

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA - BOUMERDES

Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Génie des Procédés Chimiques et Pharmaceutiques

## Mémoire de Master

Présenté par

CHAIB Mohamed El Amine

Et

ZERAFI Mohamed Abdel basset

Filière : Hydrocarbures

Spécialité : Génie des Procédés : Raffinage

---

**Optimisation des paramètres de fonctionnement de la colonne de  
stabilisation du condensat au niveau de centre Zotti GCR**

---

Devant le jury :

|           |            |     |      |           |
|-----------|------------|-----|------|-----------|
| BEDDA     | KAHINA     | MCA | UMBB | Président |
| BOUCHEMEL | HASSIBA    | MCB | UMBB | Examineur |
| SAOUD     | Abdelsalam | MCA | UMBB | Encadrant |

Année Universitaire : 2023/2024

---

## Remerciement

---

*Tout d'abord, nous remercions Allah, le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la force, le courage et les moyens nécessaires pour mener à bien ce projet et obtenir notre diplôme.*

*Nous tenons également à exprimer notre sincère reconnaissance envers notre encadreur, **Mr. Saoud**, pour leur soutien et leur précieux conseils tout au long de notre travail.*

*Un immense merci à tous les membres de centre Zotti et tous les personnellés du Champ El Gassi, pour leur collaboration, leur assistance technique et leur encouragement tout au long de ce projet, en particulier **Mr. Naouri Lakhdar** et **Mr. Bouzid Haroun**.*

*Enfin, nous tenons à reconnaître et à apprécier sincèrement notre propre patience et notre effort tout au long de ce projet. Notre détermination et notre persévérance ont été essentielles pour mener à bien cette réalisation. Merci à nous-mêmes pour notre engagement sans relâche.*

*Nos remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce travail, et nous sommes profondément reconnaissants pour leur soutien constant et leurs encouragements.*

---

## Dédicace

---

*À ma mère,*

*Pour son amour inconditionnel, sa patience infinie et son soutien indéfectible.  
Votre sagesse et vos encouragements m'ont guidé tout au long de ce parcours.  
Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi.*

*À mon père,*

*Pour sa force, ses conseils avisés et son encouragement constant. Votre  
confiance en moi et votre soutien m'ont donné la détermination nécessaire  
pour atteindre cet objectif. Merci de toujours croire en moi.*

*À ma tante,*

*Pour son affection, ses encouragements et son soutien précieux. Votre  
présence et vos conseils m'ont été d'une grande aide. Merci pour tout ce que  
vous avez fait pour moi.*

*À mon binôme, ZERAFI Mohamed*

*Pour votre collaboration et votre amitié. Ce mémoire est le fruit de notre  
travail d'équipe et de nos efforts conjoints. Merci pour votre engagement et  
votre esprit de camaraderie.*

*À mes collègues Ríngo, Imène et Sabrín,*

*Pour leur soutien, leurs encouragements et leurs précieux conseils tout au  
long de cette aventure. Votre camaraderie et votre entraide ont rendu cette  
expérience encore plus enrichissante.*

---

## Dédicace

---

*À ma mère,*

*Pour ton soutien inlassable et ton amour inconditionnel. Tu as été ma principale source de motivation et mon inspiration constante. Ta confiance en moi n'a jamais vacillé, même lorsque j'avais des doutes. J'admire ta force et ta détermination, et je te suis profondément reconnaissant de m'avoir montré le chemin.*

*À mon père,*

*Ta présence constante et ton soutien indéfectible ont été mes forces tout au long de ma vie. Je te dédie chaque succès, reconnaissant pour ta guidance toujours présente et ton amour inconditionnel.*

*À mes frère ma sœur et à toute ma petite famille,*

*Vous êtes ma raison de me surpasser. Cette réalisation est dédiée à vous, pour l'amour et la joie que vous apportez à ma vie.*

*À mon binôme, CHAIB Mohamed Elamine*

*Merci d'avoir été une personne compréhensive et solidaire tout au long de ce travail.*

*À mes amis et collègues, Souhail, Sabrine et Imane*

*Que j'ai eu le privilège de rencontrer à l'INH et au club, et avec qui j'ai eu l'opportunité de travailler, je tiens à exprimer ma profonde gratitude pour les échanges enrichissants et les précieux moments de partage que nous avons vécus ensemble. Je suis extrêmement reconnaissant envers l'INH qui nous a réunis.*

*À mes anciens amis,*

*Avec qui j'ai partagé de nombreux souvenirs inestimables, vous avez toujours été dans mon cœur, même si nous ne nous sommes pas souvent rencontrés.*

# Sommaire

# Sommaire

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| Liste des figures .....                                                   | VII |
| Liste des tableaux.....                                                   | IX  |
| Liste des abréviations.....                                               | X   |
| Résumé .....                                                              | XII |
| Introduction .....                                                        | 13  |
| Présentation de centre Zotti GCR .....                                    | 3   |
| I. Présentation de centre Zotti GCR.....                                  | 3   |
| I.1. Historique .....                                                     | 4   |
| I.2. Situation géographique.....                                          | 4   |
| I.3. Présentation de centre Zotti.....                                    | 6   |
| I.3.1. Centre Old Zotti.....                                              | 6   |
| I.3.2. Centre Zotti GCR (New Zotti).....                                  | 6   |
| I.4. Description de l'unité.....                                          | 6   |
| I.4.1. Unité de compression et de réinjection de gaz .....                | 6   |
| I.4.1.1. Compresseurs gaz Booster(U23).....                               | 7   |
| I.4.1.2. Compresseurs gaz lift (U26) .....                                | 7   |
| I.4.2. Unité de déshydratation(U25) .....                                 | 9   |
| I.4.3. Unité de production d'air (U37) .....                              | 9   |
| I.4.4. Unité de production d'azote (U38) .....                            | 9   |
| I.4.5. Unité de stabilisation du condensat (U51) .....                    | 9   |
| I.4.6. Système de torches (U30/31).....                                   | 9   |
| I.4.7. Système dilution water (U45).....                                  | 10  |
| I.4.8. Le système de lubrification est pareil pour les compresseurs ..... | 10  |
| I.4.9. Système de contrôle .....                                          | 10  |
| II. Généralité sur le gaz naturel et le condensat .....                   | 12  |

|          |                                                                     |    |
|----------|---------------------------------------------------------------------|----|
| II.1.    | Généralité sur le gaz naturel .....                                 | 13 |
| II.1.1.  | Les sources du gaz naturel.....                                     | 14 |
| II.1.2.  | Origine des constituants du gaz naturel .....                       | 14 |
| II.1.3.  | Caractéristiques du gaz naturel.....                                | 14 |
| II.1.4.  | Les différents types de gaz naturel.....                            | 15 |
| II.1.5.  | Technique du traitement du gaz naturel (associé).....               | 15 |
| II.2.    | Généralité sur le Condensat de Gaz Naturel.....                     | 18 |
| II.2.1.  | Définition.....                                                     | 18 |
| II.2.2.  | Domaines d'utilisation du Condensât .....                           | 20 |
| III.     | Description de l'unité de stabilisation .....                       | 22 |
| III.1.   | Système de traitement de condensat.....                             | 23 |
| III.2.   | Système de traitement de condensat de Zotti.....                    | 25 |
| III.3.   | Description des équipements de l'unité de stabilisation.....        | 26 |
| III.3.1. | La colonne de stabilisation .....                                   | 26 |
| III.3.2. | Le rebouilleur .....                                                | 29 |
| III.3.3. | L'échangeur de chaleur .....                                        | 30 |
| III.3.4. | Les pompes .....                                                    | 30 |
| III.3.5. | Les aéroréfrigérants et le ballon de reflux .....                   | 31 |
| IV       | Généralité sur la simulation et les modèles t .....                 | 32 |
| IV.1.    | Simulation des procédés .....                                       | 33 |
| IV.2.    | Définition de logiciel Aspen Hysys .....                            | 33 |
| IV.3.    | Modes de fonctionnement de simulateur .....                         | 34 |
| IV.4.    | Concepts et caractéristiques du simulateur Aspen HYSYS.....         | 34 |
| IV.4.1.  | Fluide package .....                                                | 35 |
| IV.4.2.  | L'Environnement dans Aspen HYSYS (Aspen HYSYS Environnements) ..... | 35 |
| IV.4.3.  | Le sous-environnement de subflowsheet.....                          | 35 |

|         |                                                                |    |
|---------|----------------------------------------------------------------|----|
| IV.4.4. | La vue Propriété dans Aspen HYSYS .....                        | 36 |
| IV.5.   | Les modèles thermodynamique applique dans la simulation .....  | 36 |
| IV.5.1. | Équation d'état de Van der Waals.....                          | 36 |
| IV.5.2. | Équation d'état de Redlich Kwong .....                         | 36 |
| IV.5.3. | Équation de Soave, Redlich et Kwong (SRK) .....                | 37 |
| IV.5.4. | Équation de Lee, Kesler, Plöcker .....                         | 37 |
| IV.5.5. | Modèle Peng Robinson.....                                      | 38 |
| IV.5.6. | Modèle Chao Seader.....                                        | 39 |
| IV.5.7. | Modèle Grayson Streed .....                                    | 39 |
| IV.6.   | Utilisation des modèles thermodynamiques dans l'industrie..... | 39 |
| V.      | Simulation et vérification des paramètres.....                 | 41 |
|         | Simulation.....                                                | 41 |
| V.1.    | Problématique .....                                            | 42 |
| V.2.    | Conditions et paramètre de design.....                         | 43 |
| V.3.    | Composition de la charge d'alimentation.....                   | 44 |
| V.4.    | Choix de modèle thermodynamique .....                          | 48 |
| V.5.    | Simulation d'un cas réel.....                                  | 49 |
| V.6.    | Les résultats obtenus d'après la simulation de cas réel :..... | 50 |
| V.7.    | Optimisations des Paramètres.....                              | 52 |
| V.7.1.  | Les paramètres de marche de l'unité de stabilisation .....     | 52 |
| V.7.2.  | Optimisation de température et débit de rebouilleur .....      | 53 |
| V.7.3.  | Optimisation de débit de reflux : .....                        | 60 |
| V.7.4.  | Récapitulatif des résultats obtenus :.....                     | 63 |
| V.7.5.  | Interprétation des résultats.....                              | 63 |
|         | Conclusion.....                                                | 65 |



## Liste des figures

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure I-1 Situation géographique du champ El-Gassi .....                                                                                | 5  |
| Figure I-2 Compresseurs gaz Booster(U23).....                                                                                            | 7  |
| Figure I-3 compresseur gaz lift .....                                                                                                    | 8  |
| Figure I-4 compresseur gaz miscible .....                                                                                                | 8  |
| Figure II-1 dispositif de mesure de pression de vapeur REID.....                                                                         | 19 |
| Figure III-1 Schéma de fractionnement générique GSPA .....                                                                               | 24 |
| Figure III-2 Système de traitement de condensat de Zotti PFD .....                                                                       | 26 |
| Figure III-3 Schéma de La colonne de stabilisation au centre Zotti GCR .....                                                             | 28 |
| Figure III-4 vue générale du rebouilleur au centre Zotti GCR .....                                                                       | 29 |
| Figure III-5 Schéma d'un échangeur de chaleur.....                                                                                       | 30 |
| Figure III-6 Equipement de traitement du condensat de Zotti.....                                                                         | 31 |
| Figure V-1 Fenêtre De La Convergence De La Colonne de stabilisation .....                                                                | 44 |
| Figure V-2 Composition de la charge phase liquide .....                                                                                  | 47 |
| Figure V-3 composition de la charge phase vapeur .....                                                                                   | 48 |
| Figure V-4 Schéma De La Simulation Actuel Du Procédé .....                                                                               | 50 |
| Figure V-5 Évolution de TVR et énergie de rebouilleur en fonction de débit de rebouilleur à $T_{rb}=176.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ..... | 54 |
| Figure V-6 Évolution de TVR et énergie de rebouilleur en fonction de débit de rebouilleur à $T_{rb}=177\text{ }^{\circ}\text{C}$ .....   | 55 |
| Figure V-7 Évolution de TVR et énergie de rebouilleur en fonction de débit de rebouilleur à $T_{rb}=178\text{ }^{\circ}\text{C}$ .....   | 55 |
| Figure V-8 Évolution de TVR et énergie de rebouilleur en fonction de débit de rebouilleur à $T_{rb}=179\text{ }^{\circ}\text{C}$ .....   | 55 |
| Figure V-9 Évolution de TVR et énergie de rebouilleur en fonction de débit de rebouilleur à $T_{rb}=180\text{ }^{\circ}\text{C}$ .....   | 56 |
| Figure V-10 profil de TVR en fonction de débit de rebouilleur a différent température de chauffage .....                                 | 59 |

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure V-11 profil d'évolution de l'énergie de chauffage pour les différent température de chauffage ..... | 60 |
| Figure V-12 variation de débit de production et la TVR en fonction de débit de reflux .....                | 62 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau II-1 Composition molaire du condensat stabilise.Caractéristiques du Condensât.....                              | 18 |
| Tableau IV-1 : Limites d'application de l'équation de PENG ROBINSON .....                                               | 39 |
| Tableau IV-2 Les utilisations des modèles thermodynamique pour les processus .....                                      | 40 |
| Tableau V-1 les conditions de la charge d'alimentation selon le design .....                                            | 43 |
| Tableau V-2 composition de la charge d'alimentation selon le design .....                                               | 44 |
| Tableau V-3 composition des produits finis d'après le design .....                                                      | 45 |
| Tableau V-4 Les paramètres de fonctionnement réel sur le DCS .....                                                      | 49 |
| Tableau V-5 Les résultats de simulation.....                                                                            | 50 |
| Tableau V-6 Paramètres de marches de quelques cas réelles .....                                                         | 52 |
| Tableau V-7 variation de TVR en fonction de température de chauffage et de débit de rebouilleur .....                   | 57 |
| Tableau V-8 variation d'énergie de rebouilleur en fonction de température de chauffage et de débit de rebouilleur ..... | 58 |
| Tableau V-9 Influence de débit de reflux sur les paramètres de la colonne .....                                         | 61 |
| Tableau V-10 Comparaison des parametes des cas design, cas reelle et cas optimise.....                                  | 63 |

---

## Liste des abréviations

---

### Liste des abréviations

|                        |                                             |
|------------------------|---------------------------------------------|
| <b>AR</b>              | El-Agreb                                    |
| <b>GS</b>              | El-Gassi                                    |
| <b>SNPA</b>            | La Société Nationale Du Pétrole d'Aquitaine |
| <b>GCR</b>             | Gaz Compression & Réinjection               |
| <b>TVR</b>             | Tension de Vapeur Reid                      |
| <b>Bar</b>             | Bar mesure                                  |
| <b>BEPJ</b>            | Barils d'eau Par Jour                       |
| <b>EOP</b>             | Procédure d'exploitation de l'équipement    |
| <b>KV</b>              | Kilovolt                                    |
| <b>KW</b>              | Kilowatt                                    |
| <b>M<sup>3</sup></b>   | Mètres cubes                                |
| <b>M<sup>3</sup>/h</b> | Mètres cubes par heure                      |
| <b>MSDS</b>            | Feuilles de données de sécurité du matériel |
| <b>P&amp;ID</b>        | Diagramme d'instrumentation et de conduite  |
| <b>PPE</b>             | Équipement Protectif Personnel              |
| <b>PSV</b>             | Vanne de sécurité de surpression            |
| <b>SOP</b>             | Procédure d'Exploitation du Système         |
| <b>V</b>               | Ballon (Vessel)                             |
| <b>X</b>               | Echangeur de chaleur                        |
| <b>P</b>               | Pompes                                      |

---

## Liste des abréviations

---

|                 |                                    |
|-----------------|------------------------------------|
| <b>HF</b>       | Rebouilleur                        |
| <b>T</b>        | Bac (tank)                         |
| <b>DCS</b>      | Système de Control et Distribution |
| <b>HEH</b>      | Haoud El-Hamra                     |
| <b>PPM</b>      | Partie Par Million                 |
| <b>OFF-Spec</b> | Hors Spécification                 |
| <b>ON-Spec</b>  | à la Spécification                 |
| <b>Trb</b>      | Température de rebouilleur         |
| <b>Tf</b>       | Température de fond                |
| <b>Tt</b>       | Température de tête                |
| <b>BP</b>       | Basse pression                     |
| <b>Qrb</b>      | Débit de rebouilleur               |
| <b>Qre</b>      | Débit de reflux                    |
| <b>Qpr</b>      | Débit de production                |
| <b>Erb</b>      | Energie de rebouilleur             |
| <b>Ecd</b>      | Energie de condenseur              |

---

## Résumé

---

Ce mémoire porte sur l'unité de stabilisation du condensat au centre de compression et de réinjection de gaz Zotti **GCR**, dont l'objectif principal est de produire un condensat conforme aux spécifications du côté **TVR**. Les paramètres de fonctionnement actuels de l'unité ont été ajustés par le personnel exploitant pour maintenir son bon fonctionnement et assurer la conformité des produits finis, tout en minimisant la consommation d'énergie.

La simulation de l'unité de stabilisation permet d'optimiser ces paramètres de fonctionnement en utilisant une méthodologie d'optimisation expérimentale. Les données pratiques collectées via le système de contrôle **DCS** montrent un condensat hors spécifications, avec une **TVR de 866 [mbar]**. En utilisant un simulateur, nous avons cherché à optimiser ces paramètres pour obtenir un condensat conforme aux spécifications, tout en réduisant la consommation d'énergie dans le rebouilleur.

---

## Abstract

---

This thesis focuses on the condensate stabilization unit at the Zotti **GCR** gas compression and reinjection center, whose main objective is to produce condensate that meets the **TVR** specifications. The current operating parameters of the unit have been adjusted by the operating personnel to maintain its proper functioning and ensure the compliance of the finished products, while minimizing energy consumption.

