

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE



SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences appliquées

Département de Génie des Procédés

Mémoire fin d'études

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et technologies

Filière: Industries pétrochimiques

Spécialité : Génie pétrochimique

Présenté Par :

BENSEGGAR Mohamed Elmehdi et SEKFALI Youssef Islam

Thème :

Optimisation des paramètres de fonctionnement d'une colonne de
stabilisation du pétrole brut au niveau de l'Unité de Traitement de Brut Sud à
Hassi Messaoud (UTBS)

Devant le jury composé de:

Dr. SELLAMI Med Hassan	MCA (UKM Ouargla)	Président
Dr. KORICHI Mourad	MMA (UKM Ouargla)	Examineur
Dr. BENABIDI Bilal	MCA (UKM Ouargla)	Encadreur

Année Universitaire : 2022/2023

Dédicace

Grace à ALLAH qui m'a éclairé le chemin vers cette réussite

Je dédie ce modeste travail à :

Ma Mère (Dalila), qui m'a donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir. Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte.

A mon Père (Ahmed), L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect.

A mes sœurs, (Besma, Sara et Yasmine), pour leur dévouement, leur compréhension et leur grande tendresse, qui en plus de m'avoir encouragé tout le long de mes études, m'ont consacré beaucoup de temps et disponibilité, et qui par leur soutien, leurs conseils et leur amour, m'ont permis d'arriver jusqu'à ici car ils ont toujours cru en moi, Merci d'avoir toujours soutenu et merci pour tout les bons moments passé ensemble, et ce n'est pas fini.

A mes amis (Mouhi, Yacine, Amine et Houcine), je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des frères et des amies sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

A mon binôme (Youssef), Un grand merci à mon binôme dans ce mémoire de recherche, Youssef et je souhaite que l'amitié que nous a réuni persiste pour toujours et que nous arrivons à réaliser nos rêves.

A (Abla) ma merveilleuse, merci pour ton soutien inébranlable et ton encouragement constant qui ont été les piliers de mon parcours universitaire et de ma vie. Je suis chanceux de t'avoir à mes côtés.

A tous ceux qui me connaissent de prêt et de loin et qui m'ont aidé et soutenu à la réalisation de ce mémoire.

BENSEGGAR Med Elmehdi

Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes parents, (Boubakeur et Zohra), pour leur soutien infailible, leur amour inconditionnel et leur encouragement constant tout au long de mes études. Sans vous, je n'aurais jamais pu atteindre les sommets et réaliser mes rêves. Merci d'avoir cru en moi et de m'avoir toujours poussé à donner le meilleur de moi-même.

A mes sœurs, (Kenza , Chaima et Maria), pour leur amitié, leur patience et leur compréhension. Vous avez été une source d'inspiration et de motivation pour moi. Merci d'être toujours là quand j'en ai besoin.

A quelqu'un qui représente la vie pour moi (Rania), Je tiens à vous remercier pour chaque moment spécial que nous avons passé ensemble, Grâce à toi, j'ai pu aborder mes études avec confiance et détermination. Ton amour inconditionnel m'a donné la force de dépasser mes limites, Tu es une personne extraordinaire, qui m'inspire chaque jour par ta bienveillance, ta passion et ta détermination. Je suis incroyablement reconnaissant de t'avoir à mes côtés.

A mes amis, (Mouhi, Amine, Mahdi, Houcine), pour leur soutien moral et leur présence à chaque étape de mon parcours universitaire. Les moments partagés ensemble resteront gravés dans ma mémoire.

Enfin, Cette dédicace est pour toutes ces personnes qui ont été là pour moi. Je vous suis infiniment reconnaissant et je ne pourrai jamais assez vous remercier pour votre soutien inestimable.

Avec tout mon amour et ma gratitude,

SEKFALI Youssouf Islam

REMERCIEMENT

Nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté, la santé et surtout la patience, pour pouvoir, durant toutes ces longues années d'études, d'arriver là où nous sommes aujourd'hui et d'exploiter tous nos efforts pour ce modeste travail.

Nous souhaitons remercier notre encadreur, **Dr.BENABIDI Bilal**, pour le temps qu'il nous a consacré à nous donnant les conseils et les idées nécessaires à la conduite de ce mémoire.

Nous remercions tous les personnes qui ont noué aidée durant notre stage à l'UTBS surtout à la salle de contrôle et de laboratoire chacun en son nom.

Nous également remercions les membres du jury pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant l'évaluation de notre travail.

Nos remerciements sont adressés également aux enseignants de notre département génie des procédés pour leurs contributions à notre formation.

Enfin, nous remercions nos familles, nos amis et tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

ملخص:

يعتبر تحديد مميزات وخصائص البترول الخام والمركبات النهائية بداية أي دراسة لاستعمال هذه المركبات وتأمينها. يهدف هذا التوصيف إلى تحديد خواصها الفيزيائية والكيميائية وتركيبات عائلات الهيدروكربونات المختلفة المكونة لها.

كجزء من تحسين جودة المنتجات البترولية ، كنا مسؤولين عن دراسة عملية إنشاء عدة مثبتات زيت فلاح متتالية وشرح تشغيل أبراج التثبيت لتقليل (TVR (Tension Vapeur Reid من أجل تجنب المشاكل التي يمكن أن تحدث وذلك عن طريق إزالة الغازات التي تؤثر بدورها على تخزين هذه المنتجات البترولية أو نقلها ومحاولة استعادة الحد الأقصى من الهيدروكربونات الضائعة.

في هذا العمل ، استخدمنا برنامج المحاكاة (HYSYS) لتحديد المواصفات التي تحدد تشغيل العمود وتحضير البترول الخام للعمليات الوحوية المقبلة

الكلمات المفتاحية: مجمع وحدة معالجة النفط الخام الجنوبي، عمود تثبيت، ضغط بخار ريد، هايسيس، محاكاة

Abstract:

The characterization of crude oils and petroleum fractions is the beginning of any study of the implementation of these products and their valuation. This characterization aims to determine their physico-chemical properties and the compositions of different families of hydrocarbons present in them.

As part of improving the quality of petroleum products, we were in charge of studying the process by carrying out several successive flashes of stabilization of oil and explains the operation of the stabilization column in order to lower the (Reid Vapor Voltage) TVR in order to avoid the out gassing problem which. For itself read from its storage or transport and recover the maximum of hydrocarbon.

In this work, we used simulation software Hysys to dermine specification determining the operation of the column and preparing the crude for next treatment.

Keywords: UTBS, stabilization Column, TVR, HYSYS, Simulation

Résumé :

La caractérisation des pétroles bruts et des fractions pétrolières est le début de toute étude de mise en œuvre de ces produits et leur valorisation. Cette caractérisation vis à déterminer leurs propriétés physico-chimique et les compositions en différentes familles d'hydrocarbures présents dans ces derniers.

Dans le cadre de l'amélioration de la qualité des produits pétroliers, nous étions chargés d'étudier le processus de mise en place de plusieurs stabilisations d'huile flash consécutives et à expliquer le fonctionnement des tours de stabilisation pour réduire la TVR (Tension Vapeur Reid) afin d'éviter les problèmes de dégazage qui eux- mêmes affectent leur stockage ou leur transport et de récupérer le maximum d'hydrocarbures.

Pour ce travail nous avons utilisé un logiciel de simulation « HYSYS » pour définir les spécifications déterminant le fonctionnement de la colonne et préparer le brut pour les prochains traitements.

Mots clé: UTBS, Colonne de stabilisation, TVR, HYSYS, Simulation.

Liste des tableaux

Tableau [III.1] : Les équations des isothermes pour les différentes parties de la colonne.....	38
Tableau [IV -1]: Influence de taux reflux froide sur le fonctionnement de la colonne de stabilisation.....	49
Tableau [IV -2]:les paramètres de fonctionnement de la colonne P10-CB-21-01.....	55

Liste des figures

Fig. II.1 : Situation géographique du champ de Hassi-Messaoud	7
Fig. II.2 : Plan général de l'UTBS	8
Fig. II.3 : Situation géographique de l'UTBS.....	9
Fig. II.4 : organigramme du train de l'UTBS.....	14
Fig. II.5 : Séparation d'Huile.....	15
Fig. II.6: Dessalage.....	17
Fig. II.7 : stabilisation.....	19
Fig. II.8 : Stockage et expédition du brut stabilisé.....	20
Fig. II.9 : Traitement et stockage de l'huile hors spec.....	22
Fig. III.1 : Colonne de distillation.....	24
Fig.III.2 : Schéma d'une colonne à plateau.....	26
Fig.III.3 : Les trois types de plateaux de colonne.....	27
Fig. III.4 : Schéma de Colonne à garnissages.....	28
Fig.III.5 : Schéma descriptif du fonctionnement de la zone de rectification.....	32
Fig.III.6 : Schéma descriptif du fonctionnement de la zone d'épuisement.....	34
Fig.III.7 : Schéma descriptif du fonctionnement de la zone d'alimentation.....	35
Fig. IV. 1: SCHEMA TECHNOLOGIQUE DE LA SIMULATION.....	47
Fig. IV. 2 : Schéma synoptique du train 10.....	48
Fig. IV. 3: Influence du taux de reflux en fonction la TVR.....	49
Fig. IV. 4 : Influence du taux de reflux en fonction du poids moléculaire.....	50
Fig. IV. 5 : Influence du taux de reflux en fonction de duty four.....	50
Fig. IV. 6 : Influence du taux de reflux en fonction de la température de sommet.....	51

Fig. IV. 7 : Influence du taux de reflux en fonction de la température de fond de colonne.....	51
Fig. IV. 8 : Influence du taux de reflux en fonction de U.A Préchauffeur du stabiliseur.....	52
Fig. IV. 9 : Profil de température au niveaux de chaque plateaux.....	53
Fig. IV. 10: Profil de pression au niveaux de chaque plateaux.....	54
Fig. IV. 11: Profils des débits molaires du liquide et de la vapeur au niveaux de chaque plateaux.....	54

Abréviations

API : American petroleum Institute.

UTBS : Unité de traitement de brut sud.

CIS : centre industriel sud.

GPL : Gaz de pétrole liquéfié.

TVR : Tension de vapeur Reid.

HEH : Haoud El Hamra.

Sommaire

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

Chapitre I : Généralités de pétrole brut

Introduction :	2
1. Définition de pétrole brut :	2
2. Origine du pétrole brut :	2
3. Classification des pétroles bruts:.....	3
a. Classification industrielle :	3
b. Classification chimique :	3
c. Classification économique (technologique) :	4
4. Composition des pétroles bruts :	4
5. Principales familles d'hydrocarbures constituant le pétrole brut :	5
a. Les paraffines alcanes C_nH_{2n+2} :.....	5
b. Les naphènes: cyclo alcanes C_nH_{2n} :.....	5
c. Les aromatique : C_nH_{2n-6} :.....	5

Chapitre II: Etude technologique

Présentation de l'entreprise SONATRACH :	6
Présentation du champ Hassi Messaoud :	6
Présentation de l'UTBS :	8
1. Présentation de l'unité de traitement :	9
2. Réseaux de Collecte du brut non stabilisé des satellites vers UTBS :	10
3. Traitement et stabilisation d'huile :	13
a. Section de séparation d'Huile :	15
b. Section de dessalage :	16
c. Section de stabilisation :	17
4. Unité de compression de gaz :	19
5. Stockage et expédition du brut stabilisé :	20
6. Unité de traitement et stockage de l'huile hors spec :	20
7. Les systèmes utilités :	21

Chapitre III: Théorie de la rectification

Introduction :	23
Définition :	23
Historique :	23
1. Description d'une colonne de rectification :	24
2. Principe de fonctionnement d'une colonne de rectification :	25
3. Les types des colonnes de rectification :	27
a. Colonnes à plateaux :	27

b.	Colonne a garnissage :.....	28
4.	Les lois fondamentales de la rectification :.....	28
a.	Lois de DALTON:.....	28
b.	Lois de RAOULT ET D'HENRY :.....	29
5.	Bilan matière de la colonne et de ses zones :.....	30
a.	Le bilan matière de la colonne :.....	30
b.	Bilan matière de la zone de rectification :.....	31
c.	Le bilan matière de la zone d'épuisement :.....	33
d.	Le bilan matière de la zone d'alimentation :.....	35
6.	Utilisation de la volatilité relative :.....	36
7.	Choix de la pression dans la colonne :.....	36
8.	Régime de la température dans la colonne :.....	37
9.	Taux de vaporisation et composition des phases liquides et vapeurs de la charge :.....	38
10.	Choix du taux de reflux :.....	39
a.	FONCTIONNEMENT A REFLUX MINIMAL:.....	40
b.	TAUX DE REFLUX OPTIMAL :.....	40
11.	Bilan thermique de la colonne :.....	41
12.	Nombre de plateau théorique à reflux opératoire :.....	42
13.	Détermination des dimensions de la colonne :.....	43

Chapiter IV: Optimisation et simulation

	Définition :.....	45
1.	Le choix du modèle thermodynamique :.....	45
2.	Remarques concernant l'utilisation des logiciels de simulation :.....	46
3.	Le choix des paramètres :.....	47
4.	Présentation des résultats et interprétation :.....	49
5.	Tableaux comparatifs :.....	55
6.	Conclusion :.....	55
	CONCLUSION GENERALE.....	56

REFERENCES

INTRODUCTION GENERALE

Le champ de Hassi Messaoud est l'un des plus importants en Algérie et au monde depuis sa découverte.

L'UTBS (unité de traitement de brut sud) comprend trois unités de traitement d'huile.

L'unité de traitement peut répondre aux spécifications requises pour l'expédition, notamment TVR (7 à 10 psi, selon la température à laquelle l'huile stabilisée est stockée), salinité (40 mg/L) et teneur en eau (0,1 % en volume).

Lors de notre stage au niveau de l'unité de Traitement et de Stabilisation du Gaz Brut de Hassi Messaoud (l'UTBS), nous avons fait le point sur plusieurs problèmes techniques, dont le problème de fractionnement des éléments [C1, C2, C3, ...] au niveau de la partie fractionnée.

Le but de ce travail était d'optimiser les paramètres de fonctionnement du brut stabilisateur, rectification pour une meilleure récupération des hydrocarbures d'intérêt (iC5-nC12) avec une bonne pureté et une élimination des composants légers (C1, C2, C3 et C4).

Pour mener à bien cette étude, notre plan de travail est structuré comme suit :

- ✓ Le premier chapitre : Généralités de pétrole brut.
- ✓ Le deuxième chapitre : étude technologique.
- ✓ Le troisième chapitre : Théorie de la rectification.
- ✓ Le quatrième chapitre : étude par simulation de l'unité de stabilisation de Hassi Messaoud en exploitant l'outil de simulation ASPEN HYSYS V.10.
- ✓ Conclusion générale.

Chapitre I

Généralités de pétrole brut

Introduction :

Le pétrole brut a une importance capitale dans le monde moderne puisqu'il constitue avec le gaz naturel, la principale source d'énergie. Il fournit 60% des besoins énergétique mondiaux, les hydrocarbures qui le composent permettent la fabrication des produits énergétiques comme les lubrifiants, les bitumes et les produits pétrochimiques dont la variété ne cesse d'augmenter (les fibres synthétique, les matières plastiques, les solvants et détergents).

1. Définition de pétrole brut :

Le pétrole (en latin petroleum, du grec Petra, « roche », et du latin oleum, « huile ») est une huile_minérale d'origine naturelle composée d'une multitude de composés_organiques, essentiellement des hydrocarbures, piégée dans des formations_géologiques particulières.

L'exploitation de cette source d'énergie_fossile et d'hydrocarbures est l'un des piliers de l'économie_industrielle contemporaine, car le pétrole fournit la quasi-totalité des carburants liquides — fioul, gazole, kérosène, essence, GPL — tandis que le naphta produit par le raffinage est à la base de la pétrochimie, dont sont issus un très grand nombre de matériaux usuels — plastiques, textiles synthétiques, caoutchoucs synthétiques (élastomères), détergents, adhésifs, engrais, cosmétiques, etc. — et que les fractions les plus lourdes conduisent aux bitumes, paraffines et lubrifiants.[1]

Le pétrole est aussi souvent appelé or noir en référence à sa couleur et à son coût élevé.

2. Origine du pétrole brut :

La formation du pétrole a commencé sur terre il y a 350 millions d'années. Il est issu de la décomposition d'organismes marins, de plancton pour la majeure partie. Il faut plusieurs dizaines de millions d'années pour que les résidus organiques accumulés au fond des océans ou des lacs se transforment en pétrole brut. Mais sa production est assez rare, puisqu'elle nécessite la réunion de quatre conditions : la présence d'une roche-mère ; un milieu permettant la transformation de la roche-mère en hydrocarbure.

Des voies permettant au pétrole de migrer ; un « piège », aussi appelé « roche-réservoir », dans lequel le pétrole sera naturellement stocké. [2]

Le pétrole, est une roche liquide carbonée, ou huile minérale de couleur variant du vert au brun noir et dégage une odeur caractéristique. Énergie fossile, son exploitation est l'un des

Chapitre I : Généralité de pétrole brut

pilliers de l'économie industrielle contemporaine, car il fournit le quasi totalité des carburants liquides. [4]

Il existe une grande diversité de pétroles bruts aussi bien du point de vue physique que du point de vue de la composition chimique ce qui entraîne des conditions spécifiques de production, de transport, de stockage et de raffinage selon les pétroles et les produits qui en dérivent, d'où la nécessité d'une connaissance, la plus exacte possible, de leur composition.[5]

3. Classification des pétroles bruts:

La classification des pétroles bruts est cruciale, car elle permet de déterminer les méthodes de leurs traitements et l'assortiment des produits à obtenir. On distingue trois types de classifications qui sont :

a. Classification industrielle :

Les pétroles sont répartis dans la partie industrielle en : légers, moyens et lourds, déterminés par simple mesure de densité tels que :[6]

- ❖ Pétrole léger : $d_4^{15} < 0.828$
- ❖ Pétrole moyen: $0.828 < d_4^{15} < 0.884$
- ❖ Pétrole lourd: $d_4^{15} > 0.884$

d_4^{15} : est le rapport entre la masse d'un volume de produit pétrolier à 15°C et la masse du même volume d'eau distillée à 4°C.

b. Classification chimique :

Cette classification divise le pétrole selon la prédominance de l'une des familles d'hydrocarbure. On distingue les types de pétroles bruts suivants : [6]

- ❖ Pétrole Paraffiniques.
- ❖ Pétrole Naphténiques.
- ❖ Pétrole Aromatiques.
- ❖ Pétrole Paraffino-aromatiques.

