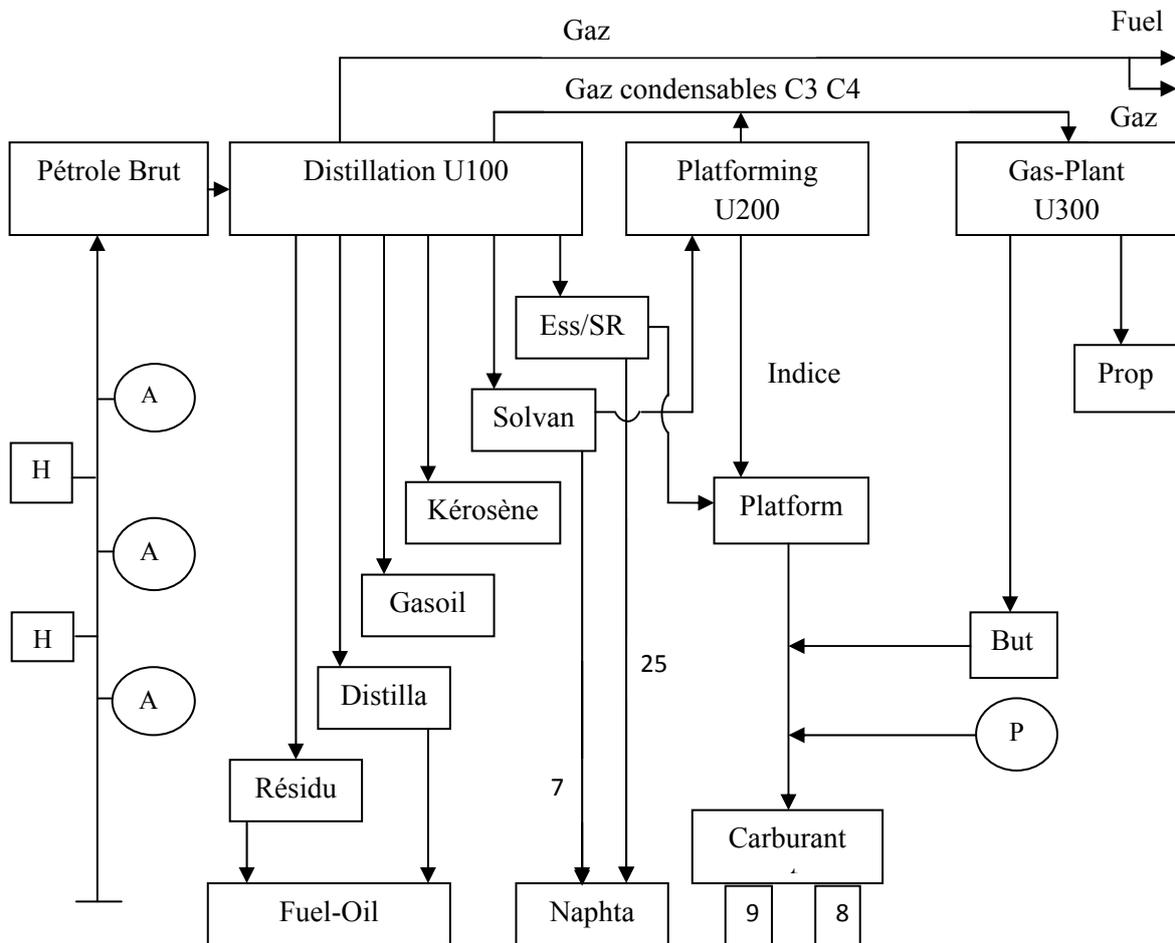


Figure I-2: schéma de fabrication des produits commerciaux

I.2. Organisation du département HSE :

Le département Hygiène, Sécurité et Environnement sont composés de 4 services :

- Service intervention
- Service prévention
- Service accueil et identification
- Cellule environnement

I.2.1. Service intervention :

Ce service, composé de 52 agents assure d'une manière continue, la surveillance et les interventions sur les installations. Il a pour tâches principales :

- Protéger et sauvegarder le personnel ainsi que le patrimoine de l'entreprise.
- Mener, en cas d'urgence, les actions conformément aux différents plans d'organisation des secours : POI, Plan ORSEC....
- S'intégrer aux opérations d'intervention dans le cadre de l'assistance mutuelle.
- Gérer les installations et les équipements d'intervention et de secours.
- Concrétiser les programmes de formation et d'exercices de lutte contre l'incendie.

I.2.2. Service prévention :

Ce service est composé de 9 personnes et assure :

- La supervision et le contrôle des installations.
- La gestion des risques liés aux travaux.
- La préservation de la santé des travailleurs.
- Le contrôle de la conformité des pratiques par rapport aux normes et aux règles du manuel HSE.

Le service prévention a pour tâches principales :

- Prévoir les risques d'accident et d'incident au sein des installations de l'entreprise.
- Garantir le respect des normes et réglementations de sécurité.
- Assister et contrôler tous les organes et structures d'exploitation en matière de sécurité.
- Promouvoir et développer l'organisation globale en matière d'hygiène et de sécurité.
- Diffuser les consignes de sécurité.
- Sensibiliser l'ensemble du personnel aux règles en matière de sécurité et d'hygiène.
- Contrôler les installations techniques et assurer le suivi des travaux.
- Réaliser les enquêtes et les statistiques des accidents du travail.

I.2.3. Service accueil et identification :

Ce service accueil a pour mission :

- Le contrôle des accès et des sorties des personnes et des véhicules.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA RAFFINERIE D'ALGER

- L'accueil et l'orientation des visiteurs en veillant à la bonne application des règles de sécurité.
- L'exploitation des systèmes de surveillance (vidéosurveillance, contrôle d'accès anti intrusion)

I.2.4. Cellule environnement :

Elle est constituée par 2 personnes chargées des inspections et du contrôle environnemental sur les différents types de rejet.

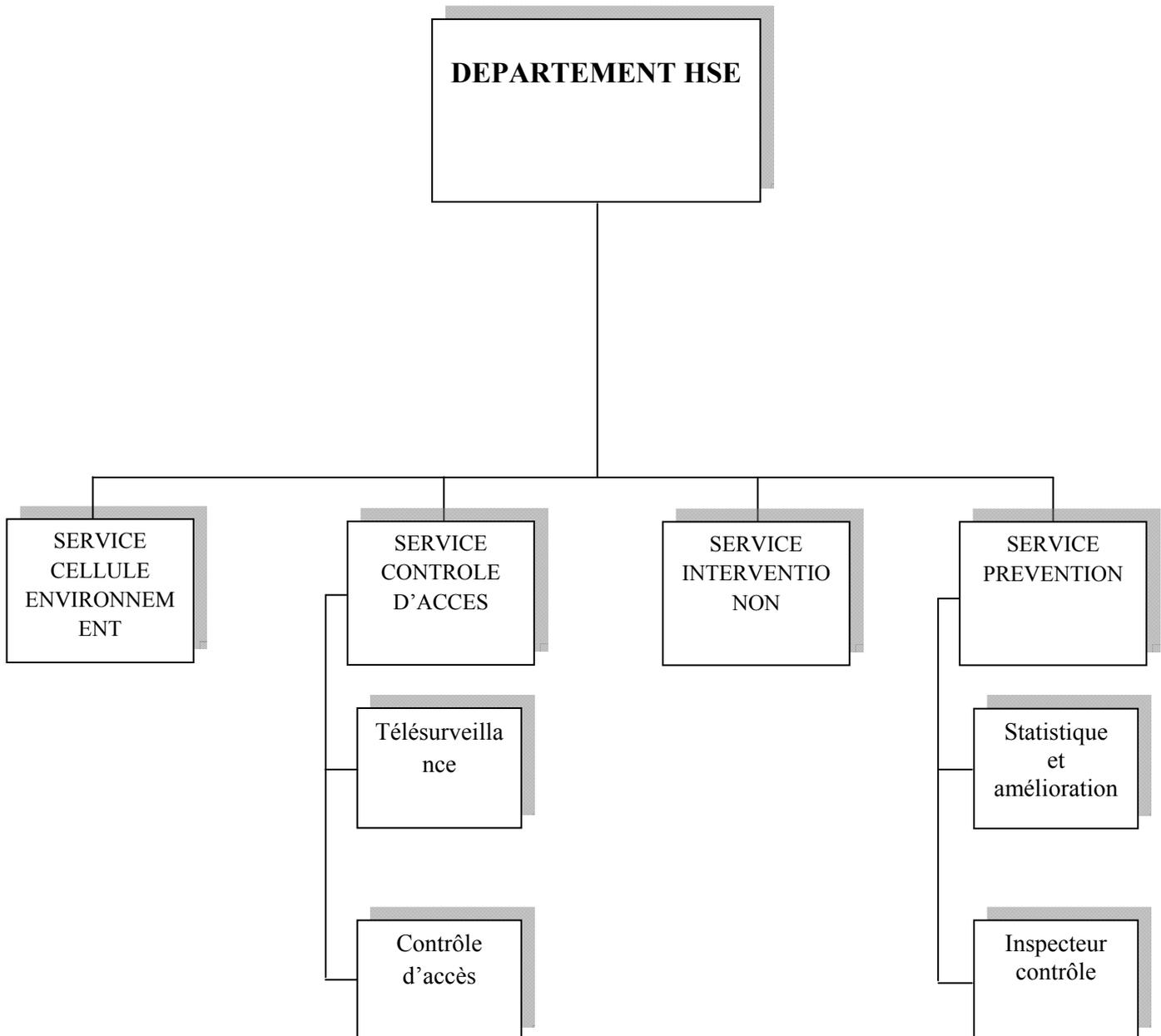


Figure I-3 : schéma descriptif de département HSE

I.4. Description des installations :

I.4.1. Fonctionnement général des installations :

La raffinerie traite le pétrole brut produit par les puits d'Hassi Messaoud. Le pétrole brut est reçu par pipeline venant du dépôt d'Haoud El Hamra.

I.4.2. Installations existantes :

La raffinerie est équipée des installations suivantes :

a) Unité combinée :

- Section 100 - Topping : unité de distillation atmosphérique
- Section 200 : Platforming : unité du reforming catalytique
- Section 300 : Gas plant : unité de récupération des GPL.

b) Centrale et utilités :

- Traitement d'eau, générateur des vapeurs et groupe électrogène.

c) Expédition :

- Bacs de stockage, pomperie et port pétrolier.

I.4.3. Présentation des unités :

a. Unité de distillation atmosphérique du brut « unité 100: Topping » :

L'unité 100 est une unité de distillation atmosphérique ou Topping. Elle a pour but de fractionner le Pétrole brut en un certain nombre de coupes ou fractions classées selon les températures d'ébullition des hydrocarbures.

La capacité de l'unité de traitement du pétrole brut est de 2.700.000 tonnes par an. Cette unité est composée des circuits : préchauffe, chauffage et distillation fractionnée.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA RAFFINERIE D'ALGER

Produits	Destinations
GPL	Charge pour l'unité Gas-plant
Essence SR	Base pour les essences Base pour les naphthas export
Solvant léger (100 – 130 °C)	Utilisé comme charge du reforming, en mélange avec le solvant lourd, Base naphta export
Solvant lourd (130 – 175 °C)	Utilise comme charge de l'unité de reforming en mélange avec le solvant léger, Base pour naphta export
Kérosène (175 – 260 °C)	Jet A1 pour aviation
Gas-oil léger (260 – 370 °C)	Carburant diesel
Distillat	Utilisé comme combustible pour chaudières

Tableau I-1 : destination des produits de l'unité 100

b. Unité de reforming catalytique « unité 200: Platforming » :

La charge (solvant) venant soit de l'unité 100 soit des bacs A102, A103, A104 est reprise par la pompe P204 AB.

Cette unité a pour objectif d'augmenter l'indice d'octane du mélange solvant léger-solvant lourd par les réactions catalytiques pour obtenir à la sortie le "plat-format" destiné à la fabrication des carburants automobile (essence normal et super). Sa capacité de traitement est de 2500 m³/j.

c. Unité de traitement du gaz « unité 300 : gaz plant » :

Cette unité permet la séparation et le traitement des gaz venant des deux unités précédentes, pour produire le propane et le butane commerciaux liquéfiés.

Elle a été dimensionnée pour traiter le produit liquide venant des accumulateurs de tête des débutaniseurs de l'unité de distillation et de l'unité de reforming afin d'obtenir du propane et du butane commerciaux. Ces derniers vont traverser des systèmes de purification contenant des tamis moléculaires afin de les débarrasser de toute trace d'humidité et de produits sulfurés.

I.4.4. Salle de contrôle :

Le nombre important d'appareils de mesure équipant une unité de raffinage a conduit à la nécessité de contrôler dans une salle de contrôle toutes les informations nécessaires à la marche de l'unité (températures, pression, débit, contrôle des vannes ...)

I.4.5. Parc de stockage :

- a. Stockage de pétrole brut
- b. Stockage des produits finis et intermédiaires
- c. Stockage des gaz liquéfiés

I.4.6. La pomperie :

La pomperie comprend une aire maçonnée recevant les pompes et les distributeurs (pipes). Cette unité a deux rôles :

a. L'expédition des produits :

- ✓ Port pétrolier d'Alger.
- ✓ L'aéroport Houari Boumediene.
- ✓ les dépôts de carburant : Caroubier, El Harrach et la chiffa.

Les expéditions des produits finis à partir de la raffinerie se font exclusivement par un réseau d'oléoducs, chaque oléoduc est muni d'un compteur, ces indications sont retransmises à la salle de contrôle.

b. L'éthylation :

La fabrication de l'essence normale (CA89) et (SP96) à partir d'un mélange composé de :

- ✓ Plat format.
- ✓ Solvant total.
- ✓ Essence SR.
- ✓ PTE (plomb tétraéthyle).
- ✓ Butane.

L'addition du plomb tétraéthyle (ou tétraméthyle) se fait en cours de mélange. Le (PTE) est aspiré à partir d'un ballon de stockage au moyen d'un éjecteur dans lequel circule l'essence.

I.4.7. Les mélanges :

La raffinerie est équipée pour produire, stocker et expédier deux qualités d'essences finies (normal et super), jet A1, gas-oil moteur, fuel BTS et naphtha.

❖ **Essences** : Ces deux essences sont fabriquées par mélange en ligne de trois constituants produits par l'unité combinée et stockés dans les réservoirs.

❖ **Jet A1** : Le kérosène sortant de la colonne de distillation atmosphérique subie un traitement au niveau de précipitateur électrostatique pour lui enlever les impuretés indésirable tels que les acides naphthéniques et l'eau, après ce traitement il est envoyé aux bacs de stockages.