The simulation of the stabilization unit allows for the optimization of these operating parameters using an experimental optimization methodology. Practical data collected via the **DCS** control system shows out-of-spec condensate, with a **TVR of 866 mbar**. Using a simulator, we aimed to optimize these parameters to obtain condensate that meets specifications while reducing energy consumption in the reboiler.

---

## تلخيص

---

يتناول هذا البحث وحدة تثبيت المكثفات في مركز ضغط وإعادة حقن الغاز زوتي **GCR** ، والتي تهدف إلى إنتاج مكثفات مطابقة للمواصفات من جانب **TVR** . تم ضبط معايير التشغيل الحالية للوحدة من قبل الموظفين المشغلين للحفاظ على الأداء الجيد للوحدة وضمان توافق المنتجات النهائية مع المواصفات، مع تقليل استهلاك الطاقة إلى الحد الأدنى.

تساعد محاكاة وحدة التثبيت في تحسين هذه المعايير التشغيلية باستخدام منهجية تحسين تجريبية. تُظهر البيانات العملية المجمعة عبر نظام التحكم **DCS** أن المكثف خارج المواصفات، حيث بلغت قيمة **TVR 866 [ملي بار]**. باستخدام جهاز المحاكاة، حاولنا تحسين هذه المعايير للحصول على مكثف يفي بالمواصفات المطلوبة، مع تقليل استهلاك الطاقة في جهاز إعادة الغليان إلى الحد الأدنى.

# Introduction

# Introduction

---

## Introduction

L'Algérie figure sur l'échelle internationale avec des réserves important en pétrole brut contenues dans une multitude des gisements éparpillés à travers le bassin saharien parmi lesquels on trouve le gisement d'El-Gassi La région d'El-Gassi comprend trois champs principaux, El-Gassi, Zotti, El-Agreb, le principal but de ces champs est de traiter le pétrole brut avant d'envoyer vers HEH avec des spécifications de TVR et densité bien déterminés.

Le centre de compression new Zotti est conçu principalement pour comprimer le gaz avant de le réinjecter dans le gisement pour le but d'augmenter la pression de gisement et minimiser le taux de gaz torché.

Au niveau de centre Zotti GCR on trouve une colonne de distillation destinée pour stabiliser le condensat récupéré dans les ballons de flash, afin d'ajuster leur TVR avant de le renvoyer au centre GS1 où il est mélangé avec l'huile produit pour diminuer sa densité.

Notre travail consiste à la simulation et l'optimisation des paramètres de fonctionnement de la colonne de stabilisation pour faire exploiter l'unité de stabilisation dans les bonnes conditions de marches dans le but de voir un condensat stable avec une TVR  $\approx 0.75$  bar à la sortie de la colonne.

Le mémoire résultant de cette étude est divisé en cinq chapitres :

Dans le premier, nous présentons le champ pétrolier de Gassi El Agreb et son contexte historique, tout en expliquant les différentes activités et opérations qui s'y déroulent.

Le second chapitre nous offre une vue d'ensemble des caractéristiques du gaz naturel et du condensat, les domaines d'utilisation et les procédés de traitement associés à ces ressources.

Le troisième est conscrit à l'exposition du fonctionnement de l'unité de stabilisation actuellement installés dans le centre Zotti, et les problèmes confrontés auxquels on cherche solution.

Le contenu de ce chapitre quatre présente principalement une vue d'ensemble de la simulation et des modèles thermodynamiques à l'aide du logiciel HYSYS.

Dans le chapitre cinq nous avons essayé de vérifier les paramètres de fonctionnement de la colonne de stabilisation dans le cas design et le cas réel pour confirmer l'exactitude de notre modèle de simulation de l'unité de stabilisation par le logiciel Hysys.



# Introduction

---

Par la suite nous avons vérifié les paramètres de fonctionnement de la colonne de stabilisation dans les cas de conception et réel afin de confirmer l'exactitude de notre modèle de simulation de l'unité de stabilisation à l'aide du logiciel Hysys. En parallèle, nous avons optimisé les paramètres de l'unité de stabilisation de condensat au centre de compression et de réinjection de gaz Zotti GCR pour obtenir un condensat stable conforme aux spécifications de TVR.

Enfin, ce mémoire est clôturé par une conclusion générale décrivant les principaux résultats de ce travail de recherche.

## **CHAPITRE I**

### **Présentation de centre Zotti GCR**

## I.1.Historique

En mars 1958, deux ans après la découverte du gisement de Hassi Messaoud, la société nationale du pétrole d'Aquitaine (SNPA) a obtenu un permis d'exploitation et de développement de 2000 km<sup>2</sup>. Après la mise en évidence par la sismique, d'un important anticlinal dans le précambrien dans le bassin de l'Oued Mya, le premier puits GS1 a été foré au flanc sud-est de cet anticlinal et rencontre en janvier 1959 par le sondage AR2 et en janvier 1960 par le sondage AR1, le champ de la direction d'El Gassi est composé de 5 centres (Zotti, GS1, West Agreb, AR2, AR6).

Le groupe ELF est une société française spécialisée dans l'exploration, la production, le raffinage et la distribution de pétrole et de gaz. La société a été créée en 1967 sous le nom de "ELF Aquitaine" suite à la fusion de la Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine et de la Société Nationale Aquitaine (ELF). En 2000, ELF Aquitaine a été acquise par la société française Total pour former Total Final Elf, qui est devenue Total en 2003.

Le 16 avril 2000, **SONATRACH** et **AMERADA HESS** ont signé un Accord de Partage de Production (APP) pour les centres El Gassi, Zotti et El Agreb (communément appelé complexe GEA), créant ainsi SONAHESS, assurant la continuité de l'exploitation et du développement du complexe GEA.

SONAHESS est active dans le secteur pétrolier par l'exploration, le développement et l'exploitation du complexe GASSI EL AGREB (GEA) et dans le cadre de ses activités SONAHESS est concernée par l'Hygiène, la Sécurité et l'Environnement (HSE)

## I.2.Situation géographique

Les gisements GEA se trouvent dans le Sahara, à environ 900 km au sud-est de la capitale et à 100 km au sud-ouest de la ville de Hassi Messaoud.

La région de GEA comprend trois champs producteurs de brut (EL-GASSI, ZOTTI et EL-AGREB) où on trouve quatre centres de traitement de brut (West Agreb, AR06, Old Zotti et GS01), un centre de réinjection d'eau (AR02) et un centre de compression et de réinjection de gaz (New Zotti).

- **El-Gassi** : Superficie 207 Km<sup>2</sup>, découvert en 1956.

- **Zotti** : Superficie 77 Km<sup>2</sup>, découvert en 1959.
- **El-Agreb** : Superficie 126 Km<sup>2</sup>, découvert en 1963.

Chaque champ dispose d'un réseau de pipe-line et d'appareillage (formant le procès) permettant de pomper le pétrole brut dans les conditions appropriées à l'expédition. La région compte un total de plus de 100 puits. La région d'El-Gassi est importante en raison de sa part dans la production des hydrocarbures du pays, toute la quantité d'huile est reliée à la canalisation amenant vers **Haoud EL Hamra** par des pipes à partir du centre de production d'El-Gassi.

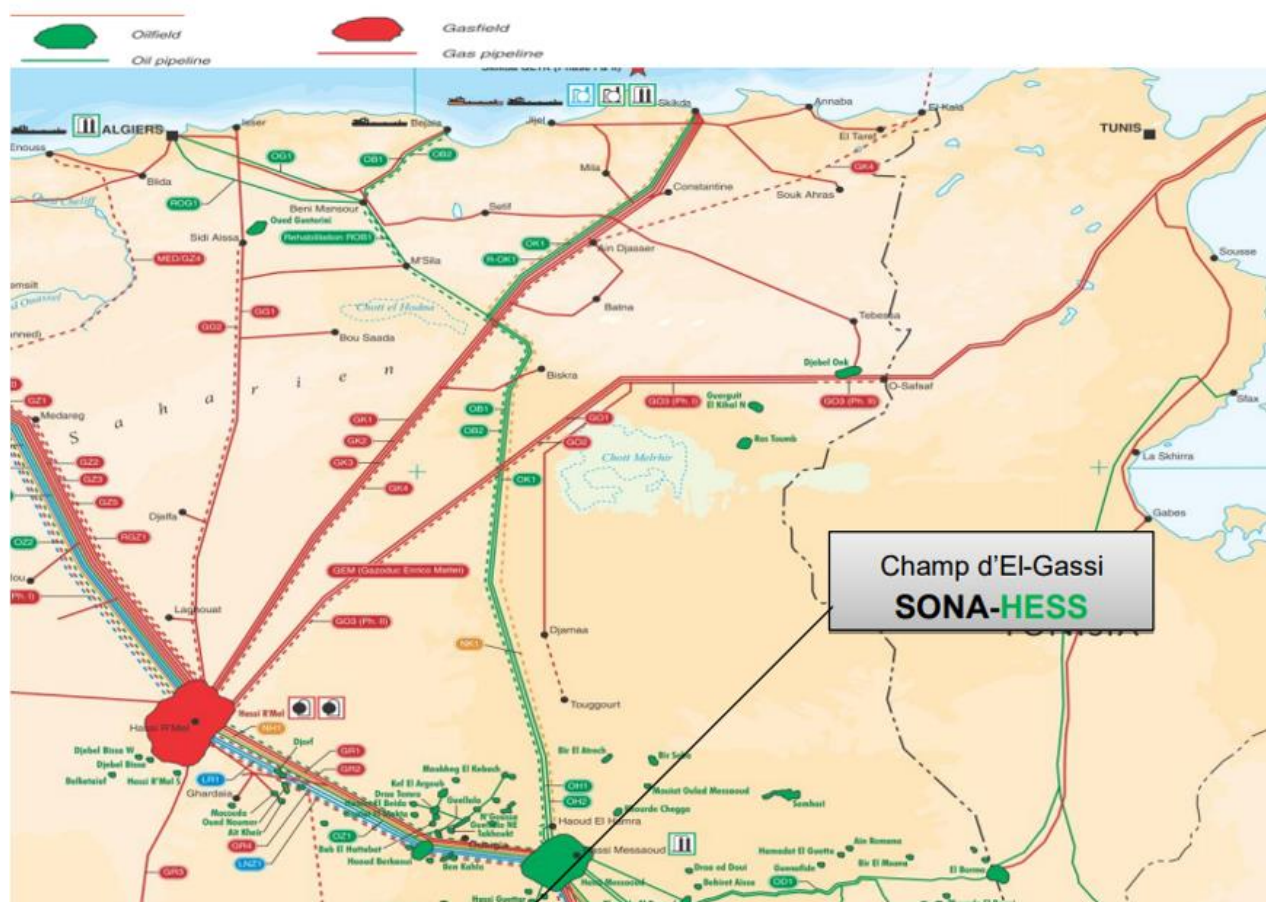


Figure I-1 Situation géographique du champ El-Gassi

## **I.3.Présentation de centre Zotti**

### **I.3.1.Centre Old Zotti**

Il contient actuellement uniquement l'activité de séparation 1er étage où l'huile et l'eau des séparateurs existants sont acheminés aux oléoducs 10" existants vers les séparateurs de GS1. Le gaz est transféré dans un gazoduc vers le 1er étage des compresseurs boosters de new Zotti.

Ces installations comprennent :

- 02 séparateurs (10-V-110/120) en production.
- 01 séparateur test pour jaugeage des puits (10-V-100).
- 01 torche verticale.

### **I.3.2.Centre Zotti GCR (New Zotti)**

Station de compression et de réinjection du gaz appelée G.C.R, avant d'être injecté comme gaz lift ou directement dans le gisement (gaz miscible), le gaz passe par plusieurs étape ou étage de compression.

Le gaz provenant des champs EL-Agreb (AR 06 et West Agreb) à environ 4 bars entre dans le premier étage de compression et sort avec une pression avoisine 14 bars puis s'additionne au gaz des champs GS-1, le tout est comprimé dans le deuxième étage du booster pour atteindre une pression de 40 bars.

Ce gaz sera acheminé vers l'unité de déshydratation pour séchage, à la sortie il entrera dans les compresseurs ou il sera comprimé de 40 bars à 150 bars (gaz lift). Une partie de ce gaz lift est envoyé vers les puits producteurs d'huile (El Gassi, Zotti, El-Agreb), l'autre partie entrera dans un autre compresseur ou il sera comprimé jusqu'à 330 bars (gaz miscible) et sera injecté dans le gisement d'El Gassi.

## **I.4.Description de l'unité**

### **I.4.1.Unité de compression et de réinjection de gaz**

Les trois unités de compression (Booster, gaz lift et miscible) sont conçues pour augmenter la pression du gaz jusqu'à 330 bars pour être envoyé au gisement.

#### I.4.1.1. Compresseurs gaz Booster(U23)

Il y a trois compresseurs centrifuges parallèles à deux étages à Zotti. Où on comprime le gaz venant d'El-Agreb + Old Zotti de 4 à 14 bars dans le 1er étage et de 14 à 40 bars dans le 2<sup>ème</sup> étage en ajoutant le gaz venant de GS1.



*Figure I-2 Compresseurs gaz Booster(U23)*

#### I.4.1.2. Compresseurs gaz lift (U26)

Le gaz en provenance de l'unité de déshydratation et de la ligne de Hassi Messaoud (GR01/02), entrera dans les compresseurs gaz lift où il sera comprimé de 40 à 150 bars. À la sortie, le gaz chaud passe à travers des aéroréfrigérant pour le refroidir après il sera dispatché entre manifolds du gaz lift et la ligne d'aspiration des compresseurs de gaz miscible. Les compresseurs gaz lift sont des compresseurs centrifuges entraînés par des moteurs électriques à vitesse variable.





*Figure I-3 compresseur gaz lift*

#### **I.4.1.3. Compresseurs gaz miscible (U23)**

L'unité de compression gaz miscible comprime le gaz provenant de l'unité de compression de gaz lift de 150 bars jusqu'à 330 bars à travers un compresseur centrifuge entraîné par un moteur électrique à vitesse variable. Le gaz sera refroidi avant de l'envoyer vers les manifolds du gaz miscible.



*Figure I-4 compresseur gaz miscible*

**I.4.2.Unité de déshydratation(U25)**

Elle a pour fonction de sécher le gaz (adsorber l'eau contenu dans le gaz) jusqu'à 55 ppm ou inférieur afin d'éviter la formation des hydrates dans le procès et la corrosion et spécialement en présence des gaz acide.

**I.4.3.Unité de production d'air (U37)**

L'air comprimé produit par compresseur d'air (Atlas Copco) est stocké dans un ballon, utilisé comme :

- L'air service (pour nettoyage, baillage...).
- L'air instrument produit par la déshydratation de l'air service une partie est utilisé pour le fonctionnement des instruments (vanne de régulation...) est l'autre partie est utilisé pour la production du nitrogène.

**I.4.4.Unité de production d'azote (U38)**

C'est une unité qui produit N<sub>2</sub> à partir de l'air instrument avec un taux de tolérance de 4% d'oxygène, utilisé pour l'étanchéité des compresseurs, l'inertage des installations en cas de besoin, et dans le bac de condensat ON-Spec.

**I.4.5.Unité de stabilisation du condensat (U51)**

A pour but de stabiliser le condensat non spécifié récupéré dans les ballons, via une colonne de stabilisation pour atteindre une valeur de TVR (Tension de Vapeur Reid) conforme à la spécification.

Au niveau de centre Zotti GCR on appelle condensat OFF-Spec toute la charge d'hydrocarbures liquide qui en récupéré à partir des slug-catcher et des ballons d'aspiration et de refoulement des compresseurs, leur TVR est élevé par apport au condensat ON-Spec qui est le produit de fond de la colonne de stabilisation après traitement et élimination des fractions volatile tel que C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, jusqu'à C<sub>4</sub>, sa TVR doit être 0.75 bar au maximum.

**I.4.6.Système de torches (U30/31)**

Les deux lignes de torches qui sont installés devront pouvoir accepter les débits de gaz torchés suivant les différents cas de fonctionnement des installations, ils sont conçus pour des cas extrêmes.



On distingue deux types torche :

- une torche "chaude" pour gaz humide.
- une torche "froide" pour gaz sec.

### **I.4.7.Système dilution water (U45)**

C'est une unité qui contient une section de traitement physique et chimique d'eau pour le rendre conforme aux spécifications (oxygène scavenger, inhibiteur de corrosion) afin de l'utiliser pour dissoudre les sels présents dans le brut en évitant le bouchage des tubings et la corrosion des conduites. Une section des pompes pour injecter l'eau douce directement vers séparateur à 17 bars et vers puits 150 bars.

### **I.4.8.Le système de lubrification est pareil pour les compresseurs**

#### **I.4.8.1.Injection chimique (U55)**

Fournie la quantité nécessaire de produit chimique à l'unité 45.

#### **I.4.8.2.Système eau incendie (U50)**

Se déclenchent manuellement ou automatiquement, il est composé d'un circuit d'eau sous pression et de CO2 dans certaines installations.

#### **I.4.8.3.Unité gaz combustible (fuel Gas)**

Un réseau d'alimentation en gaz combustible est prévu pour assurer l'alimentation en fuel gas des turbines, du réchauffeurs (25-HF-102) (fours) , du rebouilleur 51-H-102, off-spec 51- V- 103/104,gaz de balayage de torche, deterator.

#### **I.4.8.4.Centrale électrique (PGP)**

Une centrale électrique contient quatre turbogénératrices totalisant environ 80 MW. Elle Fournie l'énergie nécessaire au fonctionnement de tout le champ GEA.

### **I.4.9.Système de contrôle**

#### **I.4.9.1.Système numérique de commandes centralisées (DCS)**

Les installations sont pilotées par un système de contrôle centralisé DCS (Distributed control système) de marque Emerson.