Chapitre I : Généralité de pétrole brut

c. Classification économique (technologique) :

Elle est basée sur un ensemble de critères qui sont : [6]

- ✓ **La teneur en soufre** : Selon ce critère, on distingue 3 classes :
 - Catégorie A : pétrole peu sulfureux $\% S \leq 0,5 \%$.
 - Catégorie B : pétrole sulfureux $0,5\% < \% S < 2 \%$.
 - Catégorie C : pétrole très sulfureux $\% S > 2\%$.
- ✓ **La teneur potentielle en produits clairs : (PF (point final) ≤ 350 °C)**
 - Teneur élevée $T > 45\%$ (pétrole léger)
 - Teneur moyenne $30\% < T < 45\%$ (pétrole moyen)
 - Teneur faible $T < 30\%$ (pétrole lourd)

PF : Le maximum de température de distillation. / T : teneur en produits clairs

✓ **La teneur en paraffines :**

On distingue trois espèces :

- Pétrole peu paraffinique $T \leq 1,5\%$.
- Pétrole paraffinique $1,5\% \leq T \leq 6\%$.
- Pétrole très paraffinique $T > 6\%$.

4. Composition des pétroles bruts :

Le pétrole brut est un mélange complexe d'hydrocarbures de différentes familles (paraffinique, naphthénique, aromatique) associés à des composés organiques (oxygénés, azotés, sulfurés) ainsi qu'à des traces de métaux particuliers (Vanadium, Molybdène, Nickel).

A part quelques exceptions, les proportions des éléments : carbone, hydrogène, azote, oxygène, soufre et métaux, dans le pétrole (quelque soit sa source) ; varient approximativement dans les limites suivantes : [4]

Carbone : de 83 % à 87 %.

Hydrogène : de 10 % à 14 %.

Chapitre I : Généralité de pétrole brut

Azote : de 0,1 % à 2 %.

Oxygène : de 0,05 % à 1,5 %.

Soufre : de 0,05% à 6%.

Métaux : (Ni et V) < 1000 ppm.

5. Principales familles d'hydrocarbures constituant le pétrole brut :

Les hydrocarbures constituent les éléments essentiels des pétroles ; leurs molécules ne contiennent que du carbone et de l'hydrogène dont les teneurs sont respectivement (83%-87%) et (11%-14%). Elles se divisent en plusieurs familles chimiques selon leur structure. Les plus importantes de ces familles sont :[7]

a. Les paraffines alcanes C_nH_{2n+2} :

Ce sont des hydrocarbures saturés ayant la formule C_nH_{2n+2} Avec «n» le nombre d'atomes de carbone dans la chaîne d'hydrocarbures.

Nomenclature d'alcanes : terminaison en «ane».

On distingue deux types de paraffines : les paraffines normales et les paraffines isomères.

b. Les naphènes: cyclo alcanes C_nH_{2n} :

Ce sont des hydrocarbures cycliques saturés, on trouve aussi des naphènes formés par la juxtaposition de deux cycles (ou plus)de six atomes de carbone.

c. Les aromatique : C_nH_{2n-6} :

Ce sont des structures insaturées cycliques avec trois doubles liaisons dans chaque cycle.

Chapitre II

Etude technologique[3]

Présentation de l'entreprise SONATRACH :

La SONATRACH (Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures) a été créée en 1963. C'est la plus importante compagnie d'hydrocarbures en Algérie et en Afrique. Elle intervient dans l'exploration, la production, le transport par canalisations, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés.

Adoptant une stratégie de diversification, **SONATRACH** se développe dans d'autres activités telles que la génération électrique, les énergies nouvelles et renouvelables, le dessalement d'eau de mer, la recherche et l'exploitation minière. Poursuivant sa stratégie d'internationalisation, SONATRACH opère dans plusieurs régions du monde : en Afrique (Mali, Niger, Libye, Egypte), en Europe (Espagne, Italie, Portugal, Grande Bretagne), en Amérique Latine (Pérou) et aux USA.

Avec un chiffre d'affaires à l'exportation est de près de 33 milliards de US\$ réalisé en 2015, SONATRACH est classée:

- 1ère Compagnie Africaine ;
- 12ème Compagnie pétrolière Mondiale ;
- 13ème Compagnie Mondiale concernant les hydrocarbures liquides (réserves et production) ;
- 6ème Compagnie Mondiale en matière de Gaz Naturel (réserves et production)

Présentation du champ Hassi Messaoud

Le champ de Hassi Messaoud se situe à 850 km au Sud-Sud Est d'Alger et à 350 km des frontières tunisiennes. Par sa superficie qui s'étend sur près de 2200 km², il est le plus grand gisement de pétrole en Algérie et l'un des champs les plus complexes du monde (**Figure II.1**).

Chapitre II: Etude technologique

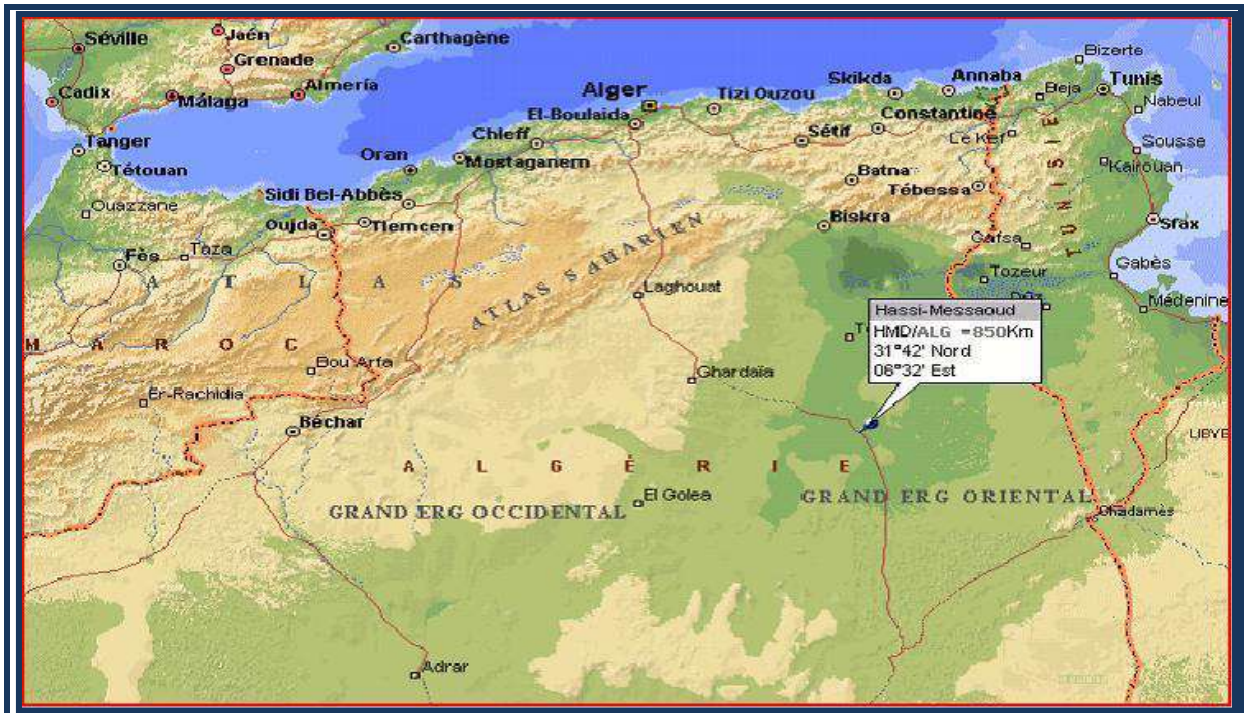


Fig. II.1 : Situation géographique du champ de Hassi-Messaoud

Il est caractérisé par :

- La légèreté de l'huile ;
- La pression de gisement varie entre 120 et 400kg/cm² ;
- La température est de l'ordre de 118°C ;
- La porosité est faible.

Le gisement pétrolier de Hassi-Messaoud est subdivisé géographiquement en deux zones nord et sud. Cette répartition remontant à 1956 lors de la découverte et l'exploitation du champ par les deux compagnies françaises CFPA au nord et la SNREPAL au sud, a engendré la création de deux centres de production.

Au départ ces centres regroupaient uniquement des installations de séparation, de traitement, de stockage et expédition du pétrole brut, par la suite, d'autres unités de traitement de gaz et de réinjection sont venues s'y greffer pour tendre d'avantages les centres de production.

L'activité raffinage s'est également développée par la construction de deux raffineries dont le rôle est l'approvisionnement du marché local en carburant.

Chapitre II: Etude technologique

Présentation de l'UTBS :

Introduction :

Dans le cadre du développement des champs pétroliers de Hassi Messaoud, le projet de l'unité de traitement de brut sud dénommée « UTBS » a été initié pour prendre en charge 80% de la production du CIS actuelle et les quantités à venir tout en assurant une qualité conforme aux normes commerciales de brut stabilisé d'une part, d'autre part, les aligner avec les nouvelles normes HSE ainsi que la protection de l'environnement ISO 14001.

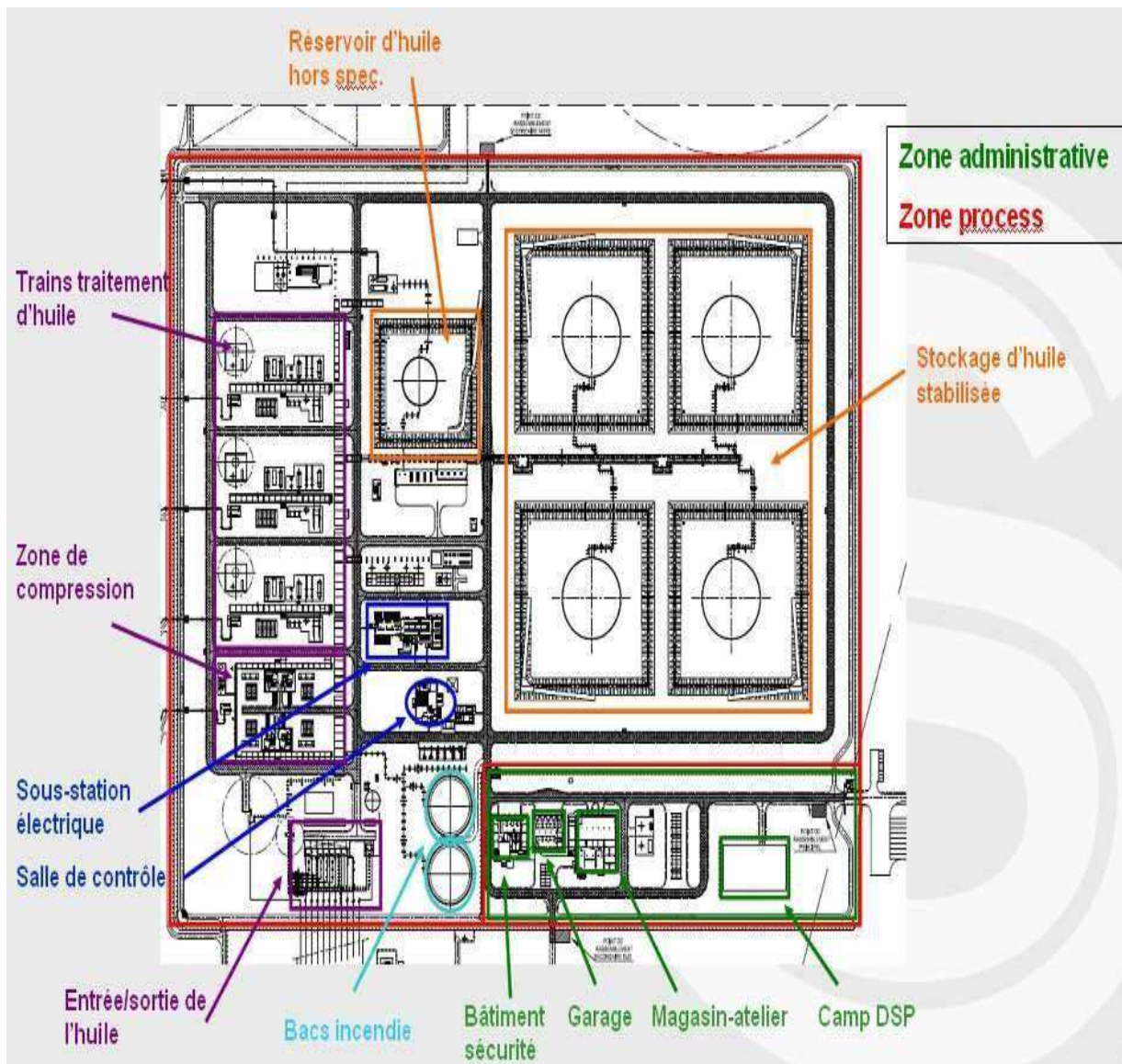


Fig. II.2 : Plan général de l'UTBS

Chapitre II: Etude technologique

1. Présentation de l'unité de traitement :

L'UTBS est une unité de traitement de brut Sud destinée à recevoir et traiter l'huile non stabilisée provenant de six champs satellites existants dans la région de Hassi-Messaoud Sud et d'expédier l'huile stabilisée vers le centre de stockage situé à Haoud El Hamra.

Le site est situé à 7 Km au Sud Ouest du Centre Industriel Sud (CIS). (Figure II.3)

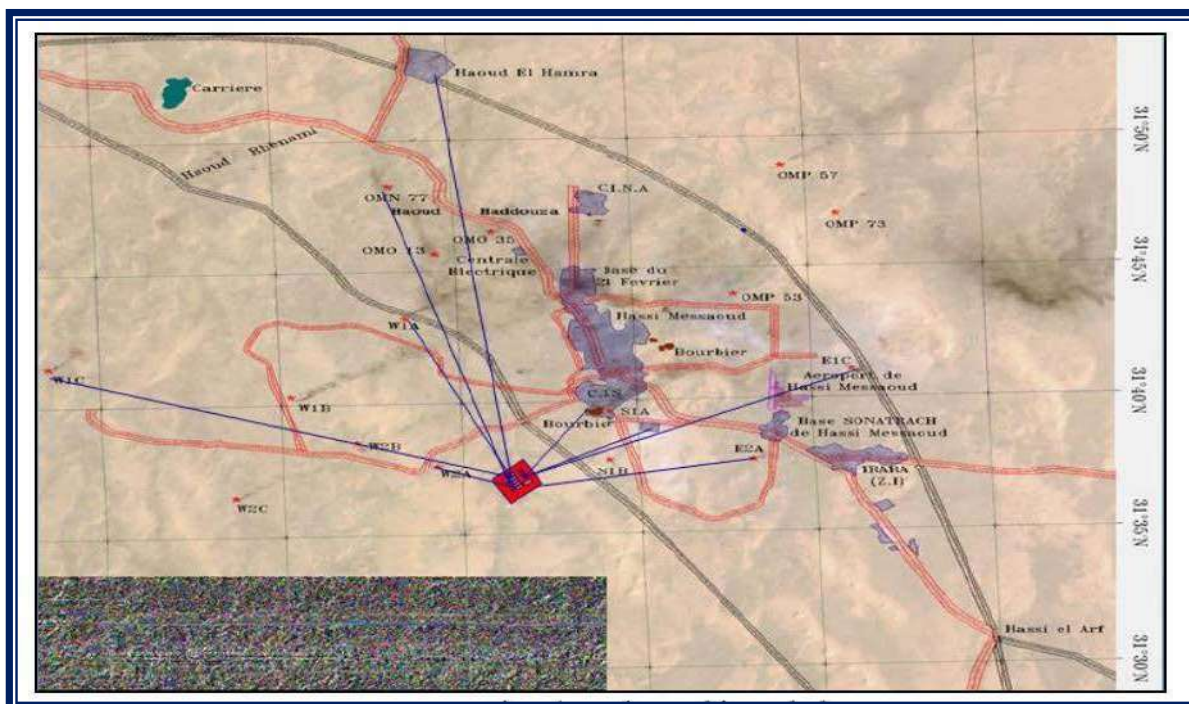


Fig. II.3 : Situation géographique de l'UTBS.

L'UTBS a été mise en service en septembre 2010 et elle a pour objectif :

- D'améliorer les spécifications des produits.
- D'augmenter la production d'huile stabilisée.
- Atteindre 80% de la production totale d'huile stabilisée.
- Délocalisation et amélioration de la sécurité des installations.
- Produire en toute sécurité.

L'UTBS comprend les unités suivantes :

Chapitre II: Etude technologique

- Un réseau de collecte de brut (8 pipelines) pour acheminer l'huile non stabilisée vers LUTBS, dont 06 des satellites existants et deux pipelines (CIS, W2A') réalisés après démarrage.
- Trois unités de traitement de brut afin de dessaler et stabiliser le brut provenant de ces satellites.
- Une unité de compression comportant 4 trains ;
- Une unité de traitement d'huile hors-spec et un bac de stockage d'huile hors-spec ;
- Quatre bacs de stockage d'huile stabilisée ;
- Une pomperiez d'expédition de l'huile stabilisée ;
- Un système de comptage d'huile stabilisée ;
- Des pipelines d'expédition (huile stabilisée, gaz associé, eau traitée) ;
- Les systèmes utilités nécessaires aux unités de procédés :
 - Gaz combustible.
 - Torches.
 - Drains fermés.
 - Eau brute.
 - Eau potable.
 - Drains ouverts.
 - Traitement des eaux huileuses.
 - Stockage et expédition de l'eau traitée.
 - Azote.
 - Traitement de l'huile de lubrification.
 - Stockage et distribution de diesel.
 - Injection de produits chimiques.
 - Station d'épuration des eaux usées.
 - Eau incendie.

Chapitre II: Etude technologique

- Emulseur.

L'UTBS est conçu pour produire jusqu'à 300 000 barils de brut stabilisé par jour (47700 m³/j). Les caractéristiques de l'huile stabilisée à UTBS sont les suivantes :

- **Tension de vapeur Reid (TVR)** : Inférieure ou égale à 10 psi en hiver et inférieure ou égale à 7 psi dans le cas été ;
- **Teneur en eau et sédiments (BSW)** : Inférieure ou égale à 0.1% vol ;
- **Salinité** : Inférieure ou égale à 40 mg/L.

Des puits producteurs alimentent les plateformes satellites existantes où une première séparation huile/gaz/eau est réalisée.

Au niveau de chaque plateforme satellite, le brut non stabilisé est pompé du séparateur triphasique vers les installations existantes du **CIS** (Complexe Industriel Sud) ou vers la nouvelle unité **UTBS** via le nouveau réseau de collecte.

Le manifold est constitué de deux collecteurs : un 24 pouce opérant à pression normale de (13.5 bar) en phase liquide alimentant les trois unités d'huile et le système hors-spec, et un **16** pouce opérant à basse pression (**3 bar**) en phase mixte alimentant le système hors-spec lorsque les pompes d'expédition d'huile de deux satellites au maximum sont hors-service.

Le traitement consiste à dessaler et à stabiliser le brut qui par la suite peut être stocké dans 4 bacs à toits flottants d'une capacité de 50 000 m³ chacun. L'huile stabilisée est ensuite acheminée vers CIS puis vers HEH à l'aide d'une pomperiez d'expédition composée de 4 pompes booster et 4 pompes export.