❖ **Gas-oil moteur** : Il est obtenu par mélange en ligne des deux produits (kérosène, gas-oil léger), avec des proportions bien définies pour respecter les spécifications requises.

❖ **Fuel BTS** : Il est obtenu par mélange en ligne des produits (résidu, gas-oil lourd).

❖ **Naphtha** : Il est obtenu par mélange en ligne des trois produits (solvant lourd, solvant léger, essence SR), avec des proportions bien définie pour respecter les spécifications requise.

I.4.8. Laboratoire :

La raffinerie d'Alger dispose d'un laboratoire qui a pour but d'analyser les différents produits provenant du processus de raffinage. Pour un bon produit il doit correspondre aux critères (les normes des clients).

I.4.9. Les utilités :

La raffinerie d'Alger possède une centrale thermoélectrique production de la vapeur et de l'électricité à partir du fuel ou du gaz, de l'air instrument et de l'air de service.

a. Centrale thermoélectrique :

Son But Est:

❖ Production de l'électricité à différent tension, moyenne tension (MT), basse tension (BT) et très basse tension (TBT) tout ça à l'aide d'un groupe turboalternateur " turbine turboalternateur ".

❖ La production de l'air service (9 bar) et air instrument par détente (4.5 bar).

❖ La production de la vapeur d'eau.

b. L'eau dans la raffinerie d'Alger :

Dans cette section on trouve trois bacs de stockage d'eau pour diverses utilisations représentés dans le tableau suivant :

La raffinerie consomme jusqu'à 25 m³ d'eau pour 1m³ de brut traité, d'où la nécessité de l'eau dans les installations pétrolières :

- ✓ Production de la vapeur.
- ✓ refroidissement des machines et des produits.
- ✓ lutte contre l'incendie, eau potable.

Bac	Produit	Capacité (m ³)	Hauteur (m)
T1	Eau incendie	5000	16.20
T2	Eau exploitation	5000	16.20
T3	Eau potable	310	10.80

Tableau I-2 : stockage de l'eau dans la raffinerie d'Alger

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA RAFFINERIE D'ALGER

I.5. Bilan de production 2015 :

DESIGNATION	PREV .NOTIFIE	PREV .ACTU	REAL	ECARTS(REAL PREV.NOT)	REAL/ PR.NOTIF	R/PREV .AVTUA
Brut hassi M	2200800	2790300	2791092	590292	127	100
p.t.e	459	567	632	164	136	110
Totale charge	2201259	2790867	2791715	590455	127	100
Propane	10000	13840	0	-10000	0	0
Butane	67360	94410	70572	3212	105	75
Total GPL	77360	108250	70572	-6788	105	65
Essence sup	249950	340747	198556	-51394	79	58
Essence norm	69961	84231	95079	25118	136	113
Naphta	261717	297340	505603	243886	193	170
Jet A1	243220	313972	248724	5504	102	79
Gaz-oilM.I	574849	728146	751280	176431	131	103
Fuel-oilB.T.S	660378	837259	877301	216923	133	105
T.carburants	2060075	2601695	2676543	616468	130	103
T.pdts fini	2137435	2709945	2747115	609680	129	101
Variat stocks	0	0	337	337	/	/
Pertes	11004	13954	9283	-1721	84	67
Combustibles	52820	66968	34980	-17840	66	52
T.perts&com	63824	80922	44263	-19561	69	55

Tableau I-3 : bilan de production 2015

I.6. Organigramme de la raffinerie d'Alger :

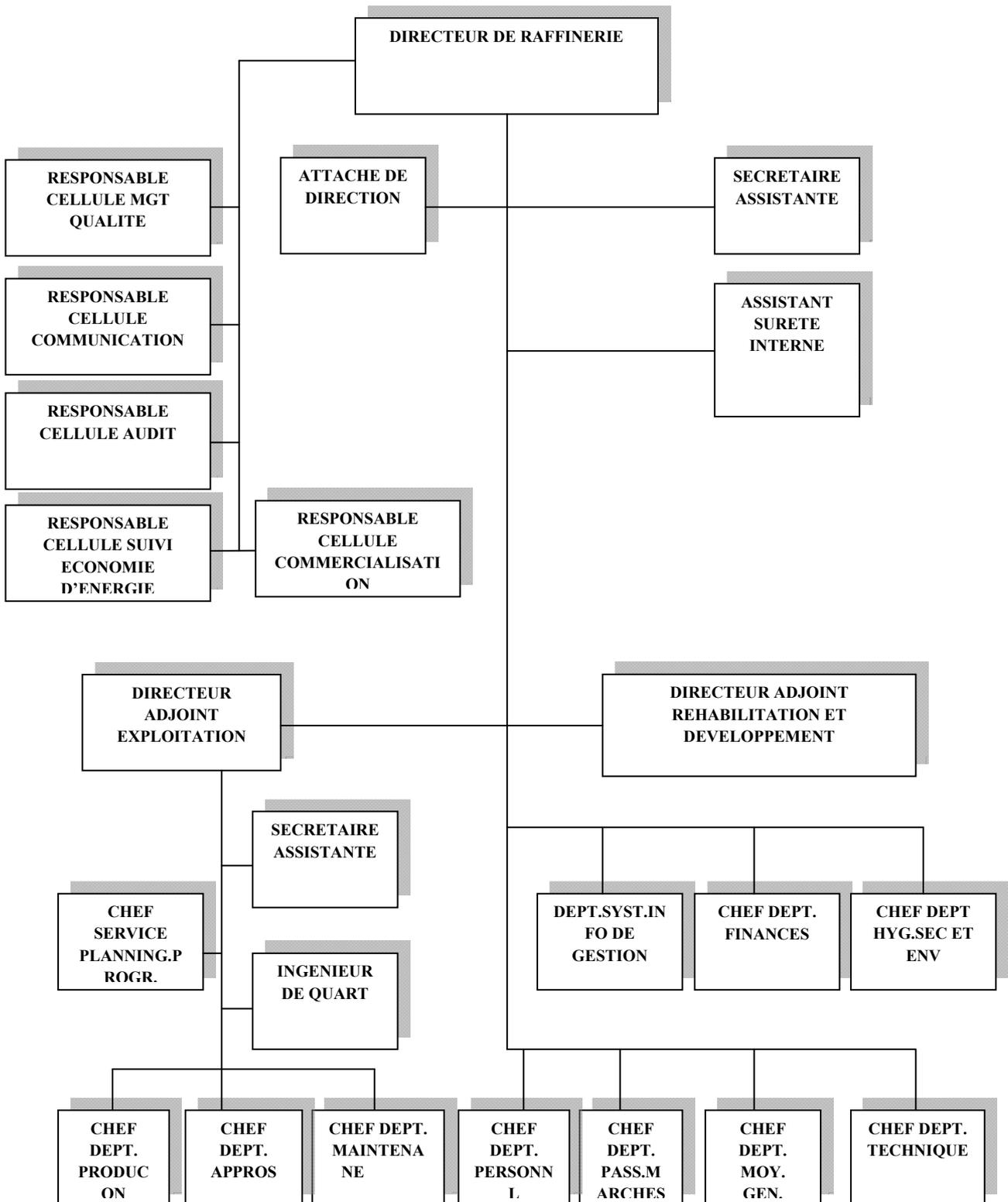


Figure I-4 : Organigramme de la raffinerie d'Alger



CHAPITRE II

II.1.Introduction :

Le contact liquide-gaz à contre-courant dans les colonnes de rectification ou de l'absorption est réalisé soit sur des plateaux soit sur des garnissages. Les bilans matières et thermiques, associé aux équations d'équilibre, ont permis de fixer les températures, pressions et débits aux différents niveaux de la colonne, ainsi que le nombre d'étage théorique et les quantité de chaleur mettre en œuvre pour obtenir le fractionnement spécifié. Ces éléments de base sont exploités pour estimer les dimensions de la colonne dans une première étape, puis finalement exécuter le dessin détaillé de construction de la colonne avec tous ses accessoires (plateaux ou garnissage, tubulures, support, trous d'homme,...).

II.2.Définition de la rectification:

La rectification est un procédé physique de séparation d'un mélange en constituants pratiquement purs de compositions désirés, et cela par des échanges de matière et d'énergie entre deux phases circulant à contre-courant dans un appareil appelé (colonne de rectification).

La rectification est une distillation fractionnée, autrement dite qualitative, cette augmentation de qualité par rapport à la distillation est due au placement soit des garnissages soit plateaux à l'intérieur de la colonne, par conséquent il y'a augmentation de la surface de contact qui implique l'augmentation de degré de pureté.

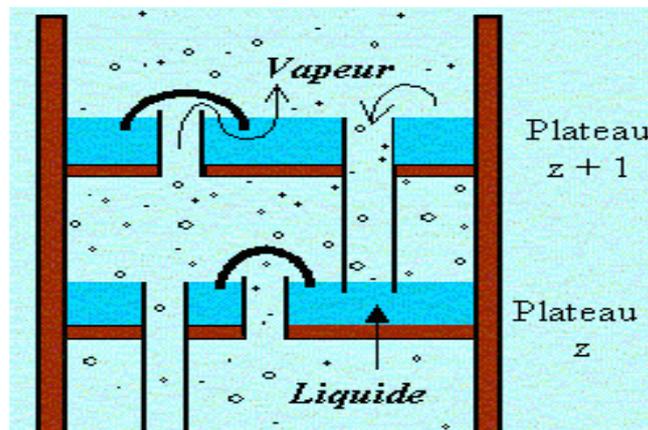


Figure II-1: Schéma simplifié de la Rectification.

CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES COLONNES

Le transfert de matière d'une phase à une autre s'effectue dans des différents types des colonnes selon les besoins des procédés. Cela signifie que les produits passant à travers cet équipement sont nombreux.

En effet, selon le traitement dans lequel elle est employée, elle véhiculera des fluides totalement différents :

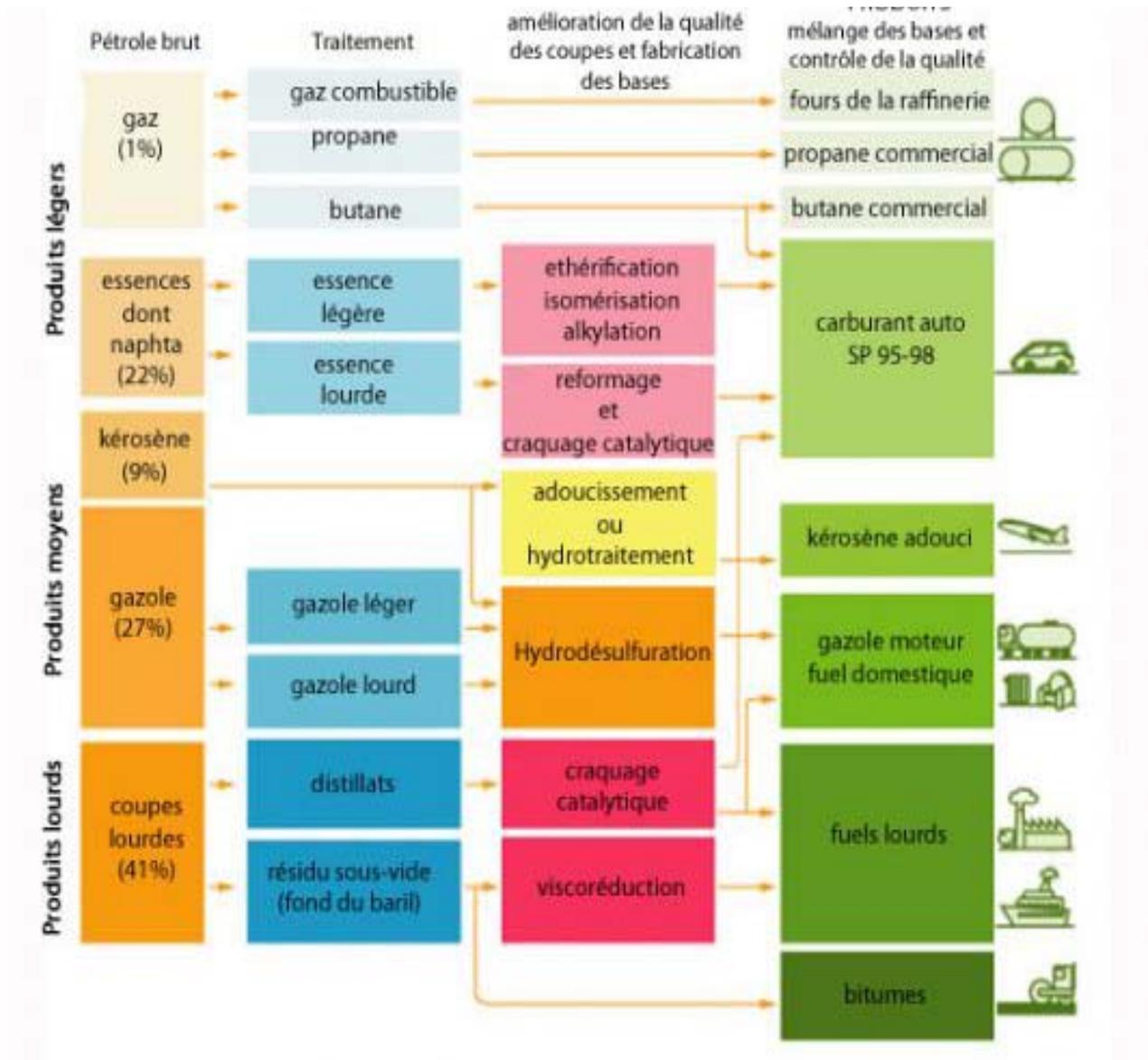


Figure II-2: Répartition des composants pétroliers passant par des différents types des colonnes.

II.3.Types des colonnes de rectification :

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

II.3.1.Colonne a 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 les 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 redistribuer.

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.