**I.4.9.2.Système d'Arrêt d'Urgence (ESD)**

Le Système d'Arrêt d'Urgence couvre l'ensemble des installations de production. Il prévient et minimise les risques de sécurité survenant en raison d'excès ou d'anomalies dans le processus ou en raison des conditions d'exploitation anormale.

**I.4.9.3.Système F&G**

L'objectif premier du système F&G est l'alerte précoce du personnel sur des situations potentiellement dangereuses en termes d'atmosphère inflammable ou toxique ou d'incendie.

## **CHAPITRE II**

### **Généralité sur le gaz naturel et le condensat**

Le gaz naturel et les condensats sont des ressources énergétiques essentielles qui jouent un rôle crucial dans le paysage énergétique mondial. Leur importance découle de leur polyvalence et de leur contribution significative à la satisfaction des besoins énergétiques des nations. Le gaz naturel, principalement composé de méthane, est une source d'énergie propre et polyvalente utilisée dans une variété d'applications, notamment la production d'électricité, le chauffage domestique et industriel, ainsi que dans le secteur des transports. Les condensats, également connus sous le nom de liquides de gaz naturel (LGN), sont des hydrocarbures liquides présents en mélange avec le gaz naturel dans les gisements souterrains. Ces liquides comprennent principalement des composés tels que l'éthane, le propane et le butane, qui ont une valeur commerciale en tant que matières premières pour la fabrication de produits pétrochimiques et de carburants.

Dans ce chapitre, nous explorerons en profondeur les caractéristiques du gaz naturel et des condensats, ainsi que leur importance dans le contexte énergétique actuel. Nous examinerons également les méthodes d'exploration, de production et de traitement de ces ressources, mettant en lumière les défis techniques et environnementaux associés à leur exploitation. En outre, nous discuterons des tendances récentes dans l'industrie du gaz naturel et des condensats, notamment l'évolution des technologies de production et les implications sur le marché mondial de l'énergie. Enfin, nous aborderons les considérations environnementales et les efforts visant à promouvoir une utilisation plus durable de ces ressources afin de répondre aux défis du changement climatique et de la transition énergétique.

## **II.1.Généralité sur le gaz naturel**

Le gaz naturel est une énergie fossile comme l'huile ou le charbon présent naturellement dans des roches poreuses sous forme gazeuse. Il est donc composé majoritairement d'hydrogène et de carbone, d'où son nom d'hydrocarbure. IL est considéré comme une énergie primaire non renouvelable bien répartie dans le monde propre et de plus en plus utilisé. IL est aussi celui qui émet le moins de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et s'associe le mieux avec les énergies renouvelables. Il dispose de nombreuses qualités : abondance relative, souplesse d'utilisation, qualités écologiques (peu polluant) et prix compétitifs. La mise en œuvre de cette énergie repose sur la maîtrise technique de l'ensemble de la chaîne gazière, qui va de production, de traitement et de transport.

Le gaz naturel, matière première de plus en plus recherchée tant pour des raisons d'environnement que d'efficacité, est désormais considéré comme une énergie de premier choix pour les 21<sup>ème</sup> siècle, en raison de sa disponibilité et de sa qualité d'énergie propre qui joue un rôle de plus en plus grand dans la génération électrique.

### **II.1.1.Les sources du gaz naturel**

Le gaz naturel remplit les pores et les fractures des roches sédimentaires par les profondeurs de la terre et des fonds marins. La partie d'une formation sédimentaire qui renferme le gaz naturel est souvent désignée sous les noms de "réservoir", "champ" ou « gisement ». Le gaz naturel existe partout dans le monde, seul ou associé à du pétrole brut. Il peut être piégé dans différents types de roches sédimentaires, notamment des grès, des carbonates, des filons couches de charbon et des lits de schistes argileux ou "shales".

### **II.1.2.Origine des constituants du gaz naturel**

Il existe trois modes possibles pour la formation des hydrocarbures gazeux naturels :

1. **Gaz bactérien** : Ce mode est dû à l'action de bactéries sur les débris organiques qui accumulent le sédiment, le gaz formé et appelé gaz bactérien ou organique.
2. **Gaz inorganique** : Ce mode reste très secondaire. Les gaz volcaniques ou les sources hydrothermales contiennent parfois du méthane et les inclusions fluides des roches métamorphiques ou magmatiques renferment souvent des hydrocarbures légers, principalement du méthane.
3. **Gaz thermique** : Au cours de l'évolution des sédimentaires, les sédiments sont portés à des températures et pressions croissantes, vont subir une dégradation thermique qui va donner à côté des hydrocarbures une large gamme de composés non hydrocarbonés.

### **II.1.3.Caractéristiques du gaz naturel**

#### **1. La densité du gaz naturel**

En faisant l'hypothèse que dans les conditions de références considérées, une mole du gaz étudié occupe le même volume qu'une mole d'air, alors, elle est définie comme étant le rapport de sa masse molaire à celle de l'air dans les conditions normales de température et de pression.

## 2. Le pouvoir calorifique (PC)

C'est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une quantité unitaire du gaz, la combustion étant effectuée à la pression atmosphérique et à une température. Le pouvoir calorifique s'exprime en joules par mètre cube ( $J/m^3$ ), il se divise en deux :

- **Pouvoir calorifique supérieur (PCS)** : PCS c'est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète, à pression constante, d'un mètre cube de gaz mesuré à  $0^\circ C$  sous 1013 mbar. Les constituants du mélange combustible sont pris secs et à  $0^\circ C$  et les produits de la combustion sont ramenés à  $0^\circ C$ . L'eau résultant de la combustion est supposée ramenée à l'état liquide.
- **Pouvoir calorifique inférieur (PCI)** : répond à la même définition que celle du PCS, mais l'eau de combustion est supposée conservée à l'état de vapeur.

### II.1.4. Les différents types de gaz naturel

Ils sont classés selon la nature des Phases en présence dans les conditions du gisement et de surface.

Ce qui conduit à distinguer les types suivants :

- **Gaz sec** : Ne forme pas de gaz liquide dans les conditions de production.
- **Gaz humide** : Forme une phase liquide au cours de production dans les conditions de surface, sans qu'il y ait condensation rétrograde dans le gisement.
- **Gaz à condensat** : Forme une phase liquide dans le réservoir lors de productions par condensation rétrograde.
- **Gaz associé** : Coexistant dans la roche-réservoir avec un gisement de pétrole. Il peut être présent sous forme de gaz dissous dans l'huile, ou sous forme de gaz de couverture (Gas-cap-Gas) situé au-dessus de la réserve de pétrole (huile).

### II.1.5. Technique du traitement du gaz naturel (associé)

Le traitement du gaz naturel consiste à séparer les constituants présents à la sortie du puits tel que l'eau, le gaz acide, et les hydrocarbures lourds pour amener le gaz à des spécifications de transport ou des spécifications commerciales ou des spécifications d'utilisation (Gas-lift & gaz miscible).

La répartition de ces traitements entre les lieux de production et de livraison résulte des considérations économiques. Il est généralement préférable de ne réaliser sur le site de production que les traitements qui rendent le gaz transportable ou conforme à l'utilisation. Les principaux

traitements qui sont effectués sont : Une première étape permet de réaliser la séparation de fractions liquides éventuellement contenues dans l'effluent du puits, fractions liquides d'hydrocarbures (gaz associé ou à condensat d'eau libre), et l'étape de traitement qui suit dépend des modes de transport et d'utilisation adoptée.

Les procédés de traitement du gaz sont multiples, et le choix de l'une d'elles se base sur les critères suivants :

- Qualité de l'effluent brut.
- Taux de récupération des hydrocarbures liquides visés.
- Spécification des produits finis.
- Coût global des investissements.

Certains composants du gaz naturel doivent être extraits soit pour des raisons imposées par les étapes ultérieures de traitement ou de transport, soit pour se conformer à des spécifications commerciales ou réglementaires.

Il peut être ainsi nécessaire d'éliminer au moins partiellement :

- L'hydrogène sulfuré  $H_2S$  toxique et corrosif.
- Le dioxyde de carbone  $CO_2$  corrosif.
- Le mercure corrode les équipements fabriqués en aluminium.
- L'eau conduisant à la formation des hydrates.
- Les hydrocarbures lourds condensant dans les réseaux de transport.

Les spécifications à respecter pour le gaz traité sont liées soit aux conditions de transport, soit aux conditions d'utilisation.

Dans le cas de transport par gazoduc, les spécifications de transport visent à éviter la formation d'une phase liquide, le bouchage de conduite par des hydrates et une corrosion trop importante.

Dans le cas d'un gaz commercial les spécifications sont plus sévères et comprennent également une fourchette dans lequel doit se situer le pouvoir calorifique. Des spécifications typiques pour un gaz commercial. Le gaz associé du pétrole est un mélange (gaz + hydrocarbures liquides) contenant une forte proportion d'eau de gisement.

Les étapes de traitement d'un gaz sont les suivantes :

**1. Elimination de l'eau :**

L'eau libre contenue dans la charge est éliminée par décantation au niveau des ballons de séparation et ce après un refroidissement.

Par contre, dans l'industrie pétrolière algérienne, l'eau de saturation des hydrocarbures est éliminée soit par absorption en utilisant un procédé de glycol (TEG) ou par adsorption en utilisant un dessiccant solide tel que tamis moléculaires.

**2. Extraction des hydrocarbures liquides**

Elle se fait par abaissement progressif de la température du gaz associé suivant des procédés de refroidissement tels que :

- **Procède de RITCHARD** : Il est basé sur le refroidissement du gaz par échanges thermiques et par détente avec utilisation d'une boucle de propane comme système réfrigérant et une détente par une vanne dite vanne Joule Thomson, en fin de cycle la température voisine de  $-23^{\circ}\text{C}$ .
- **Procède de HUDSON** : Il est basé sur le refroidissement du gaz par échanges thermiques et par une série de détente à travers une vanne Joule Thomson et une machine dynamique appelée « Turbo-Expander » qui permet d'atteindre un niveau de  $-40^{\circ}\text{C}$ .



## II.2.Généralité sur le Condensat de Gaz Naturel

### II.2.1.Définition

Un condensât de gaz naturel est un mélange liquide d'hydrocarbures légers obtenu par condensation de certains gaz naturels bruts. Le condensât est constitué de molécules qui existent à l'état gazeux dans un gisement de gaz naturel mais qui se condensent par détente et refroidissement lors de la production de ce dernier, on récupère ainsi des quantités importantes de propane et de butane (GPL) mais également de produits constitués des molécules comportant de 5 à 10 ou à 15 atomes de carbone : le condensât proprement dit. On distingue le condensât léger (C5 à C10 environ) et le condensât lourd (C10 à C15 environ) [1]

Tableau II-1 Composition molaire du condensat stabilisé. Caractéristiques du Condensât

| Composants     | % Molaire |
|----------------|-----------|
| Propane        | 0.04      |
| Iso butane     | 0.03      |
| Normal butane  | 0.22      |
| Isopentane     | 21.94     |
| Normal pentane | 36.45     |
| Hexane         | 24.26     |
| Heptane        | 12.80     |
| Octane         | 4.26      |

Les principales caractéristiques du condensât sont :

1. **La TVR** : La tension de vapeur de Reid est la caractéristique principale du condensât, elle doit être inférieure à 0.82 bar (12 psi-a) à 37.80C
2. **Viscosité** : La viscosité du condensat est généralement faible, ce qui signifie qu'il s'écoule facilement. Cette faible viscosité est due à sa composition dominée par des hydrocarbures

légers. Par exemple, la viscosité cinématique du condensat peut varier entre 0,2 et 0,5 centistokes à 15°C, selon sa composition spécifique et sa densité. [2]

3. **Densité** : Le condensat a généralement une densité relativement légère par rapport à d'autres produits pétroliers. Sa densité peut varier en fonction de sa composition, mais elle se situe souvent dans la plage de 0,6 à 0,8 g/cm<sup>3</sup> à 15°C. Cette faible densité en fait un produit précieux pour diverses applications, notamment dans l'industrie pétrochimique. [3]
4. **Point d'Ébullition et Point de Fusion** : Le condensat présente un large éventail de points d'ébullition et de points de fusion en raison de sa composition variée en hydrocarbures. Les hydrocarbures légers, tels que le méthane et l'éthane, ont des points d'ébullition et de fusion plus bas, tandis que les composés plus lourds, comme les naphthènes et les aromatiques, ont des points d'ébullition et de fusion plus élevés. En général, le point d'ébullition du condensat varie entre -40°C et 200°C, tandis que son point de fusion peut être inférieur à -100°C pour certains composants. [4]
5. **Stabilité Thermique** : Le condensat peut également présenter une certaine instabilité thermique, ce qui signifie qu'il peut se dégrader ou se transformer à des températures élevées. Cette caractéristique doit être prise en compte lors du stockage, de la manipulation et du traitement du condensat pour éviter la dégradation des produits et les risques pour la sécurité. [5]

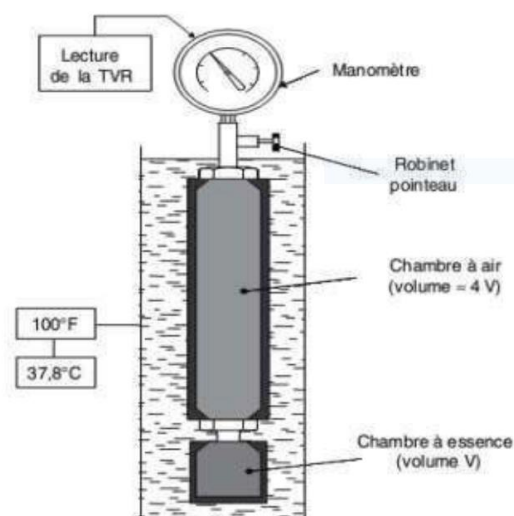


Figure II-1 dispositif de mesure de pression de vapeur REID.

6. **Aspect** : C'est un liquide incolore, avec une odeur d'essence. Poids spécifique : Le poids spécifique du condensât est compris entre 0.7 à 0.8.
7. **Point d'éclair** : Son point d'éclair est inférieur à  $-40^{\circ}\text{C}$ .
8. **Limites d'inflammabilité** : Il est très inflammable, car il a un point d'éclair inférieur à Zéro, ses limites d'inflammabilité sont approximativement : 1.4 et 7.6 % (dans l'air)
9. **Explosivité et inflammabilité** : Le condensât est un fluide hautement inflammable, la température d'auto-inflammabilité est de 380 à 4500C
10. **Toxicité physiologique** : Les vapeurs du condensât sont toxiques lorsqu'un homme s'y expose. Le premier symptôme constaté sera l'irritation des yeux suivi de symptômes névropathies. La victime peut éventuellement avoir du mal à marcher. Lorsque les concentrations du condensât (vapeur) sont de l'ordre de 0.025 à 0.05% en volume dans l'air, elles ne peuvent pas causer de symptômes sérieux même après plusieurs heures d'inhalation.
11. **Précautions hygiéniques** : Pour prévenir l'intoxication, une ventilation convenable est réalisée dans les locaux de travail afin de maintenir la concentration des vapeurs du condensât à moins de 300 ppm.

## II.2.2.Domains d'utilisation du Condensât

La particularité du condensât réside dans son utilisation dans deux secteurs industriels entièrement stratégiques : le raffinage et la pétrochimie. [6]

### II.2.2.1.Utilisation du condensât dans le raffinage

Le condensât est utilisé dans la production des carburants notamment les essences, leurs prix de revient est plus bas que les essences produites à partir de pétrole brut car la séparation et la transformation du condensât est moins coûteuse, et sa composition chimique riche en éléments légers. Le condensât est utilisé dans le procédé d'isomérisation pour produire l'essence (isomérisation) en transformant les normales paraffines en iso-paraffines qui ont un grand indice d'octane.

### II.2.2.2.Utilisation du condensât dans la pétrochimie :

La valorisation du condensât se fait principalement dans le domaine de la pétrochimie, où la demande est très importante. Le vapocraquage est ainsi la principale voie pour la production des oléfines. Dans ce secteur trois éléments dominant : L'accentuation du déséquilibre entre les demandes respectives d'éthylène et de propylène avec une croissance moyenne annuelle de 4%

pour le premier et proche de 5% pour le second en 2007. Le fonctionnement des vapocraquages de charge liquide à la limite de flexibilité du rapport propylène/éthylène. L'accroissement de la contribution de craquage catalytique à la fourniture de propylène. L'intérêt de ce produit dans la pétrochimie est justifié par les considérations suivantes :

- Le condensât est riche en hydrocarbures paraffiniques et naphténiques C5 à C7 ayant un bon potentiel de production d'oléfines.
- Une faible quantité en hydrocarbures aromatiques qui se transforment en poly-aromatiques lors du vapocraquage.

## **CHAPITRE III**

### **Description de l'unité de stabilisation**

L'unité de stabilisation représente le pivot central dans le processus complexe de contrôle et de maintien de la stabilité des systèmes dynamiques. Dans ce chapitre, nous plongerons au cœur de cette composante essentielle, en explorant en détail sa conception, ses fonctionnalités et son rôle crucial dans divers contextes.

À travers cette description approfondie, nous visons à fournir une compréhension claire et concise de l'unité de stabilisation, en mettant en lumière son importance tant dans les applications industrielles que dans les systèmes de contrôle plus généraux. Nous examinerons les principes fondamentaux qui sous-tendent son fonctionnement, les technologies utilisées pour sa mise en œuvre, ainsi que les défis et les opportunités associés à son intégration dans des systèmes dynamiques variés.

### **III.1.Système de traitement de condensat**

Le traitement de condensat de Zotti est le processus utilisé pour séparer le liquide en différents flux ou fractions.