Le gaz associé issu de la stabilisation de l'huile est utilisé sur le site comme gaz combustible (ce dernier est substitué par un gaz léger en provenance de CIS) et l'excédent est comprimé grâce à 4 trains de compression et expédié vers MFD gaz **CIS**.

2. Réseaux de Collecte du brut non stabilisé des satellites vers UTBS :

Des puits producteurs alimentent les plateformes satellites existantes où une première séparation huile/gaz/eau est réalisée.

Chapitre II: Etude technologique

Au niveau de chaque plateforme satellite, le brut non stabilisé est pompé du séparateur triphasique vers les installations existantes du CIS (Complexe Industriel Sud) ou vers la nouvelle unité UTBS via le nouveau réseau de collecte.

Un ensemble de connexions (''tie-ins'') est réalisé afin de relier les plateformes satellites existantes au nouveau réseau de collecte.

Le nouveau réseau de collecte permet d'acheminer le brut non stabilisé des plateformes satellites existantes vers le manifold M01 situé à l'entrée de l'UTBS :

- le satellite existant W1C est connecté au manifold M01 par un nouveau pipeline enterré de 20''.
- le satellite existant W1A est connecté au manifold M01 par un nouveau pipeline enterré de 12''.
- le satellite existant W2A est connecté au manifold M01 par un nouveau pipeline enterré de 12''.
- le satellite existant E1C est connecté au manifold M01 par un nouveau pipeline enterré de 14''.
- le satellite existant E2A est connecté au manifold M01 par un nouveau pipeline enterré de 10''.
- le satellite existant S1A est connecté au manifold M01 par un nouveau pipeline enterré de 10''.
- Le centre traitement brut CIS est connecté au manifold M01 par un nouveau pipeline enterré de 16''.
- le satellite W2A' est connecté au manifold M01 par un nouveau pipeline enterré de 12''.

Chaque pipeline de collecte dispose d'une gare de racleur de départ située au niveau du satellite et d'une gare de racleur d'arrivée située au niveau du manifold d'arrivée M01 à l'UTBS à l'exception de 16'' CIS et 12'' W2A' qui sont dépourvues des gares racleurs. Les gares sont prévues pour des racleurs conventionnels.

Chapitre II: Etude technologique

Chaque gare de racleur de départ dispose d'un réservoir de drain atmosphérique enterré pour récupérer le liquide présent dans la gare après une opération de raclage. La dépressurisation de la gare et la décharge de la soupape d'expansion thermique sont réalisées vers ce réservoir. Le liquide stocké dans le réservoir est ensuite vidé par camion équipé d'un tuyau suçoir.

Le manifold M01 est constitué de deux collecteurs : un 24'' opérant pression normale (13.5 bar) en phase liquide alimentant les trois unités d'huile et le système hors-spec, et un 16'' opérant à basse pression (3 bar) en phase mixte alimentant le système hors-spec lorsque les pompes d'expédition d'huile de deux satellites au maximum sont hors-service.

3. Traitement et stabilisation d'huile :

L'huile brute provenant des satellites ne peut pas être stockée dans des bacs à toit flottant.

Afin de pouvoir la stocker puis l'expédier, celle-ci doit répondre aux spécifications suivantes :

- VR de l'huile compatible avec un stockage à température ambiante, c'est-à-dire 7 psi pour une température extérieure de 50°C (en été) et jusqu'à 10 psi pour une température extérieure de 25°C maximum (en hiver) ;
- Salinité inférieure ou égale à 40 mg/L ;
- Teneur en eau insoluble dans le brut stabilisé inférieure ou égale à 0.1%.

Pour atteindre ces spécifications, plusieurs étapes sont nécessaires :

- Premier dégazage et réchauffage de l'huile dans les séparateurs tri-phasiques, diphasiques et réchauffeur d'huile.
- Dessalage effectué grâce à deux séparateurs électrostatiques montés en série.
- Stabilisation du brut dans une colonne de stabilisation avec préchauffage de l'huile en amont et rebouillage avec un four.
- Refroidissement du brut stabilisé en vue de son stockage par l'intermédiaire des préchauffeurs, réchauffeurs, aros réfrigérant.

Chaque unité de traitement d'huile comprend :

- Un séparateur triphasique.

Chapitre II: Etude technologique

- Un réchauffeur d'huile.
- Un séparateur biphasique.
- Un Package de dessalage comprenant :
 - 1.premier étage de dessalage.
 - 2.deuxième étage de dessalage.
 - 3.deux pompes de recyclage d'eau premier étage.
 - 4.deux pompes de recyclage d'eau deuxième étage.
- Une colonne de stabilisation.
- Trois pompes de recirculation du rebouilleur.
- Un rebouilleur.
- Un réfrigérants d'huile stabilisée.

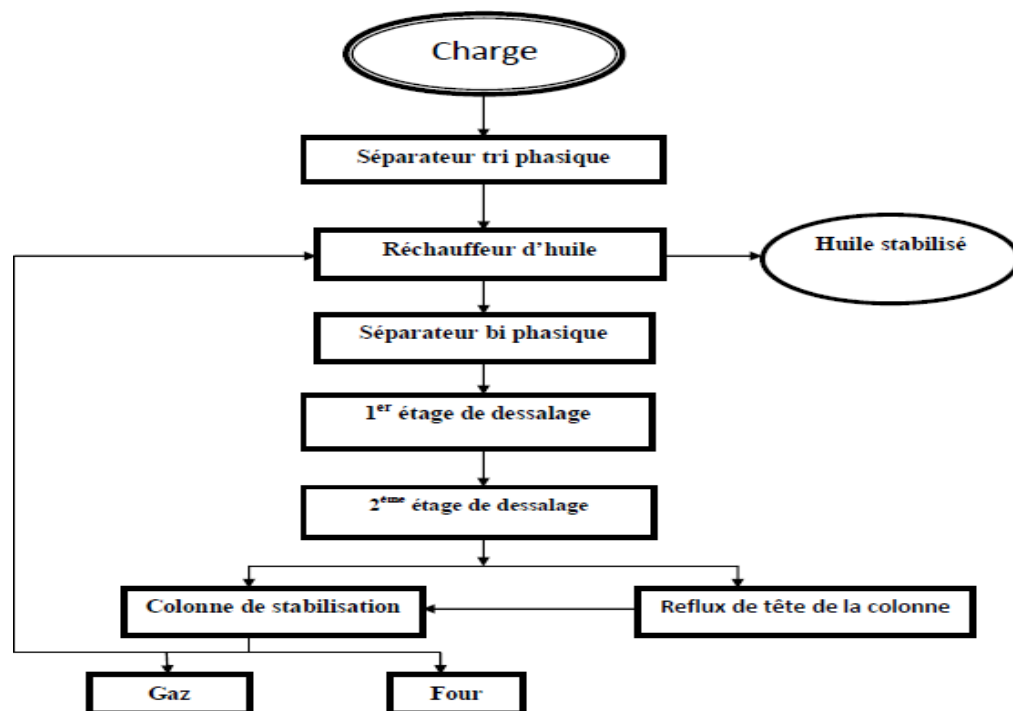


Fig. II.4 : organigramme du train de l'UTBS

Chapitre II: Etude technologique

a. Section de séparation d'Huile :

La séparation huile/eau/gaz se fait sur deux étages, le premier étage de séparation est constitué d'un ballon de séparation tri-phasique et le second étage d'un ballon diphasique.

Le séparateur tri-phasique (PX0-VA-20-01) constitue le premier étage de séparation eau/huile/gaz. Il reçoit l'huile provenant directement des satellites. Les gaz sont séparés puis envoyés vers le système de compression. L'eau est envoyée vers le traitement des eaux huileuses.

L'huile chauffée à 70°C alimente le séparateur diphasique (PX0-VA-20-02) qui constitue le deuxième étage de séparation huile/gaz. Il opère à 5 bars avec un temps de rétention de huile de 3.2 minutes. Le gaz de flash dû à la chauffe dans le réchauffeur d'huile et à la détente à 5 bars dans le séparateur diphasique est envoyé vers la compression via le collecteur de gaz de flash sous contrôle de pression, l'excès de gaz étant envoyé vers la torche basse pression de l'unité. L'huile est pompée du séparateur diphasique vers le package de dessalage par les pompes d'alimentation du dessaleur, centrifuges verticales, (PX0-PA-20-01 A/B (2 x 100%)).

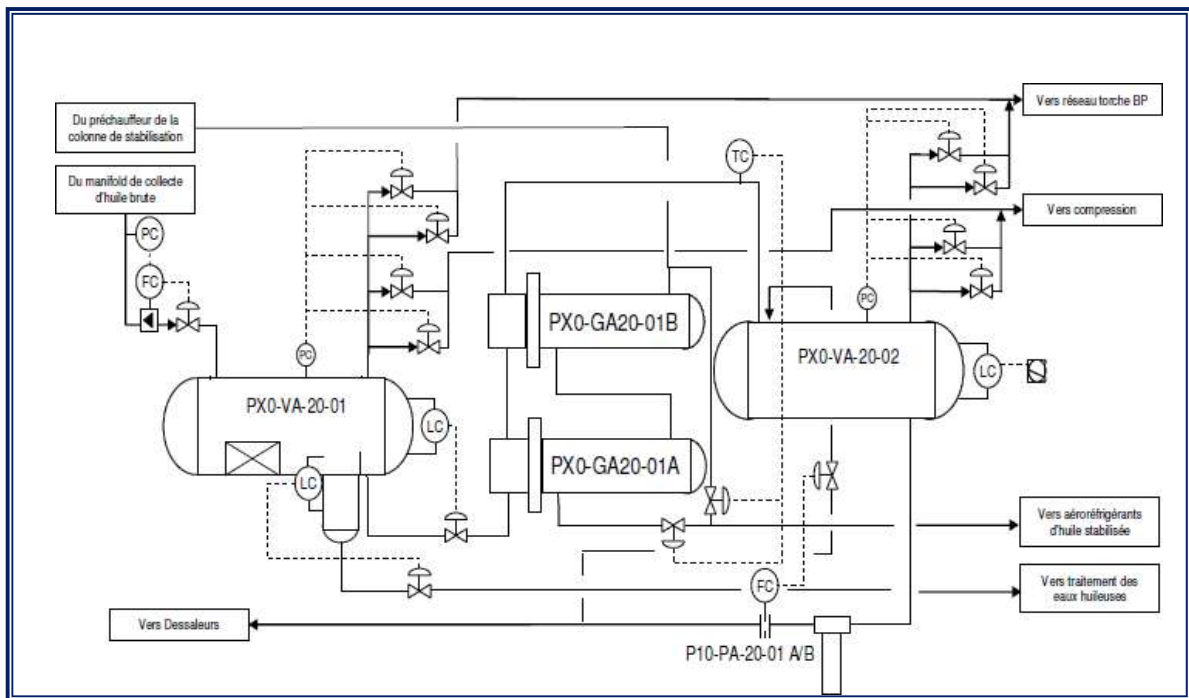


Fig. II.5 : Séparation d'Huile

Chapitre II: Etude technologique

b. Section de dessalage :

Le package de dessalage permet de diminuer la teneur en BS&W en sortie du package à 0.1% volume et la concentration en sel à 20 mg/l équivalent Na Cl (données de design du dessaleur) afin de respecter les spécifications en eau et sel de l'huile stabilisée au niveau du stockage (concentration en sel inférieure à 40 mg/l et BS&W inférieure à 0.1% volume garanties en sortie d'UTBS) et de limiter l'encrassement de la colonne par dépôts de sel.

Le mélange brut - eau de gisement est émulsifié avec de l'eau de lavage recyclée des 1er et 2ème étages de dessalage. Une émulsion est ainsi créée, grâce à une vanne mélangeuse située en amont du premier étage de dessaleur opérant à une pression de 12 Barg et 70°C avec un temps de rétention de 5 minutes pour l'huile et de 18 minutes pour l'eau. Cette émulsion assure un bon mélange entre l'eau de gisement et l'eau de lavage, assurant ainsi une diminution de la concentration en sel de la phase aqueuse. Cette émulsion est ensuite séparée en deux phases liquides dans le dessaleur, sous l'action d'un champ électrostatique, qui favorise la coalescence des micros gouttelettes d'eau, formant ainsi des gouttes de taille plus importante, tombant par gravité dans le fond du séparateur électrostatique. Le champ électrostatique est créé entre deux électrodes, l'une reliée à la masse et l'autre reliée à un Transformateur HT installé en partie supérieure du dessaleur. Un distributeur installé à l'entrée du dessaleur assure une distribution optimum de l'huile dans le champ électrostatique. L'eau coalescée dans le premier étage de dessalage est envoyée vers le package de traitement des eaux huileuses. Une partie de l'eau est recyclée vers l'entrée du premier étage grâce aux pompes de recyclage premier étage.

Le brut sortant du premier étage de dessalage est ensuite mélangé avec de l'eau de lavage constitué d'un mélange d'eau brute et d'eau de recirculation vers le deuxième étage de dessalage. Un mélange efficace est recréé grâce à une deuxième vanne de mélange.

L'huile et eau sont de nouveau coalescées dans le deuxième étage de dessaleur opérant à une pression de 10.5 Barg a 70°C avec un temps de rétention de 5 minutes pour l'huile et de 30 minutes pour l'eau, toujours sous l'action d'un champ électrostatique. L'eau ainsi séparée dans le deuxième étage de dessalage tombe par gravité en fond de cuve du séparateur ou elle est reprise, pour être en grande partie recyclée vers le premier étage grâce aux pompes de recyclage du deuxième étage A/B , le reste étant renvoyé vers l'entrée du deuxième étage.

Chapitre II: Etude technologique

Une injection de désémulsifiant est prévue sur chaque étage de dessalage, en amont de la vanne mélangeuse avec une concentration de 05 ppm afin de faciliter la séparation eau / huile à chaque étage de dessalage.

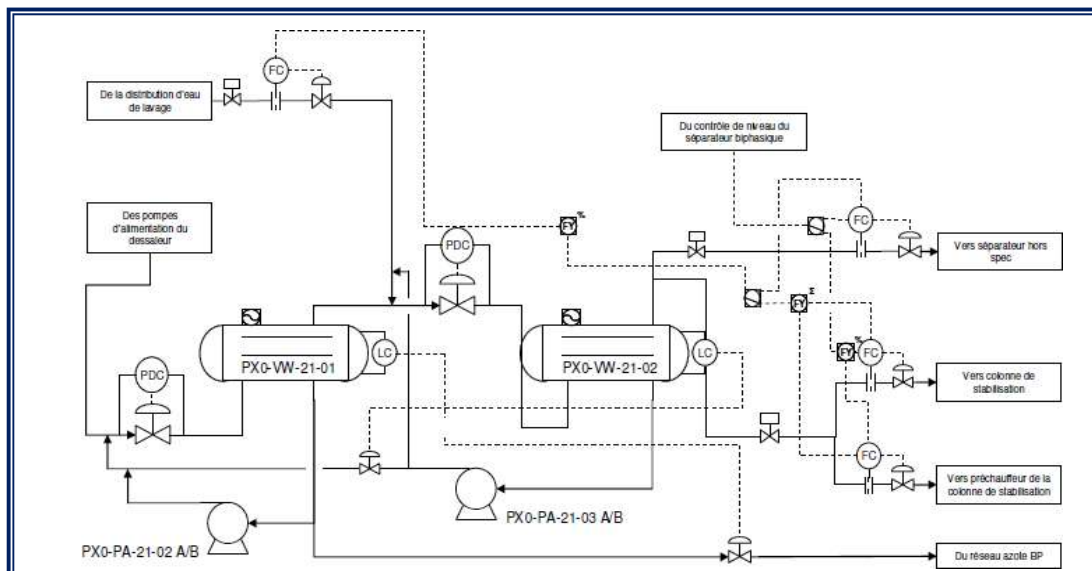


Fig. II.6: Dessalage.

c. Section de stabilisation :

L'huile dessalée alimente la colonne de stabilisation P10-CB-21-01. 25% du débit alimente directement la tête de la colonne (alimentation froide) ; 75% du débit alimente le préchauffeur de la colonne de stabilisation P10-GA-21-01 A/B (alimentation chaude de la colonne). Le préchauffeur de la colonne de stabilisation est constitué de deux calandres en série. Chaque calandre peut être by-passée. La température de l'huile provenant du package de dessalage est de 70°C environ. Elle passe côté tubes et elle est chauffée par l'huile stabilisée qui passe côté calandre. Afin d'optimiser la récupération de chaleur, la température de l'huile stabilisée en sortie du préchauffeur, côté calandre, est régulée à 120°C. La colonne de stabilisation opérant à 5 barg permet de retirer les composés les plus légers du brut et d'atteindre en fond de colonne la TVR (tension de vapeur Reid) requise pour le stockage dans les bacs à toit flottant. En d'autres termes, la colonne de stabilisation permet d'augmenter la température de vaporisation de l'huile stabilisée au-dessus de la température de sortie des aéro-réfrigérants d'huile. La chaleur en fond de colonne est fournie par le four de rebouillage P10-FA-21-01.

La colonne de stabilisation permet d'atteindre une TVR de 7 psi dans le cas été (c'est-à-dire pour obtenir un point de bulle de 61°C à pression atmosphérique) et de 10 psi dans le cas hiver (c'est-à-dire pour obtenir un point de bulle de 42°C à pression atmosphérique).

Chapitre II: Etude technologique

La colonne de stabilisation comporte 21 plateaux réels. 8 plateaux à 2 passes sont installés dans la partie supérieure de la colonne, 13 plateaux à quatre passes dans la partie inférieure.

L'alimentation froide liquide est réalisée en tête de colonne, au-dessus du plateau 21 ; l'alimentation chaude mixte est réalisée au-dessus du plateau 13. Afin de limiter la présence de sel dans la colonne, des soutirages d'eau sont installés sur les plateaux 11 et 19. Ils permettent de collecter l'eau qui s'écoule par différence de densité dans des pots de récupération. L'eau accumulée est drainée manuellement vers le package de traitement des eaux huileuses. Le liquide descendant du plateau 1 est mélangé à l'huile stabilisée en fond de colonne qui ne comporte pas de cloison. Une partie de l'huile en fond de colonne alimente le four de rebouillage P10-FA-21-01 par les pompes de recirculation du rebouilleur P10-PA-21-01 A/B/C (3 x 50%). Le four apporte la chaleur nécessaire à la stabilisation et permet la vaporisation d'une partie de l'huile stabilisée. Le retour vers la colonne du mélange bi-phasique en sortie du four de rebouillage est réalisé sous le plateau 1. La vapeur alimente le plateau 1 alors que le liquide est mélangé au liquide stabilisé en fond de colonne et en vaporise une partie. Le four de rebouillage est un four à tirage naturel à quatre passes. Le débit vers les passes est équilibré manuellement. Le four dispose de six brûleurs et six pilotes. Le gaz provient du système de gaz combustible. Un pot de récupération est installé en amont du package de gaz combustible pour collecter le liquide éventuellement présent dans le gaz. Chaque four dispose de son propre ballon d'azote haute pression pour permettre l'étouffement du four en cas d'incendie. L'huile stabilisée chaude (entre 135 °C dans le cas hiver et 160°C dans le cas été) sort de la colonne et passe côté calandre dans le préchauffeur de la colonne de stabilisation puis côté calandre dans le réchauffeur d'huile et cède ainsi de sa chaleur à l'huile non stabilisée. Le refroidissement final avant stockage est assuré par les réfrigérants d'huile stabilisée P10- GC-21 A/B/C/D, constitués de 4 baies en parallèle, chaque baie comportant deux ventilateurs, dont un à pales variables.