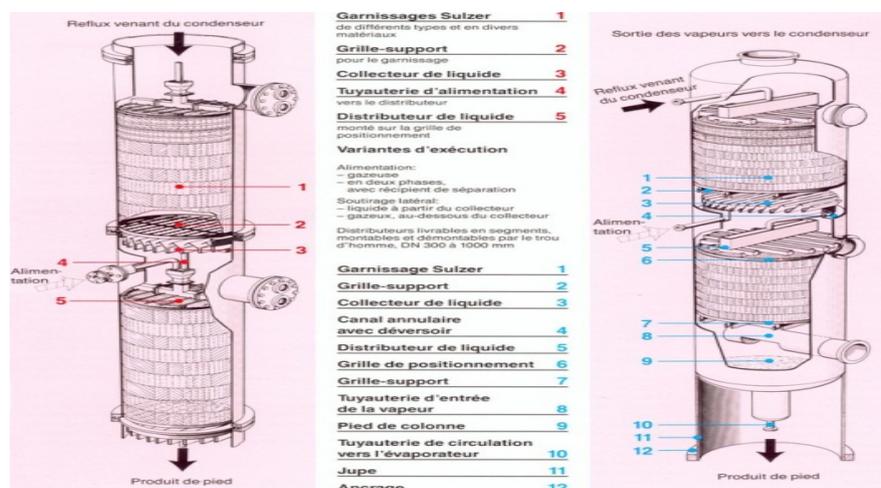


Figure II-3 : Colonne à garnissage.

CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES COLONNES

a) Caractéristiques des différents types des éléments de contact :

Les caractéristiques des différents types d'anneaux sont indiquées par leur constructeur. Il faut noter que d'un constructeur à l'autre, on peut avoir différents types de conceptions assez sensibles.

❖ Les anneaux de Rasching :

Ce sont le plus ancien modèle dans l'industrie, il est manchon de cylindre dont la hauteur est égale au diamètre extérieur. En général on utilise :

- Des anneaux en céramique ou en porcelaine,
- Des anneaux en acier
- Les anneaux au carbone
- Dans certain cas, on utilise des anneaux en matière plastique.

❖ Les anneaux Lessing.

❖ Les anneaux Pall.

❖ Les anneaux de Berl et les selles Intalox.

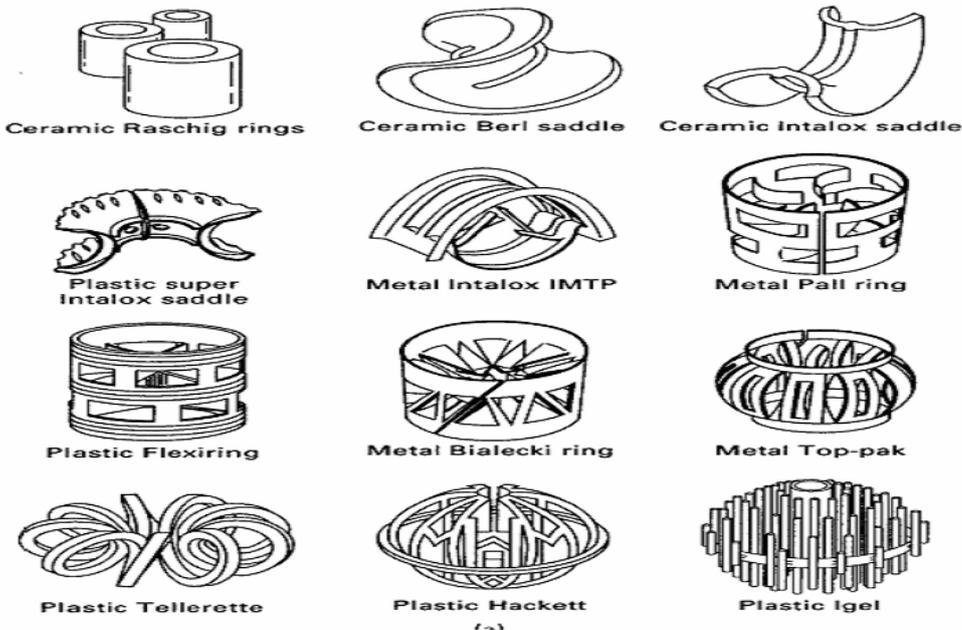


Figure II-4 : différents types de garnissage.

b) 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 du 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 important pour le dimensionnement des colonnes à garnissage 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.

c) 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 son 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).

II.3.2.Colonne a plateaux:

La colonne de rectification permet de mettre en contact les deux phases afin que le transfert puisse avoir lieu. La Figure III.5 présente un schéma d'une colonne rectification avec des plateaux. La colonne fonctionne à contre-courant, le liquide s'écoule de haut en bas par gravité alors que le gaz, introduit au fond, monte la colonne.

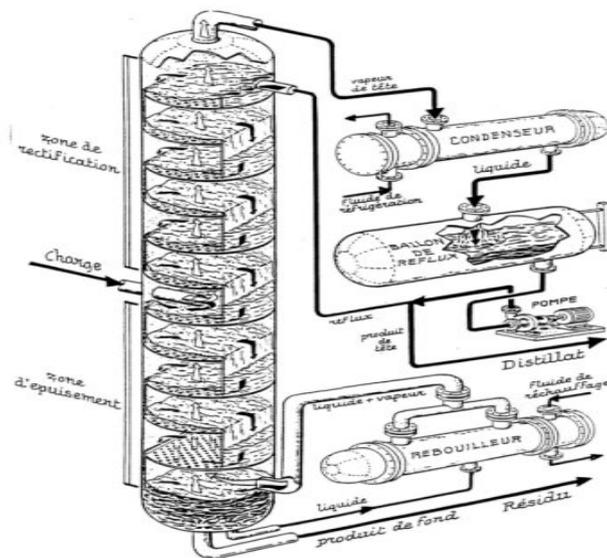


Figure II-5 : schéma d'une colonne rectification avec des plateaux.

a) Constitution d'une colonne a plateaux :

C'est un appareil cylindrique (une virole avec deux fonds soudés) muni d'une série de plateaux de rectification. Elle est munie de tubulures diverses, des trous d'hommes, des échelles, et des passerelles, pour l'entretien et la réparation. A la surface extérieure, la colonne est munie d'une couche de calorifugeage en laine de verre pour éviter les pertes thermiques. La colonne est montée sur une jupe cylindrique laquelle est soudée à un anneau de base. Les plateaux sont montés sur des supports, les quelles sont soudés a la surface intérieur de la colonne.

Deux appareils d'échange thermique : condenseur et rebouilleur qui ont pour rôle d'engendrer le flux liquide et vapeur.

Des soutirages de distillat au ballon de reflux et de résidu au fond de la colonne. Un ou plusieurs alimentation-fond de la colonne.

La colonne est divisée en trois zones :

- Zone d'alimentation.
- Zone de rectification.
- Zone d'épuisement.

❖ **Zone d'alimentation :**

La construction de la zone d'alimentation doit assurer la séparation des phases liquide et vapeurs, les tubulures d'alimentation sont d'habitude tangentielles à la paroi de l'appareil ou sous l'action de la force centrifuge, la phase liquide et vapeur se séparent. Pour prévenir les parois de la virole contre l'action érosive ainsi que pour mieux distribution de matière première on utilise des déflecteurs en spirale.

❖ **Zone de rectification :**

Est située au-dessus de la zone d'alimentation, son but est de concentrer la vapeur initiale jusqu'à une valeur désirée dans le distillat.

❖ **Zone d'épuisement :**

Qui se trouve au-dessous de la zone d'alimentation dont le rôle consiste à récupérer les produits volatiles se trouvant dans le liquide initiale.

b) Détail de construction des colonnes a plateaux:

❖ **La virole:**

La virole est un corps cylindrique en tôles d'acier soudées ; Acier utilisés:

- Aciers au Carbone
- Aciers spéciaux et inoxydables
- Aciers au carbone plaques ou chemisés

L'épaisseur de la virole en générale, n'est jamais inférieure à 10 mm

La virole se compose des différents éléments sont :

- **A l'extérieur:**

Des trous d'homme si $D > 900$ mm, des trous de tête ou de poing $D < 900$ mm les trous d'homme ont un diamètre de 20" et 28" (1"=25.4mm);

- Les divers piquages pour branchement de tuyauteries.
- Les prises pour appareils de mesure et de contrôle.

CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES COLONNES

- Les goussets pour attaches d'échelles.
- Les clips pour supports de tuyauterie.
- Les supports de calorifuge.
- Des clips arilles (tourillons de lavage).
- Les supports pour une potence de démontage à la partie supérieure.
- Tous ces accessoires sont soudés sur la virole.

- **A l'intérieur :**

- Les plateaux et les déversoirs.
- Les supports de plateaux;

Des poignées au-dessus des trous d'hommes

❖ Les fonds :

Les fonds sont de formes diverses; dépanadant 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 des fonds :

- Les fonds elliptiques - les fonds hémisphériques-les fonds coniques - les fonds plat.

Le choix de la forme du fond dépend des conditions suivantes :

- Les caractéristiques des procédés (température, pression).
- Les dimensions de l'appareil (diamètre).
- Les caractéristiques du milieu de travail.

- **Les fonds hémisphériques :**

Ils sont utilisés pour les appareils qui fonctionnent sous:

- pression élevée et diamètre intérieur $\left\{ \begin{array}{l} P = 100 \text{ bar} \\ D_i < 4m \end{array} \right.$
- pression moyen et diamètre intérieur $\left\{ \begin{array}{l} P < 25 \text{ bar} \\ D_i > 4m \end{array} \right.$

- **Les fonds coniques :**

Pour des milieux visqueux et des milieux versé (semi-solide) pour les pressions

$$\left\{ \begin{array}{l} P < 100 \text{ bar} \\ D_i < 2m \end{array} \right.$$

- **Les fonds elliptiques :**

Pour les pressions moyennes $\begin{cases} P < 30 \text{ bar} \\ D_i > 4m \end{cases}$

- **Les fonds plats :**

Pour des faibles pressions.

- ❖ **La jupe :**

La jupe prolonge la virole à sa partie inférieure, elle est cylindrique ou faiblement tronconique. Elle est en tôles d'acier au carbone soudées, et d'épaisseur relativement faible puisqu'elle n'est soumise à aucune pression; cependant les colonnes à faible hauteur peuvent être supportées des pièces en profilés, Dans notre cas elle est cylindrique ; pour notre cas fractionner; la virole est cylindrique.

La jupe reçoit essentiellement les composants suivants :

- Un anneau de base.
- Des trous d'accès dans jupe.
- Des d'évents.
- Des orifices de passage de tuyaux.
- Des chaises de fixation soudées sur la jupe et sur l'anneau de base.

c) Composant de base d'une colonne :

- ❖ **Les plateaux :** lieu de contact des deux phases et de la réalisation du transfert, plusieurs zones sont identifiables sur un plateau :

- l'aire active A_a (dite aussi aire de barbotage A_b : qui correspond à la zone contenant les éléments permettant l'accès du gaz au plateau (perforations, clapets fixes ou mouvants, cloches/calottes...). Elle constitue la principale aire de contact entre les deux phases.
- L'aire déversoir A_d
- L'aire nette A_N : est composé par les deux aires utiles A_b et A_d .
- l'aire perforée correspondant à l'aire ouverte du plateau : égale soit à l'aire des perforations A_h soit à l'aire latérale ouverte A_{ouverte} dans le cas des clapets.
- l'aire morte est l'aire non perforée ou non équipée d'éléments de barbotage située à proximité des parois de la colonne.

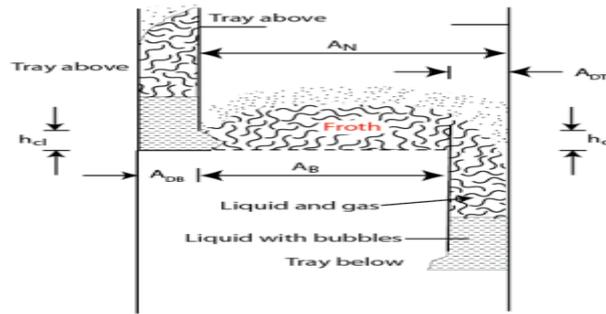


Figure II-6 : présentation de différentes aires de plateaux.

❖ **Les déversoirs** : qui remplissent plusieurs fonctions, la plus évidente étant l'acheminement du liquide d'un plateau à l'autre. La deuxième fonction est celle du dégazage, il permet de séparer les deux phases en évitant ainsi l'envoi d'un gaz plus pauvre vers des étages inférieurs ce qui se traduirait par une baisse d'efficacité. La troisième fonction, assurée en même temps par le barrage de sortie, est d'imposer une garde liquide qui permet l'établissement d'une hauteur de liquide clair sur le plateau suffisante pour effectuer le transfert.

❖ **Le barrage de sortie h_w** : assure une hauteur minimale de liquide clair sur le plateau (à condition qu'il y ait une garde liquide suffisante dans les déversoirs).

À l'échelle du plateau l'écoulement est à courants croisés : le liquide a un écoulement essentiellement horizontal et le gaz un écoulement essentiellement vertical. La Figure III.7. Schématise un plateau en fonctionnement nominal. Le liquide s'écoule dans le déversoir, parcourt la longueur de passe L_d où se fait le contact gaz/liquide et se déverse par-dessus le barrage de hauteur h_w vers le déversoir suivant où il se désengage du gaz avant d'entrer sur le plateau suivant. Le gaz, monte la colonne verticalement et entre dans la zone de contact diphasique par les trous de diamètre d_h

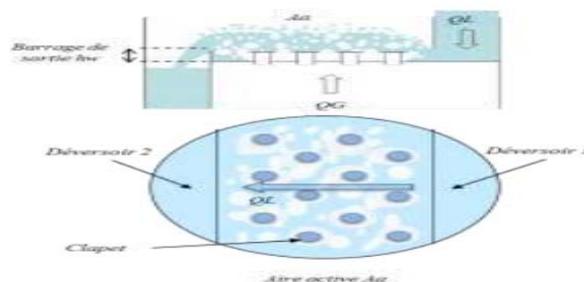


Figure II-7 : schématisé un plateau en fonctionnement nominal.

d) Classification des plateaux :

On peut classer deux types de plateaux :

- Les plateaux à déversoirs.
- Les plateaux sans déversoirs.

e) Différents types des plateaux :

❖ Plateaux perforé sans déversoirs :

Plateaux moins performant, car leur utilisation est limitée aux variations très faible de débit (la vapeur traverse verticalement le liquide, le temps et la surface de contact sont faibles).

Sont des plateaux perforés sur les quels la vapeur et le liquide s'écoulent à contre-courant par les même orifices. Le niveau de liquide sur le plateau est en fonction du régime de fonctionnement.

❖ Plateaux perforés à déversoirs :

Ces plateaux ne sont constitués que de simple plaques perforées et donc de construction peu onéreuse.

Le liquide et la vapeur s'écoulent à contre-courant, qui peut être de simples trous ou des clapets fixes, ainsi qu'ils ont une efficacité acceptable, mais néanmoins faible car le temps de contact gaz – liquide est limité.

Ils sont réservés aux systèmes pouvant donner lieu à des encrassements ou des dépôts solides.