Pratiquement toutes les usines de traitement de gaz qui produisent des liquides de gaz naturel nécessitent au minimum une tour de fractionnement, afin de produire un produit liquide satisfaisant aux spécifications des ventes. Le schéma d'une tour de fractionnement typique est illustré à la **Figure III.1**. Le schéma de fractionnement générique GSPA indique les différents composants du système.

La chaleur est introduite dans le rebouilleur pour produire des vapeurs d'extraction. La vapeur monte dans la colonne se mettant en contact avec le liquide descendant. La vapeur qui sort du haut de la colonne passe dans le condenseur où la chaleur est éliminée par un agent de refroidissement. Le liquide retourne en tant que reflux dans la colonne pour limiter la perte de composants lourds de tête.

Des pièces internes du genre plateaux ou garnitures encouragent le contact entre les flux de liquide et ceux de vapeur dans la colonne. Un contact des phases de vapeur et de liquide est requis pour assurer une séparation performante. La vapeur qui passe par un étage de séparation sera refroidie avec pour effet une condensation des composants plus lourds.

La phase liquide sera chauffée pour effet de la vaporisation des composants plus légers. Ainsi, les composants plus lourds sont concentrés dans la phase liquide et finiront par devenir le produit de fond. La phase vapeur est continuellement enrichie dans les composants légers qui constitueront le produit de tête.

La vapeur qui sort du haut de la colonne peut être totalement ou partiellement condensée. Dans un condenseur total, toute la vapeur qui pénètre dans le condenseur est condensée en liquide et le reflux qui retourne dans la colonne a la même composition que le distillat ou produit de tête. Dans un condenseur partiel, seule une partie de la vapeur qui pénètre dans le condenseur est condensée en liquide. Dans la plupart des condenseurs partiels, uniquement suffisamment de liquide sera condense pour servir de reflux pour la tour. Toutefois, dans certain cas, plus de liquide que nécessaire pour le reflux sera condense et il y aura en fait deux produits de tête : un liquide de même composition que le reflux et de la vapeur en équilibre avec le reflux liquide. [7]

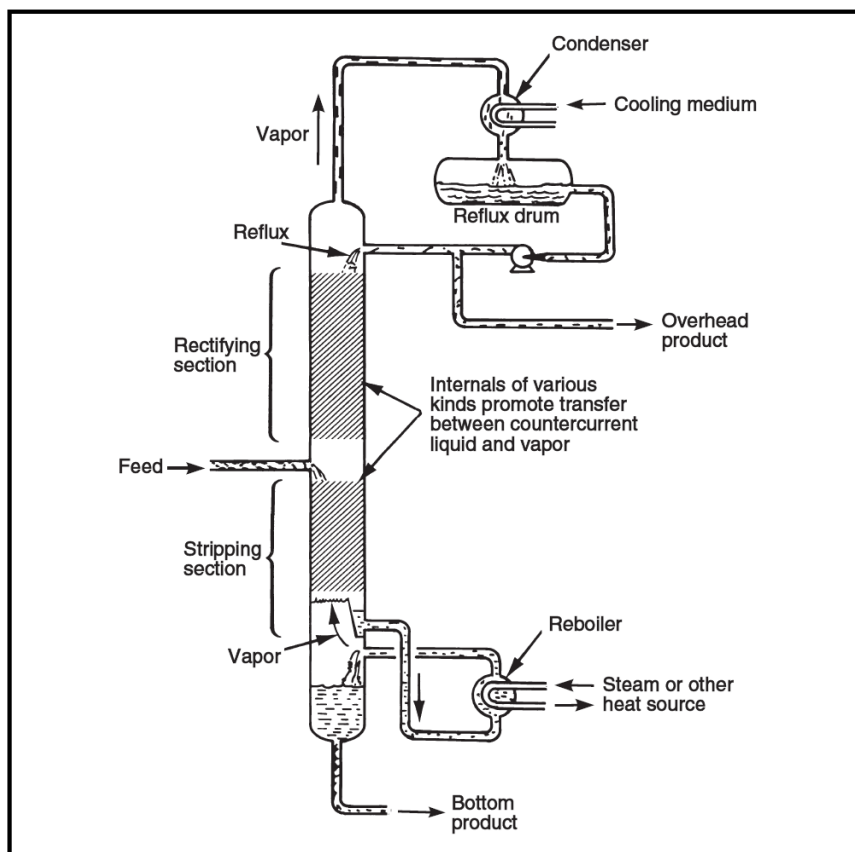


Figure III-1 Schéma de fractionnement générique GSPA

## III.2. Système de traitement de condensat de Zotti

L'unité de stabilisation de condensat non stabilise en tant qu'alimentation depuis le ballon de condensat de Zotti et le sépare en trois flux : un flux de condensat stabilise achemine à El Gassi en vue d'exportation avec le brut, un produit liquide de têtes pompées dans la canalisation de gaz d'injection miscible haute pression et un flux de vapeur recycle vers l'inter stage du compresseur booster. La RVP du condensat stabilise doit être à 750 Bara ou moins.

Le condensat d'alimentation est pompe dans filtre d'alimentation 51-F-101 A/B du stabilisateur, puis réchauffé dans l'échangeur d'alimentation 51-X-101 du stabilisateur avant de pénétrer dans le stabilisateur 51-V-101 au plateau 12. Le stabilisateur de condensat a un total de 30 plateaux.

La chaleur de distillation est fournie par le rebouilleur 51-X-102 du stabilisateur, à savoir un rebouilleur de recirculation à réchauffeur à combustible. Le flux de recirculation vers le rebouilleur est pompé par la pompe de résidus 51-P-102 A/B du stabilisateur. Les résidus de condensat stabilise sont éliminés par pression en vue de stockage dans le réservoir de condensat conforme aux spécifications 51-T-101 ou aux ballons de condensat hors spécifications 51-V-104/105.

Le flux de tête provenant de la colonne du stabilisateur de condensat est refroidi et condense dans le condenseur 51-X-103 du stabilisateur. La vapeur et le liquide sont séparés dans le ballon de reflux 51-V-102 du stabilisateur et la vapeur est acheminée vers les ballons de séparation 23-V-102/112/122 d'inter stage du compresseur booster. Le liquide provenant du stabilisateur est divisé en 2 flux. Le reflux est refoulé vers la colonne par la pompe de reflux 51-P-101 A/B du stabilisateur et un distillat de tête est pompe par les pompes de distillat 51-P-104 A/B du stabilisateur à la canalisation de gaz d'injection miscible haute pression.

Le condensat stabilisé est pompé par les pompes à condensats 51-P-103 A/B du réservoir de condensat conforme aux spécifications au pipeline de brut de Zotti. Le condensat hors spécifications ou non stabilise peut-être pompe par les pompes à condensats hors spécifications 51-P-105 A/B du stockage de condensat hors spécifications à la canalisation d'alimentation du stabilisateur en vue de traitement ou à l'aspiration de la pompe de distillat du stabilisateur en vue de transfert à la canalisation d'injection miscible.



Pendant les périodes où le stabilisateur ne peut pas traiter le condensat d'alimentation stabilise, l'alimentation peut être détournée vers le stockage de condensat hors spécifications pour une courte durée. [7]

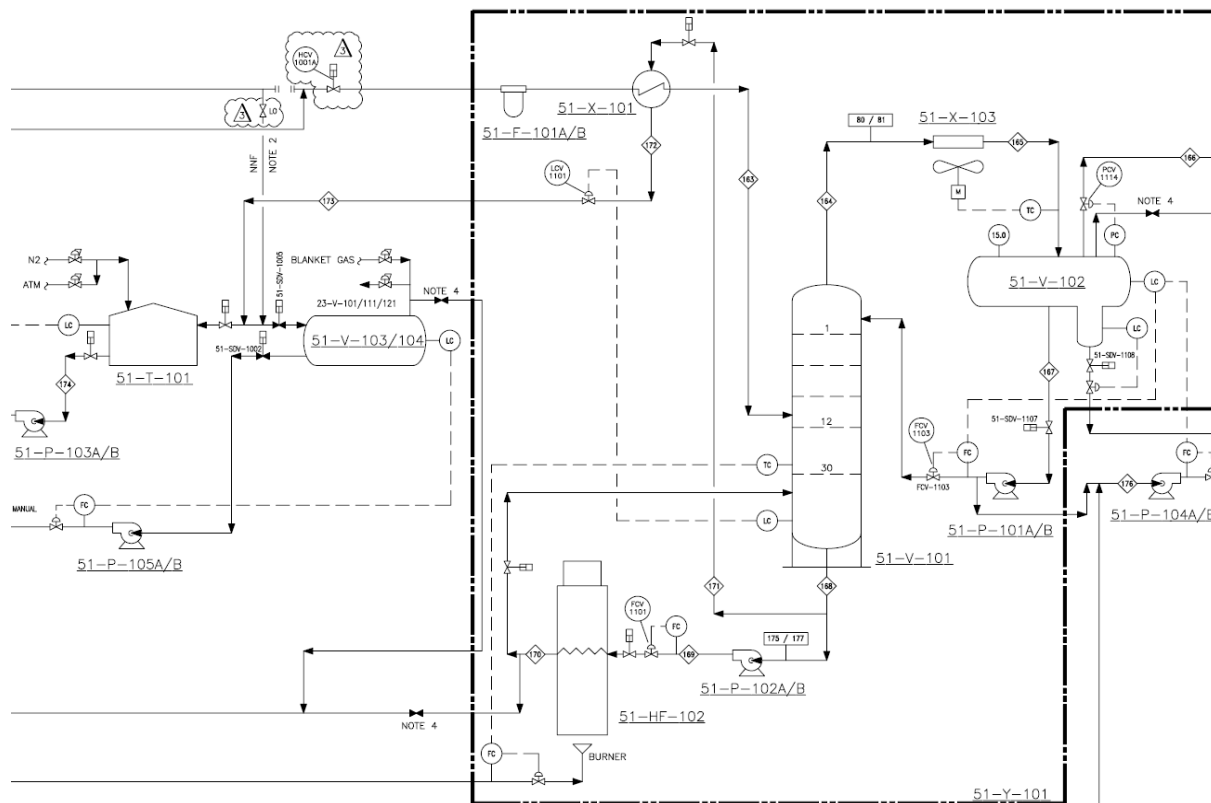


Figure III-2 Système de traitement de condensat de Zotti PFD

### III.3.Description des équipements de l'unité de stabilisation

#### III.3.1.La colonne de stabilisation

La colonne peut être munie des plateaux successifs ou des garnissages qui dont le rôle consiste à assurer un contact intime entre les phases, sur chaque plateau il y a barbotage de la vapeur dans le liquide avec un transfert de masse et de chaleur.

Chaque colonne de distillation compose toujours de trois zones :

1. Une zone d'alimentation dite (zone de flash) où l'alimentation est introduite à l'état vapeur, liquide où biphasique (selon la température de la charge).

2. 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.
3. 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) afin de récupérer les constituants légers entraînés par les lourds.

La colonne de stabilisation au centre Zotti GCR comporte 30 plateaux de type valve à compter de haut vers le bas.

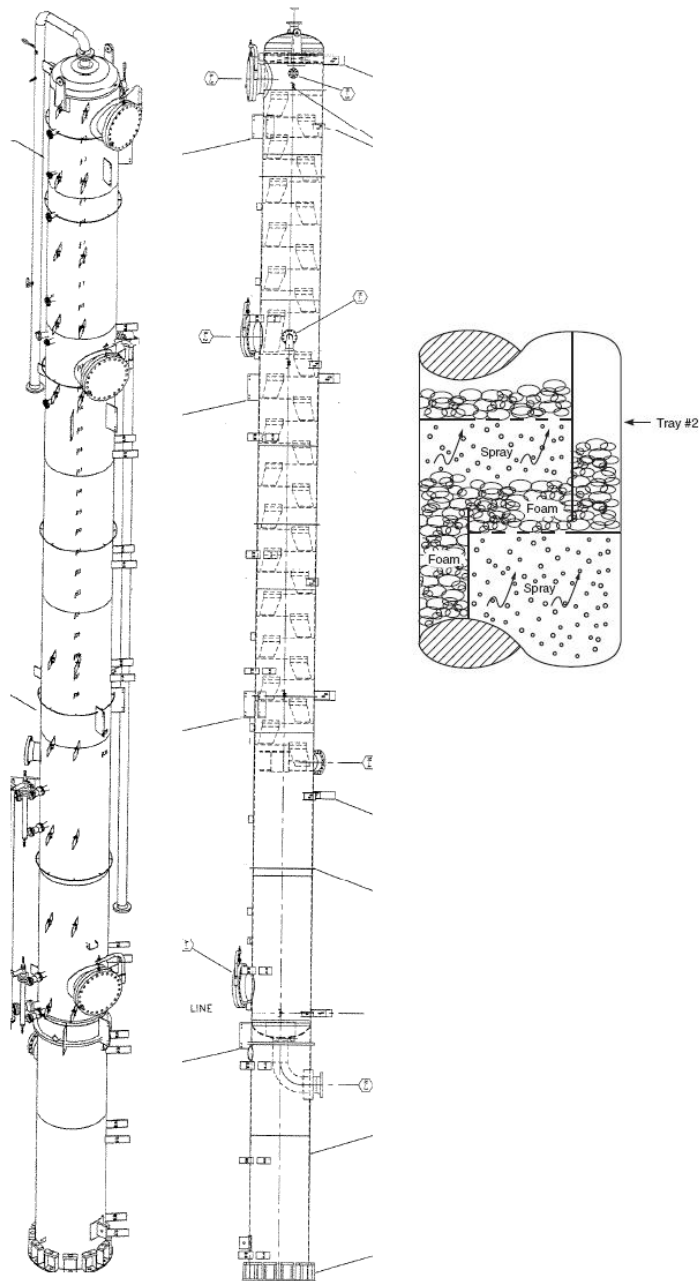


Figure III-3 Schéma de La colonne de stabilisation au centre Zotti GCR

### III.3.2. Le rebouilleur

Le rebouilleur utilisé dans l'unité de stabilisation de condensat est un échangeur à réchauffeur à combustible, leur rôle principale est de fournir la chaleur nécessaire pour vaporiser les fractions légers contenant dans le condensat de fond de la colonne, et faire recycler le tout à l'aide des pompes dans la colonne pour la séparation, et maintenir la température de fonctionnement .

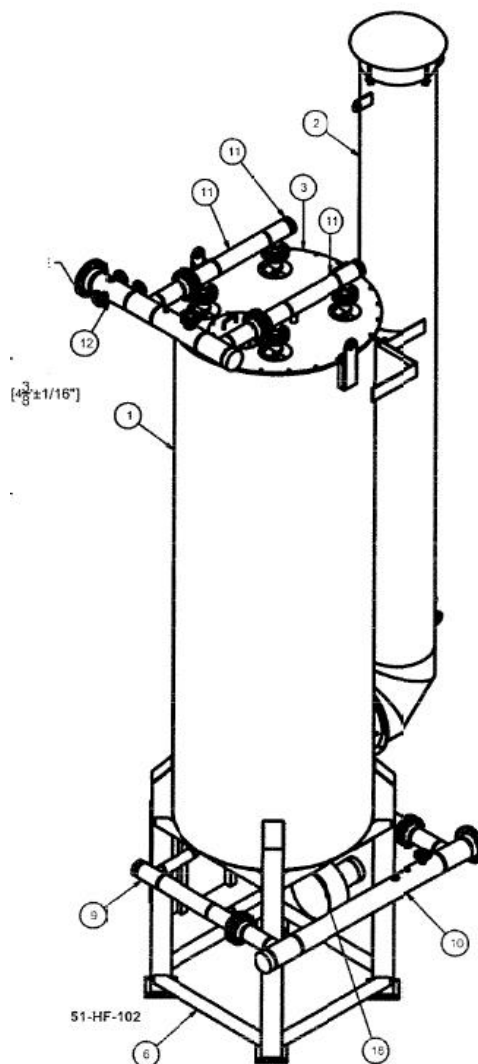


Figure III-4 vue générale du rebouilleur au centre Zotti GCR

### III.3.3.L'échangeur de chaleur

L'échangeur de chaleur utilisé dans l'unité de stabilisation est un échangeur à tube et calandre, utilisé pour baisser la température de condensat ON Spec produite au fond de la colonne et la ramener à la température ambiante tout en augmentant la température de condensat d'alimentation OFF Spec, (préchauffage par conduction), Pour éviter un choc thermique, et en même temps pour économiser l'énergie produit par le rebouilleur.