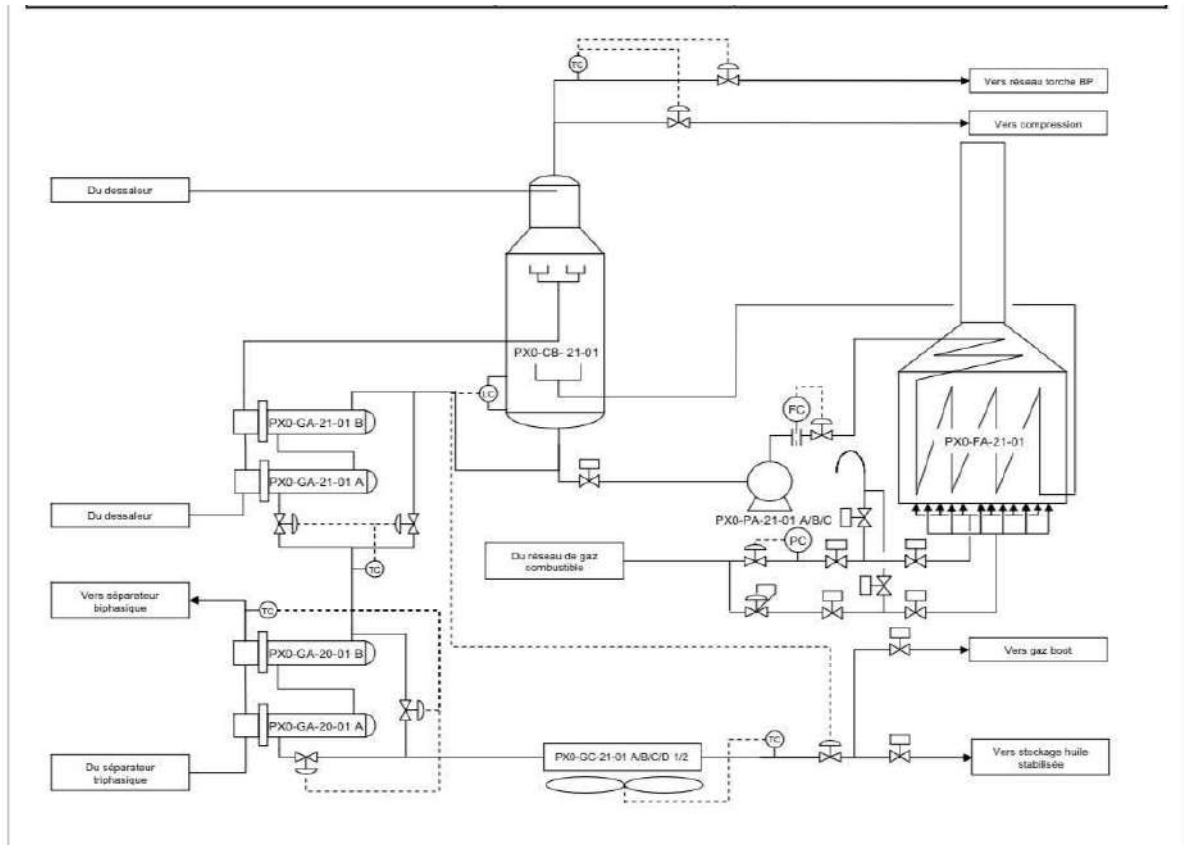


Fig. II.7 : stabilisation.

4. Unité de compression de gaz :

Le système de compression de gaz de flash consiste en quatre trains de compression identiques. Le gaz associé provenant des séparateurs tri-phasiques, bi-phasiques et des colonnes de stabilisation des trois trains est envoyé dans le collecteur commun de gaz de flash opérant à une pression de 4.4 bars. Une partie du gaz de flash est utilisé au sein de l'UTBS comme gaz combustible, l'excès de gaz est comprimé et expédié vers l'unité de GPL située au CIS.

Le système de compression de gaz de flash consiste en quatre trains de compression identiques (trois trains en opération, un train en attente). Chaque train comporte deux compresseurs centrifuges (compresseur de 1er étage et compresseur de 2ème étage) installés sur le même arbre avec un corps commun et entraînés par un moteur électrique commun. La pression dans le collecteur commun d'aspiration est régulée grâce aux vannes de laminage situées à l'entrée de chaque train et au répartiteur de charge (load sharing) des trains de compression.

Chapitre II: Etude technologique

5. Stockage et expédition du brut stabilisé :

Le brut stabilisé est ensuite stocké dans 4 bacs à toit flottant ayant chacun une capacité brute de 50 000 m³. La pomperiez d'expédition est composée de pompes de gavage (4 x 33%) et de pompes d'expédition (4 x 33%). Un comptage transactionnel (et non fiscal) est implanté avant la ligne d'expédition vers CIS.

La ligne d'expédition de brut stabilisé de 30" à partir de l'UTBS se raccorde sur la nouvelle ligne 24 pouces CIS-HEH réalisée par le Maître de l'Ouvrage. Le point de raccordement est situé à l'intérieur du CIS, à proximité des pompes d'expédition existantes et proche de la gare de racleurs départ vers HEH (30 m environ). Le raccordement se fait sur la partie aérienne de la canalisation, avant son enfouissement. A noter que le point de raccordement sur le pipe d'expédition vers HEH, est équipé d'une vanne Ø 24" série 300 existante. La ligne est équipée de gares de racleur départ/arrivée et pourvu de vannes de sectionnement.

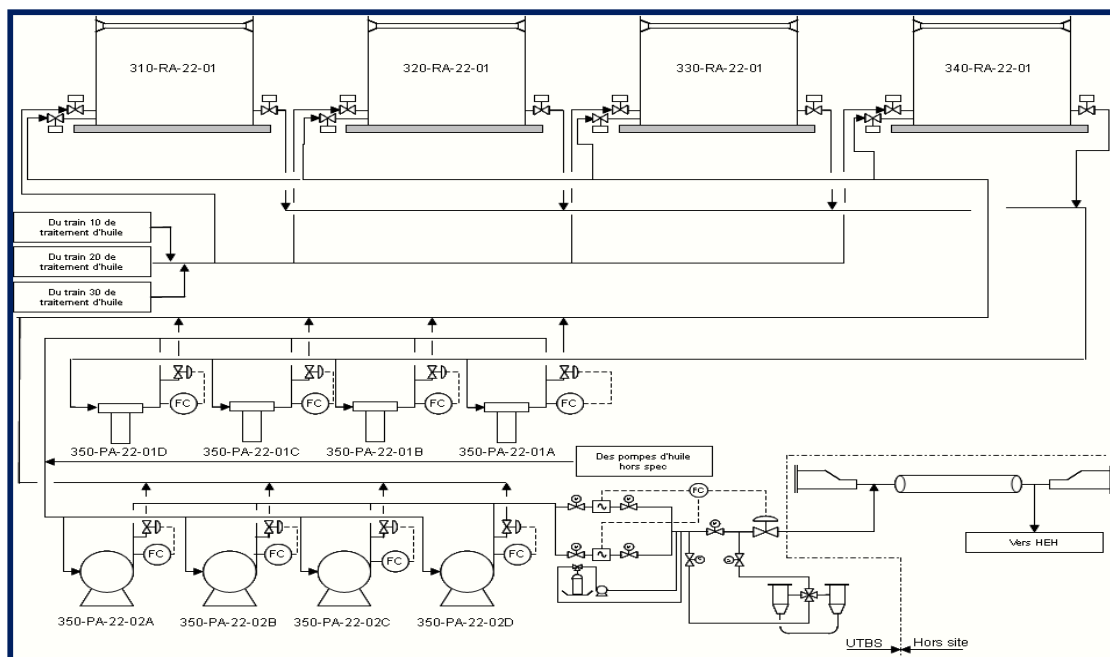


Fig. II.8. Stockage et expédition du brut stabilisé

6. Unité de traitement et stockage de l'huile hors spec :

Le système d'huile hors-spec est utilisé de façon exceptionnelle lors du démarrage de l'installation ou du déclenchement d'une ou plusieurs unités de traitement d'huile, du déclenchement du système de stabilisation (colonne), du déclenchement du bac de stockage en remplissage ou de TVR trop élevée. Celui-ci permet de continuer la production en stockant de manière sûre de l'huile mal stabilisée. La production d'huile au niveau des plateformes des

Chapitre II: Etude technologique

satellites peut donc continuer tant que le bac de stockage d'huile hors spec n'est pas complètement rempli.

Le bac de stockage d'huile hors-spec est également utilisé en opération normale. Il reçoit en effet le liquide collecté dans le ballon de drains fermés et dans les ballons de torche, ainsi que les effluents huileux du package de traitement des eaux huileuses et du traitement API.

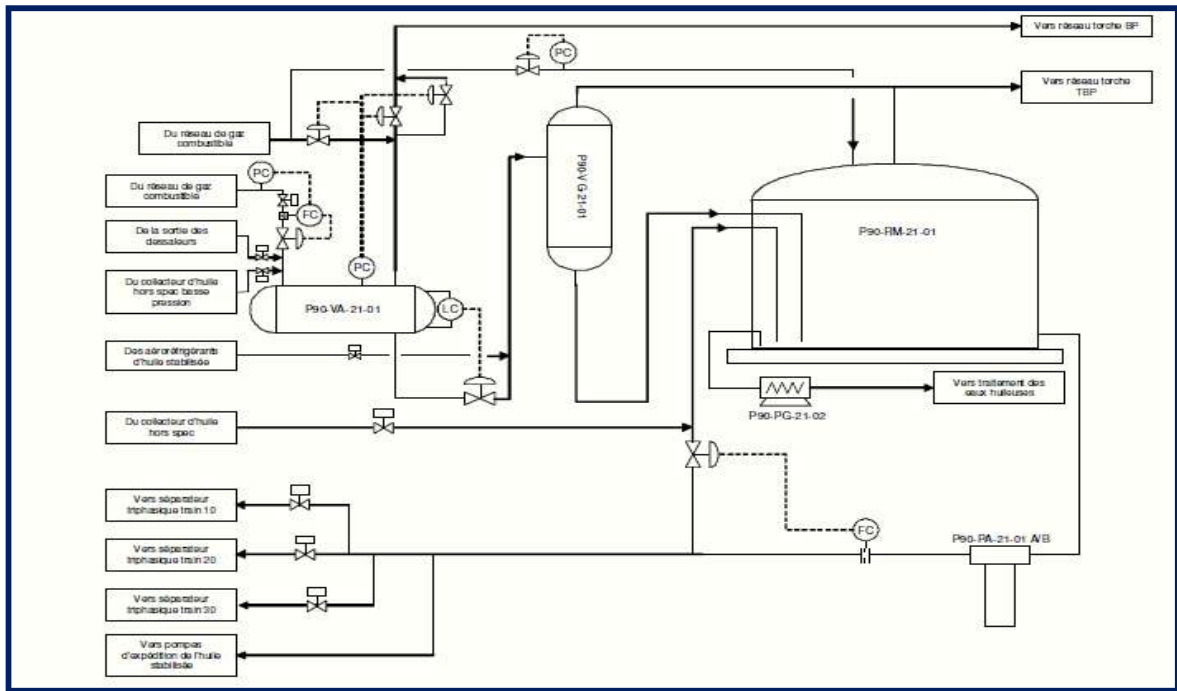


Fig. II.9. Traitement et stockage de l'huile hors spec

7. Les systèmes utilités :

- Réseau de torche
- Drains fermés
- Drains ouverts
- Eau brute et eau incendie
- Eau potable
- Air service
- Air instrument
- Azote

Chapitre II: Etude technologique

- Unité de traitement des eaux huileuses
- Laboratoire
- Stockage et distribution de diesel.
- Injection de produits chimiques.

Chapitre III

Théorie de la rectification

Chapitre III: Théorie de rectification

Introduction :

La rectification est une opération unitaire permettant de séparer les constituants d'un mélange. Elle se base sur la différence de volatilité entre ces constituants. Et pour plus de détails, on dit qu'il consiste en la formation d'une phase vapeur riche en élément le plus volatile et une phase liquide riche en élément le plus lourd que le mélange initial.

Définition :

La rectification est un procédé physique de séparation d'un mélange en constituant pratiquement pur par des échanges successifs de masses et de chaleur entre les deux phases circulant à contre courant dans un appareil appelée : Colonne de Rectification.

La rectification est une distillation fractionnée, autrement dit qualitative, et cette augmentation de qualité par rapport à la distillation est due au placement soit des plateaux, soit des garnissages à l'intérieur de la colonne, par conséquent il y'a augmentation de la surface de contact qui implique l'augmentation du degré de pureté. [8]

A la suite de ce contact intime entre les deux phases, le système évolue plus ou moins rapide jusqu'à atteindre l'équilibre. Dans le but de simplifier la conception et le calcul du procédé de rectification, c'est pour cela que l'hypothèse du plateau théorique est introduite.

Si les deux phases partantes de ce même plateau sont en équilibre. Donc le plateau est théorique. et la rectification s'effectue toujours dans une colonne munie de plateaux, d'un condenseur partiel et d'un rebouilleur. [8]

Historique :

Les premières unités de distillation apparurent il y a environ 150 ans. L'appareil de Cellier-Blumenthal comporte deux types de plateaux. La partie basse de la colonne renferme un empilement de disques en forme de calottes sphériques dont la concavité est tournée alternativement vers le haut et le bas; Les disques ayant la concavité vers le bas sont perforés de façon à accroître l'aire de contact des phases liquide et vapeur. La partie supérieure de la colonne est équipée de plateaux munis d'une calotte unique. Au début du vingtième siècle, si les plateaux à calotte unique sont encore le type le plus courant, on voit apparaître les plateaux à tunnels rectangulaires de Savalle, les plateaux à calottes multiples d'Egrot et les plateaux

Chapitre III: Théorie de rectification

perforés de Siemens. La phase de développement des connaissances en distillation a commencé dans les années trente et s'approche maintenant de la maturité. [9]

1. Description d'une colonne de rectification :

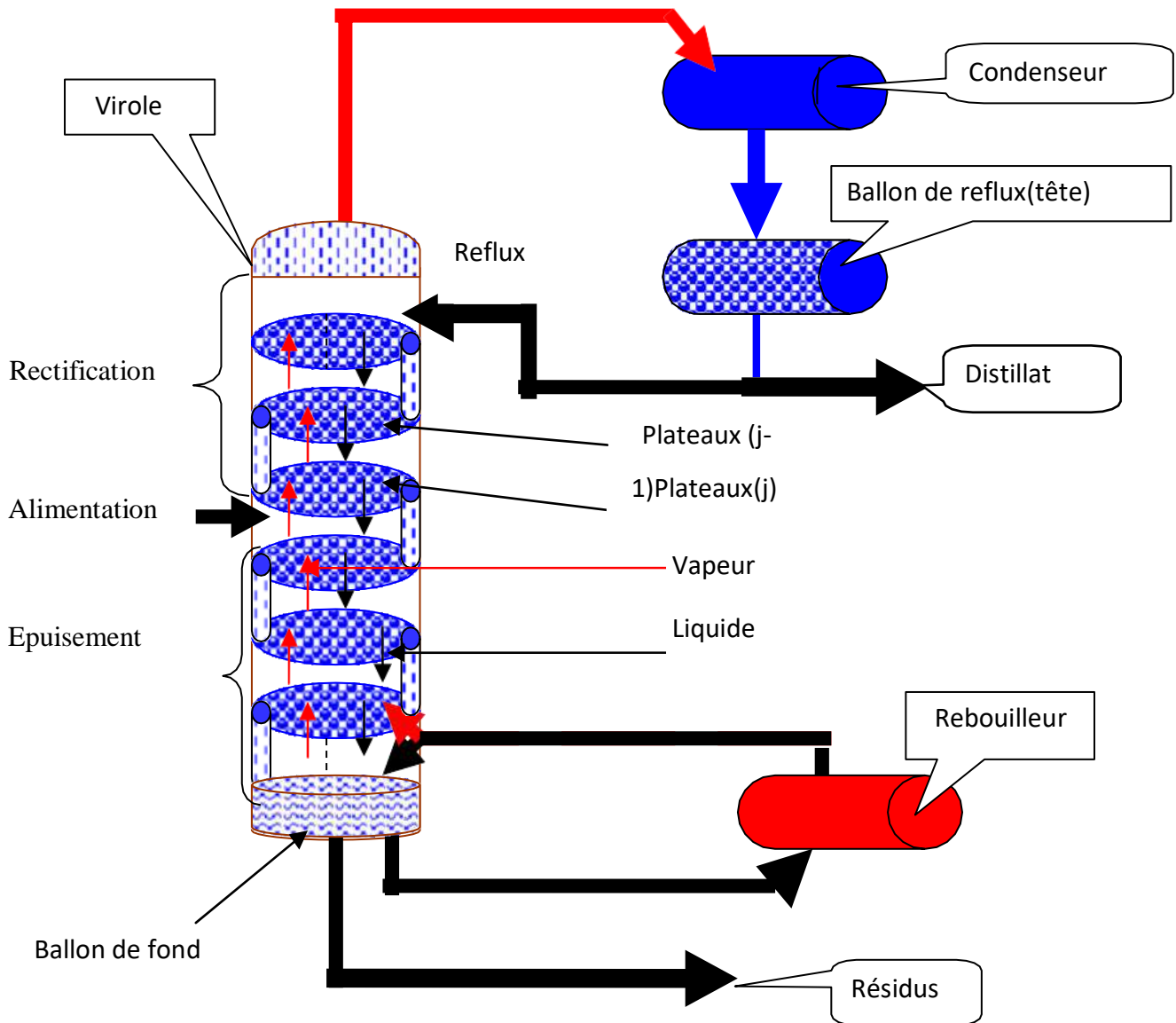


Fig.III.1 : Colonne de distillation

Chapitre III: Théorie de rectification

2. Principe de fonctionnement d'une colonne de rectification :

La colonne de rectification est un appareil qui sépare un mélange en deux ou plusieurs produits. Elle est utilisée pour les substances qui sont requises en haute pureté ou en grandes quantités, par exemple pour le fractionnement du pétrole. La colonne est une enveloppe cylindrique verticale (virole) qui renferme des dispositifs permettant d'assurer un contact intime entre les flux liquide et gazeux qui les traversent à contre-courant et qui sont des plateaux ou des garnissages. [11]

Chaque colonne de rectification compose toujours de trois zones:

Une zone d'alimentation dite (**zone de flash**) ou d'alimentation est introduite à l'état vapeur, liquide ou bi-phasique (selon la température de la charge).