Tous ces plateaux qui sont construits soit en acier au carbone, soit en acier allié selon l'agressivité des produits, doivent être démontables, donc les plaques sont décomposées en éléments pouvant être introduit par un trou d'homme.

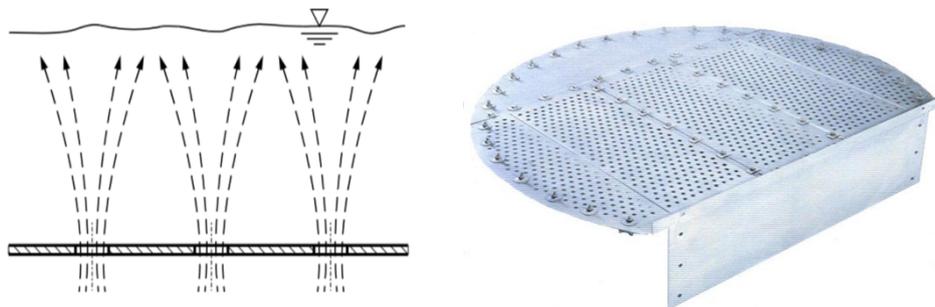


Figure II-8 : plateau perforé à déversoir.

❖ Plateau à calotte :

C'est le modèle le plus répandu encore aujourd'hui dans les industries pétrolières ou chimiques ; construit autrefois entièrement en fonte moulée, il s'est maintenant notablement allégé par la construction de calottes en acier embouti. Il existe des centaines de formes différentes de calottes donnant une efficacité de contact plus ou moins bonne, et il est regrettable. Qu'aucune normalisation ne soit intervenue dans cette fabrication. La qualité prédominante d'un plateau à calottes bien calculé est sa faculté d'adaptation sur une large échelle aux variations de débits liquides et vapeur.

Son utilisation est toutefois restreinte en raison de son coût élevé et de fortes pertes de charge qu'il crée dans la colonne. On doit aussi noter la difficulté à vidanger, lors d'un arrêt, le liquide retenu, et ce malgré la présence de trous spécifiques (trou de vidange).

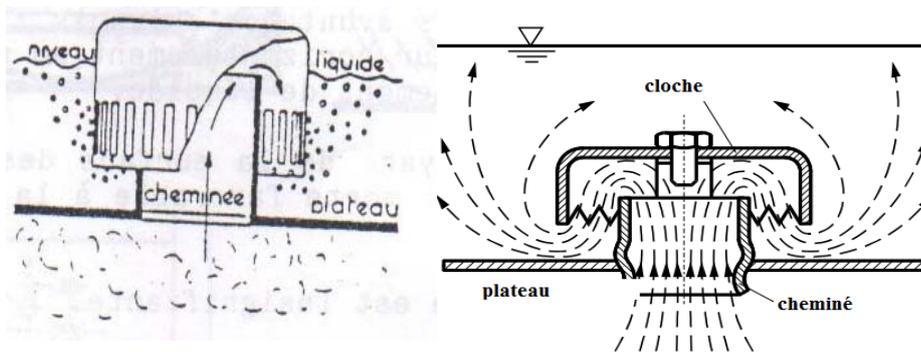


Figure II-9 : schéma de la calotte.

❖ Plateau à jet directionnel :

La construction de ce plateau est inspirée du même souci de simplicité et faible prix de revient que pour le plateau perforé, et de réduction du gradient liquide par échappement orienté de la vapeur sous les languets dans le modèle « Float valve trays », ces derniers sont mobiles et articulés au plateau par une charnière

❖ Plateau à clapets (valve trays) :

Il constitue un compromis entre les deux types précédent. C'est un plateau perforé, dont les orifices sont équipés de clapets. La hauteur de soulèvement de ces derniers est fonction du débit de vapeur, qui s'échappe horizontalement dans le liquide, exactement comme la fente de la calotte. Les plateaux à clapets se sont

CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES COLONNES

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 de clapet : ronds, triangulaires, ou allongés. Certains modèles offrent la possibilité de tarer le clapet en fonction du débit vapeur. Chaque constructeur propose sa propre gamme.

Les particularités de ce type contacteur sont :

- Possible de diminuer les pertes de charge.
- Vitesse de vapeur plus élevée pendant la traversée de la couche liquide.
- Ouverture de clapet est fonction de débit vapeur.



Figure II-10 : Plateau à clapets.

Le nombre de clapet est calculé en fonction de débit vapeur maximum, si en travaillé avec un faible débit vapeur on peut voir le phénomène de pleurage, et diminué l'efficacité de séparation.

Le plateau à clapet est favorisé pour la charge liquide contient des particules solide, parce que pendant l'ouverture et la fermeture de clapet, le clapet fait le nettoyage et le balayage de toutes les particules solides voisines, ces particules ne influent pas sur l'efficacité, par contre pour les plateaux à calotte ce type de charge n'est pas souhaitable, Parce que ces particules bloquent les fentes de la calotte.



Figure II-11: différents types des clapets.

f) Hydrodynamique des plateaux :

L'établissement d'un diagramme hydrodynamique permet de repérer les limites du fonctionnement nominal ainsi que les différents régimes hydrodynamiques de l'écoulement sur les plateaux. Les corrélations dans la littérature étant parfois spécifiques à un régime en particulier, l'identification des différentes zones de fonctionnement permet l'utilisation des bonnes corrélations. Ce diagramme met en évidence également les zones de mal fonctionnement et de perte d'efficacité.

❖ Régimes hydrodynamiques :

Généralement, trois régimes hydrodynamiques sont rencontrés sur les plateaux : le régime d'émulsion, le régime de jets et le régime mixte (ou régime de transition entre les deux premiers).

- **Régime d'émulsion** :

Correspond à une zone diphasique liquide gaz essentiellement à phase continue liquide. Il est favorisé par les forts débits liquides. A faible vitesse gaz, les clapets oscillent laissant un régime de bullage s'établir sur le plateau.

- **Régime de jets** :

Correspond, inversement au régime d'émulsion, à une zone diphasique à phase continue gaz. Le liquide se trouve majoritairement sous forme de gouttes et de films. Ce régime est favorisé par un fort débit gaz et un faible débit liquide. Les clapets sont tous ouverts.

- **Régime mixte**:

Il s'agit d'un régime de transition entre les deux régimes extrêmes précédents. Il est plutôt rencontré sur les plateaux à clapets.

CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES COLONNES

Une colonne industrielle peut fonctionner sous l'un de ces trois régimes selon l'application pour laquelle elle est utilisée. Pour la distillation sous pression et l'absorption le régime d'émulsion est favorisé. Dans le cadre de la distillation sous vide ce sera plutôt le régime de jet. Finalement le régime mixte sera employé en distillation atmosphérique.

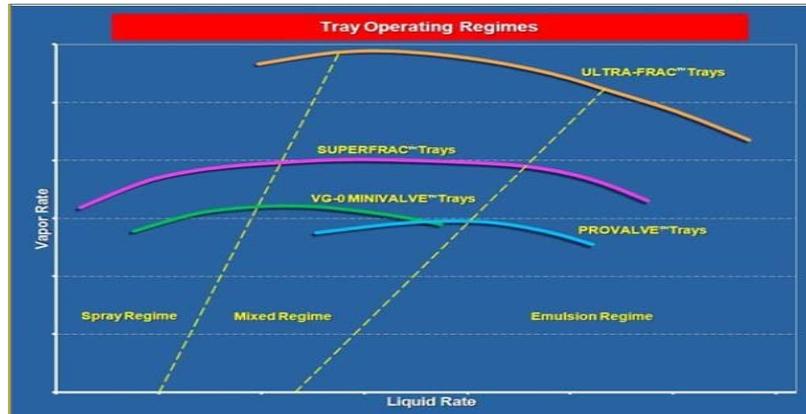


Figure II-12 : diagramme de différent régime de fonctionnement dans le plateau.

❖ Limites de fonctionnement :

À débit liquide fixe, les limites de fonctionnement peuvent être localisées en fonction d'une vitesse gaz critique.

- **Limites inférieures : Pleurage (weeping) :**

Les limites inférieures de fonctionnement d'une colonne sont liées au phénomène de pleurage. Selon la sévérité de celui-ci, c'est-à-dire le ratio de débit liquide passant par les clapets sur le débit liquide total, plusieurs limites peuvent être définies, la plus faible étant le domaine de fuites correspondant à un passage quasi-total du liquide par les perforations du plateau. Pour ces domaines, l'écoulement au niveau d'un trou oscille entre bullage et pleurage. Ce phénomène cause une dégradation considérable de la performance des colonnes.

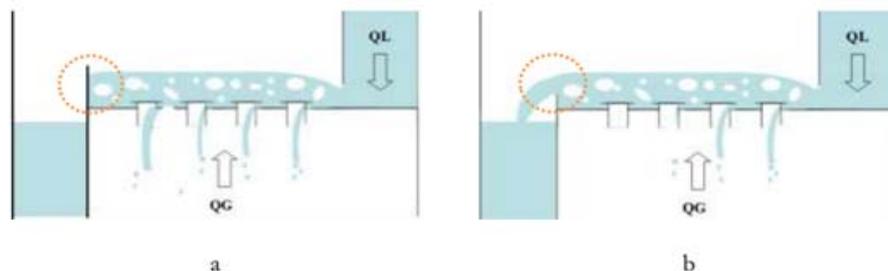


Figure II-13:a) schéma de fuite b) schéma de pleurage.

- **Limite supérieure : Engorgement**

La limite supérieure de fonctionnement des colonnes est l'engorgement. Il se caractérise par un retour d'une partie du liquide vers le plateau supérieur. Deux types d'engorgement peuvent être rencontrés:

Engorgement par entrainement excessif de liquide (jet flooding) : Cet engorgement se produit en régime de jets par entrainement excessif de gouttelettes liquides et dans le régime d'émulsion par la réduction de l'espace séparant la surface de l'émulsion du plateau supérieur.

Engorgement de déversoir: l'engorgement de ce type se produit par retour de l'émulsion depuis le déversoir vers le plateau. Deux types d'engorgement déversoir sont catégorisés. Le premier est la conséquence d'une perte de charge plus importante dans le déversoir que sur plateau. Le deuxième est la conséquence d'un choc de vitesse liquide dans le déversoir.

Quel que soit le type d'engorgement, la perte de charge plateau augmente considérablement et l'efficacité de la colonne se dégrade notablement.

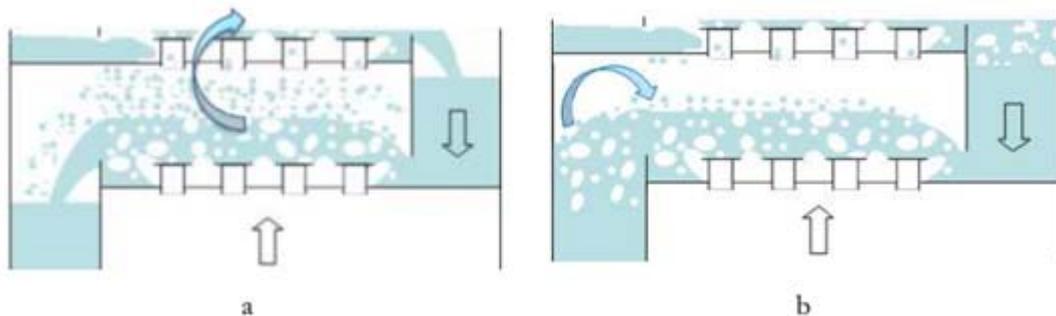


Figure II-14 : a) engorgement par entrainement b) engorgement déversoir.

La vitesse maximale du gaz dans la colonne correspondant à l'engorgement est appelée capacité maximale. Pour les plateaux à clapet, cette capacité passe par un maximum en augmentant la charge liquide Q_L . Ce maximum marque le passage d'un engorgement de type entrainement excessif en régime de jet vers un engorgement de type entrainement en régime d'émulsion. Une plus forte diminution de la capacité maximale de la colonne est observée dans le domaine de l'engorgement de type déversoir.

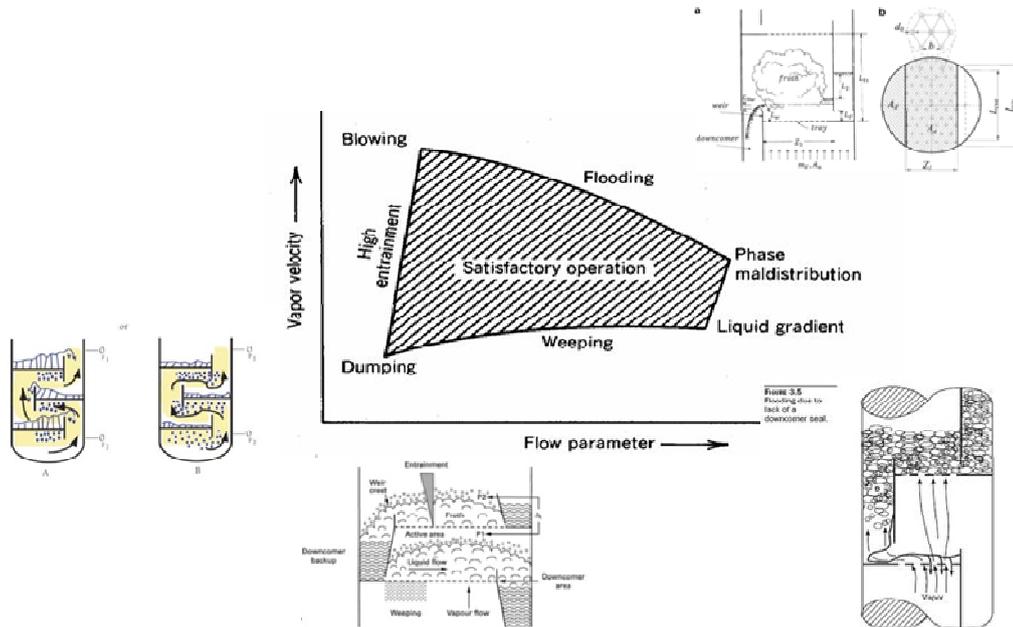


Figure II-15 : domaine de fonctionnement acceptable pour un plateau.