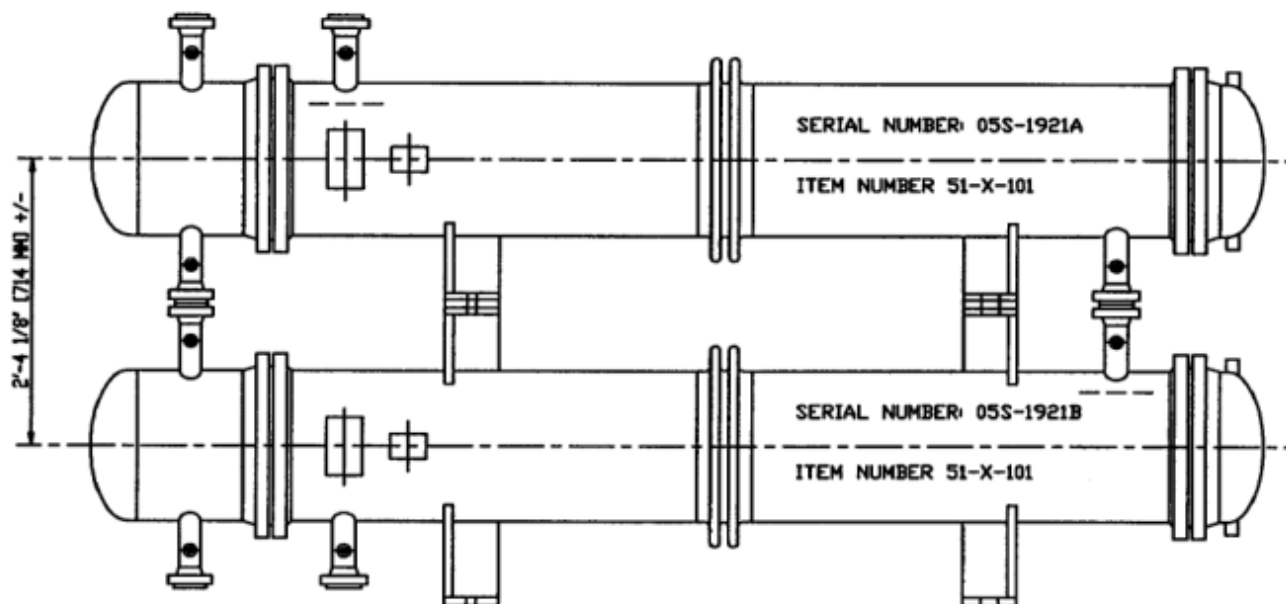


Figure III-5 Schéma d'un échangeur de chaleur

### III.3.4.Les pompes

Les pompes utilisées dans l'unité de stabilisation sont des pompes de type centrifuges ; Nous avons deux pompes verticales immergées, utilisées ainsi pour transporter le condensat non stable des ballons OFF Spec vers l'alimentation de la colonne via des échangeurs de chaleur. Nous avons aussi deux autres pompes pour assurer le recyclage de condensat de fond de la colonne dans le rebouilleur pour le réchauffage, et maintenir une température de fonctionnement de la colonne de stabilisation, et deux autres pompes destinées à pomper le liquide récupéré du ballon de reflux en tête de colonne, ou vers les pompes d'injection miscible.

### III.3.5. Les aéroréfrigérants et le ballon de reflux

Le flux de tête provenant de la colonne de stabilisation passe par des aéroréfrigérants (condenseur), afin de récupérer le distillat dans le ballon de reflux, une partie est acheminée vers la tête de colonne (1<sup>re</sup> plateaux) pour refroidir cette dernière et l'autre partie vers les pompes d'injection miscible à haut pression.

Les fractions gazeuses collectées dans le ballon de reflux sont acheminées vers les ballons d'inter-étage des compresseurs boosters.

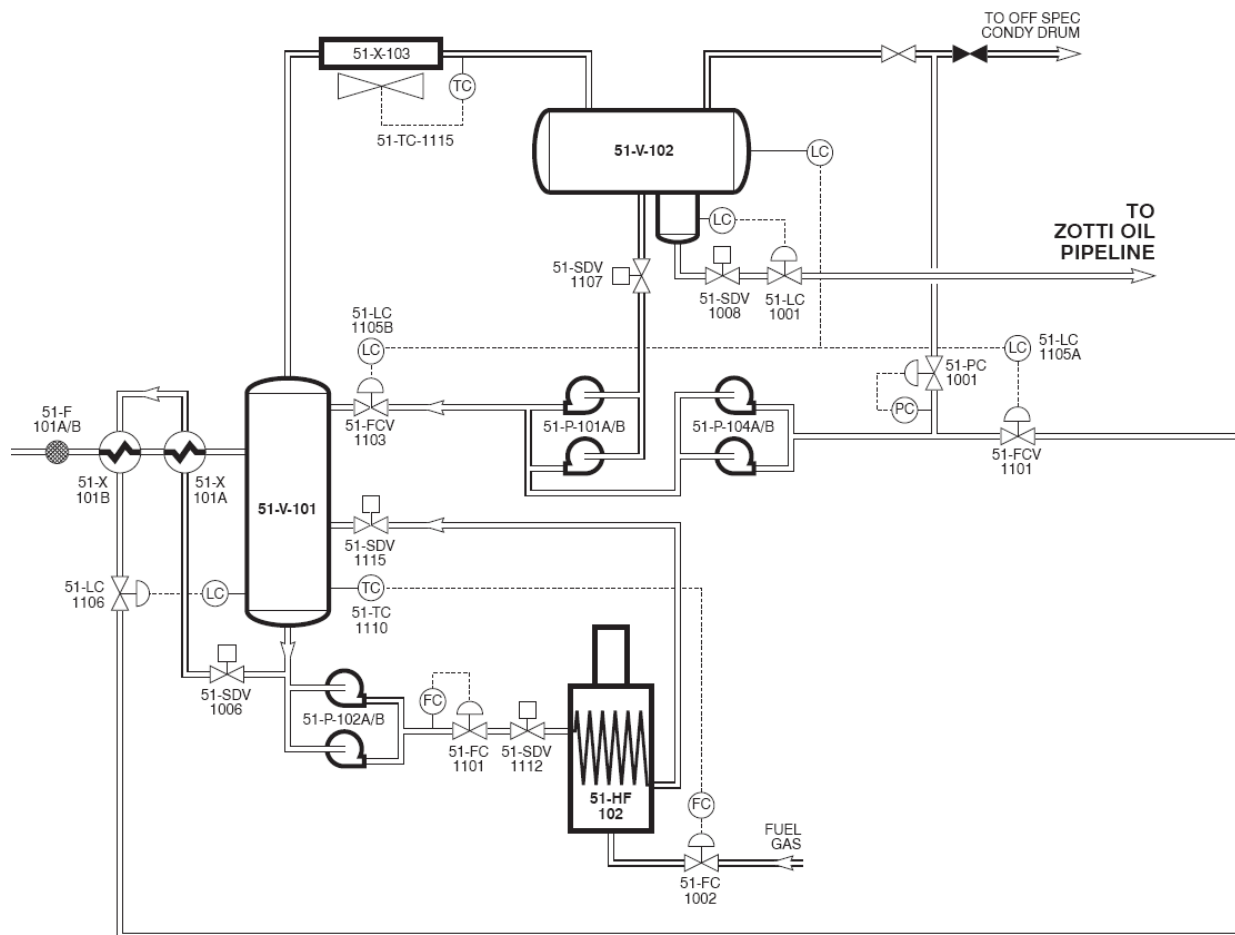


Figure III-6 Equipement de traitement du condensat de Zotti

En conclusion, ce chapitre a offert une exploration approfondie de l'unité de stabilisation, mettant en lumière son rôle crucial dans la gestion de la stabilité des systèmes dynamiques. Nous avons examiné en détail les principes fondamentaux qui sous-tendent son fonctionnement, ainsi que les technologies et les méthodologies utilisées pour sa conception et sa mise en œuvre.

## **CHAPITRE IV**

# **Généralité sur la simulation et les modèles thermodynamiques**

La simulation est un outil utilisé dans différents domaines de l'engineering et de la recherche en générale, permettant d'analyser le comportement d'un système et d'optimiser son fonctionnement en testant différentes solutions et différentes conditions opératoires, elle s'appuie sur l'élaboration d'un modèle du système, et permet de réaliser des scénarios et d'en déduire le comportement du système analysé. Dans ce chapitre nous avons modélisé l'unité de stabilisation de centre Zotti GCR et faire une simulation de cas de design et de cas réel.

## **IV.1.Simulation des procédés**

La simulation des colonnes de distillation est essentielle pour le contrôle et l'optimisation des paramètres opératoires. Elle aide à déterminer le cas optimum pour obtenir une qualité des produits bien spécifiques. Dans ce cadre plusieurs sociétés ont développé des simulateurs basés sur une description des phénomènes. Parmi elles, l'Aspen Tech Technologie qui offre un simulateur Hysys mondialement reconnu et utilise dans le domaine industriel. [8]

## **IV.2.Définition de logiciel Aspen Hysys**

Aspen HYSYS est un logiciel de simulation de processus de pointe utilisé pour la conception conceptuelle, l'optimisation, la planification des affaires, la gestion d'actifs et la surveillance des performances dans les industries de la production d'huile et de gaz, du traitement du gaz, du raffinage du pétrole et de la séparation de l'air. HYSYS permet aux ingénieurs de modéliser mathématiquement les processus chimiques, des opérations unitaires aux raffineries et usines chimiques entières.

Le logiciel est capable de réaliser de nombreux calculs de base du génie chimique, y compris le bilan de matière, le bilan d'énergie, l'équilibre vapeur-liquide, le transfert de chaleur, le transfert de masse, la cinétique chimique, le fractionnement et la perte de charge. Les modèles créés dans HYSYS peuvent être utilisés pour la simulation statique, la simulation dynamique, la conception de procédés, l'optimisation des performances et la surveillance des installations en temps réel. HYSYS est largement utilisé dans l'industrie et le monde académique pour la simulation, la conception et l'optimisation des procédés de production chimique. [9]



### IV.3. Modes de fonctionnement de simulateur

Il y a deux modes de fonctionnement dans un simulateur : statique (ou stationnaire) et dynamique. Les simulateurs statiques résolvent des équations statiques qui traduisent le fonctionnement en régime permanent (à l'équilibre), tandis que les simulateurs dynamiques permettent d'évaluer l'évolution des variables dans le temps à partir de la résolution de systèmes d'équations différentielles.

Les simulations industrielles sur la thermodynamique les plus connus mondialement sont :

1. **Statiques** : ASPEN PLUS (Aspen Technologies), Design II de (Win Sim), Aspen HYSYS (Hyprotech), PRO/II (Simulation Sciences), PROMIS.
2. **Dynamiques** : Aspen HYSYS (Hyprotech), ASPEN DYNAMICS (Aspen Technologies), Design II de (Win Sim), DEMY (Simulation Sciences Inc.).

Selon Winter (Winter, 1992) les simulateurs dynamiques sont en passe de se substituer aux simulateurs en régime permanent. Par exemple, Aspen HYSYS peut passer de la simulation d'un régime permanent à celle d'un régime transitoire par un seul « click » sur un bouton. Néanmoins, tout procédé ne peut être simulé à l'aide de ces simulateurs industriels. En effet, dans le cas de la mise au point de nouveau procédé, il est généralement nécessaire de disposer de son propre simulateur.

Le concept est le même : sur la base des propriétés thermodynamiques des corps purs impliqués dans l'opération et des modèles thermodynamiques, il y a résolution des équations de bilan de matière et d'énergie et des relations d'équilibre constituant le modèle. La différence vient du fait que généralement seules les propriétés des corps présents dans le procédé chimique considéré ne sont détaillées et que l'environnement de développement est moins convivial. On parlera de simulateur dédié (spécifique à un procédé donné). Il a l'avantage de pouvoir avoir une totale maîtrise sur la façon d'écrire les équations du modèle et de les résoudre.

### IV.4. Concepts et caractéristiques du simulateur Aspen HYSYS

On définit les principaux concepts de base et vocabulaires associés, qui sont utilisés pendant les étapes de construction d'un modèle dans le simulateur HYSYS.

### IV.4.1.Fluide package

Le paquet de fluides (fluide package) contient toutes les informations nécessaires pour les calculs de flash de composants purs et de propriétés physiques. Cela vous permet de définir toutes les informations requises dans une seule entité. Il y a cinq avantages clés à l'utilisation de paquets de fluides :

- Toutes les informations associées sont définies en un seul.
- Emplacement pour une création et une modification facile.

Les paquets de fluides peuvent être exportés et importés en tant que paquets complètement définis pour une utilisation dans n'importe quelle simulation.

Les paquets de fluides peuvent être clonés, ce qui réduit le temps nécessaire à la création et/ou à la modification de paquets de fluides complexes.

Plusieurs paquets de fluides peuvent être utilisés dans la même simulation.

### IV.4.2.L'Environnement dans Aspen HYSYS (Aspen HYSYS Environnements)

Aspen HYSYS est construit autour du concept de la conception d'environnements. Ces environnements vous permettent d'accéder et de saisir des informations dans une zone spécifique de la simulation, tandis que les autres zones de la simulation sont mises en attente. Les autres zones ne procéderont pas aux calculs d'état stable tant que vous n'aurez pas terminé de travailler dans la zone active. Étant donné que l'intégrateur d'Aspen HYSYS est basé sur des pas de temps, les environnements n'ont aucun impact sur les calculs dynamiques.

### IV.4.3.Le sous-environnement de subflowsheet

Le concept de sous-environnement de subflowsheet est l'un des fondements conceptuels sur lesquels est construit Aspen HYSYS. Lorsqu'il est combiné avec les capacités de sous-flowsheet, il définit la base fondamentale pour construire une simulation dans Aspen HYSYS. Les opérations de sous-flowsheet et de colonnes utilisent l'architecture de flowsheet multi-niveaux et fournissent une méthode flexible et intuitive pour construire la simulation.

Supposons que vous simuliez une grande installation de traitement avec plusieurs unités de traitement individuelles. Au lieu d'installer tous les flux de processus et les opérations unitaires

dans un seul flowsheet, vous pouvez simuler chaque unité de traitement dans son propre sous-flowsheet.

#### IV.4.4. La vue Propriété dans Aspen HYSYS

La vue Propriété dans Aspen HYSYS est un outil utilisé pour l'analyse des schémas de procédés. Elle fournit des informations sur les propriétés des flux et des opérations en fonction des conditions actuelles du schéma de procédé. Par exemple, la vue des propriétés des flux affiche des données sur toutes les phases présentes dans le flux, tandis que certaines opérations ont des pages qui montrent des profils de performance, des résultats et d'autres informations analytiques. [10]

### IV.5. Les modèles thermodynamique applique dans la simulation

#### IV.5.1. Équation d'état de Van der Waals

En 1873 Johannes Van der Waals (1873) démontre que la pression interne  $P$  est inversement proportionnelle au carré du volume molaire :

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right) \times (V - b) = RT$$

Avec :

- $a$  et  $b$  : sont des constantes caractéristiques du corps pur ( $a$ ).

Le paramètre d'attraction est une mesure de l'intensité d'attraction entre les molécules. On l'appelle également pression de liaison et le paramètre  $b$  est le covolume défini auparavant. Le terme  $(V-b)$  est appelé volume moléculaire effectif dans la contribution de répulsion. [11]

#### IV.5.2. Équation d'état de Redlich Kwong

En 1949, Redlich et Kwong ont proposé une nouvelle équation d'état comprenant une modification du terme d'attraction de l'équation de Van der Waals et une dépendance du paramètre ( $a$ ) par rapport à la température. L'équation "RK" est plus précise que Van der Waals, notamment pour la phase vapeur mais n'apporte pas d'amélioration significative dans le calcul des équilibres liquide - vapeur. Cette équation peut s'écrire de la manière.

$$P = \frac{RT}{V - B_i} - \frac{a_i.T}{V(V - b_i)}$$

L'équation d'état "RK" décrit correctement le comportement de la phase gazeuse, d'où son application pour le calcul des installations de traitement de gaz. Cependant, elle ne donne pas de bons résultats pour la phase liquide, ce qui ne lui permet pas de prédire les équilibres liquide-vapeur à la base de la majorité des opérations physiques de séparation (distillation, absorption, etc.) [12]

### IV.5.3.Équation de Soave, Redlich et Kwong (SRK)

En 1972, Soave a suivi l'idée de Wilson en remplaçant le terme attractif de l'équation de RK par une fonction  $\alpha = f(T, \omega)$ , qui tient compte non seulement de l'influence de la température. L'équation de (SRK) est définie comme suit :

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a\alpha}{V_m(V_m + b)}$$

Avec :

- $a = \frac{0.42748R^2T_c^2}{P_c}$
- $b = \frac{0.08664RT_c}{P_c}$
- $T_c$  et  $P_c$  sont la pression et la température critique.

L'équation de Soave-Redlich-Kwong est encore l'une des plus utilisées pour des problèmes industriels, avec celle de Peng et Robinson. Mais elle conserve la même valeur du facteur de compressibilité critique ( $Z_c = 0,333$ ) qui reste donc trop élevée par rapport aux valeurs expérimentales constatées. Cela se traduit naturellement par un écart important dans le calcul des volumes molaires de la phase liquide en particulier, l'amélioration principale concerne la représentation des lois de tension de vapeur sauf aux faibles températures réduites. [13]

### IV.5.4.Équation de Lee, Kesler, Plöcker

L'équation de Lee, kesler, Plöcker (1975-1978) a été établie pour le calcul des propriétés résiduelles :

$$Z = \frac{PV}{RT}$$

La méthode de "Lee, Kesler et Plöcker" peut également être appliquée aux mélanges, en définissant des coordonnées pseudo critiques. Elle est d'une précision très satisfaisante pour le calcul des propriétés résiduelles. Tout en respectant son principe, on peut l'adapter à tel ou tel problème posé. Il convient, cependant, d'être prudent quand on traite de fluides dont le facteur acentrique est nettement supérieur à celui du fluide de référence (0,3978). Cette équation n'est pas valable pour les composants polaires. [14]

#### IV.5.5.Modèle Peng Robinson

Les équations d'état RK et SRK sous-estiment la densité liquide et présentent une valeur du facteur de compressibilité critique  $Z$  universelle (0,33) assez élevée par rapport au  $Z_c$  moyen des hydrocarbures, qui est de (0,29). L'équation d'état de Peng Robinson (PR) a été proposée pour pallier à cet inconvénient. Peng et Robinson développèrent en 1976 une nouvelle équation d'état. Nous désignons cette équation par l'abréviation PR76, dans cette équation le terme attractif de l'équation d'état de Van der Waals est une nouvelle fois modifié et la fonction  $a(T)$  est dépendante du facteur acentrique comme c'est le cas dans l'approche de Soave. L'équation de Peng Robinson est définie comme suit :

$$P = \frac{RT}{(V - b)} - \frac{a}{V^2 + 2bV - b^2}$$

Avec :

- $a = 0.4572 \frac{R^2 T_c^2}{P_c}$
- $b = 0.07780 \frac{R T_c}{P_c}$

L'équation d'état PR présente un quart de 0,307 qui s'approche mieux de la réalité. La prédiction de la densité liquide a aussi été améliorée. En effet, les écarts varient entre 5% pour des températures réduites inférieures à 0,65 et 15% au voisinage du point critique. D'une manière générale, cette nouvelle équation d'état, sans être parfaite, conduit à un meilleur calcul des pressions de vapeur des corps purs que l'équation SRK mais surtout à une meilleure restitution de la densité en phase liquide et une meilleure représentation des équilibres liquide - vapeur pour de nombreux mélanges. [15]

Tableau IV-1 : Limites d'application de l'équation de PENG ROBINSON

| Equation | Température °C | Pression Kpa    |
|----------|----------------|-----------------|
| Pr       | >-271          | 100000(103 bar) |

#### IV.5.6.Modèle Chao Seader

Le modèle Chao-Seader est une ancienne méthode semi-empirique datant de 1961. Cette méthode est souvent utilisée pour calculer l'équilibre liquide-vapeur pour les hydrocarbures lourds et l'hydrogène, où la pression est moins de 1500 psia et une température entre -17,78°C et 260°C.