Une zone située au dessus de la zone de flash est appelée (zone de rectification), caractérisée par un condenseur qui sert à condenser partiellement ou totalement la vapeur sortante de la tête de colonne, une partie de cette vapeur est envoyée en tant que (reflux froid) vers la partie supérieure de la colonne pour garder le gradient de température et corriger la composition des produits de tête. L'autre partie est extraite comme distillat à l'état vapeur.

Une zone située au dessous de la zone de flash est appelée (zone d'épuisement), caractérisée elle aussi par la présence d'un rebouilleur, qui sert à apporter une certaine quantité de chaleur au liquide soutiré du dernier plateau (reflux chaud ou rebouillage) afin de récupérer les constituants légers entraînés par les lourds.

La colonne de rectification est munie toujours d'un rebouilleur et d'un condenseur partiel.

- **Rôle du condenseur :** A l'aide du condenseur partiel on enlève au sommet de la colonne une quantité du condensat qui est renvoyé dans la colonne en qualité de « reflux froid » qui ajuste la température en tête de colonne à la valeur choisie.
- **Rôle du rebouilleur :** A l'aide du rebouilleur on apporte une quantité de chaleur, et c'est dans le rebouilleur que le liquide provenant du plateau inférieur se vaporise partiellement. La vapeur obtenue retourne dans la colonne en qualité de « reflux chaud » et le résidu quitte l'appareil.

Le fonctionnement normal de la colonne de rectification pour l'obtention d'un distillat et d'un résidu avec des compositions voulues dépend principalement de l'état de la charge et par conséquent du lieu d'alimentation. Sachant que la quantité de matière échangée dépend de la

Chapitre III: Théorie de rectification

concentration initiale et finale, des pressions partielles, de la surface de contact et de l'écoulement (vitesse).

La charge peut être envoyée dans la colonne à :

- Etat liquide : $\bar{e} = 0$.
- Etat vapeur : $\bar{e} = 1$.
- Etat liquide-vapeur : $0 < \bar{e} < 1$

Si la charge est à l'état liquide, l'alimentation doit se faire dans la partie supérieure de la colonne. Et si elle est à l'état liquide-vapeur, l'alimentation se fait dans la partie médiane de la colonne. [10]

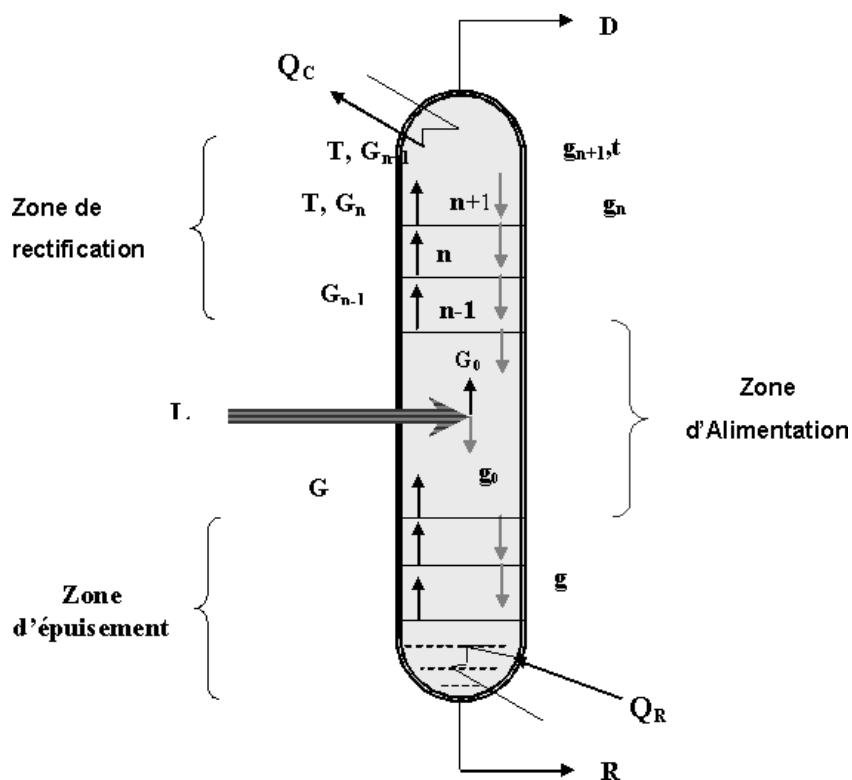


Fig.III.2 : Schéma d'une colonne à plateau

Chapitre III: Théorie de rectification

3. Les types des colonnes de rectification :

Est une unité de séparation physico-chimique utilisée en sciences de l'ingénieur, en chimie et en biologie. Il s'agit en général d'un tube au sein duquel des échanges de matière (à la base de la séparation) et d'énergie (chaleur) s'effectuent entre une phase liquide descendante et une phase gazeuse montante. La colonne permet de séparer un ou plusieurs composés d'un mélange. Le principe de séparation est variable et utilise différents moyens. On désigne ces unités en fonction de leur principe de séparation, Ce contact peut s'effectuer par l'utilisation de colonnes à plateaux ou à garnissages. [8]

Les colonnes utilisées pour la rectification se divisent en deux types distincts:

a. Colonnes à plateaux :

Les plateaux sont des chicanes horizontales en forme de plaques qui sont placées les unes sur les autres à des distances déterminées à l'intérieur de la colonne. Sur chaque plateau se trouve une couche de liquide de hauteur limitée qui est traversée par la vapeur montante. La hauteur d'une colonne à plateaux dépend du nombre de plateaux et de l'espace entre les plateaux. Les colonnes industrielles contiennent habituellement de vrais plateaux avec soit des calottes, soit des clapets ou encore des plateaux simples perforés. [13] [14]

Types de plateaux :

- Plateau à calotte.
- Plateau perforé.
- Plateau à clapets.

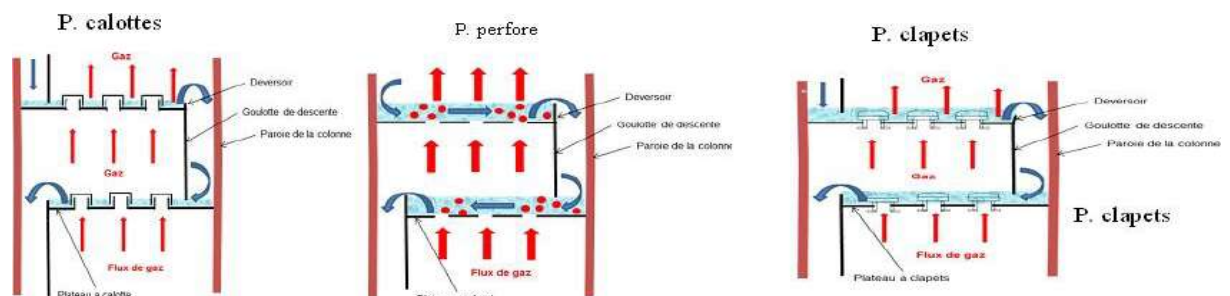


Fig. III.3 : Les trois types de plateaux de colonne.

Chapitre III: Théorie de rectification

b. Colonne a garnissage :

Le but d'un garnissage est d'augmenter la surface de contact entre la phase liquide et la phase gazeuse, ce qui permet d'améliorer le transfert de masse et permet de réduire la taille de la colonne ou d'augmenter le nombre de plateaux théoriques. On trouve ce genre d'équipement pour les colonnes de distillation, les colonnes d'extraction mais également pour les colonnes d'absorption. Ces colonnes réalisent à contre-courant continu. L'échange de matière croit en régime turbulent, c'est pourquoi elles sont remplies d'éléments solides. On emploie comme garnissage n'importe quels morceaux solides, généralement du coke ou de la brique qui ont l'avantage d'être particulièrement bon marché.

(**RASHIG**) sont les garnissages les plus utilisés dans l'industrie, des manchons de cylindres dont la hauteur et diamètre extérieur sont égaux. Leur construction est en céramique ou en porcelaine (bon marché et grande résistance à la corrosion). Comme il existe aussi des anneaux en acier, en carbone et en matière plastique (polyéthylène). [11]

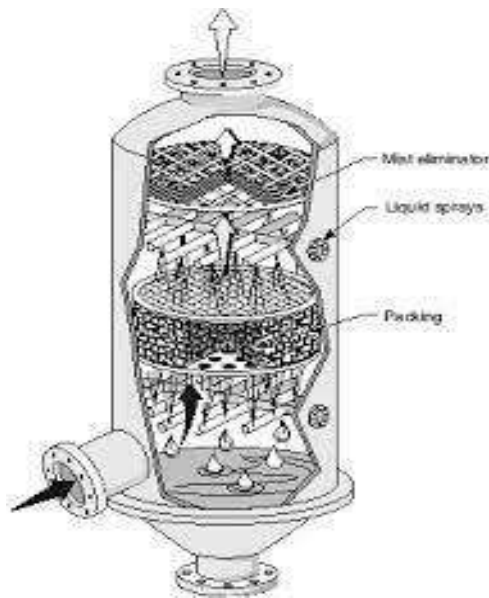


Fig.III.4 : Schéma de Colonne à garnissages.

4. Les lois fondamentales de la rectification :

a. Lois de DALTON:

La loi de Dalton, ou loi des pressions partielles, est une loi de thermodynamique énonçant que la pression au sein d'un mélange de gaz parfaits est égale à la somme des pressions partielles de ses constituants.

$$P_i = P_T * Y_i'$$

Chapitre III: Théorie de rectification

Avec :

P_i : Pression partiel d'un constituant « i ».

P_T : Pression du système.

Y_i : Concentration molaire du constituant « i » en phase vapeur.

b. Lois de RAOULT ET D'HENRY :

Les lois de Raoult et Henry ne sont applicables que pour les liquides. Considérons une phase liquide composée de constituants entièrement miscibles, On conçoit aisément que la tendance des molécules d'un constituant à s'échapper de la phase liquide soit proportionnelle à la concentration molaire de ce constituant à cette phase.

$$P_i' = P_i'' * X_i'$$

Avec :

P_i' : Pression partiel d'un constituant « i ».

P_i'' : Tension de vapeur du constituant « i ».

X_i' : Concentration molaire du constituant « i » en phase liquide.

Dans le cas des mélanges réels les constituants obéissent à la loi d'HENRY, d'après cette loi, la pression partielle d'un constituant, la température étant fixe, est proportionnelle à la concentration molaire du constituant dissout dans la phase liquide :

$$P_i' = E_i * X_i'$$

Avec :

E_i : constante d'Henry ; dépend de la nature du constituant et de la température à l'équilibre, les pressions partielles d'un même constituant dans les deux phases liquides et vapeur sont égaux :

$$P_i = P_i'$$

Donc :

$$Y_i' = (P_i'' / P_T) * X_i'$$

C'est l'équation d'équilibre avec :

Chapitre III: Théorie de rectification

$K_i=(P_i^*/P_T)$: Coefficient d'équilibre du constituant «i » Pour un mélange de deux constituants A et B :

$$y'_A / y'_B = (K_A / K_B) \cdot (x'_A / x'_B)$$

$$\alpha_i = (K_A / K_B)$$

Avec:

α_i : Coefficient de volatilité relative qui caractérise la capacité de (A) de passer en phase vapeur par rapport à (B). [10]

5. Bilan matière de la colonne et de ses zones :

a. Le bilan matière de la colonne :

- Le bilan matière globale :

$$L = D + R$$

Avec :

L : Débit massique de la charge.

D : Débit massique du Distillat.

R : Débit massique du Résidu.

- Le bilan matière partielle :

$$L \cdot X_L = D \cdot Y_D + R \cdot X_R$$

Avec :

X_L : Fraction molaires du constituant le plus volatil dans la charge.

Y_D : Fraction molaires du constituant le plus volatil dans le distillat.

X_R : Fraction molaires du constituant le plus volatil dans le résidu.

La résolution connue de ces équations, en appliquant la loi de LEVIER donne :

$$L/(Y_D - X_R) = D/(X_L - X_R) = R/(Y_D - X_L)$$

Chapitre III: Théorie de rectification

b. Bilan matière de la zone de rectification :

$$G_i = g_{i-1} + D$$

On a:

G_i : Débit pondéral de vapeur traversant un sectionnement entre deux plateaux de la colonne.

g_{i-1} : Débit massique du liquide traversant un sectionnement.

D : Débit massique du distillat.

Alors:

$$G_i \cdot Y_i = (g_{i-1} \cdot X_{i-1}) + (D \cdot Y_D)$$

On appliquant la loi de LEVIER, on trouve:

$$G / (Y_D - X_{i-1}) = g_{i-1} / (Y_D - Y_i) = D / (Y_i - X_{i-1})$$

A partir de cette équation, on trouve:

$$y_i = \left(\frac{r_f}{r_f + 1} \right) x_{i-1} + \left(\frac{1}{r_f + 1} \right) \cdot y_D$$

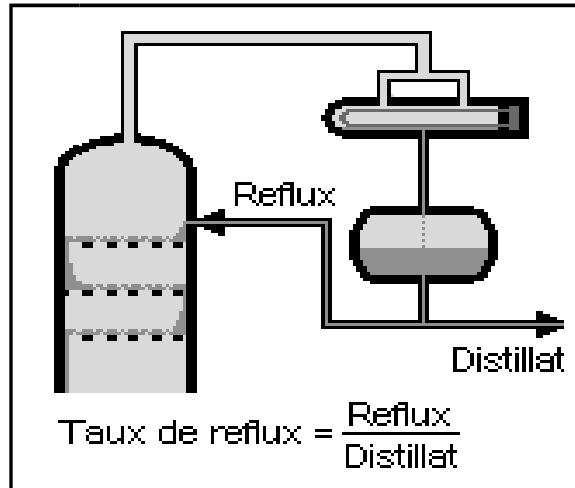
On note que : $r_f = g/D$

On a :

Le taux de reflux (r_f) : Le reflux froid a pour but de réguler la température en tête de colonne, de corriger composition et de ne permettre qu'aux éléments légers de quitter l'appareillage, le reflux froid prend la chaleur des vapeurs et provoque une condensation des constituants lourds. [10]

Il est égal au rapport de la quantité de reflux renvoyé dans la colonne sur la quantité du distillat:

Chapitre III: Théorie de rectification



L'équation qui tient compte de la constante des débits massiques G, g dans la zone de rectification de la colonne donne une relation entre la concentration en constituant (i) dans le liquide se trouvant sur le plateau ($i-1$) et la concentration en même constituant dans la vapeur provenant du plateau (i) et permet de déterminer le nombre d'étages théoriques dans la zone de rectification.

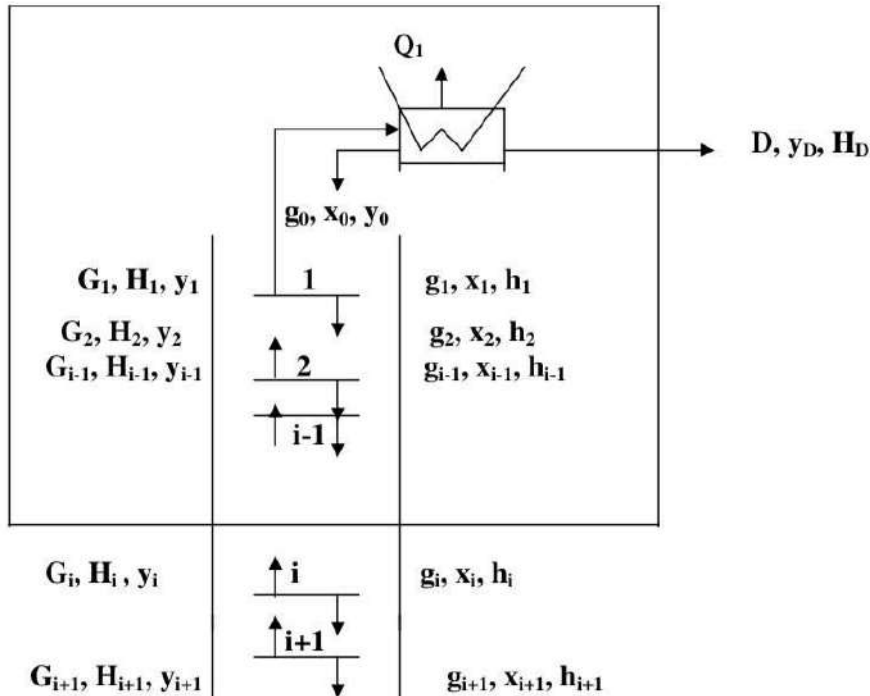


Fig. III.5 : Schéma descriptif du fonctionnement de la zone de rectification

Chapitre III: Théorie de rectification

c. Le bilan matière de la zone d'épuisement :

$$g_{i+1} \cdot X_{i+1} = G_i \cdot Y_i + R \cdot X_R$$

On a:

g_{i+1} : Débit massique du liquide traversant un sectionnement.

G_i : Débit massique de vapeur traversant un sectionnement entre deux plateaux de la colonne.

R : Débit massique du résidu

Alors :

$$g_{i+1} \cdot X_{i+1} = G_i \cdot Y_i + R \cdot X_R$$

En appliquant la loi de Levier, on trouve:

$$G_{i+1} / (Y_i - X_R) = G_i / (X_{(i+1)} - X_R) = R / (Y_i - X_{(i+1)})$$

A partir de cette équation, on trouve:

$$X_{i+1} = (r_b / (r_b + 1)) Y_i + (1 / (r_b + 1)) X_R$$

On note que: $r_b = G/R$

Avec:

Le taux de rebouillage (r_b) : Le reflux chaud a pour but d'apporter la chaleur, de maintenir la température au fond de la colonne et d'assurer la vaporisation des légers entraînés par les produits de fond. [10]

Il est égal au rapport de la quantité de reflux chaud provenant du rebouilleur à la quantité de résidu.