II .3.3. Avantages et inconvénients :

a) Les colonnes à plateaux :

- Chaque plateau peut être muni d'un serpentin et d'un échangeur de chaleur qui permet de récupérer les calories dégagées pendant l'absorption ;
- Elles offrent une assez grande efficacité d'absorption (la rétention du liquide est moyenne mais la surface de contact entre les deux phases est importante) ;
- Elles sont plus économiques par rapport aux colonnes à garnissage pour les processus nécessitant un débit de liquide important ;
- Si des particules solides sont présentes dans le liquide, il sera préférable de choisir des colonnes à plateaux et particulièrement les plateaux perforés qui sont plus faciles à entretenir ;
- Généralement, les colonnes à plateaux sont conseillées pour les absorptions au cours desquelles le transfert de la matière est limité par la résistance de la phase liquide ; pour les systèmes corrosifs, la construction de plateaux fera appel à des métaux résistants à la corrosion, généralement coûteux.

b) Les colonnes à garnissage :

❖ Avantage :

- Elles sont moins chères que les colonnes à plateaux, surtout si le diamètre de la colonne n'est pas trop grand.
- Elles sont bien 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.

❖ 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 dégarnissage ne pourra pas être mouillée correctement et la surface effective de contact diminuera.
- Les colonnes de petit diamètre et de grande hauteur nécessitent l'installation de redistributeurs de liquide.



CHAPITRE III

III.1. Introduction :

Tous les équipements travaillant sous pression doivent être contrôlés avant leur démarrage d'après les normes de sécurité et de l'essai normalisé international.

III.2. La résistance des appareils cylindriques :

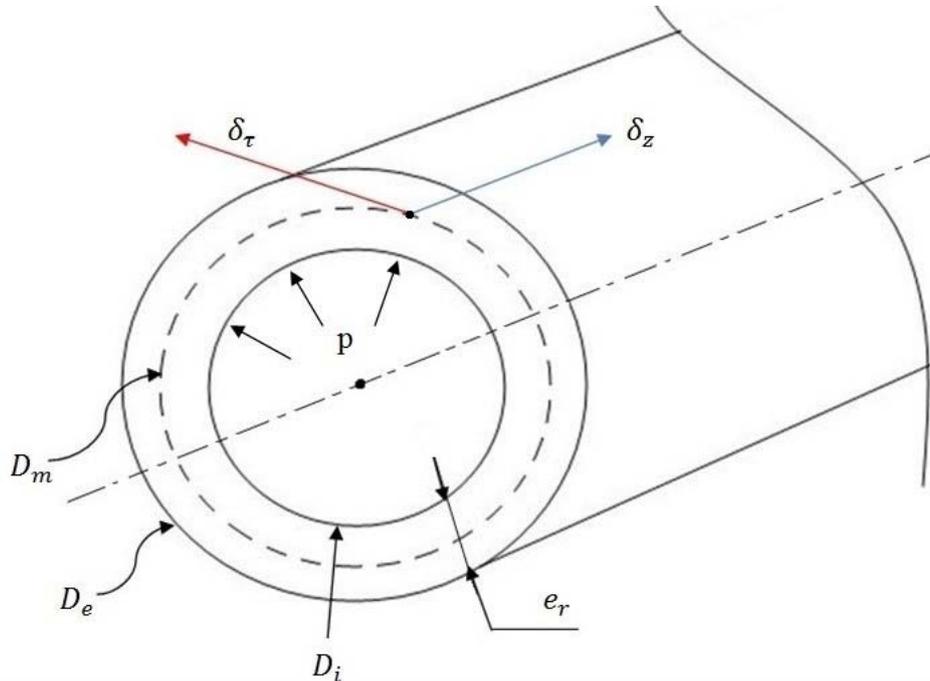


Figure III-1 : effet de pression sur un appareil cylindrique.

- D_m : Le diamètre moyen [mm]
- D_e : Le diamètre extérieur [mm]
- D_i : Le diamètre intérieur [mm]
- e_r : L'épaisseur de résistance [mm]
- δ_τ : La contrainte tangentielle perpendiculaire sur à la génératrice du cylindre $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}\right]$.
- δ_z : La contrainte axiale parallèle à la génératrice du cylindre $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}\right]$.
- P : La pression interne (pression de service) $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}\right]$

On utilise l'équation de LAPLACE pour calculer la résistance de ces équipements :

$$\frac{p}{e_r} = \frac{\delta_\tau}{\rho_\tau} + \frac{\delta_z}{\rho_z} \dots \dots \dots \text{(I)}$$

ρ_τ : Rayon de courbure de la direction de δ_τ , $\rho_\tau = R_m$ (un cercle).

CHAPITRE III : CALCUL DES APPAREILS CYLINDRIQUES

ρ_z : Rayon de courbure de la direction de δ_z , $\rho_z = \infty$ (une droite)

R_m : Rayon moyen [mm]

Donc l'équation (I) devient :

$$\frac{p}{e_r} = \frac{\delta_\tau}{R_m} \rightarrow \delta_\tau = \frac{p \times R_m}{e_r} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

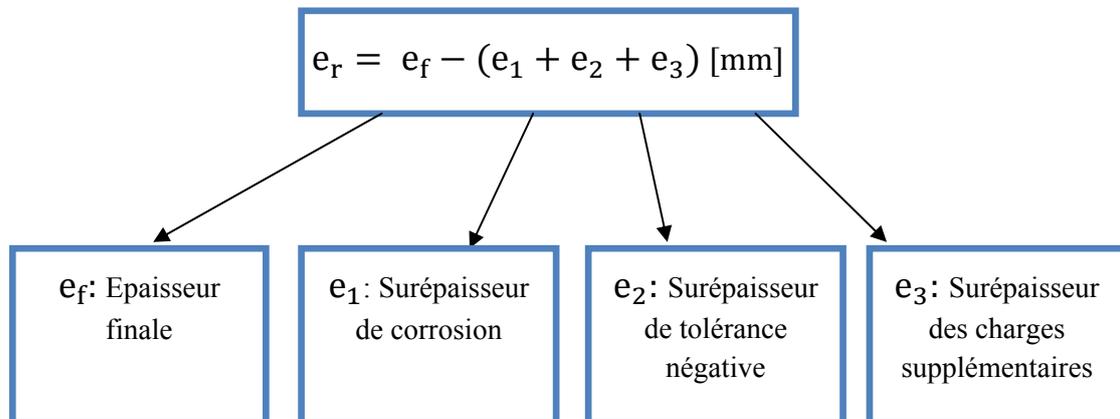
III.2.1. La Pression de calcul :

Pour le calcul de sécurité :

$$P^* = \max \left\{ \begin{array}{l} p_{\text{ser}} + 1 \text{ bar} \\ P_{\text{ser}} + 10\% P_{\text{ser}} \end{array} \right.$$

- P^* : pression de calcul
- P_{ser} : pression de service

III.2.2. Epaisseur de résistance :



➤ Surépaisseur de corrosion e_1 :

Degré de corrosion	e_1 [mm]
Faible	1÷2
Moyen	3÷4
Fort	5÷6

Tableau III-1 : surépaisseur de corrosion.

➤ Surépaisseur de tolérance négative e_2 :

$$\begin{cases} 3 \leq e_f \leq 80[\text{mm}] \\ \text{et} \\ 0.8 \leq e_2 \leq 1.3[\text{mm}] \end{cases}$$

➤ Surépaisseur des charges supplémentaires e_3 :

Hauteur de l'appareil[m]	e_3 [mm]
<20	1÷2
20÷40	3÷4
>40	5÷6

Tableau III-2 : surépaisseur des charges supplémentaires.

III.2.3. Rayon moyen :

$$R_m = \frac{D_m}{2} = \frac{D_i + e_r}{2} [\text{mm}]$$

D_m : Diamètre moyen[mm].

D_i : Diamètre intérieur[mm].

e_r : Épaisseur de résistance[mm].

III.3. La résistance admissible :

$$[\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_e^{T_c}}{n_e}, \frac{\sigma_r^{T_c}}{n_r} \right\} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

n_e, n_r représentent les coefficients de sécurité, selon AFNOR; $\{n_e = 1.5, n_r = 3\}$.

$\sigma_r^{T_c}$: La limite de rupture à la température de calcul T_c en $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$.

$\sigma_e^{T_c}$: La limite d'élasticité à la température de calcul T_c en $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$.

III.3.1. Température de calcul :

Pour le calcul de sécurité :

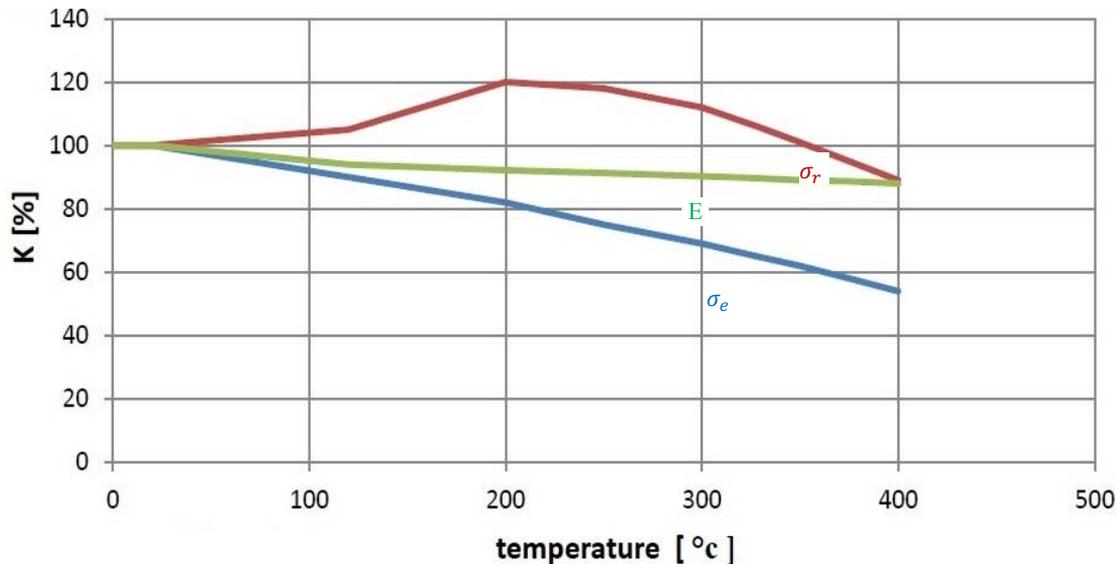
$$T_c = T_s + 15^\circ\text{C}$$

- T_c : température du calcul
- T_s : Température de service

III.3.2. Caractéristiques des matériaux sous haute température :

L'augmentation de la température provoque le changement des caractéristiques mécaniques de l'acier.

Figure III-2 : Diagramme des caractéristiques des aciers au Carbone



- La grandeur σ_r : désigne la contrainte limite de rupture.
- La grandeur E désigne le module d'élasticité longitudinal aussi appelé module d'Young.
- La grandeur σ_e : désigne la contrainte limite d'élasticité.

Les caractéristiques des aciers au carbone sont variées en fonction de la température selon les relations suivantes :

$$\begin{aligned}\sigma_e^{t^\circ\text{C}} &= k \times \sigma_e^{20^\circ\text{C}} \\ E^{t^\circ\text{C}} &= k \times E^{20^\circ\text{C}} \\ \sigma_r^{20^\circ\text{C} \leq t^\circ\text{C} \leq 350^\circ\text{C}} &= \sigma_r^{20^\circ\text{C}} \\ \sigma_r^{t^\circ\text{C} \geq 350^\circ\text{C}} &= k \times \sigma_r^{20^\circ\text{C}}\end{aligned}$$

CHAPITRE III : CALCUL DES APPAREILS CYLINDRIQUES

- t : température de calcul.
- k : étant un coefficient tenant compte de l'influence de la température sur les caractéristiques mécaniques du matériau.

III.4. La condition de la résistance :

$$\delta_{\tau} = \frac{p^* \times R_m \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]}{e_r} \leq \varphi \times [\sigma] \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

φ : Le coefficient du joint, coefficient de soudure longitudinale. Tel que :

Type de soudure	φ	
	Soudage automatique	Soudage manuel
Bout à bout		
- D'un coté	0.85	0.7
- Des deux coté	1	0.97
En " T "	1	0.95

Tableau III-3 : coefficient de soudure longitudinale.

III.5. La résistance des fonds :

Pour les appareils cylindriques, on utilise les fonds et les couvercles elliptiques

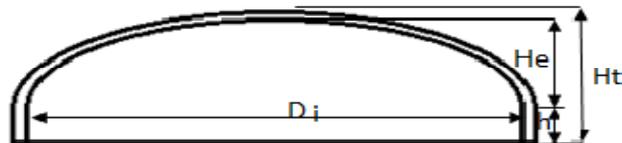


Figure III-3 : fond elliptique d'une colonne de distillation ATM.

H_e : La hauteur de la partie elliptique.

D_i : Le diamètre intérieur.

H_t : La hauteur totale de fond.

H : La hauteur de la partie cylindrique.

La résistance des fonds est donnée par la formule suivante:

$$\sigma_{f,i} = \frac{Y \times P^* \times R_m}{e_r} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

Y : le facteur de la forme du fond elliptique :

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

$$H_t = \frac{1}{4} D_i$$

$$Y = 1$$

III.5. 1. La condition de la résistance :

$$\sigma_{f,i} = \frac{Y \times P^* \times R_m}{e_r} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \leq \varphi \times [\sigma] \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

III.6. Mode de contrôle mécanique d'un appareil :

III.6.1. Essai hydraulique :

Les appareils sont soumis au test hydraulique pour vérifier la qualité des cordons de soudure (résistance) ainsi que la stabilité de forme de l'équipement.

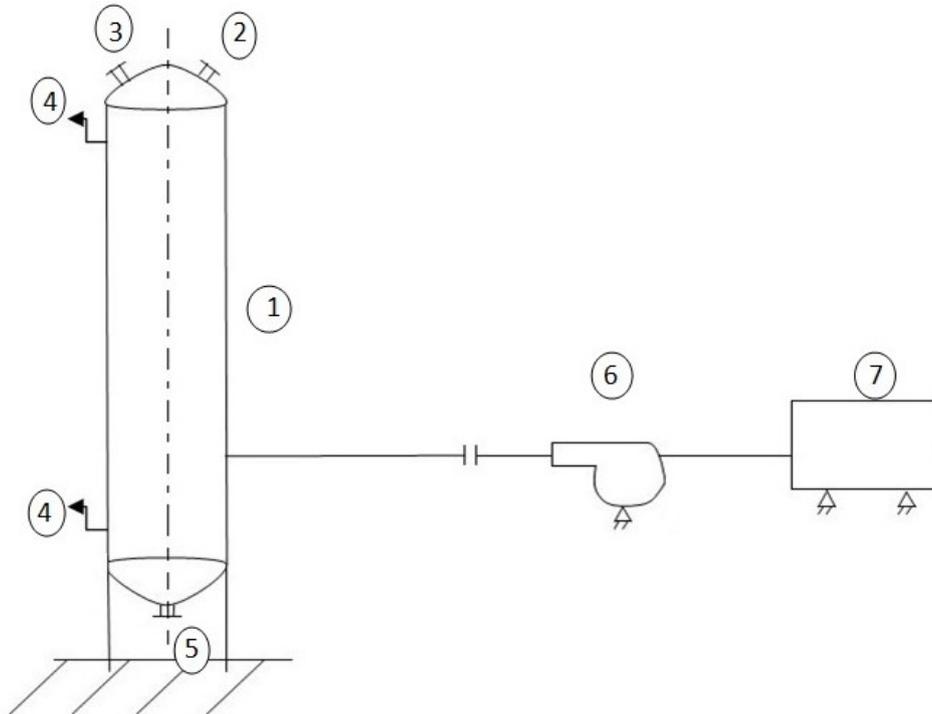


Figure III-4 : schéma descriptif de l'essai hydraulique.