#### IV.5.7.Modèle Grayson Streed

La méthode Grayson-Streed (GS) est une méthode plus vieille, semi-empirique. La corrélation est une extension de la méthode Chao-Seader avec accentuation spéciale sur l'hydrogène. Cette méthode a été adoptée pour les systèmes appliquant des hautes pressions et température.

La corrélation GS est recommandée pour simuler des systèmes d'hydrocarbures lourds avec un teneur en H<sub>2</sub> élevé, tel que les unités de l'hydrotraitement. La corrélation GS peut être utilisée pour la simulation des unités de Topping et les fractions lourdes sous vide, et pour le calcul de fugacités de la phase liquides pour N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>S. [16]

### IV.6.Utilisation des modèles thermodynamiques dans l'industrie

Les équations de Peng-Robinson (1976) et de Soave-Redlich-Kwong (1972) sont largement utilisées dans l'industrie, particulièrement pour le raffinage et la simulation des réservoirs. Leurs avantages résident dans le fait qu'elles nécessitent peu de données expérimentales (les coordonnées critiques et le facteur acentrique), un temps de simulation relativement court et surtout qu'elles conduisent à une bonne estimation des équilibres entre phase liquide - vapeur pour les hydrocarbures qui sont particulièrement importants pour la conception des procédés.

Cependant, ces équations présentent d'importantes limitations. Par exemple, les densités liquides ne sont pas correctement évaluées, les paramètres ne sont pas adéquats pour les fluides non hydrocarbures, notamment les fluides polaires. De plus, quelles que soient les modifications apportées, il apparaît impossible de représenter de manière satisfaisante le voisinage du point critique à moins d'appliquer une correction due aux fluctuations de densité dans cette région. [17]

Tableau IV-2 Les utilisations des modèles thermodynamique pour les processus

| Modèle                       | Application                                      |
|------------------------------|--------------------------------------------------|
| CPA, PR, SRK, Glycol package | Etude de formation d'hydrate                     |
| Glycol package, CPA          | Déshydratation du gaz                            |
| PR, SRK                      | Traitement du gaz (séparation et fractionnement) |
|                              | Procédé de GNL                                   |
|                              | ATM. CDU                                         |
| UNIQUAC                      | Mélanges polaires (non idéaux)                   |
| CPA, PR, SRK                 | Injection du méthanol                            |

En conclusion, la simulation avec Aspen HYSYS est l'un des éléments clés dans la conception des processus industriels. Les modèles thermodynamiques utilisés dans ces simulations permettent de prédire le comportement des fluides et des réactions chimiques, ce qui est essentiel pour prendre des décisions éclairées en matière de conception et de fonctionnement des installations. Bien que les modèles thermodynamiques présentent certaines limites, leur utilisation reste un moyen efficace pour améliorer la productivité, la sécurité et la durabilité des processus industriels.

# **CHAPITRE V**

## **Simulation et vérification des paramètres**



Dans ce chapitre nous avons modélisé l'unité de stabilisation de centre Zotti GCR et faire une simulation de cas de design et de cas réel.

L'objectif de cette étape est d'exploiter l'unité de stabilisation dans les bonnes conditions de marches, pour assure une qualité de condensat conforme aux spécifications (ON Spec) la TVR  $\approx 0.75$  bar (TVR max =0.85 bar). Le choix des paramètres de marche est basé sur l'accessibilité à régler ces derniers par l'opérateur au niveau de la salle de contrôle et faciliter de maitrise en cas de perturbation possible pendant la marche de l'unité de stabilisation.

## V.1.Problématique

La colonne de stabilisation du centre Zotti GCR est contrôlée par plusieurs paramètres, la variation d'un des paramètres peut influencer sur la stabilisation de la colonne et par conséquence sur la qualité du condensat produit coté TVR (Tension de Vapeur Reid)

Pour cela nous avons fait cette étude qui consiste à optimiser les paramètres de fonctionnement de la colonne de stabilisation au centre Zotti GCR telle que :

- La température de rebouilleur.
- Le débit de rebouilleur.
- Le débit de reflux.

Pour trouver les meilleures conditions et les paramètres de marche d'obtenir un condensat stable avec une TVR  $\approx 0.75$  bar, (TVR max =0.85 bar). Tout en consommant le minimum quantité d'énergie possible dans le rebouilleur.

Nous avons vérifié les paramètres de fonctionnement de la colonne de stabilisation dans le cas de design et le cas réel pour confirmer l'exactitude du modèle de simulation de l'unité de stabilisation avec le logiciel Hysys.

D'après les résultats obtenus par simulation avec Hysys, en utilisant les valeurs de design et en prenant en compte le cas réel, les valeurs obtenues pour le cas réel sont proches de celles du design.

## V.2. Conditions et paramètre de design

Les conditions et les paramètres design adaptés sont représentés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 0-1 les conditions de la charge d'alimentation selon le design

| Condition                                 | liquide           | Vapeur |
|-------------------------------------------|-------------------|--------|
| Débit molaire [kg. Mole/h]                | 225.2             | 42.9   |
| Débit massique [kg/h]                     | 14.343            | 1.938  |
| Densité [kg/m3]                           | 527.5             | 32.2   |
| Paramètres de la colonne de stabilisation |                   |        |
| Nombre de plateaux                        | 30                |        |
| Plateau d'alimentation                    | 12                |        |
| Température d'alimentation [°C]           | 84.8              |        |
| Pression d'alimentation [bar]             | 16.2              |        |
| Température de sommet [°C]                | 80.8 (max 95°C)   |        |
| Température de reflux [°C]                | 55.5              |        |
| Température de fond [°C]                  | 177.5             |        |
| Température de rebouilleur [°C]           | 181.9 (max 225°C) |        |
| Pression de sommet [bar]                  | 15.29 (max 18)    |        |
| Pression de fond [barg]                   | 15.69             |        |

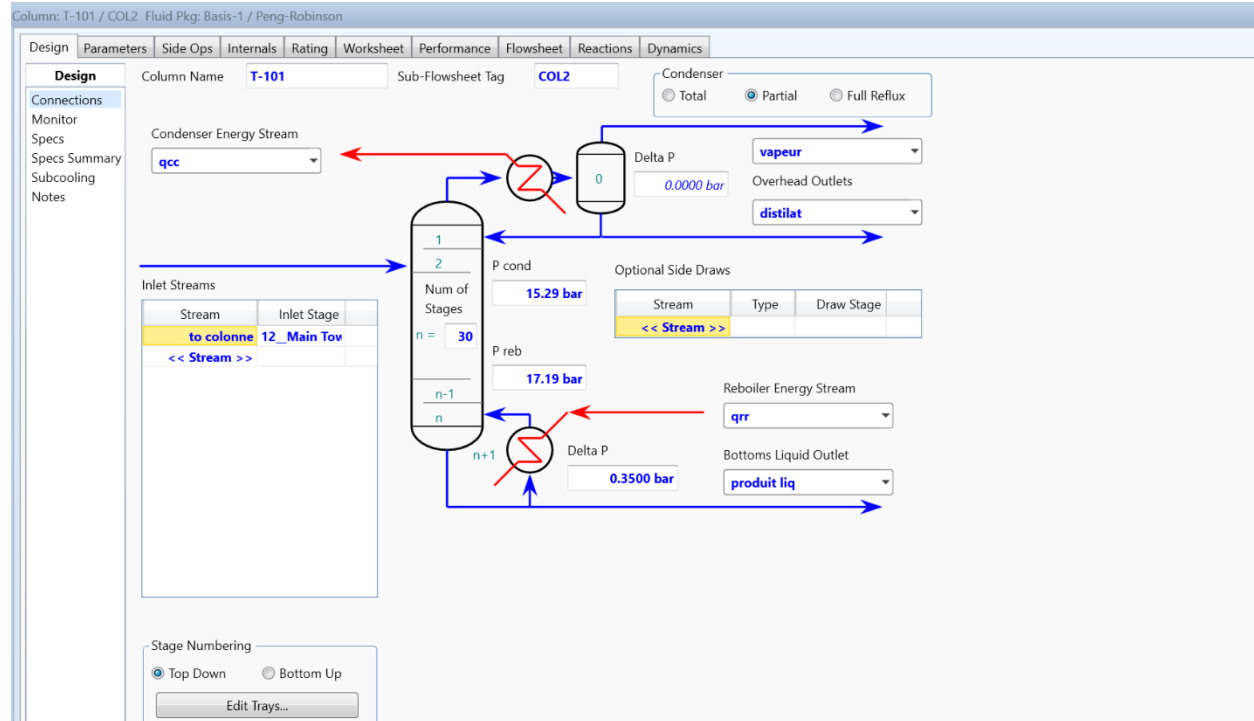


Figure V-1 Fenêtre De La Convergence De La Colonne de stabilisation

### V.3.Composition de la charge d'alimentation

La composition de la charge d'alimentation selon le design est représentée dans le tableau suivant:

Tableau 0-2 composition de la charge d'alimentation selon le design

| Composition, % mole | Alimentation |         |
|---------------------|--------------|---------|
|                     | Vapeur       | Liquide |
| Nitrogen            | 0.19         | 0.01    |
| H2S                 | 0            | 0       |
| CO2                 | 1.60         | 0.24    |
| Methane             | 7.86         | 0.72    |
| Ethane              | 22.13        | 5.99    |
| Propane             | 35.09        | 21.31   |

|              |       |       |
|--------------|-------|-------|
| i-Butane     | 5.06  | 5.56  |
| n-Butane     | 17.85 | 24.27 |
| i-Pentane    | 6.77  | 6.82  |
| n-Pentane    | 4.35  | 12.57 |
| Cyclopentane | 0.28  | 1.02  |
| n-Hexane     | 1.53  | 9.19  |
| Mcyclopentan | 0.17  | 1.10  |
| Benzene      | 0.18  | 1.10  |
| Cyclohexane  | 0.13  | 0.97  |
| n-Heptane    | 0.35  | 4.22  |
| Mcyclohexane | 0.09  | 1.08  |
| Toluene      | 0.04  | 0.52  |
| n-Octane     | 0.07  | 1.75  |
| 11-Mcychexan | 0.01  | 0.21  |
| E-Benzene    | 0     | 0.04  |
| m-Xylene     | 0.01  | 0.15  |
| o-Xylene     | 0     | 0.14  |
| n-Nonane     | 0.01  | 0.57  |
| n-Decan      | 0     | 0.26  |
| n-C11        | 0     | 0.09  |
| n-C12        | 0     | 0.03  |
| H2O          | 0.22  | 0.04  |

Tableau 0-3 composition des produits finis d'après le design

| Constituant   | Produit de fond | Produit de tête |
|---------------|-----------------|-----------------|
| Nitrogen      | 0               | 0.04            |
| H2S           | 0               | 0               |
| CO2           | 0               | 0.54            |
| Methane       | 0               | 2.03            |
| Ethane        | 0               | 11.32           |
| Propane       | 0               | 35.61           |
| i-Butane      | 0.12            | 8.83            |
| n-Butane      | 3.50            | 36.38           |
| i-Pentane     | 13.41           | 2.53            |
| n-Pentane     | 27.92           | 2.55            |
| Cyclopentane  | 2.45            | 0.08            |
| n-Hexane      | 22.70           | 0.02            |
| Mecyclopentan | 2.72            | 0               |
| Benzene       | 2.71            | 0               |
| Cyclohexane   | 2.38            | 0               |
| n-Heptane     | 10.29           | 0               |
| Mecyclohexane | 2.64            | 0               |
| Toluene       | 1.28            | 0               |
| n-Octane      | 4.22            | 0               |
| 11-Mecyhexan  | 0.51            | 0               |
| E-Benzene     | 0.11            | 0               |
| m-Xylene      | 0.37            | 0               |
| o-Xylene      | 0.34            | 0               |

|          |      |      |
|----------|------|------|
| n-Nonane | 1.37 | 0    |
| n-Decan  | 0.63 | 0    |
| n-C11    | 0.23 | 0    |
| n-C12    | 0.08 | 0    |
| H2O      | 0    | 0.08 |

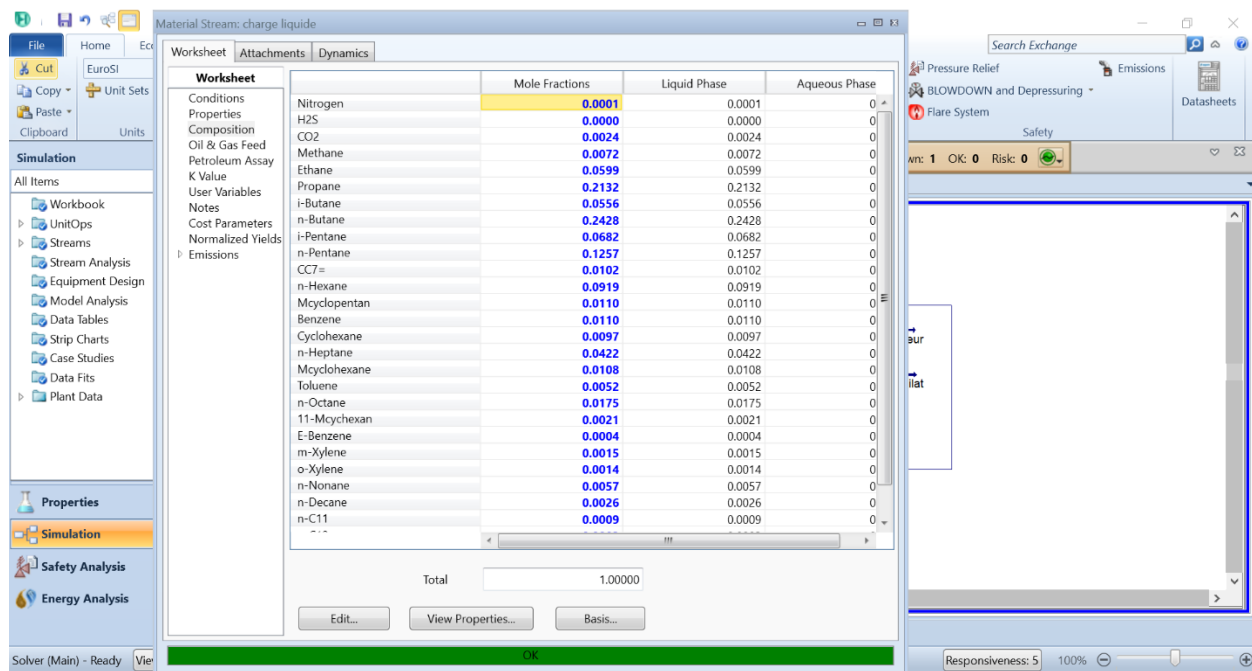


Figure 0-2 Composition de la charge phase liquide

Material Stream: charge vapeur

| Component    | Mole Fractions | Vapour Phase | Liquid Phase |
|--------------|----------------|--------------|--------------|
| Nitrogen     | 0.0019         | 0.0062       | 0            |
| H2S          | 0.0000         | 0.0000       | 0            |
| CO2          | 0.0160         | 0.0374       | 0            |
| Methane      | 0.0786         | 0.2223       | 0            |
| Ethane       | 0.2213         | 0.3640       | 0            |
| Propane      | 0.3509         | 0.2791       | 0            |
| i-Butane     | 0.0506         | 0.0209       | 0            |
| n-Butane     | 0.1785         | 0.0568       | 0            |
| i-Pentane    | 0.0277         | 0.0043       | 0            |
| n-Pentane    | 0.0435         | 0.0053       | 0            |
| CC7 =        | 0.0028         | 0.0000       | 0            |
| n-Hexane     | 0.0153         | 0.0007       | 0            |
| Myclopentan  | 0.0017         | 0.0001       | 0            |
| Benzene      | 0.0018         | 0.0001       | 0            |
| Cyclohexane  | 0.0013         | 0.0001       | 0            |
| n-Heptane    | 0.0035         | 0.0001       | 0            |
| Myclohexane  | 0.0009         | 0.0000       | 0            |
| Toluene      | 0.0004         | 0.0000       | 0            |
| n-Octane     | 0.0007         | 0.0000       | 0            |
| 11-Mcyhexan  | 0.0001         | 0.0000       | 0            |
| E-Benzene    | 0.0000         | 0.0000       | 0            |
| m-Xylene     | 0.0001         | 0.0000       | 0            |
| o-Xylene     | 0.0000         | 0.0000       | 0            |
| n-Nonane     | 0.0001         | 0.0000       | 0            |
| n-Decane     | 0.0000         | 0.0000       | 0            |
| n-C11        | 0.0000         | 0.0000       | 0            |
| <b>Total</b> | <b>1.00000</b> |              |              |

Figure 0-3 composition de la charge phase vapeur

## V.4.Choix de modèle thermodynamique

La fiabilité du modèle de simulation dépend essentiellement du choix de l'équation d'état adéquate, or le constructeur n'a pas défini le modèle thermodynamique utilisé dans sa propre simulation.