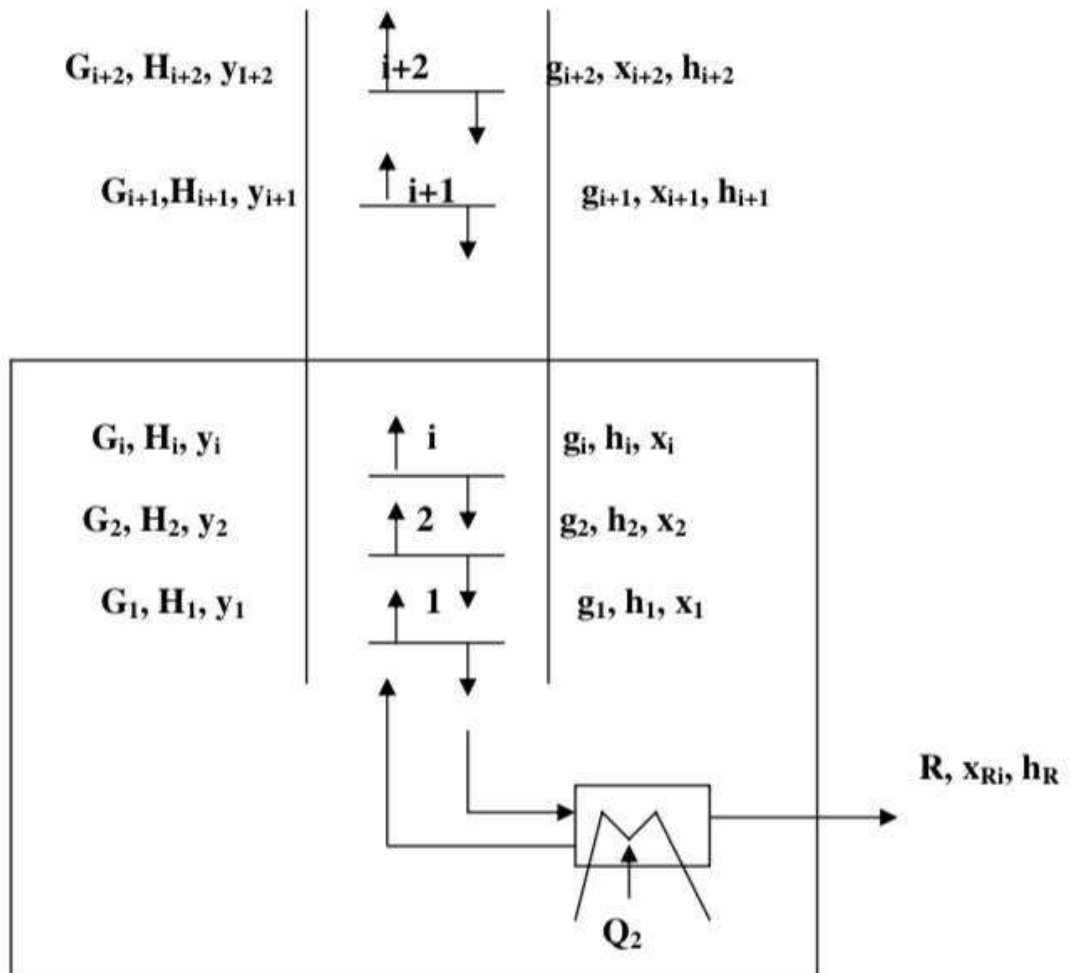
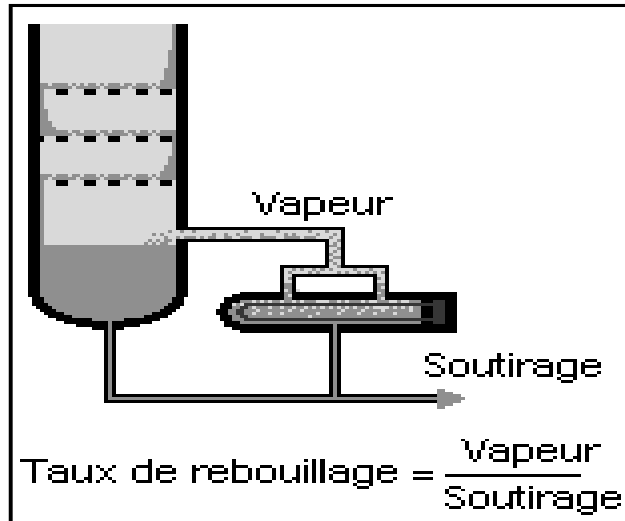


Fig. III.6 : Schéma descriptif du fonctionnement de la zone d'épuisement

Chapitre III: Théorie de rectification

d. Le bilan matière de la zone d'alimentation :

En se référant à la figure ci-dessous, on voit qu'il faut mélanger le liquide g_k avec la phase g_0 pour obtenir le liquide g_m alimentant la zone d'épuisement, le bilan matière sera effectuée juste au dessus du plateau supérieur de cette zone. [10]

$$L = G_0 + g_0$$

$$L \cdot X_L = G_0 \cdot y_0 + g_0 \cdot x_0$$

L : Débit de l'alimentation.

G_0 : Débit de la vapeur.

g_0 : Débit du liquide.

X_L : Concentration molaire de l'alimentation.

y_0 : Concentration molaire de la vapeur. / x_0 : Concentration molaire du liquide.

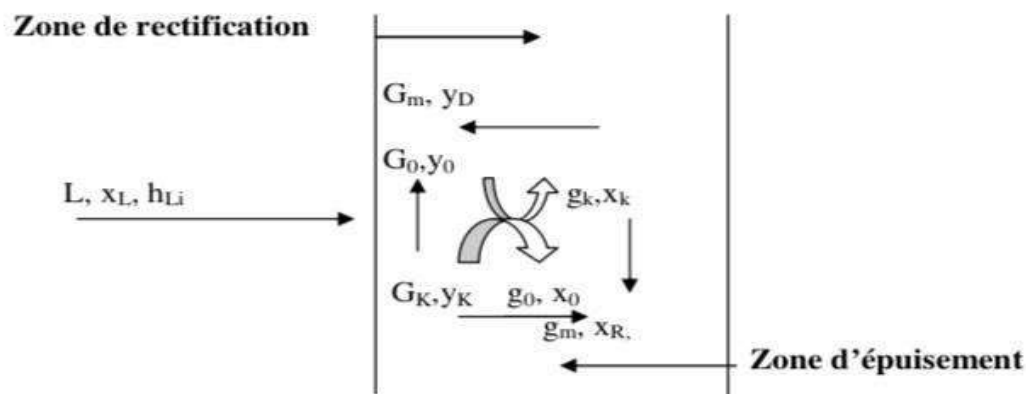


Fig. III.7 : Schéma descriptif du fonctionnement de la zone d'alimentation

Le bilan matière de la phase vapeur alimentant la zone de rectification :

$$G_m = G_0 + G_k$$

$$G_m \cdot y_m = G_0 \cdot y_0 + G_k \cdot y_k$$

Le bilan matière de la phase liquide alimentant la zone d'épuisement :

$$g_m = g_0 + g_k$$

$$g_m \cdot X_m = g_0 \cdot X_0 + g_k \cdot X_k$$

Chapitre III: Théorie de rectification

6. Utilisation de la volatilité relative :

Dans les calculs de la rectification des mélanges complexes, on sera amené à effectuer des séries de calcul d'équilibre pour chaque zone. Pour éviter le travail et fastidieux de s'approximations successives, on peut utiliser une méthode simplifiée et rapide donnant une précision assez suffisante.

Cette méthode fait intervenir la notion de la volatilité relative (α_i) étant le rapport des coefficients d'équilibre du constituant « i » à celui d'un constituant de référence « r » choisit généralement comme étant l'élément le plus lourd (le moins volatil du mélange). [11]

$$\alpha = k_i / k_r$$

7. Choix de la pression dans la colonne :

Quelque soit la complexité du mélange à séparer, le choix de la pression est avant tout un problème économique. On sait qu'à faible pression la sélectivité de la séparation sera meilleur et que l'on évitera l'altération thermique des produits, mais on contre partie, à faible pression il faut condenser à basse température les vapeurs de tête pour obtenir le reflux liquide à sa température de bulle, donc c'est le choix du fluide réfrigérant qui va imposer la pression dans la colonne. En générale, on utilise une source froide, bon marché et abondante (eau douce, eau de mer ou l'air) qui permet d'obtenir un condensât de 30 à 45°C environ. [11]

La pression dans la colonne sera alors au moins s'égale à la pression de bulle à ces températures.

Lorsque le distillat est constitué de constituants très légers, il est nécessaire de faire appel à une réfrigération artificielle pour travailler à basse température quelque soit la pression de service.

La température de la condensation totale des vapeurs du distillat doit être prise moins 15 à 20°C plus grande que celle du fluide réfrigérant, ainsi la pression dans le ballon de reflux P_b est déterminée d'après l'équation de l'isotherme de la phase liquide, par approximation successive.

$$\sum K_i^* x_i = 1$$

La pression au sommet, au fond et dans la zone d'alimentation de la colonne sera respectivement:

Chapitre III: Théorie de rectification

$$P_s = P_b + \Delta P_1$$

On a :

ΔP_1 : (0,2 : 0,4) atm, perte de charge due aux résistances des conduites de condenseur

P_b : c'est la pression dans le ballon de reflux.

$$P_f = P_s + \Delta P_2$$

On a :

ΔP_2 : (0,3:0,5) atm, perte de charge due aux résistances des plateaux Par conséquent, la pression dans la zone d'alimentation sera:

$$P_L = (P_s + P_f) / 2$$

8. Régime de la température dans la colonne :

En utilisant les équations d'isotherme des différentes phases, on détermine par approximations successives les différentes températures dans la colonne de rectification.

A la pression de service P_s , la température au sommet de la colonne est déterminée par approximation successive à partir de l'équation de l'isotherme de la phase vapeur.

La température au fond de la colonne (dans le rebouilleur doit être calculé comme la température de bulle du Résidu à la pression P_f) est déterminé par approximation successive à partir de l'équation de l'isotherme de la phase liquide.

Pour la température de la charge, elle peut être déterminée en trois cas.

Chapitre III: Théorie de rectification

Tableau [III.1] : Les équations des isothermes pour les différentes parties de la colonne

Température	Phase	Equation d'isotherme
Au sommet de la colonne	Vapeur	$\sum (Y_i/K_i)=1$
De la charge	Liquide	$\sum(K_i \cdot x_{L,i})=1$
	Vapeur	$\sum (y_{Li}/K_i) =1$
	Liquide & Vapeur	$\sum x_i = \sum [x_{Li}/ 1+e(K_i-1)]=1$ $(y_i/ x_i)=K_i$
Au fond de la colonne	Liquide	$\sum(K_i \cdot x_{i})=1$

On a :

e: Taux de vaporisation massique.

X_i : Concentration molaire du constituant (i) dans la phase liquide.

Y_i : Concentration molaire du constituant (i) dans la phase vapeur.

$X_{L,i}$: Concentration molaire du constituant (i) dans la charge.

9. Taux de vaporisation et composition des phases liquides et vapeurs de la charge :

Lors du calcul de la zone d'alimentation, il est nécessaire de disposer du débit et de la composition des phases liquides et vapeurs de la charge.

D'après la définition de taux de vaporisation et de condensation de la charge, on a :

$$e=G_0/L \qquad r=g_0/L$$

Avec :

e: Taux de vaporisation massique de la charge.

Chapitre III: Théorie de rectification

r: Taux de condensation massique de la charge.

g_0 : Débit massique de la phase liquide dans la charge.

G_0 : Débit massique de la phase vapeur dans la charge.

A la pression et la température donnée, le taux de vaporisation ainsi que la composition des phases de la charge sont déterminées par approximation successive d'après l'équation connue de TREGOUBOV.

$$\sum X_i = \sum [X_{Li} / 1 + e \cdot (K_i - 1)] = 1$$

Ou :

$$e + r = 1$$

Cette dernière équation peut être utilisée également pour déterminer la température de la Charge si la pression et (e) sont connus.

Si ($e = 0$): la charge se trouve à sa température de bulle et ($g_0 = L$), on utilise l'équation d'isotherme de la phase liquide pour déterminer cette température.

Si ($e = 1$): la charge se trouve à sa température de rosé et ($G_0 = L$), on utilise l'équation d'isotherme de la phase vapeur pour déterminer cette température.

Pour calculer le taux de vaporisation en fonction de la température, on peut utiliser la relation approximative suivante:

$$e = \ln(T / T_b) / \ln (T_r / T_b)$$

Avec :

T: la température considérée (°k).

T_b : la température de bulle (°k).

T_r : la température de rosé de la charge (°k).

10. Choix du taux de reflux :

Pour assurer la fonction de la colonne, on doit enlever au sommet de l'appareil une certaine quantité de chaleur et ajouter une quantité de chaleur au fond déterminé par le bilan thermique

Chapitre III: Théorie de rectification

c'est -a- dire la phase vapeur qui quitte le sommet se condense partiellement ou totalement et une partie de liquide obtenue est utilisé comme reflux liquide. Au fond de la colonne le liquide s'évaporise partiellement et la vapeur obtenue est utilisée comme reflux vapeur (rebouillage).

Le taux de reflux détermine les dimensions de l'équipement et les dépenses énergétiques au sommet et au fond de la colonne.

a. FONCTIONNEMENT A REFLUX MINIMAL:

Le fonctionnement à reflux minimal correspond à un nombre infini de plateaux pour la séparation spécifiée, donc d'après la formule d'UNDER WOOD généralement, on détermine le taux de reflux minimal suivant l'équation :

$$(r_f)_{\min} = \varphi \sum (Y_D / \alpha_{i,L} - \varphi)$$

$$(r_b)_{\min} = \varphi \sum (\alpha_{i,L} X_R / \alpha_{i,L} - \varphi)$$

Où :

α_{iL} : Le coefficient de volatilité du constituant « i » quelconque par rapport au constituant clés lourd qui est déterminé à la température d'entrée de la charge.

φ : Paramètre conventionnel est déterminé par approximations successives.

Autre formule déterminé $(r_b)_{\min}$:

C'est la relation entre $(r_f)_{\min}$ et $(r_b)_{\min}$ est donnée par la formule suivante :

$$e = \sum \alpha_{Li} X_{Li} / (\alpha_{Li} \varphi)$$

e : Taux de vaporisation molaire de la charge.

$$(r_b)_{\min} = [(D(r_f)_{\min} / L) + (1 - e) - (R / L)] / (R / L)$$

b. TAUX DE REFLUX OPTIMAL :

En suite, on détermine le taux de reflux opératoire ou optimal suivant qui correspond un nombre de plateaux théoriques (chaque taux de reflux correspond un nombre fini de plateau théorique et que ce nombre diminue quand le taux de reflux s'accroît).

Pour ces calculs approximatifs, on peut utiliser la formule proposée par GILLILAND[11] :

Chapitre III: Théorie de rectification

$$((r_f)_{opt} - (r_f)_{min}) / ((r_f)_{opt} + 1) = 0.1 \div 0.33$$

$$(r_b)_{opt} = [D (r_f)_{min} / R] + (1 - e) - 1$$

11. Bilan thermique de la colonne :

L'établissement du bilan thermique de la colonne peut être nécessaire pour déterminer :

- La quantité de chaleur à apporter au rebouilleur.
- La quantité de chaleur à retirer au condenseur.

Ainsi que pour vérifier :

- Le débit de fluide chauffant et le débit de fluide refroidissant.
- Le débit de reflux.

La somme des flux enthalpiques entrants doit être égale à la somme des flux enthalpiques sortants.

Les flux enthalpiques entrant sont généralement :

- La chaleur apportée au rebouilleur.
- Le flux enthalpique des produits alimentant la colonne.

Les flux enthalpiques sortants ont généralement :

- La chaleur retirée au condenseur.
- Le flux enthalpique des produits extraits de la colonne

L'équation de bilan thermique de la colonne entière s'écrit :

$$L * h_L + Q_{rb} = D * H_D + R * h_R + Q_{Con}$$

$$L * h_L = D(H_D + Q_{con}/D) + R(h_R - Q_{rb}/R)$$

$$L * h_L = D * H_D + R * h_R$$

Avec :

Chapitre III: Théorie de rectification

Q_{con}/D : la charge thermique de condenseur rapportée à l'unité de distillat.

Q_{rb}/R : la charge thermique de rebouilleur rapportée à l'unité de résidu.

Q_{rb} : Charge thermique du rebouilleur (Kcal/h).

Q_{Con} : Charge thermique du condenseur (Kcal/h).

h_L : Enthalpie de la charge (Kcal/Kmol).

H_D : Enthalpie du distillat (Kcal/Kmol).

h_R : Enthalpie du résidu (Kcal/Kmol.).

12. Nombre de plateau théorique à reflux opératoire :

GILLILAND (II) a proposé une corrélation empirique entre le taux de reflux et le nombre de plateaux théoriques. Si N est le nombre de plateaux théoriques correspondent à un taux de reflux opératoire (r_f) les deux fonctions sont reliées entre elles par une courbe de corrélation.[11]

$$(N - N_{min}) / (N + 1) = (r_f - (r_f)_{min}) / (r_f + 1)$$

La formule de «Fenske-UnderWood», nous donne la relation entre la concentration et les volatilités relatives de deux constituants dans le distillat et dans le résidu.

Le nombre de plateaux minimal :

$$N_{min} = \log \left(\frac{X_{DV}}{X_{DL}} \cdot \frac{X_{RL}}{X_{RV}} \right) / \log \left(\frac{\alpha_V}{\alpha_L} \right)$$

Avec :

V : Volatil

L : Lourd

Le nombre de plateaux théorique dans la zone de rectification et d'épuisement est fixe par l'application de l'équation de « Fenske- Under Wood » Aux constituants clés entre l'alimentation et le distillat ou le résidu. [11]

a. Zone de rectification:

$$N_{Rmin} = \log \left(\frac{X_{DV}}{X_{DL}} \cdot \frac{X_{LL}}{X_{LV}} \right) / \log \left(\frac{\alpha_V}{\alpha_L} \right)$$

Chapitre III: Théorie de rectification

b. Zone d'épuisement:

$$N_{Emin} = \log \left(\frac{X_{LV}}{X_{LL}} \cdot \frac{X_{RL}}{X_{RV}} \right) / \log \left(\frac{\alpha_V}{\alpha_L} \right)$$

Le nombre de plateaux théoriques dans la colonne entière où dans chacune de deux zones, peut calculer par l'application de la méthode «GILLILAND». [11]

$$\frac{N - N_{min}}{N - 1} = f \left(\frac{(rf)_{op} - (rf)_{min}}{(rf)_{op} + 1} \right)$$

D'après la valeur de :

$$\frac{rf - (rf)_{min}}{rf + 1}$$

On tire du diagramme de GILLIAND la valeur de $(N - N_{min}) / (N + 1)$ qui nous permet de calculer N.

13. Détermination des dimensions de la colonne :

Les dimensions d'une colonne sont :

a. Hauteur de la colonne :

Cette hauteur est liée au nombre de plateaux que l'on doit installer à l'espace que l'on doit prévoir entre chacun d'eux. [12]

La hauteur de la colonne est :

$$H_T = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 \text{ (m)}$$

$h_1 = \frac{D}{2}$: la distance entre le 1er plateau de la zone de rectification et le sommet de la colonne.

$h_2 = (N_R + 1) h_p$: la hauteur de la zone de rectification.

$h_3 = 2h_p$: la hauteur de la zone d'alimentation.

$h_4 = (N_E - 1) h_p$: la hauteur de la zone d'épuisement.

Chapitre III: Théorie de rectification

h_5 : hauteur libre au fond de la colonne (1-1,5m).

h_6 : hauteur de la jupe de la colonne (1,5m).