🚦 Nomenclatures :

- 1-appareil à testé.
- 2-évent.
- 3-soupape de sécurité.
- 4-manomètre.
- 5-bouchon de vidange.
- 6-pompe centrifuge.

🚦 Remarques

- Avant d'essai, l'appareil doit être libéré de tous les produits, nettoyés, levée (lavage avec les gaz inertes, vapeur d'eau).

CHAPITRE III : CALCUL DES APPAREILS CYLINDRIQUES

- Le temps de maintien est normalisé en fonction de l'épaisseur :

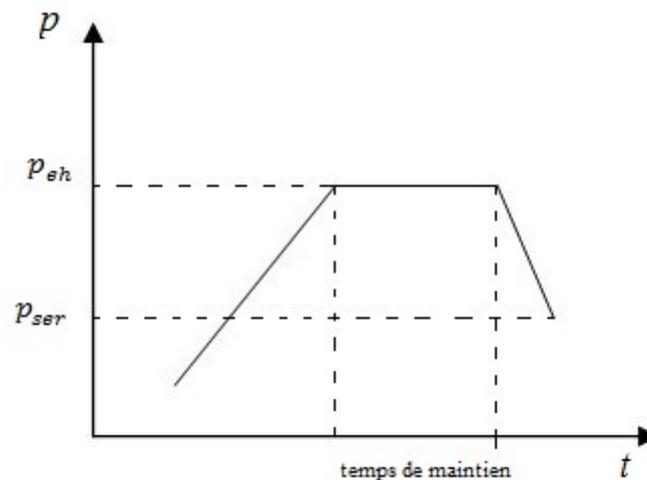
Epaisseur de la paroi en [mm]	Temps de maintenir de la pression d'essai hydraulique[min]
<50	10
50÷100	20
>100	30

Tableau III-4 : temps de maintenir de la pression d'essai hydraulique.

- Les appareils sont soumis à l'essai sans leur calorifugeage (isolation thermique).
- On utilise de l'eau dans l'essai hydraulique pour des raisons de sécurité.

III.6.2. Ordre de l'essai :

- Ouverture de l'évent (2) au sommet de l'appareil pour évacuer l'air ou les gaz.
- Introduction de l'eau par la pompe centrifuge(6) jusqu'à son écoulement à travers l'évent (2) en suite fermeture de l'évent (vidange totale d'air).
- On règle la pression hydraulique avec le manomètre (4) installé sur la partie supérieure (fond supérieure).
- On maintient cette pression d'essai hydraulique suivant les normes de temps.
- On réduit ensuite la pression d'essai jusqu'à la pression de service.



- On examine les cordons de soudure, les résultats de l'essai sont positifs si l'appareil ne présente pas de signe de rupture, de gouttelette d'eau sur les cordons de soudures et de déformations visibles.

III.6.3. La résistance des fonds au cours de l'essai hydraulique :

La contrainte dans les fonds des appareils cylindriques au cours de l'essai hydraulique est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_{f,i} = \frac{(\Sigma P + P_f) \times D_i}{2(e_{f,i} - e_1)} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

➤ **La pression réelle lors de l'épreuve hydraulique :**

$$\Sigma P = P_{\text{essai}} + P_{\text{st}} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

➤ **La pression d'essai hydraulique :**

$$\begin{aligned} P_{\text{eh}} &= 1.5 \times P_s : \text{si } t_{\text{paroi}} < 200 \text{ }^\circ\text{C}. \\ p_{\text{eh}} &= 1.25 \times P_s : \text{si } t_{\text{paroi}} > 200 \text{ }^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

➤ **La pression statique :**

$$p_{\text{st}} = \frac{H_{f,i}}{10} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

$H_{z,i}$: La hauteur du fond ou bien la zone i.

➤ **La pression fictive correspondant aux charges supplémentaires :**

$$P_f = \frac{2\varphi \times [\sigma]_{essai} \times e_3}{D_i + e_3} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$$

➤ **La contrainte admissible pendant l'essai hydraulique :**

$$[\sigma]_{essai} = 0.9[\sigma] \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$$

➤ **La contrainte admissible :**

$$[\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_e^{20^\circ c}}{n_e}, \frac{\sigma_r^{20^\circ c}}{n_r} \right\}$$

n_e, n_r représentent les coefficients de sécurité, selon AFNOR; $\{n_e = 1.5, n_r = 3\}$.

III.6.4. La condition de la résistance des fonds pendant l'essai hydraulique :

$$\sigma_{f,i} = \frac{(\Sigma P + P_f) \times D_i}{2(e_{f,i} - e_1)} \left[\frac{daN}{mm^2} \right] \leq [\sigma]_{essai} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$$



CHAPITRE IV

IV.1. Introduction :

Le raffinage consiste en 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 des 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».

Comme toutes les raffineries ; 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.

IV.2. La colonne de distillation C101:

La C101 est une colonne de distillation atmosphérique, qui est un équipement circulaire disposé verticalement d'une hauteur ($H= 47$ m) bien supérieure à son diamètre. Elle est de quatre section différentes (a, b, c et d) de diamètres (4670 mm ; 4970 mm ; 5400mm 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

CHAPITRE IV : PARTIE CALCUL

nombre égal de molécules plus lourdes qui rétrogradent vers les plateaux immédiatement inférieurs.

De la vapeur stripping a 16 bars et 440°C est injectée afin d'améliorer la séparation des fractions en entraînant les légers vers le 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.

Les différentes coupes sont soutirées à plusieurs niveaux (**Figure IV.1**), selon leurs températures d'ébullition et leurs densités.

On obtiendra :

Coupes	Température (°C)	plateaux
Essences totale	109	49
Solvants lourd	163	34-38
Kérosène	223	24-26
Gasoil léger	280	17-20
Distillat	330	10-12
Résidu	340	Le fond de la colonne

Tableau IV-1 : Soutirage de différentes coupes pétrolières.

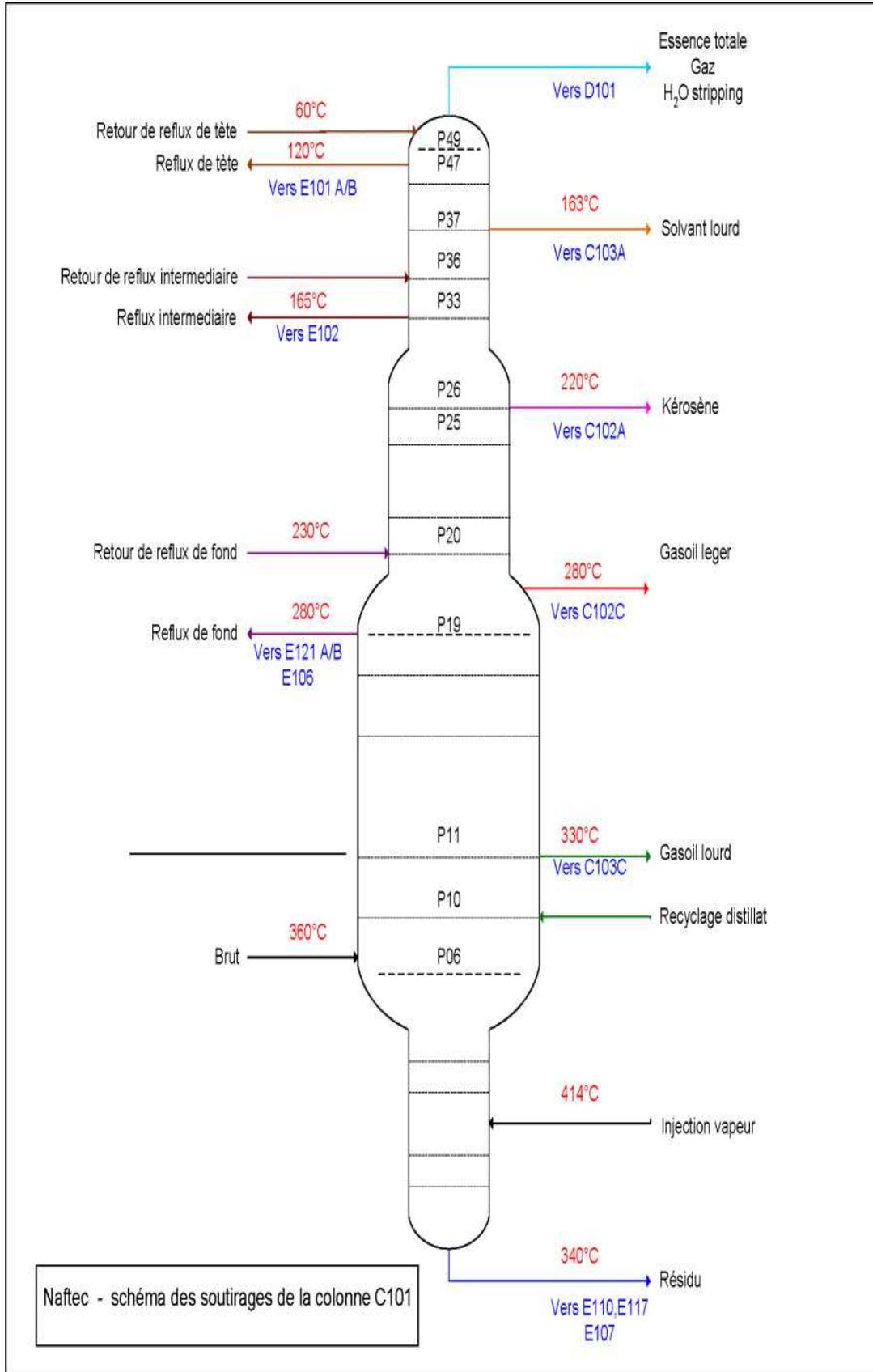


Figure IV-1: Schéma des soutirages de la colonne de distillation C101.

CHAPITRE IV : PARTIE CALCUL

IV.3. L'objectif de travail :

Ce calcul étant pour la vérification d'un appareil cylindrique vertical a pour but essentiel la vérification de la résistance de la colonne de distillation atmosphérique (C101), le calcul mécanique de cette colonne comprend :

- ❖ vérification de la résistance de la virole aux contraintes dues à la pression dans chaque section de la colonne (a, b, c et d).
- ❖ Vérification de la résistance des fonds aux contraintes dues à la pression.
- ❖ Vérification de la résistance de la virole dans la zone d'épuisement et la zone de rectification au cours de l'épreuve hydraulique.

IV.4. Les données de départ:

Données d'opération

• La pression de service	
tête de colonne	1.75 bar
pied de colonne	2 bars
• La Température de service	
tête de colonne	105 °C
pied de colonne	358 °C
• Les plateaux	
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

Données de conception mécanique

• La pression de calcul	
tête de colonne	2.75 bars
pied de colonne	3 bars
• La Température de calcul dans les sections de la colonne	
section a	120 °C
section b	250 °C
section c	300 °C
section d	375 °C
• Diamètre intérieur de différentes sections de la colonne	
section a	4670 mm
section b	4970 mm
section c	5400 mm
section d	1980 mm
• Hauteur de la colonne	
	47625 mm
• Hauteur de la jupe	
	3000 mm

CHAPITRE IV : PARTIE CALCUL

• Epaisseurs de différentes sections de la colonne	
section a	15 mm
section b	14 mm
section c	16 mm
section d	10 mm
• Epaisseur de fond supérieur	12 mm
• Epaisseur de fond inférieur	10 mm

Spécification des matériaux

Virole ; fonds ; jupe et anneau de base.	A42C3S
--	--------

IV.5. La résistance de la virole :

Les viroles des colonnes sont généralement des cylindres à paroi mince, la condition de résistance est donnée par la formule suivante :

$$\sigma = \frac{P^* \times R_m}{e_r} \leq \varphi \times [\sigma]$$

- φ : Le coefficient du joint, coefficient de soudure longitudinale. Tel que : $\varphi = 0,85$
- P^* : Pression de calcul
- $R_{m,v}$: Rayon moyen de la virole tel que $R_{m,v} = \frac{D_m}{2} = \frac{D_i + e_{r,v}}{2}$
- e_r : Epaisseur de résistance de la virole [mm]

$$e_r = e_{f,v} - (e_1 + e_2 + e_3)$$

- $e_{f,v}$: L'épaisseur finale (réel originale) de la virole.
- e_1 : Surépaisseur de corrosion donnée par le constructeur $e_1 = 3$ [mm]
- e_2 : Surépaisseur de tolérance négative dépend de $e_{f,v}$ $e_2 = 0,8$ [mm]
- e_3 : Surépaisseur tenant comptes des charges supplémentaire (vent ; séisme), e_3 en fonction de la hauteur par rapport au sol.

Hauteur (m)	e_3 (mm)
<20	1-2
20-40	3-4
>40	5-6

Tableau: Choix de e_3 en fonction de la hauteur.