Parmi les modèles thermodynamiques existe dans la base de donne de Hysys on cite les modèles basés sur les équations d'états, tel que : Peng Robinson, Soave Redlich Kowng, Lee-Kesler-Plôker...etc.

Nous avons choisi dans notre étude l'équation d'état Peng Robinson qui est la plus réponsus dans le domaine de l'industrie gazière et pétrolière.

## V.5.Simulation d'un cas réel

Dans l'intention d'actualiser notre projet d'une part et effectuer des études avancées sur la colonne de stabilisation d'autre part, et mieux encore l'étude du comportement de cette dernière, on a procédé à la simulation du fonctionnement actuel de cette section.

Les paramètres de fonctionnement réel de la colonne de stabilisation ont été collectés au niveau du système de control (DCS).

*Tableau 0-4 Les paramètres de fonctionnement réel sur le DCS*

| Paramètre                               | valeur          |
|-----------------------------------------|-----------------|
| Température d'alimentation [°C]         | 84              |
| Température de rebouilleur [°C]         | 176.5 (225°C)   |
| Température de reflux [°C]              | 55.8            |
| Température de 12eme plateau [°C]       | 104.4           |
| Température de tête de colonne [°C]     | 84.5 (95°C max) |
| Pression d'alimentation [bar]           | 16.58           |
| Pression de la tête de la colonne [bar] | 15.15 (18 max)  |
| Pression de rebouilleur [bar]           | 16.32           |
| Débit d'alimentation [m3 /h]            | 23.43           |
| Débit de rebouilleur [m3 /h]            | 160.3           |
| Débit de reflux [m3 /h]                 | 5.89            |



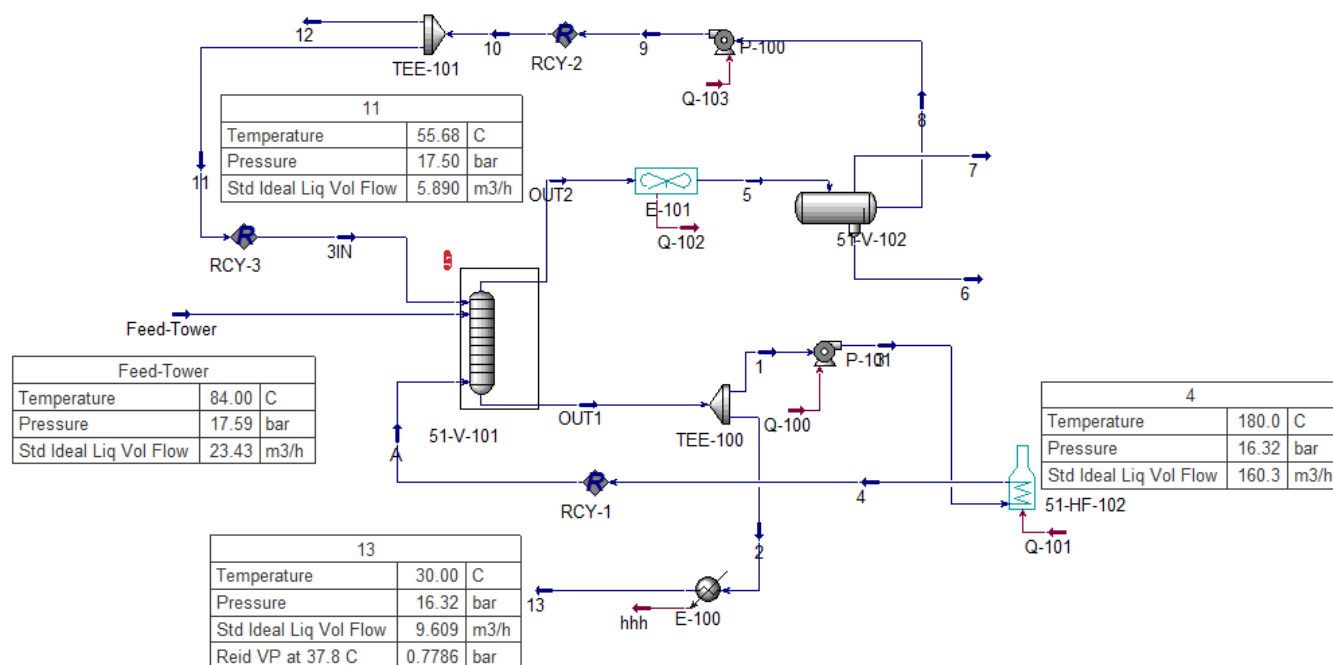


Figure 0-4 Schéma De La Simulation Actuel Du Procédé

## V.6.Les résultats obtenus d'après la simulation de cas réel :

Tableau 0-5 Les résultats de simulation

| Paramètre                                     | Cas simulé | Cas réel |
|-----------------------------------------------|------------|----------|
| Température 12eme plateau [°C]                | 101.5      | 104.4    |
| Température de tête de colonne [°C]           | 81.69      | 84.5     |
| TVR [mbar]                                    | <b>866</b> |          |
| Débit de condensat On spec produite [m3/jour] | 238        |          |

Les résultats obtenus d'après la simulation d'un cas réel est proche de celle affichée sur le système de contrôle DCS de cette journée tel que la température de 12<sup>ème</sup> plateau et la température de tête de colonne, avec ces paramètres le simulateur donne un débit de condensat ON Spec de 238 [m<sup>3</sup>/Day]

On remarque que la TVR obtenue via la simulation est hors spécification.

## V.7.Optimisations des Paramètres

L'objectif de cette étape est d'exploiter l'unité de stabilisation dans les bonnes conditions de marches, pour assurer une qualité de condensat conforme aux spécifications (ON-Spec) la TVR  $\approx 0.75$  bar (TVR max = 0.85 bar).

Le choix des paramètres de marche est basé sur l'accessibilité à régler ces derniers par l'opérateur au niveau de la salle de contrôle et faciliter de maîtrise en cas de perturbation possible pendant la marche de l'unité de stabilisation.

### V.7.1.Les paramètres de marche de l'unité de stabilisation

Nous allons présenter dans le tableau suivant, les paramètres de marche de l'unité de stabilisation des quelques cas réels collecter via l'historique du système de contrôle DCS:

Tableau 0-6 Paramètres de marches de quelques cas réelles

| <b>Cas</b><br><b>Paramètres</b>      | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Température d'alimentation [°C]      | 80       | 82       | 80       | 84       |
| Température de rebouilleur [°C]      | 177      | 176      | 178      | 176.5    |
| Température de 12eme plateau [°C]    | 109.6    | 106.6    | 108.9    | 104.4    |
| Température de tête de colonne [°C]  | 75.5     | 66.7     | 73.51    | 84.5     |
| Pression de tête de la colonne [bar] | 15.3     | 14       | 15.29    | 15.15    |
| Pression de rebouilleur [bar]        | 15.75    | 16.3     | 16.3     | 16.32    |
| Débit d'alimentation [m3 /h]         | 23.51    | 23.51    | 24       | 23.43    |
| Débit de rebouilleur [m3 /h]         | 190      | 190      | 180      | 160.3    |
| Débit de reflux [m3 /h]              | 8        | 11.99    | 9        | 5.89     |
| TVR [bar]                            | 0.763    | 0.891    | 0.837    | /        |

D'après ce tableau on note que les paramètres ayant une influence directe sur la TVR et la température dans la colonne de stabilisation sont la température et le débit de rebouilleur, ainsi que le débit de reflux.

Pour cela nous allons procéder une étude d'optimisation qui comprend :

- L'influence de la variation de température et de débit de rebouilleur sur la température de la colonne, la TVR et le débit de condensat produit ainsi que l'énergie fournie par le rebouilleur.
- L'influence de débit de reflux sur les mêmes paramètres.

### **V.7.2.Optimisation de température et débit de rebouilleur**

Pour optimiser la température de rebouilleur on a procédé une étude comme suit :

- Fixer les paramètres de fonctionnement de la colonne du cas réel (cas 4) ainsi que la composition de la charge d'alimentation.
- On fait varier le débit de rebouilleur et on fixe à chaque fois la température de rebouilleur de 176.5 °C jusqu'à 182 °C (design).

Les résultats du calcul depuis Hysys sont représentés sous forme des tableaux dans **l'annexe 8**, où la représentation graphique qui résume les résultats obtenus par Hysys est les suivants :

- **Profile de variation de TVR et d'énergie de chauffage en fonction de débit de rebouilleur à  $Trb = 176.5^\circ C$**

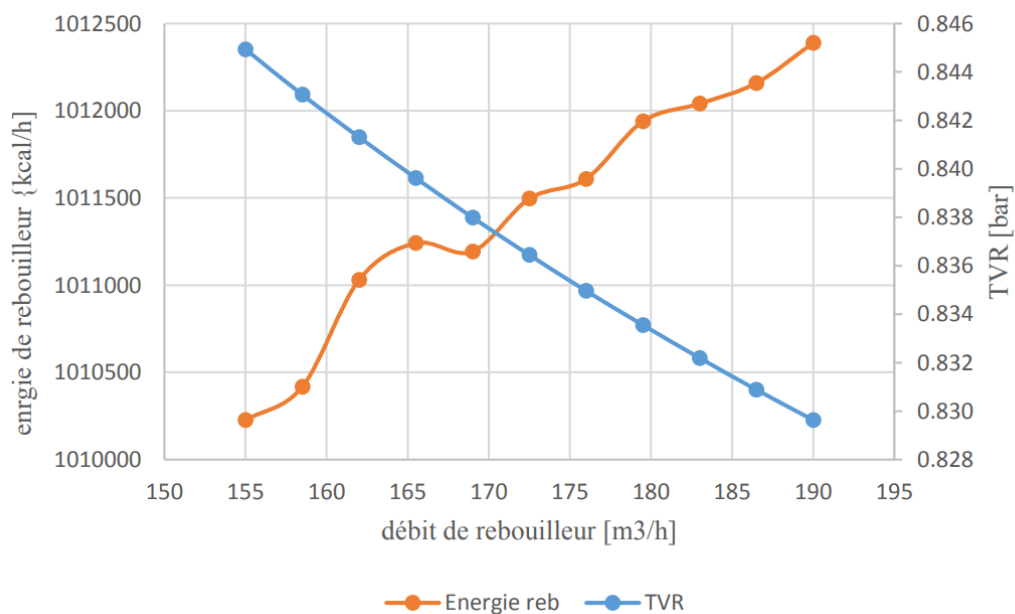


Figure 0-5 Évolution de TVR et énergie de rebouilleur en fonction de débit de rebouilleur à  $Trb = 176.5^\circ C$

- **Profile de variation de TVR et d'énergie de chauffage en fonction de débit de rebouilleur à  $Trb = 177^\circ C$**

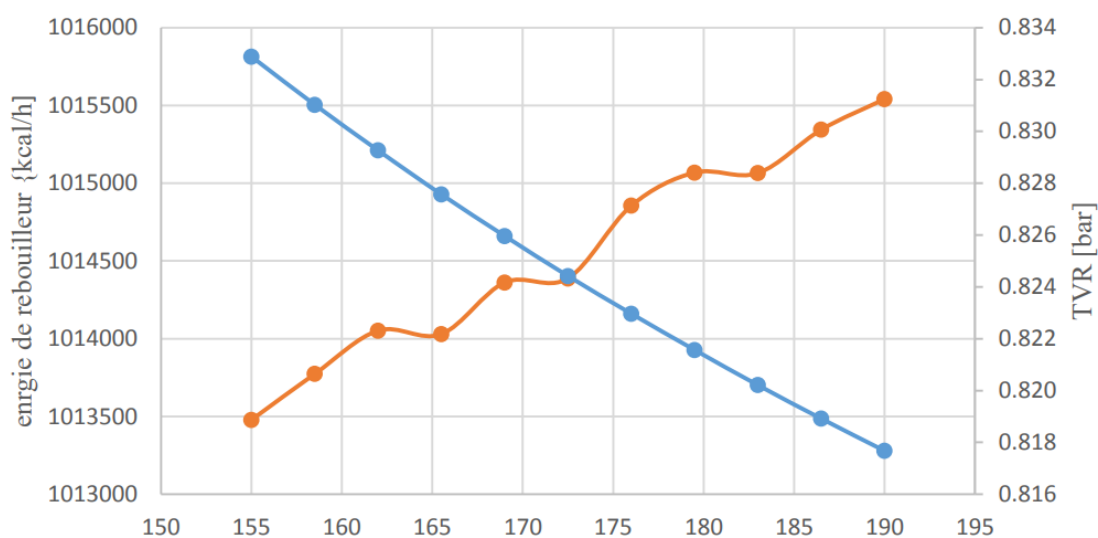


Figure 0-6 Evolution de TVR et d'énergie de chauffage en fonction de débit de rebouilleur à  $Trb = 177^\circ C$

- **Profile de variation de TVR et d'énergie de chauffage en fonction de débit de rebouilleur à  $Trb = 178\text{ °C}$**

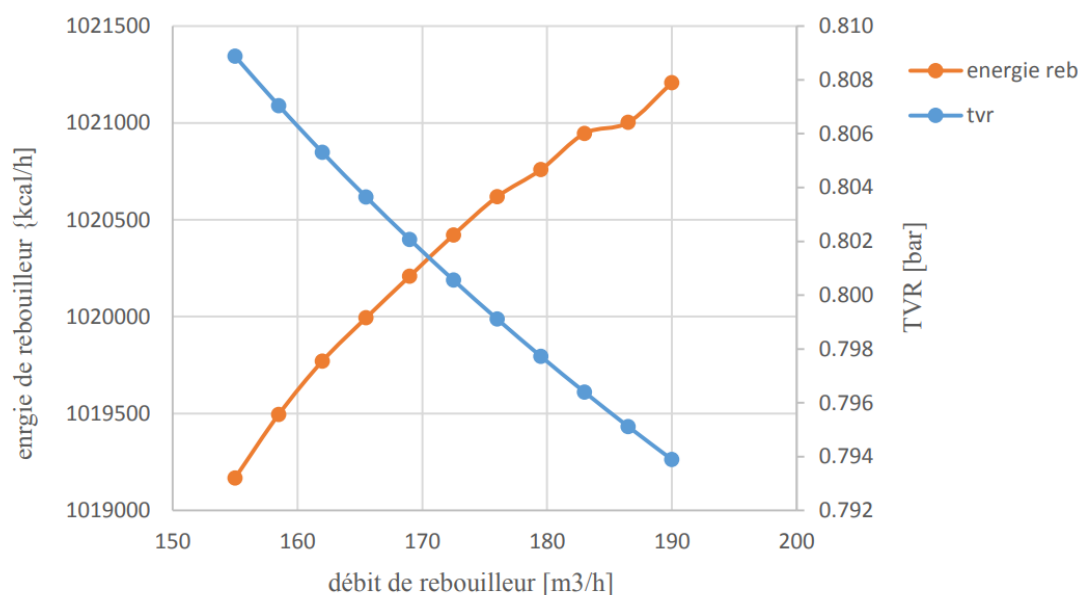


Figure 0-7 Évolution de TVR et énergie de rebouilleur en fonction de débit de rebouilleur à  $Trb = 178\text{ °C}$

- **Profile de variation de TVR et d'énergie de chauffage en fonction de débit de rebouilleur à  $Trb = 179\text{ °C}$**

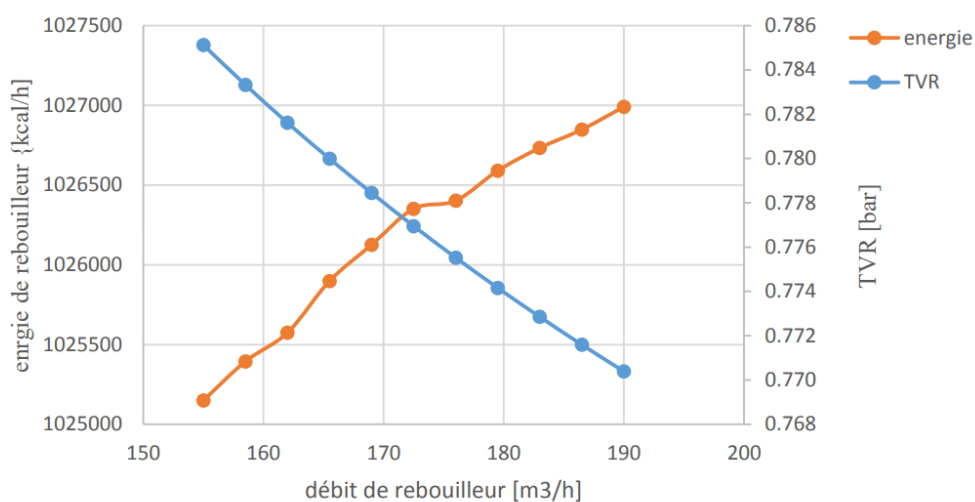


Figure 0-8 Évolution de TVR et énergie de rebouilleur en fonction de débit de rebouilleur à  $Trb = 179\text{ °C}$

➤ **Profile de variation de TVR et d'énergie de chauffage en fonction de débit de rebouilleur à  $T_{rb} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$**

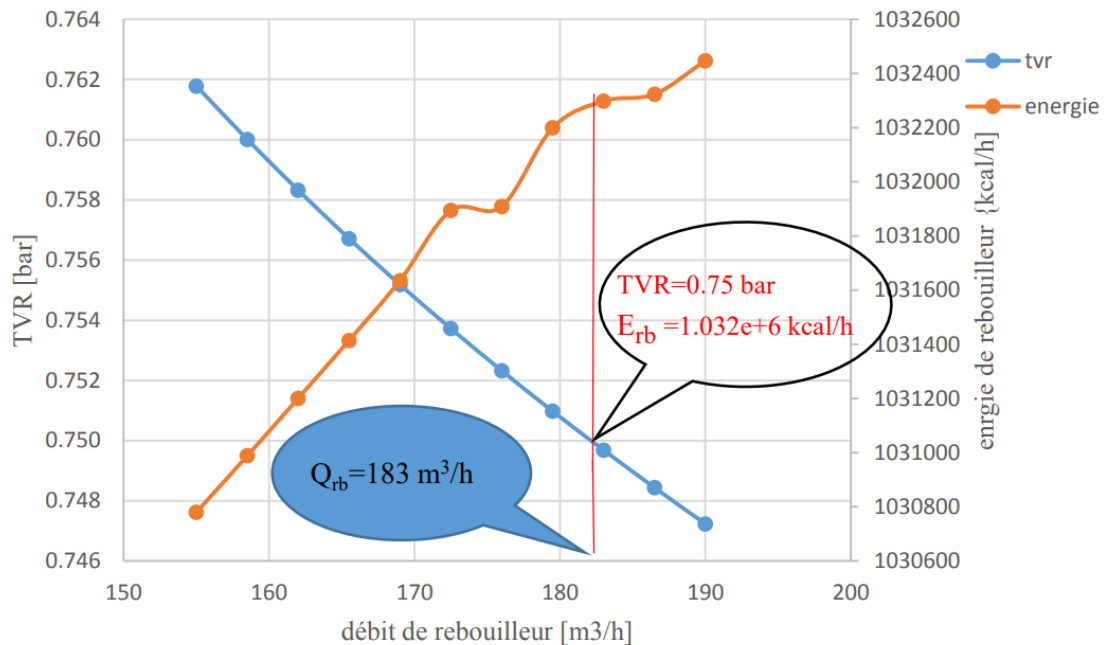


Figure 0-9 Évolution de TVR et énergie de rebouilleur en fonction de débit de rebouilleur à  $T_{rb} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$

D'après ces résultats on note :

- A chaque fois qu'on augmente la température de chauffage et le débit de rebouilleur, on constate ;
- L'augmentation de quantité de chaleur dans le rebouilleur et la température de fond de la colonne.