$h_p = (0,3 - 0,8m)$: la distance entre deux plateaux successives.

b. Nombre de plateaux :

En pratique, il n'en est pas ainsi et on doit intervenir la notion d'efficacité de 100%, le plateau réel à une efficacité inférieure à 100%, le rapport entre le nombre de plateaux théoriques et le nombre de plateaux réels est l'efficacité moyenne des plateaux d'une colonne.[12] L'efficacité exprimée en % vérifie la relation:

$$E \text{ (efficacités)} = 100\% \times \frac{\text{Nombre de plateaux théorique}}{\text{Nombre de plateaux réels}}$$

Cette grandeur n'a de sens en théorie que pour une séparation de deux constituants donnés sous des conditions de pression et de débits de vapeur déterminés.

c. Espacement entre les plateaux :

Les critères sont simples, il faut que la construction soit possible et que l'on puisse pénétrer entre les plateaux pour assurer l'entretien, la hauteur de la tour sera égal au produit du nombre de plateaux par l'espacement, plus l'espace libre en tête et au fond du tour. [12]

d. Diamètre de la colonne :

Le calcul se fait en prenant le débit de vapeur de tête (distillat + reflux interne) car c'est la zone la plus chargée.

$$Q = V * S = V * \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad \Rightarrow \quad D^2 = \frac{4 \cdot Q}{V \cdot \pi} \text{ donc: } D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{V \cdot \pi}}$$

Chapitre IV

Partie optimisation et simulation

Définition :

Le simulateur est un outil précieux pour le calcul du procédé, il facilite énormément la tâche de l'ingénieur lui fait gagner beaucoup de temps. Les logiciels de simulation sont de plus en plus nombreux et utilisés, parmi les logiciels le plus connus dans le domaine du génie des procédés est le logiciel HYSYS PROCESS. Le logiciel **HYSYS** est l'un des logiciels de simulation des procédés de génie des procédés. Il a été développé par la société canadienne **HYPROTECH**.

Il a été conçu pour permettre le traitement d'une vaste gamme de problèmes allant des séparations bi et tri - phasiques simples, de la compression à la distillation et la transformation chimique.

Les différentes tâches qu'un simulateur de procédés devrait effectuer sont :

- Le calcul des flashes
- La résolution des bilans de matière et d'énergie.
- L'optimisation du procédé.
- Le dimensionnement des équipements.

1. Le choix du modèle thermodynamique :

Les logiciels de simulation donnent accès à plusieurs modèles thermodynamiques pour la prédiction de l'équilibre liquide vapeur, d'enthalpie et d'entropie ainsi que les propriétés de transports.

La réussite de la simulation dépend du choix du modèle thermodynamique, parce que ce dernier est établi pour une classe de fluide et un domaine des conditions P et T recommandées.

L'équation de **Peng-Robinson** est recommandée pour le système étudié (traitement de gaz), car elle a été vérifiée pour le cas actuel et a donné des résultats avec des erreurs presque négligeables.

Cette équation est donnée par :

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)+b(v-b)}$$

Chapitre IV: Partie optimisation et simulation

$$Z^3 - (1 - B)Z^2 + (A - 2B - 3B^2)Z - (4B - 2B - 3B) = 0$$

$$b = \sum_{i=1}^N x_i \cdot b_i, \quad b_i = 0,0778 \frac{Rt_{ci}}{P_{ci}}$$

$$a = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_i X_j (a_i a_j)^{0.5} (1 - K_{ij})$$

$$a_i = a_{ci} \cdot \alpha_i$$

$$a_{ci} = 0.457235 \times [(RT_{ci})^2 \div (P_{ci})]$$

$$\alpha_i^{0.5} = 1 + m_i (1 - T_{ri}^{0.5})$$

$$m_i = 0.37646 + 1.54226 \omega_i - 0.2699 \omega_i^2$$

A, B : constantes liées à la température et à la pression avec :

$$A = (aP) \div (RT)^2 \quad \text{et} \quad B = \frac{bP}{RT}$$

a, b : constantes liées à la température et à la pression critiques.

Z: coefficient de compressibilité.

n_i : nombre de moles du constituant i.

R : constante des gaz parfaits.

T_{ci} : température critique du constituant i.

P_{ci} : pression critique du constituant i.

K_{ij} : coefficient d'interaction binaire.

x_i, x_j : Fractions molaires des constituants i et j.

T_{ri} : température réduite.

2. Remarques concernant l'utilisation des logiciels de simulation :

L'utilisation de logiciels de simulation offre plusieurs possibilités pour définir les spécifications qui déterminent le fonctionnement de la colonne de distillation ; autant de

Chapitre IV: Partie optimisation et simulation

valeurs ou de spécifications doivent être fixées que de produits ; leur choix doit être raisonné de manière à favoriser la convergence.

Lorsque, pour un nouveau problème, l'utilisateur n'a pas de grandeur, il lui est conseillé d'effectuer le premier calcul en définissant la spécification qui garantit la solution. L'analyse de la première solution guide le développement et les décisions à prendre.

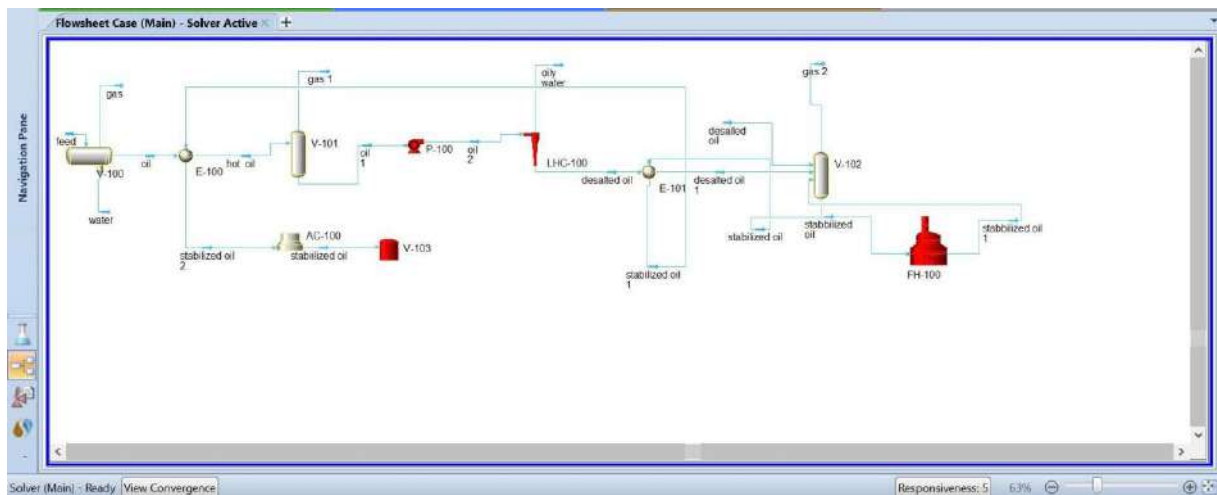


Fig. IV. 1: SCHEMA TECHNOLOGIQUE DE LA SIMULATION

3. Le choix des paramètres :

Lors de la simulation d'une colonne stable, les paramètres opératoires (pression, température, taux de reflux) sont choisis pour :

- Réduire la chaleur fournie au rebouilleur.
- Une diminution du taux de reflux ou une augmentation du taux de reflux entraînera une augmentation de la chaleur dans le rebouilleur et une augmentation de la puissance de la pompe et de la consommation électrique.
- Colonnes à faible colmatage et perte de charge minimale.

Ce pendant, il faut noter qu'avant toute chose, il faut s'assurer que la séparation est bonne et que l'on obtient le produit répondant aux spécifications.

Dans notre cas, les paramètres suivants conditionnent le bon fonctionnement de la colonne de stabilisation :

- Le taux de reflux.

Chapitre IV: Partie optimisation et simulation

- La température de sommet et du fond.
- Q de rebouilleur.

D'où une étude de l'influence de la variation de ces paramètres sur les performances de la colonne de stabilisation est menée.

Pendant la simulation de cette colonne deux considérations sont présent en compte :

- La quantité de nCs dans le produit de tête doit être minimale (poids moléculaire).
- La récupération du produit brut stabilisé doit être maximale.

Tout en assurant :

- Une quantité de chaleur minimale à fournir au rebouilleur.
- Une colonne avec un faible taux de l'engorgement et de perte de charge.

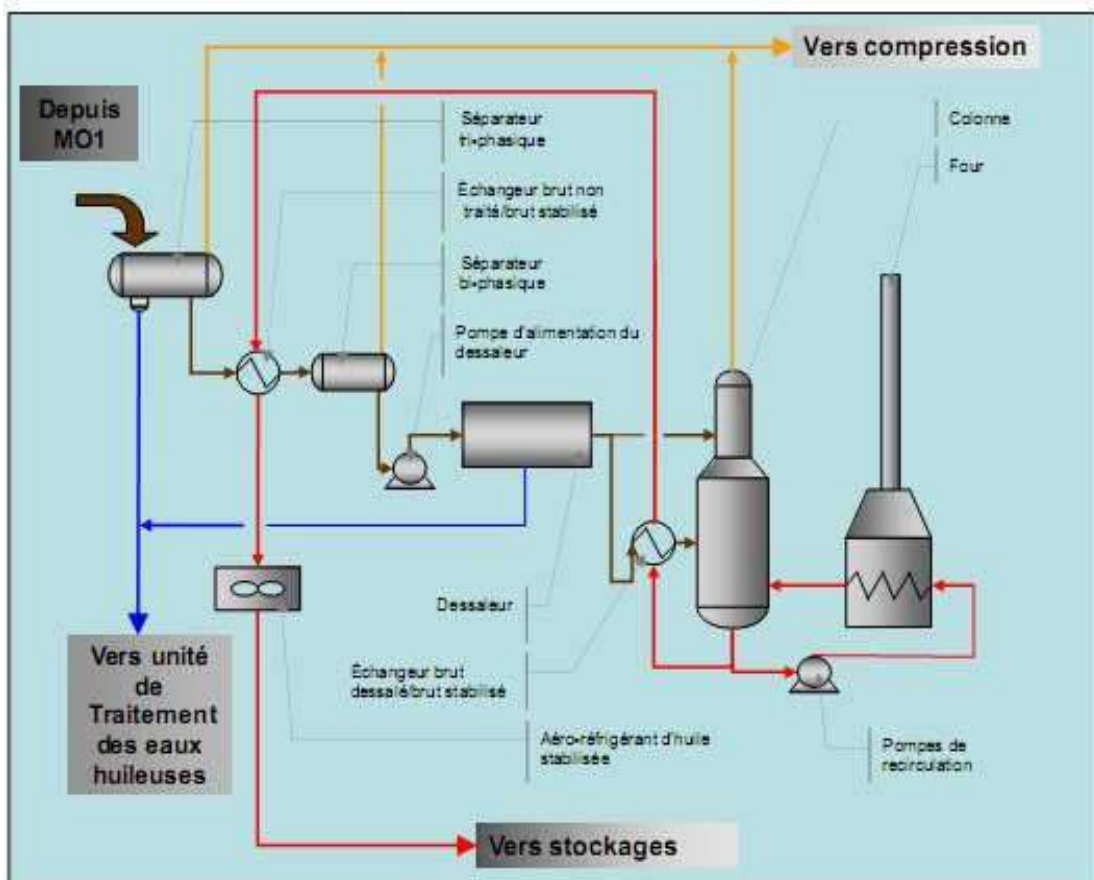


Fig. IV. 2 : Schéma synoptique du train 10

Chapitre IV: Partie optimisation et simulation

4. Présentation des résultats et interprétation :

a. Influence de taux reflux froid sur le fonctionnement de la colonne de stabilisation

Dans cette partie, on étudie l'influence du taux de reflux de tête sur les paramètres de fonctionnement de la colonne (TVR, poids moléculaire, duty four, la température, l'efficacité de préchauffeur).

Tableau [IV -1]: Influence de taux reflux froide sur le fonctionnement de la colonne de stabilisation

Taux de reflux (%)	TVR (psia)	Poid moléculaire	Duty four. 10^7 (Kj/h)	T ⁰ de sommet(C ⁰)	T ⁰ de fond(C ⁰)	U.A. 10^5 (Kj/C ⁰ .h)
10	6.0	44.90	5.12515	83.46	161.9	9.862
15	6.3	44.22	5.26365	79.11	161.5	9.005
18	6.8	43.57	5.35492	77.87	161.2	8.55
20	7.007	42.85	5.41881	77.21	161	8.258
22	7.2	42.25	5.4819	76.62	160.8	7.977
25	7.5	41.90	5.57667	75.91	160.3	7.579
27	7.7	41.50	5.63869	75.59	160	7.326
30	7.9	39.94	5.73373	75.25	159.6	6.963
40	8.0	37.74	6.0441	74.77	157.8	5.818