- $[\sigma]$: Contrainte admissible du matériau de l'appareil. $[\sigma]$ c'est la valeur minimale calculée d'après les formules suivantes:

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

- n_e, n_r représentent les coefficients de sécurité, selon AFNOR; $\{n_e = 1.5, n_r = 3\}$
- $\sigma_r^{T_c}$: La limite de rupture à la température de calcul T_c en $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$
- $\sigma_e^{T_c}$: La limite d'élasticité à la température de calcul T_c en $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$

IV.5.1. Application :

On a subdivisé le calcul de virole selon le diamètre en 04 partie (a, b, c et d):

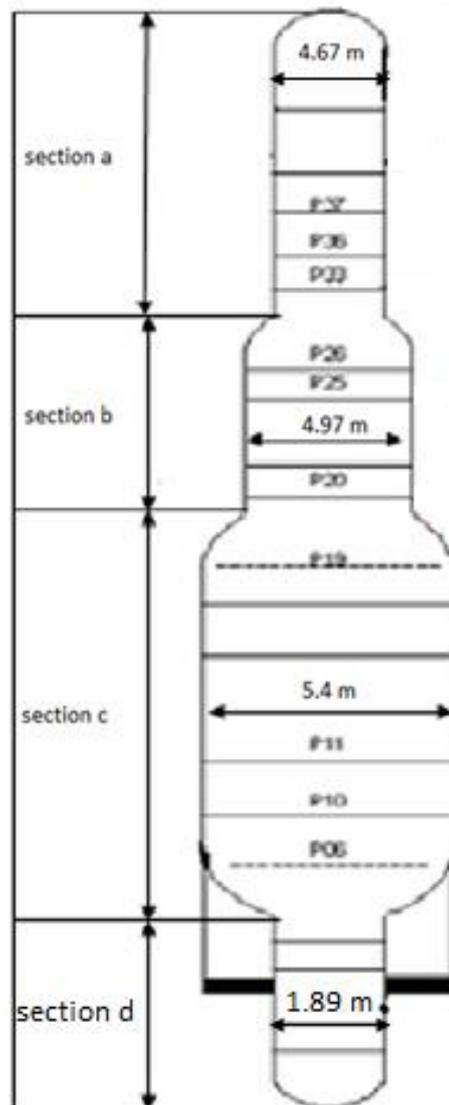


Figure IV-2 : Colonne de distillation C101

CHAPITRE IV : PARTIE CALCUL

➤ Section (a)

$$e_r = e_{f,v} - (e_1 + e_2 + e_3) \quad e_r = 15 - (3 + 0.8 + 5) \quad e_r = 6.2 \text{ mm}$$

Ha=47m donc $e_3 = 5 \text{ mm}$

$$R_{m,v a} = \frac{D_{m,v a}}{2} = \frac{D_{ia} + e_{r,v a}}{2} = \frac{4670 + 6.2}{2} [\text{mm}]$$

$$R_{m,v a} = 2338.1 \text{ mm}$$

Pour la pression :

$$P^* = \max [p_{ser} + 1 \text{ bar} ; P_{ser} + 10\%P_{ser}]$$

$$P^* = p_{ser} + 1 \text{ bar} = 1.75 + 1 = 2.75 \text{ bar} \Rightarrow P^* = 0.0275 [\text{daN/mm}^2]$$

- P^* : pression de calcul
- P_{ser} : pression de service

Pour la température :

$$T_c = T_s + 15^\circ\text{C}$$

$$T_c = 105 + 15^\circ\text{C} = 120^\circ\text{C}$$

- T_c : température du calcul
- T_s : Température de service

D'après le graphe de Comportement des aciers sous hautes températures, $k = 0.9$

Alors :

$$\begin{cases} \sigma_e^{120^\circ\text{C}} = K \cdot \sigma_e^{20^\circ\text{C}} \\ \sigma_r^{120^\circ\text{C}} = \sigma_r^{20^\circ\text{C}} \end{cases} \quad \begin{cases} \sigma_e^{120^\circ\text{C}} = 0.9 \times 26 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \\ \sigma_r^{120^\circ\text{C}} = 42 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \end{cases} \quad \begin{cases} \sigma_e^{120^\circ\text{C}} = 23.45 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \\ \sigma_r^{120^\circ\text{C}} = 42 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \end{cases}$$

$$\text{Donc } [\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_e^{120^\circ\text{C}}}{n_e}, \frac{\sigma_r^{120^\circ\text{C}}}{n_r} \right\} \quad [\sigma] = \min \left\{ \frac{23.4}{1.5}, \frac{42}{3} \right\} \quad [\sigma] = 14 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

En tenant compte le coefficient de soudure $\varphi = 0,85$:

$$\varphi \cdot [\sigma] = 11.9 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

D'autre part on a :

$$\sigma = \frac{P^* \times R_m}{e_{r,v}} \quad \sigma = \frac{0.0275 \times 2338.1}{6.2} \quad \sigma = 10.37 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

On voit bien que :

$$\sigma = 10.37 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] < \varphi \cdot [\sigma] = 11.9 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

Alors $\sigma < \varphi[\sigma]$ donc la résistance de la section (a) de la virole est parfaite.

➤ **Section (b)**

$$e_r = e_{f,v} - (e_1 + e_2 + e_3) \quad e_r = 14 - (3 + 0.8 + 3) \quad e_r = 7.2 \text{ mm}$$

Hb=22m donc $e_3 = 3 \text{ mm}$

$$R_{m,v a} = \frac{D_{m,v b}}{2} = \frac{D_{ib} + e_{r,v b}}{2} = \frac{4970 + 7.2}{2}$$

$$R_{m,v b} = 2488.6 \text{ mm}$$

Pour la pression :

$$P^* = \max [p_{ser} + 1 \text{ bar} ; P_{ser} + 10\%P_{ser}]$$

$$P^* = p_{ser} + 1 \text{ bar} = 1.75 + 1 = 2.75 \text{ bar} \Rightarrow P^* = 0.0275 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

- P^* : pression de calcul
- P_{ser} : pression de service

Pour la température :

$$T_c = T_s + 15^\circ\text{C}$$

$$T_c = 234 + 15^\circ\text{C} = 249^\circ\text{C}$$

- T_c : température du calcul
- T_s : Température de service

D'après le graphe de Comportement des aciers sous hautes températures, $k = 0.77$

Alors :

$$\begin{cases} \sigma_e^{249^\circ\text{C}} = K \cdot \sigma_e^{20^\circ\text{C}} \\ \sigma_r^{249^\circ\text{C}} = \sigma_r^{20^\circ\text{C}} \end{cases} \quad \begin{cases} \sigma_e^{249^\circ\text{C}} = 0.77 \times 26 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \\ \sigma_r^{249^\circ\text{C}} = 42 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \end{cases} \quad \begin{cases} \sigma_e^{249^\circ\text{C}} = 20.02 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \\ \sigma_r^{249^\circ\text{C}} = 42 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \end{cases}$$

$$\text{Donc } [\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_e^{249^\circ\text{C}}}{n_e}, \frac{\sigma_r^{249^\circ\text{C}}}{n_r} \right\} \quad [\sigma] = \min \left\{ \frac{20.02}{1.5}, \frac{42}{3} \right\} \quad [\sigma] = 13.34 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

En tenant compte le coefficient de soudure $\varphi = 0,85$:

$$\varphi \cdot [\sigma] = 11.34 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

D'autre part on a :

$$\sigma = \frac{P^* \times R_m}{e_{r,v}} \quad \sigma = \frac{0.0275 \times 2488.6}{7.2} = 9.5 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

On voit bien que :

$$\sigma = 9.5 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] < \varphi \cdot [\sigma] = 11.34 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

Alors $\sigma < \varphi[\sigma]$ donc la résistance de la section (b) de la virole est parfaite.

➤ **Section (c)**

$$e_r = e_{f,v} - (e_1 + e_2 + e_3) \quad e_r = 16 - (3 + 0.8 + 2) \quad e_r = 10.2 \text{ mm}$$

Hc=20.3m donc $e_3 = 2 \text{ mm}$

$$R_{m,v a} = \frac{D_{m,v c}}{2} = \frac{D_{ic} + e_{r,v c}}{2} = \frac{5400 + 10.2}{2}$$

$$R_{m,v c} = 2705 \text{ mm}$$

Pour la pression :

$$P^* = \max [p_{ser} + 1 \text{ bar} ; P_{ser} + 10\%P_{ser}]$$

$$P^* = p_{ser} + 1 \text{ bar} = 1.75 + 1 = 2.75 \text{ bar} \Rightarrow P^* = 0.0275 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

- P^* : pression de calcul
- P_{ser} : pression de service

Pour la température :

$$T_c = T_s + 15^\circ\text{C}$$

$$T_c = 284 + 15^\circ\text{C} = 299^\circ\text{C}$$

- T_c : température du calcul
- T_s : Température de service

D'après le graphe de Comportement des aciers sous hautes températures, $k = 0.7$

Alors :

$$\begin{cases} \sigma_e^{299^\circ\text{C}} = K \cdot \sigma_e^{20^\circ\text{C}} \\ \sigma_r^{299^\circ\text{C}} = \sigma_r^{20^\circ\text{C}} \end{cases} \quad \begin{cases} \sigma_e^{299^\circ\text{C}} = 0.7 \times 26 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \\ \sigma_r^{299^\circ\text{C}} = 42 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \end{cases} \quad \begin{cases} \sigma_e^{299^\circ\text{C}} = 18.2 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \\ \sigma_r^{299^\circ\text{C}} = 42 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \end{cases}$$

$$\text{Donc } [\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_e^{299^\circ\text{C}}}{n_e}, \frac{\sigma_r^{299^\circ\text{C}}}{n_r} \right\} \quad [\sigma] = \min \left\{ \frac{18.2}{1.5}, \frac{42}{3} \right\} \quad [\sigma] = 12.13 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

En tenant compte le coefficient de soudure $\varphi = 0,85$:

$$\varphi \cdot [\sigma] = 10.31 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

D'autre part on a :

$$\sigma = \frac{P^* \times R_m}{e_{r,v}} \quad \sigma = \frac{0.0275 \times 2705}{10.2} = 7.29 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

On voit bien que :

$$\sigma = 7.29 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] < \varphi \cdot [\sigma] = 10.31 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

Alors $\sigma < \varphi[\sigma]$ donc la résistance de la section (c) de la virole est parfaite.

➤ Section (d)

$$e_r = e_{f,v} - (e_1 + e_2 + e_3) \quad e_r = 10 - (3 + 0.8 + 1) \quad e_r = 5.2 \text{ mm}$$

Hd=7m donc $e_3 = 1 \text{ mm}$

$$R_{m,v,d} = \frac{D_{m,v,d}}{2} = \frac{D_{id} + e_{r,v,d}}{2} = \frac{1980 + 5.2}{2}$$

$$R_{m,v,d} = 992.6 \text{ mm}$$

Pour la pression :

$$P^* = \max [p_{ser} + 1 \text{ bar} ; P_{ser} + 10\%P_{ser}]$$

$$P^* = p_{ser} + 1 \text{ bar} = 2.1 + 1 = 3.1 \text{ bar} \Rightarrow P^* = 0.031 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

- P^* : pression de calcul
- P_{ser} : pression de service

Pour la température :

$$T_c = T_s + 15^\circ\text{C}$$

$$T_c = 358 + 15^\circ\text{C} = 373^\circ\text{C}$$

- T_c : température du calcul
- T_s : Température de service

D'après le graphe de Comportement des aciers sous hautes températures, $k = 0.58$ pour la contrainte limite d'élasticité et $k = 0.96$ pour la contrainte limite de rupture.
Alors :

CHAPITRE IV : PARTIE CALCUL

$$\begin{cases} \sigma_e^{373^\circ\text{C}} = K \cdot \sigma_e^{20^\circ\text{C}} \\ \sigma_r^{373^\circ\text{C}} = K \cdot \sigma_r^{20^\circ\text{C}} \end{cases} \quad \begin{cases} \sigma_e^{373^\circ\text{C}} = 0.58 \times 26 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \\ \sigma_r^{373^\circ\text{C}} = 0.96 \times 42 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \end{cases} \quad \begin{cases} \sigma_e^{373^\circ\text{C}} = 15.08 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \\ \sigma_r^{373^\circ\text{C}} = 40.32 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \end{cases}$$

$$\text{Donc } [\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_e^{120^\circ\text{C}}}{n_e}, \frac{\sigma_r^{120^\circ\text{C}}}{n_r} \right\} \quad [\sigma] = \min \left\{ \frac{15.08}{1.5}, \frac{40.32}{3} \right\} \quad [\sigma] = 10.05 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

En tenant compte le coefficient de soudure $\varphi = 0,85$:

$$\varphi \cdot [\sigma] = 8.54 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

D'autre part on a :

$$\sigma = \frac{P^* \times R_m}{e_{r,v}} \quad \sigma = \frac{0.03 \times 992.6}{5.2} = 5.72 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

On voit bien que :

$$\sigma = 5.72 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] < \varphi \cdot [\sigma] = 8.54 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

Alors $\sigma < \varphi[\sigma]$ donc la résistance de la section (d) de la virole est parfaite.

IV.5.2. résultants des calculs :

section	Résistance calculée $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$	Résistance admissible $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$
(a)	10.37	11.9
(b)	9.5	11.34
(c)	7.29	10.31
(d)	5.72	8.54

Tableau IV-2 : Résistance de la virole.

IV.5.3. Conclusion :

D'après les calculs de vérification de la résistance, on conclut que la virole résiste parfaitement dans toutes les sections (a, b, c et d) de la colonne C101.

IV.6. La résistance des fonds :

Pour les appareils cylindriques, on utilise les fonds et les couvercles elliptiques dont condition de résistance est donnée par la formule suivante:

$$\sigma = \frac{Y \times P^* \times R_m}{e_r} \leq \varphi \times [\sigma]$$

- Y : facteur de la forme du fond. $Y=1$
- P^* : Pression de calcul
- $R_{m,f}$: Rayon moyen du fond $R_{m,f} = \frac{D_m}{2} = \frac{D_i + e_{r,f}}{2}$
- e_r : Epaisseur de résistance de la virole [mm]

IV.6.1. Application :

- **Fond supérieur :**

$$e_{r,f,s} = e_{f,f,s} - (e_1 + e_2 + e_4)$$

- $e_{r,f,s}$: Épaisseur de résistance du fond supérieur [mm]
- $e_{f,f,s}$: L'épaisseur finale du fond supérieur $e_{f,f,s} = 12$ [mm]
- e_1, e_2 : sont les épaisseurs indiquées lors du calcul précédent [mm]
- e_4 : L'addition technologique qui tient compte de la diminution d'épaisseur lors de l'emboutissage $e_4 = 2$ [mm]

$$e_{r,f,s} = 12 - (3 + 0.8 + 2) \qquad e_{r,f,s} = 6.2 \text{ mm}$$

$$R_{m,f,s} = \frac{D_m}{2} = \frac{D_i + e_{r,f,s}}{2} = \frac{4670 + 6.2}{2} \qquad R_{m,f,s} = 2338.1 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{Y \times P^* \times R_m}{e_r} = \frac{1 \times 0.0275 \times 2338.1}{6.2} \qquad \sigma = 10.37 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

Ainsi on a dans cette partie de la colonne $[\sigma] = 14 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$

Donc $\varphi \times [\sigma] = 0,85 \times 14 = 11.9 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$

On voit bien que :

$$\sigma = 10.37 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] < \varphi \cdot [\sigma] = 11.9 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

Donc la résistance du fond supérieur de la colonne est bien vérifiée.

➤ **Fond inférieur :**

$$e_{r,f,i} = e_{f,f,i} - (e_1 + e_2 + e_4)$$

- $e_{r,f,i}$: Épaisseur de résistance du fond inférieur [mm]
- $e_{f,f,i}$: L'épaisseur finale du fond inférieur $e_{f,f,i} = 10$ [mm]
- e_1, e_2 : sont les épaisseurs indiquées lors du calcul précédent [mm]
- e_4 : L'addition technologique qui tient compte de la diminution d'épaisseur lors de l'emboutissage $e_4 = 2$ [mm]

$$e_{r,f,s} = 10 - (3 + 0.8 + 2) \quad e_{r,f,s} = 4.2 \text{ mm}$$

$$R_{m,f,s} = \frac{D_m}{2} = \frac{D_i + e_{r,f,s}}{2} = \frac{1980 + 4.2}{2} \quad R_{m,f,s} = 992.1 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{Y \times P^* \times R_m}{e_r} = \frac{1 \times 0.03 \times 992.1}{4.2} \quad \sigma = 7.08 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

Ainsi qu'on a dans cette partie de la colonne $[\sigma] = 10.05 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$

$$\text{Donc } \varphi \times [\sigma] = 0,85 \times 10.05 = 8.54 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

On voit bien que :

$$\sigma = 7.08 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] < \varphi \cdot [\sigma] = 8.54 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

Donc la résistance du fond supérieur de la colonne est bien vérifiée.

IV.6.2. résultants des calculs :

fond	Resistance calculée $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$	Resistance admissible $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$
supérieur	10.37	11.9
inférieur	7.08	8.54

Tableau IV-3 : Résistance des fonds.

IV.6.3. Conclusion :

Les résultats confirment que la résistance parfaite du fond supérieur et inférieur à la pression et à la charge à l'intérieur de la colonne de distillation.

IV.7. Vérification de la résistance dans la virole et dans les fonds pendant l'épreuve hydraulique :

- **Partie supérieure de la virole (zone de rectification) :**

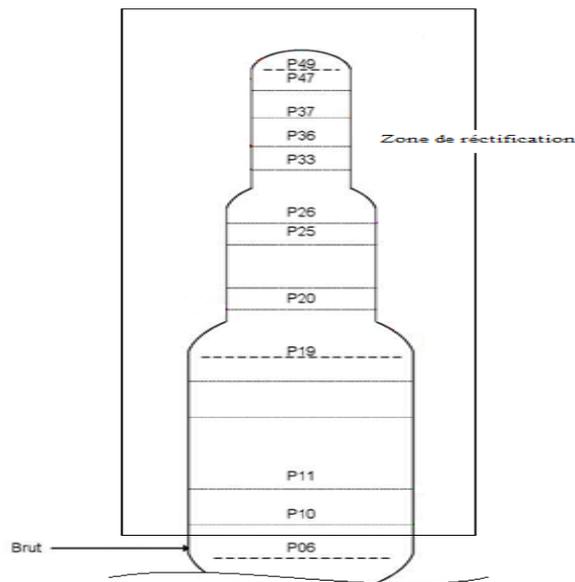


Figure IV-3 : la zone de rectification de la colonne C101

La contrainte dans la partie supérieure de la colonne (z,r) est donnée par la formule :

$$\sigma_{z,r} = \frac{(\Sigma P + P_f) \times D_i}{2(e_{z,r} - e_1)}$$

Où :

- ΣP : Est la pression réelle dans la partie supérieure de la virole lors de l'épreuve hydraulique, $\left[\frac{daN}{mm^2} \right]$

$$\Sigma P = P_{\text{essai}} + P_{\text{st}}$$

CHAPITRE IV : PARTIE CALCUL

- P_{essai} : Est la pression d'essai hydraulique $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}\right]$

$P_{\text{eh}} = 1.5 \times P_s$: si $t_{\text{paroi}} < 200 \text{ }^\circ\text{C}$. $t = 105^\circ\text{C}$ alors $P_{\text{essai, hyd}} = 1.5 \times P_{\text{serv}}$

$p_{\text{eh}} = 1.25 \times P_s$: si $t_{\text{paroi}} > 200 \text{ }^\circ\text{C}$. $P_{\text{essai, hyd}} = 1.5 \times 1.75 = 2.62 \text{ bar}$

$$P_{\text{essai, hyd}} = 0.0262 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}\right]$$

- P_{st} : La pression d'eau contenue dans la colonne soumise à l'essai hydraulique (la pression statique) :

$$P_{\text{st}} = \frac{H_r}{10}$$

H_r : La hauteur de la zone de rectification $H_r = 35 \text{ m}$.

$$P_{\text{st}} = \frac{35}{10} = 3.5 \text{ bar} \quad P_{\text{st}} = 0.035 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}\right]$$

Donc

$$\Sigma P = 0.0262 + 0.035 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}\right] \quad \Sigma P = 0.0612 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}\right]$$

➤ P_f : La pression fictive correspondant aux charges supplémentaires sur le corps de l'appareil, en $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}\right]$

$$P_f = \frac{2\varphi \times [\sigma]_{\text{essai}} \times e_3}{D_i + e_3} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}\right]$$

- $[\sigma]_{\text{essai}}$: La contrainte admissible pendant l'essai hydraulique $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}\right]$

$$[\sigma]_{\text{essai}} = 0,9 [\sigma]$$

- $[\sigma]$: la contrainte admissible à la température de l'essai hydraulique $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}\right]$

$$[\sigma] = \min\left\{\frac{\sigma_e^{20^\circ\text{C}}}{n_e}, \frac{\sigma_r^{20^\circ\text{C}}}{n_r}\right\} = \min\left\{\frac{26}{1,5}, \frac{42}{3}\right\}$$

$$[\sigma] = 17.33 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}\right]$$

Donc

$$[\sigma]_{\text{essai}} = 0,9 [\sigma] = 0,9 \times 17,33 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \quad [\sigma]_{\text{essai}} = 15,6 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

- e_3 : est l'addition qui tient compte des charges supplémentaires (vent, séisme...) $e_3 = 2$ [mm]

Alors :

$$P_f = \frac{2 \times 0,85 \times 15,6 \times 2}{4670 + 2} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \quad P_f = 0,0113 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

En fin

$$\sigma_{z,r} = \frac{(0,0612 + 0,0113) \times 4670}{2(15 - 3)} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$
$$\sigma_{z,r} = 14,10 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

La condition de la résistance pendant l'épreuve hydraulique :

$$\sigma_{z,r} = \frac{(\Sigma P + P_f) \times D_i}{2(e_{z,r} - e_1)} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \leq [\sigma]_{\text{essai}} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$\sigma_{z,r} = 14,10 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \leq [\sigma]_{\text{essai}} = 15,6 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

Cela signifie que l'épaisseur de la virole $e_{z,r} = 15$ [mm] assure la résistance dans la partie supérieure de la virole lors de l'épreuve hydraulique.

➤ **Partie inférieure de la virole (zone d'épuisement) :**

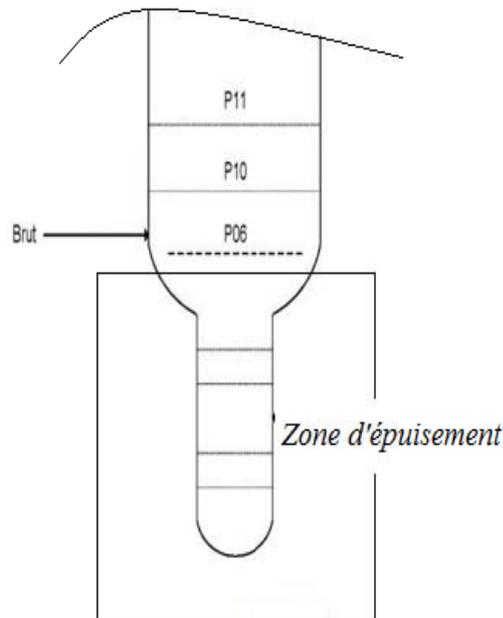


Figure IV-4 : la zone d'épuisement de la colonne C101

La contrainte dans la partie inférieure de la colonne (z,e) est donnée par la formule :

$$\sigma_{z,e} = \frac{(\Sigma P + P_f) \times D_i}{2(e_{z,e} - e_1)}$$

➤ ΣP : Est la pression réelle dans la partie inférieure de la virole lors de l'épreuve hydraulique, $\left[\frac{daN}{mm^2}\right]$

$$\Sigma P = P_{\text{essai}} + P_{\text{st}}$$

- P_{essai} : Est la pression d'essai hydraulique $\left[\frac{daN}{mm^2}\right]$

$$P_{\text{eh}} = 1.5 \times P_s \text{ alors } P_{\text{essai, hyd}} = 1.5 \times 2 = 0.03 \left[\frac{daN}{mm^2}\right]$$

- P_{st} : La pression d'eau contenue dans la colonne soumise à l'essai hydraulique (la pression statique) :

CHAPITRE IV : PARTIE CALCUL

$$P_{st} = \frac{H_e}{10} = \frac{H_v + H_{f,i} + H_{f,s}}{10} = \frac{42.374 + 0.726 + 1.9}{10} \quad P_{st} = 0.045 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

H_e : La hauteur de la zone de rectification $H_e = 45\text{m}$.

H_v : La hauteur totale de la virole. $H_v = 42.374$ [m]

$H_{f,i}$: La hauteur de la partie inférieure de la virole. $H_{f,i} = 0.726$ [m]

$H_{f,s}$: La hauteur de la partie inférieure de la virole. $H_{f,i} = 1.9$ [m]

Donc

$$\Sigma P = 0.03 + 0.045 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \quad \Sigma P = 0.075 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

➤ P_f : La pression fictive correspondant aux charges supplémentaires sur le corps de l'appareil, en $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$

$$P_f = \frac{2\varphi \times [\sigma]_{\text{essai}} \times e_3}{D_i + e_3} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

- $[\sigma]_{\text{essai}}$: La contrainte admissible pendant l'essai hydraulique $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$

$$[\sigma]_{\text{essai}} = 0,9 [\sigma]$$

- $[\sigma]$: la contrainte admissible à la température de l'essai hydraulique $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$

$$[\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_e^{20^\circ\text{C}}}{n_e}, \frac{\sigma_r^{20^\circ\text{C}}}{n_r} \right\} = \min \left\{ \frac{26}{1,5}, \frac{42}{3} \right\}$$

$$[\sigma] = 17.33 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

Donc

$$[\sigma]_{\text{essai}} = 0,9 [\sigma] = 0.9 \times 17.33 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \quad [\sigma]_{\text{essai}} = 15.6 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

- e_3 : est l'addition qui tient compte des charges supplémentaires (vent, séisme...) $e_3 = 2$ [mm]

Alors :

$$P_f = \frac{2 \times 0,85 \times 15,6 \times 2}{1980 + 2} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \quad P_f = 0,0262 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

En fin

$$\sigma_{z,e} = \frac{(0,075 + 0,0262) \times 1980}{2(10 - 3)} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$\sigma_{z,e} = 14,31 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

La condition de la résistance pendant l'épreuve hydraulique :

$$\sigma_{z,e} = \frac{(\Sigma P + P_f) \times D_i}{2(e_{z,r} - e_1)} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \leq [\sigma]_{\text{essai}} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$\sigma_{z,e} = 14,31 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \leq [\sigma]_{\text{essai}} = 15,6 \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$$

Cela signifie que l'épaisseur de la virole $e_{z,r} = 10$ [mm] assure la résistance dans la partie inférieure de la virole lors de l'épreuve hydraulique.

IV.7.1. résultants des calculs :

zone	Resistance calculée $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$	Resistance admissible $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$
rectification	14.10	15.6
épuisement	14.31	15.6

Tableau IV-4 : Résistance des zones de la colonne C101

IV.7.1. Conclusion :

On conclut que la zone d'épuisement et la zone de rectification sont résistés parfaitement à la pression d'eau l'hors de l'essai hydraulique.

IV.8. Interprétation :

D'après les calculs de la résistance de notre équipement qui est la colonne de distillation atmosphérique C101, on conclut que la colonne C101 résiste parfaitement aux contraintes de pression interne dans tous ; les parties (a, b, c et d), les fonds

CHAPITRE IV : PARTIE CALCUL

(supérieur et inférieur) pendant les conditions d'emploi (pression et température de service) et pendant l'essai hydraulique, mais il faut aussi faire une maintenance périodique et équiper la colonne par des moyens de sécurité (soupape de sûreté, disque de rupture, clapets de retenue, joint de dilatation) pour assurer la sécurité de la colonne C101 et les opérateurs.

Conclusion

Durant notre formation à l'université, nous avons pu acquérir une base théorique sur la sécurité industrielle, qui a été complétée par une formation pratique au niveau de la raffinerie d'Alger.

Cette mise en situation professionnelle nous a permis de nous familiariser avec le secteur des hydrocarbures, en touchant de près les problèmes réels entre autres celui lié à notre étude et de mettre en application les bases théoriques acquises durant notre cursus.

Ce travail, qui a été effectué en sa totale intégrité, à la raffinerie d'Alger, plus exactement au sein de l'unité topping qui a pour objective de vérifier la résistance de la colonne de distillation atmosphérique (C101).

Les résultats du calcul mécanique des différentes contraintes que subi l'appareil montrent que les conditions de résistance sont vérifiées et la colonne de distillation C101 résiste parfaitement à la pression.

Ce stage pratique nous a permis d'acquérir une bonne expérience dans le domaine pétrolier, avec l'aide des techniciens qui nous ont permis de :

- ❖ voir les équipements en mode de fonctionnement ;
- ❖ apercevoir l'ordonnancement et l'enchaînement des techniques de séparation et de transformation e fonctionnement ;
- ❖ sentir le lien entre la théorie et la pratique ;
- ❖ apprendre les différentes règles de sécurité qui ont pour but de protéger les ouvriers contre les accidents de travail, et les équipements contre les incendies et les explosions.

Bibliographie

- ❖ Cours de Dr : ZEMMOUR.N (2014) ; Equipements des unités pétrochimiques, FHC-Boumerdès.
- ❖ Raffinage de Pétrole tome 04 ; Pierre TRAUMBOUZE (1999) ; pages 4-42.
- ❖ Technique de l'ingénieur : colonne a plateaux ; technologie par JEAN CHARL CICILLE ; IGC (Institut de génie chimie de Toulouse).
- ❖ 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).
- ❖ Documentation du département de fabrication et conception métallique de la raffinerie d'Alger.
- ❖ Manuel opératoire Unités de La raffinerie d'Alger.