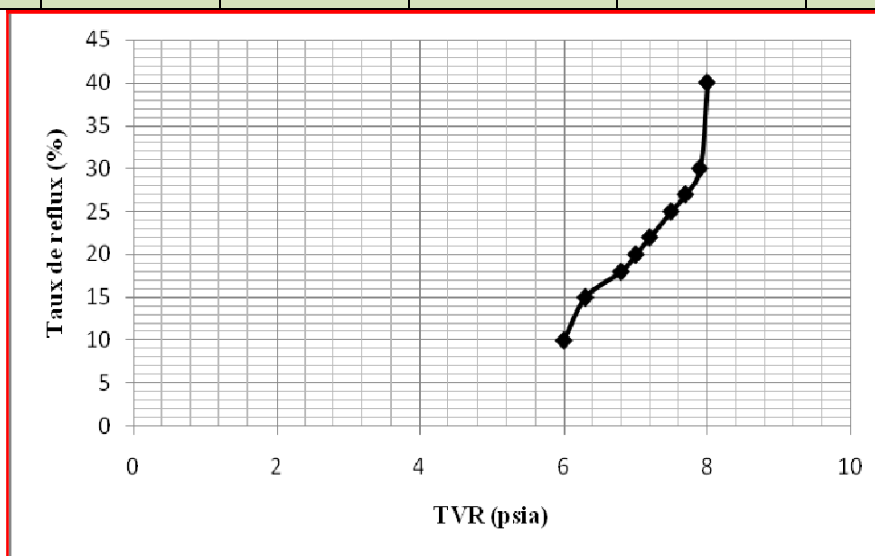


Fig. IV. 3: Influence du taux de reflux en fonction la TVR

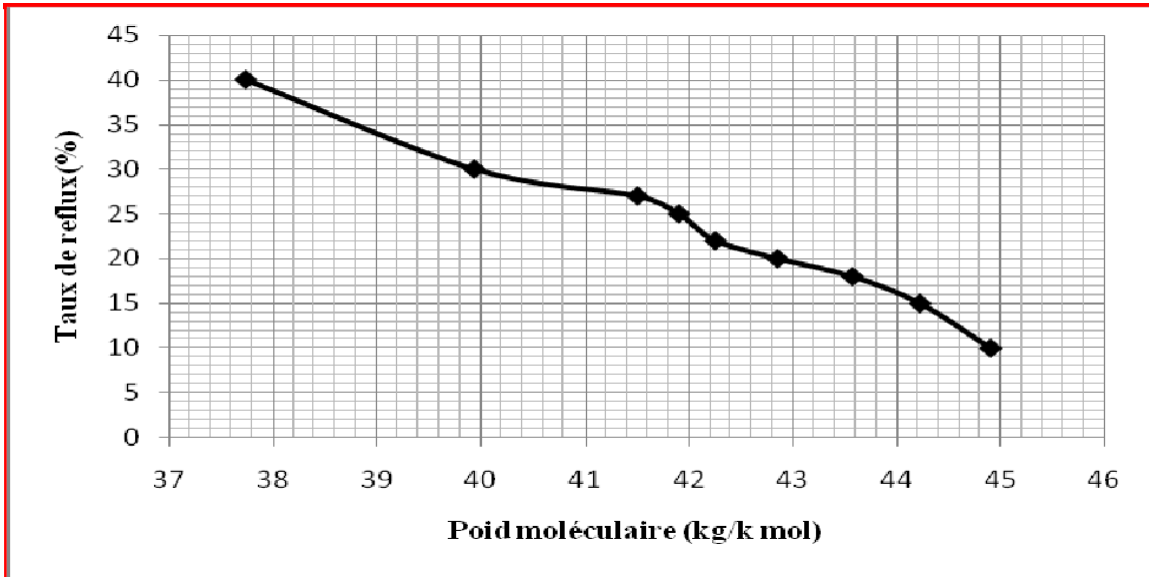


Fig. IV. 4 : Influence du taux de reflux en fonction du poids moléculaire

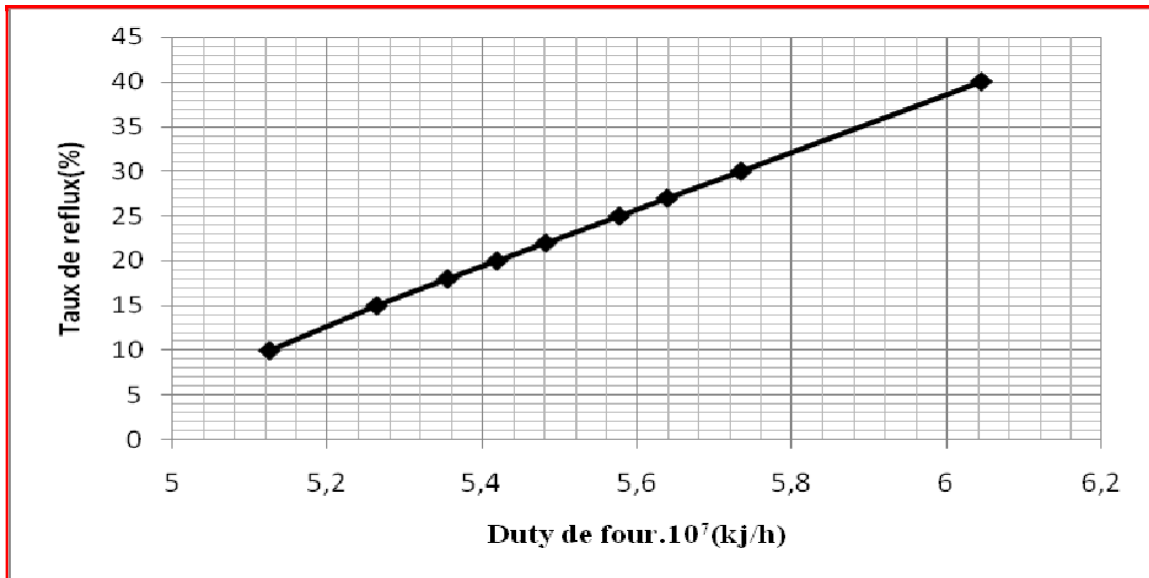


Fig. IV. 5 : Influence du taux de reflux en fonction de duty four

Chapitre IV: Partie optimisation et simulation

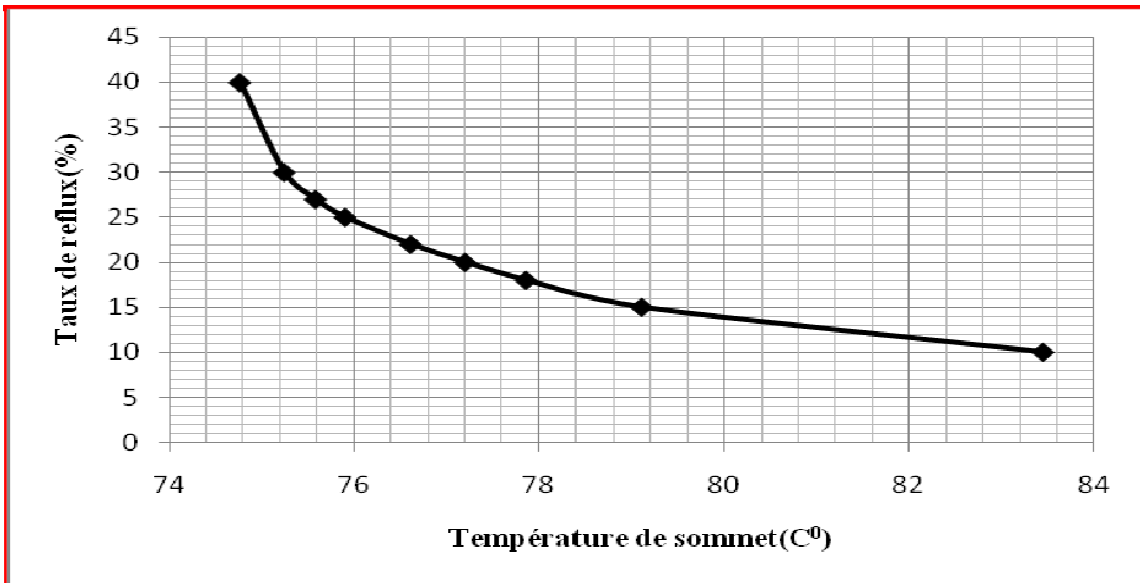


Fig. IV. 6 : Influence du taux de reflux en fonction de la température de sommet

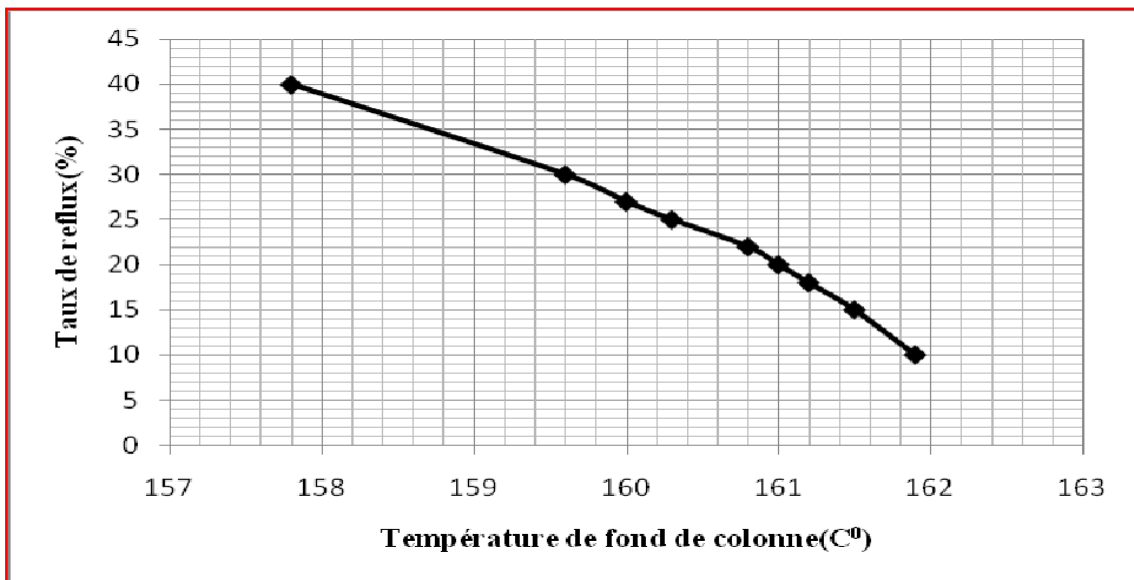


Fig. IV. 7 : Influence du taux de reflux en fonction de la température de fond de colonne

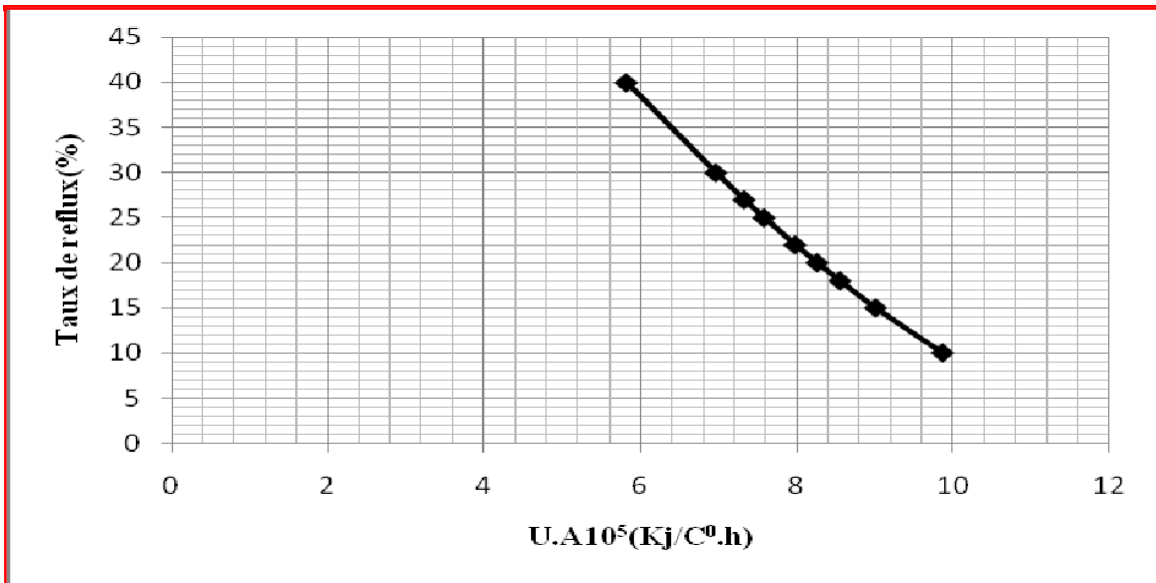


Fig. IV. 8 : Influence du taux de reflux en fonction de U.A Préchauffeur du stabiliseur

On note de ce tableau et de ces fichiers de configuration :

- Chaque fois que nous augmentons le taux de refusion, nous remarquons une diminution des températures de fond et de tête.
- Ajustez la température à la sortie du rebouilleur afin que le TVR à la sortie de la colonne soit de 7 psi.
- La chaleur absorbée par le rebouilleur correspond à un taux de reflux de 20%.
- Des paires de stabilisateur-préchauffeur Optimal Duty quatre UxA sont disponibles pour des rapportscharge de refroidissement-charge de chauffage de 20 % à 80 %, ce qui permet d'avoir un four et un préchauffeur de taille raisonnable.
- Intervalle (39-44) Poids moléculaire de la vapeur de tête.

Il est à noter qu'une bonne séparation aura lieu à un taux de reflux de 20 %.

b. Présentation et interprétation des profils de la colonne de stabilisation :

Les profils les plus importants à présenter qui sont donnés par les figures ci-dessous sont :

- Le profil de température.
- Le profil de pression

Chapitre IV: Partie optimisation et simulation

- Le profil des débits molaire du liquide et de la vapeur.
- Le profil d'engorgement.
- Le profil de la perte de charge.

Profil de température

La figure montre le profil de température au niveau de chaque plateau le long de la colonne de stabilisation.

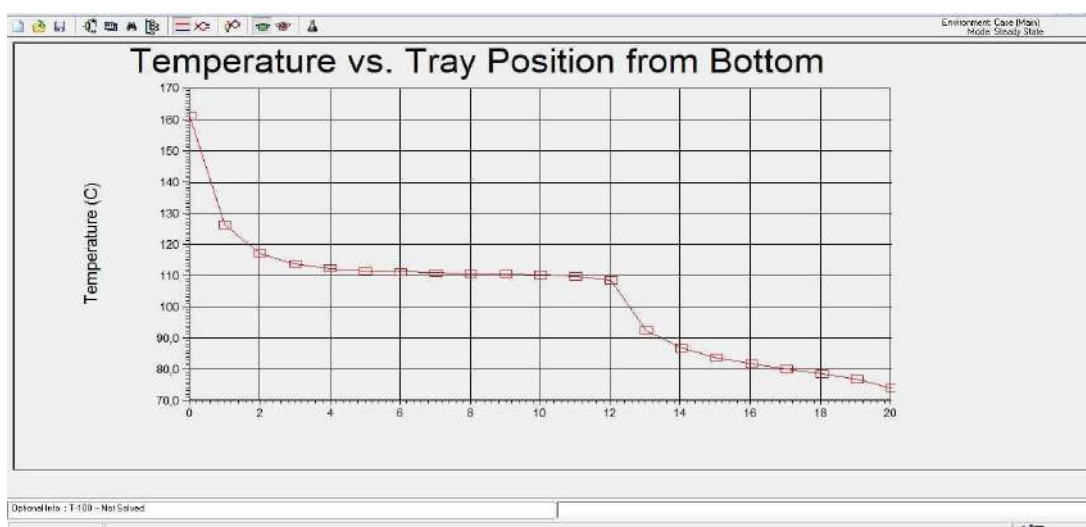


Fig. IV. 9 : Profil de température au niveaux de chaque plateaux

La figure ci-dessus montre que le profil de température dans la colonne de stabilisation présente une évolution normale le long de la colonne, sauf une présence d'un pic qui est remarqué au niveau du plateau d'alimentation (au niveau du 13^{ème}), ce pic s'explique par la différence entre la température d'alimentation et celle du plateau.

Chapitre IV: Partie optimisation et simulation

Profil de pression :

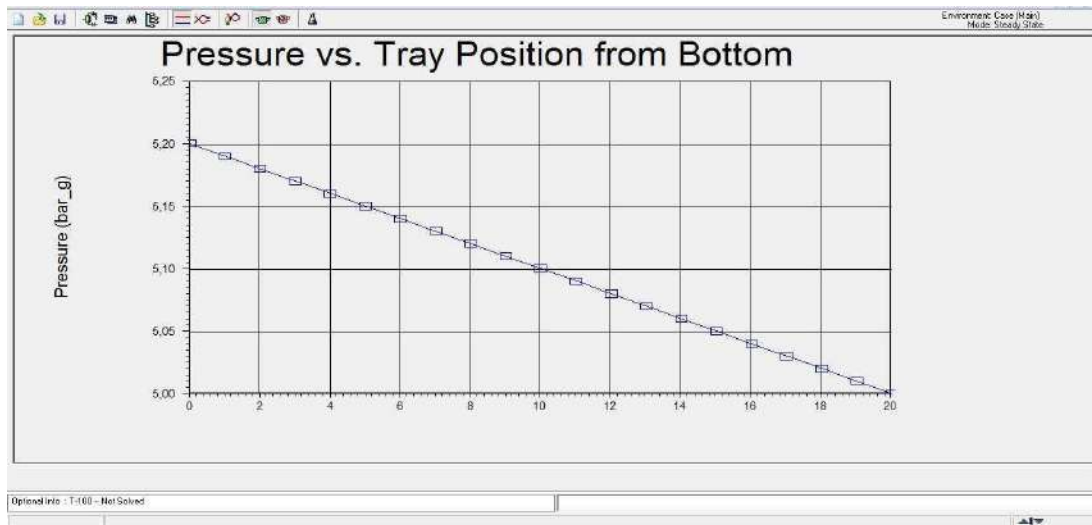


Fig. IV. 10: Profil de pression au niveaux de chaque plateaux

La figure ci-dessus montre que le profil de pression actuel présente une évolution normale le long de la colonne (diminution de la pression du 1^{er} plateau en tête, jusqu'au dernier plateau du fond).

Profils des débits molaires du liquide et de la vapeur :

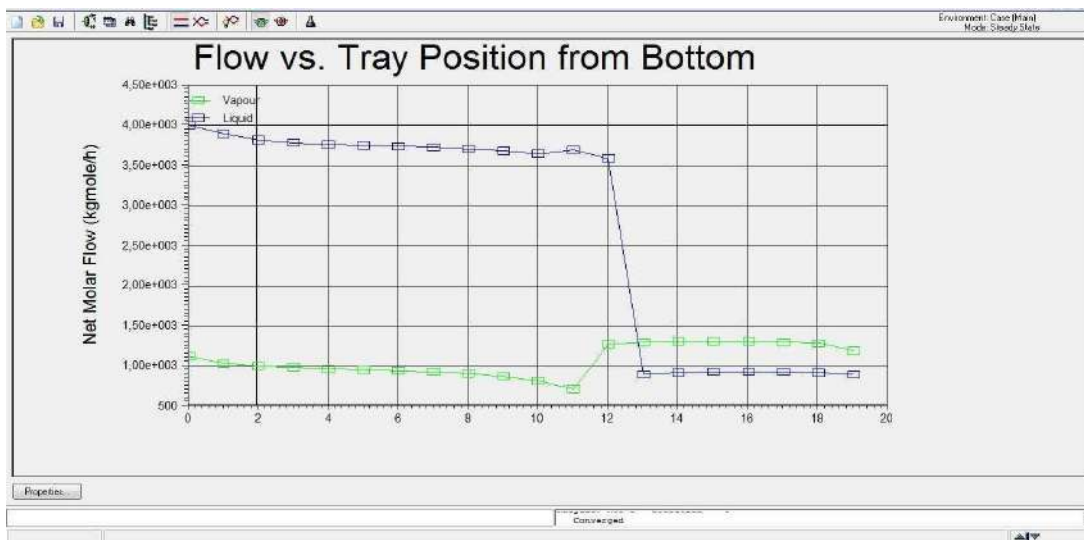


Fig. IV. 11: Profils des débits molaires du liquide et de la vapeur au niveaux de chaque plateaux

Le diagramme de flux de liquide et de vapeur reflète l'existence de deux parties :

Chapitre IV: Partie optimisation et simulation

La première partie s'étend du 13ème au 21ème plateau, avec une évolution homogène et parallèle des profils d'écoulement liquide et vapeur du fait de l'absence de sources de perturbations.

Au 13ème plateau (plateau d'alimentation), le débit de liquide augmente sensiblement tandis que le débit de vapeur diminue ; cela est dû à la condensation du gaz lors du mouvement ascendant de la colonne.

Le deuxième segment s'étend du 1er plateau au 13e plateau, moment où l'on constate un relatif retour à la stabilité.

5. Tableaux comparatifs :

Après l'optimisation, on a obtenu les résultats ci-dessous :

Tableau [IV -2]:les paramètres de fonctionnement de la colonne P10-CB-21-01 :

	Les valeurs réelles	Les résultats de hysys
Température au sommet(C°)	76.6	77.21
Température au fond(C°)	160	161
Duty four.10 ⁷ (Kj/h)	5.662	5.41881
TVR (psia)	7.1	7.007
Taux de reflux (%)	22	20
Poid moléculaire	43.25	42.85

6. Conclusion :

Pour les résultats millés par **HYSYS**, la diminution du pourcentage de la charge froide (22% - 20%) on a trouvé que les valeurs des paramètres de fonctionnement de la colonne sont acceptables à condition qu'il n'y ait pas de perturbation dans le fonctionnement.

On a montré que l'énergie consommée par le four (duty de four) est optimisée, et avec une bonne configuration de transfert de chaleur au niveau de l'échangeur thermique.

CONCLUSION GENERALE

Dans notre étude, nous avons essayé d'optimiser les paramètres de fonctionnement (taux de reflux) de la section de stabilisation dans le but d'obtenir une colonne avec un faible taux de sur verse et un minimum de chaleur fournie au rebouilleur avec une production de pétrole brut de bonne qualité et en quantité.

Sur la base du calcul et de l'optimisation, nous pouvons dire : pour un rapport charge de refroidissement-charge de chauffage de 20 % à 80 %, nous obtenons :

- Une paire de préchauffeurs Duty four-UxA pour les meilleurs stabilisateurs.
- Colonnes à faibles taux de débordement et de perte de charge.
- Bonne stabilité du pétrole brut (TVR=7)
- [39 – 44] Intervalle Masse moléculaire de la vapeur de tête.

Nous pouvons conclure que:

- Une bonne séparation sera obtenue à un taux de reflux de 20 %.
- La nature de la charge actuelle et les spécifications souhaitées du produit fini déterminent la sélection des paramètres de fonctionnement optimaux pour l'équipement.
- L'optimisation du reflux froid en tête de la colonne de stabilisation (réduction du débit de reflux froid) permet d'augmenter les températures de fond et de tête tout en conservant des gradients de température et des produits finis de qualité.

REFERENCE

- [1] Wikipédia.com, l'encyclopédie libre Documentation Internet.
- [2] ca m'intéresse
- [3] UTBS manuelle opératoire.
- [4] Durousset, M., Le marché du pétrole. Paris : Collection HISTEGE, (1999).
- [5] WAUQUIER, J, P., Le raffinage du pétrole, produits pétroliers, schémas de fabrication.
- [6] HADJARAB, D., Cours de raffinage 4^{ème} année.
- [7] Cours industrie pétrolière 1^{ere} année pétrochimie université de Skikda.
- [8] CILILE (J-C)., Technique de l'ingénieur– Distillation Absorption .1. Généralités sur les colonnes de fractionnement [J2 621].Vol. J2 (1994).
- [9]J. C. Cicile, Distillation. Absorption : colonnes à plateau, Technique de l'ingénieur, traité Génie des procédés, J 2 622, J 2 623, 1999.
- [10] Alexandre, R., Bernard, D., Le gaz naturel production, traitement et transport 1994.
- [11] WUITHIER, J.P., Raffinage et génie chimique. Paris : Edition Technip, publication de l'institut français, (1972). Tome 1.
- [12] WUITHIER, J.P., Raffinage et génie chimique. Paris : Edition Technip, publication de l'institut français, (1972). Tome 2.
- [13] R. Kessas, "Cours : Operations unitaires du génie chimique : Rectification continue", Faculté des sciences, Dépt. Chimie, Option: Génie chimie. USTO-MB, 20 Oct. 2007.
- [14] AL-LOUCH Rabei Mohammed, "Automatisation d'une installation distillation", Mémoire d'Ingénieur Industriel Finalité Automatique : 2005-2006. Ecole d'ingénieurs et d'Architectes de Fribourg (Suisse).