En plus de cette remarque, on a constaté la diminution de la Tension de Vapeur Reid (TVR).

Compte tenu de ces remarques on a observé l'influence de la température et le débit de rebouilleur.

Sur ce on développe la relation entre le débit de rebouilleur et la température de chauffage de (176.5 °C jusqu' à 182 °C) avec chaque paramètre.

Ces après les tableaux explicatifs :

Tableau 0-7 variation de TVR en fonction de température de chauffage et de débit de rebouilleur

| Qrb<br>[m <sup>3</sup> /h] | TVR [bar]         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                            | Trb=176.5<br>[°C] | Trb=177<br>[°C] | Trb=178<br>[°C] | Trb=179<br>[°C] | Trb=180<br>[°C] | Trb=181<br>[°C] | Trb=182<br>[°C] |
| 155                        | 0.845             | 0.833           | 0.809           | 0.785           | 0.762           | 0.739           | 0.715           |
| 158.5                      | 0.843             | 0.831           | 0.807           | 0.783           | 0.760           | 0.737           | 0.713           |
| 162                        | 0.841             | 0.829           | 0.805           | 0.782           | 0.758           | 0.735           | 0.711           |
| 165.5                      | 0.840             | 0.828           | 0.804           | 0.780           | 0.757           | 0.734           | 0.710           |
| 169                        | 0.838             | 0.826           | 0.802           | 0.778           | 0.755           | 0.732           | 0.708           |
| 172.5                      | 0.836             | 0.824           | 0.801           | 0.777           | 0.754           | 0.731           | 0.707           |
| 176                        | 0.835             | 0.823           | 0.799           | 0.776           | 0.752           | 0.729           | 0.706           |
| 179.5                      | 0.834             | 0.822           | 0.798           | 0.774           | 0.751           | 0.728           | 0.704           |
| <b>183</b>                 | <b>0.832</b>      | <b>0.820</b>    | <b>0.796</b>    | <b>0.773</b>    | <b>0.750</b>    | <b>0.727</b>    | <b>0.704</b>    |
| 186.5                      | 0.831             | 0.819           | 0.795           | 0.772           | 0.748           | 0.726           | 0.703           |
| 190                        | 0.830             | 0.818           | 0.794           | 0.770           | 0.747           | 0.724           | 0.702           |



Tableau 0-8 variation d'énergie de rebouilleur en fonction de température de chauffage et de débit de rebouilleur

| Qrb<br>[m <sup>3</sup> /h] | Energie de rebouilleur [kcal/h] |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|----------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                            | Trb=176.5<br>[°C]               | Trb=177<br>[°C] | Trb=178<br>[°C] | Trb=179<br>[°C] | Trb=180<br>[°C] | Trb=181<br>[°C] | Trb=182<br>[°C] |
| 155                        | 1010226                         | 1013478         | 1019167         | 1025150         | 1030779         | 1035713         | 1040760         |
| 158.5                      | 1010417                         | 1013774         | 1019495         | 1025395         | 1030988         | 1035894         | 1041046         |
| 162                        | 1011031                         | 1014052         | 1019771         | 1025575         | 1031200         | 1036174         | 1041120         |
| 165.5                      | 1011241                         | 1014030         | 1019994         | 1025898         | 1031414         | 1036352         | 1041488         |
| 169                        | 1011193                         | 1014362         | 1020209         | 1026126         | 1031635         | 1036649         | 1041537         |
| 172.5                      | 1011496                         | 1014388         | 1020422         | 1026352         | 1031894         | 1036715         | 1041676         |
| 176                        | 1011610                         | 1014855         | 1020619         | 1026402         | 1031909         | 1036982         | 1042095         |
| 179.5                      | 1011940                         | 1015069         | 1020759         | 1026590         | 1032199         | 1037062         | 1041649         |
| <b>183</b>                 | 1012041                         | 1015065         | 1020946         | 1026733         | <b>1032298</b>  | 1037114         | 1041475         |
| 186.5                      | 1012159                         | 1015344         | 1021003         | 1026849         | 1032323         | 1037399         | 1041844         |
| 190                        | 1012389                         | 1015541         | 1021208         | 1026990         | 1032447         | 1037335         | 1041528         |

- **Représentation de profil de TVR**

La figure suivant représente le profil de Tension de Vapeur Reid (TVR) en fonction de débit de rebouilleur pour les températures de chauffage de (176.5 °C jusqu'à 180 °C)

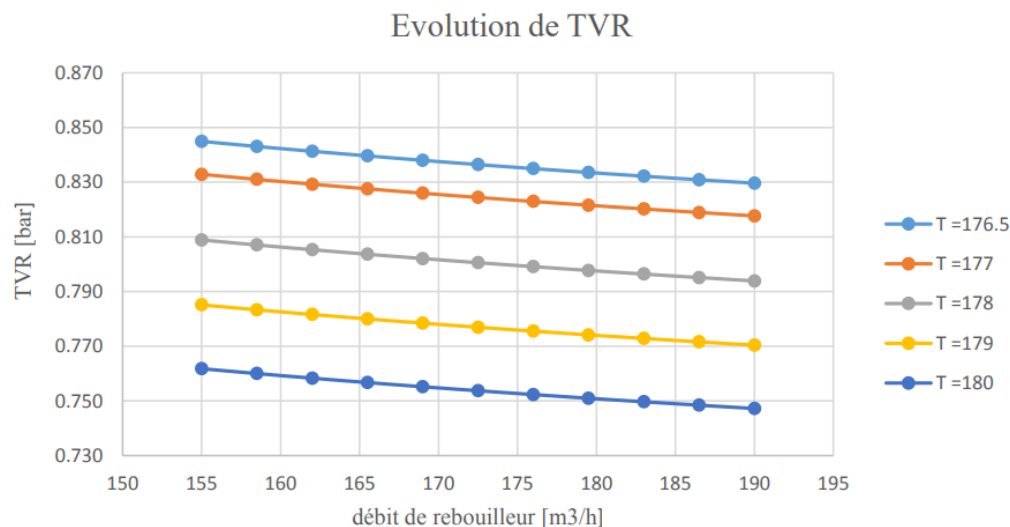


Figure 0-10 profil de TVR en fonction de débit de rebouilleur a différent température de chauffage

Cette figure montre que la Tension de Vapeur Reid (TVR) baisse sous l'augmentation de la température et du débit de rebouilleur, sous l'effet de monter des éléments légers contenus dans le fond de la colonne (condensat).

- **Représentation de profil de la quantité de chaleur fournit par le rebouilleur.**

La figure suivante représente le profil de l'énergie de chauffage en fonction de débit de rebouilleur à différents températures de chauffage :

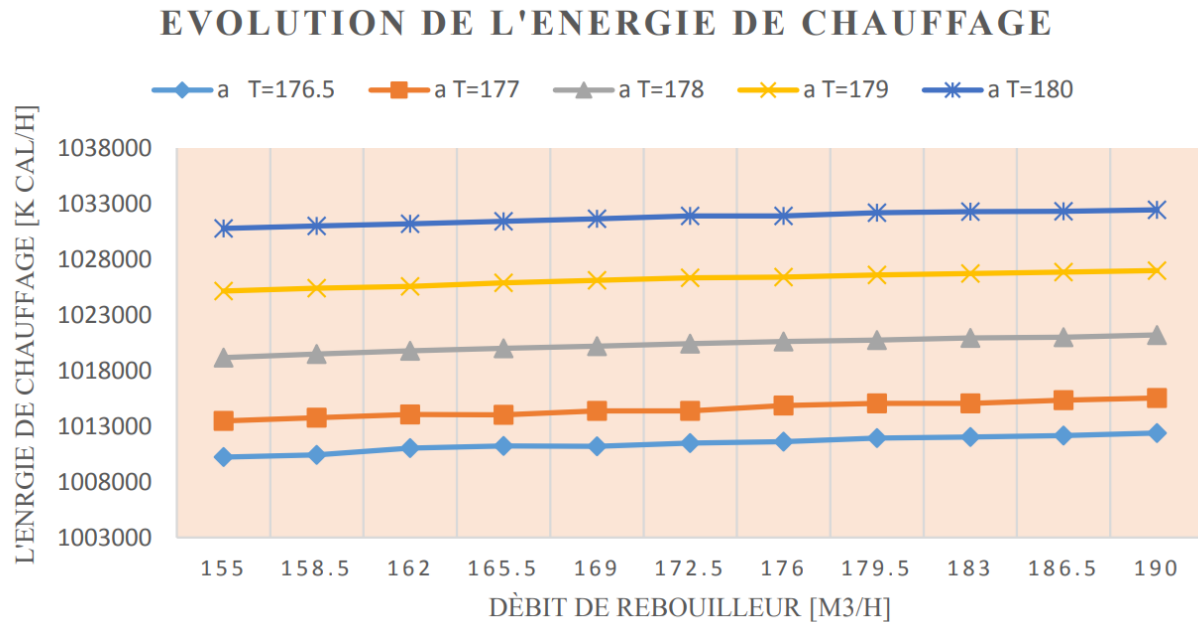


Figure 0-11 profil d'évolution de l'énergie de chauffage pour les différent température de chauffage

Cette figure montre que l'énergie de chauffage augmente avec la croissance du débit de rebouilleur et la température de chauffage.

### V.7.3.Optimisation de débit de reflux :

Pour optimiser le débit de reflux on a procédé à une étude comme suit :

- Fixer les paramètres de fonctionnement de la colonne du cas réel (cas 4) ainsi que la composition de la charge d'alimentation.
- Fixer le débit et la température de rebouilleur aux valeurs optimisés précédemment.
- On fait varier le débit de reflux jusqu'à 12 m3 /h ( $Q_{re\ design} = 11.5\ m3/h$ ) où débit de reflux maximum est de 23 m3 /h .
- On vérifie à chaque fois le fonctionnement de la colonne (TVR, débit de condensat produit, la température dans la colonne, l'énergie de rebouilleur et de condenseur).

Les résultats de cette étude sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 0-9 Influence de débit de reflux sur les paramètres de la colonne

| <b>Qre<br/>(m3 /h)</b> | <b>Qpr<br/>(m3 /h)</b> | <b>Tf (°C)</b> | <b>Tt (°C)</b> | <b>Erb<br/>(kcal/h)</b> | <b>Ecd<br/>(kcal/h)</b> | <b>TVR (bar)</b> |
|------------------------|------------------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|------------------|
| 1                      | 8.49                   | 177.30         | 94.12          | 864935                  | 678882                  | 0.790            |
| 2                      | 8.73                   | 177.30         | 90.85          | 896212                  | 692460                  | 0.782            |
| 3                      | 8.99                   | 177.23         | 87.93          | 928567                  | 703011                  | 0.780            |
| 4                      | 9.24                   | 177.16         | 85.58          | 963524                  | 716278                  | 0.778            |
| 5                      | 9.44                   | 177.11         | 83.56          | 997750                  | 732868                  | 0.774            |
| 6                      | 9.62                   | 177.03         | 82.26          | 1037737                 | 755315                  | 0.773            |
| 7                      | 9.70                   | 177.05         | 81.30          | 1070443                 | 785480                  | 0.762            |
| 8                      | 9.81                   | 177.04         | 80.50          | 1108949                 | 814204                  | 0.754            |
| <b>9</b>               | <b>9.93</b>            | <b>177.05</b>  | <b>79.63</b>   | <b>1147448</b>          | <b>841395</b>           | <b>0.743</b>     |
| 10                     | 10.04                  | 176.97         | 78.80          | 1185674                 | 868709                  | 0.743            |
| 11                     | 10.17                  | 176.98         | 78.03          | 1230079                 | 895013                  | 0.733            |
| 12                     | 10.22                  | 176.96         | 77.55          | 1262876                 | 929605                  | 0.728            |

D'après ce tableau à chaque fois qu'on augmente le débit de reflux on constate :

- L'augmentation de débit de condensat produit due à la récupération de produit lourd entraîné par les fractions légères en tête de colonne.
- La diminution de température le long de la colonne qui due au refroidissement de tête de colonne par le reflux froid.
- La diminution de TVR de condensat produit due à l'augmentation de l'énergie fournit par le rebouilleur.

Donc on peut conclure que pour un débit de reflux de 9 m<sup>3</sup> /h on trouve un produit de condensat avec la spécification de TVR =0.743 [bar] voulue.

- **Profil de TVR et de débit de production en fonction de débit de reflux :**

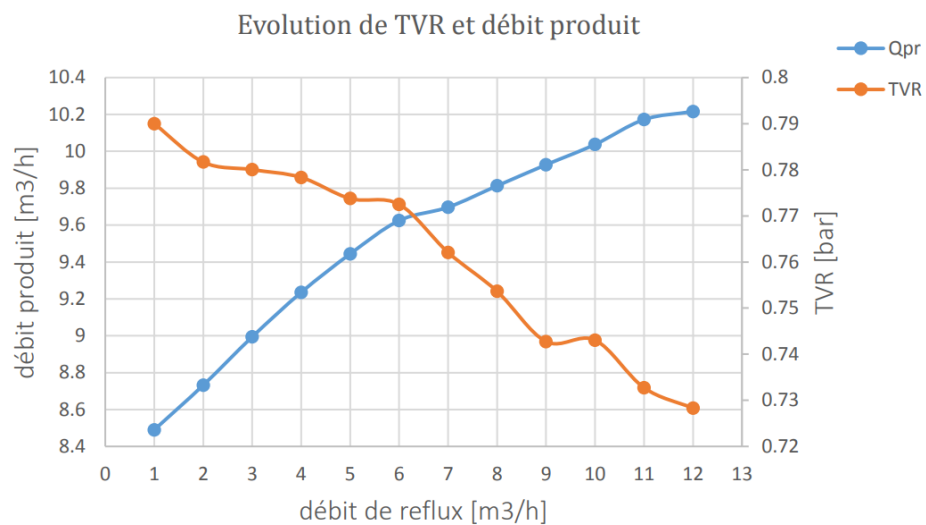


Figure V-12 variation de débit de production et la TVR en fonction de débit de reflux

### V.7.4.Récapitulatif des résultats obtenus :

Tableau 0-10 Comparaison des paramètres des cas design, cas réelle et cas optimise

| Paramètres                        | Cas design | Cas réel     | Cas optimisé |
|-----------------------------------|------------|--------------|--------------|
| Débit d'alimentation [m3/h]       | 27.75      | 23.43        | 23.43        |
| Débit de reflux [m3/h]            | 11.5       | 5.89         | 9            |
| Débit de rebouilleur [m3/h]       | 137.6      | 160.3        | 183          |
| Température d'alimentation [°C]   | 84.8       | 82           | 82           |
| Température de rebouilleur [°C]   | 181.9      | 176.5        | 180          |
| Température de tête [°C]          | 80.8       | 84.5         | 79.63        |
| Température de fond [°C]          | 177.5      | 173          | 177.05       |
| Pression de tête [bar]            | 16.3       | 16.16        | 16.16        |
| Pression de rebouilleur [bar]     | 16.7       | 16.32        | 16.32        |
| Débit de condensat produit [m3/d] | 289        | 238          | 238          |
| TVR [bar]                         | 0.762      | <b>0.866</b> | 0.743        |
| Energie de rebouilleur [kcal/h]   | 1343466.8  | 1007898.1    | 1147448      |
| Energie de condenseur [kcal/h]    | 1007663    | 719402.9     | 841395       |

### V.7.5.Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenus et en comparaison avec ceux du fonctionnement réel et design on conclut les remarques suivantes :

Pour voir un produit de condensat stable avec une TVR  $\approx 0.75$  bar (TVR max = 0.85 bar) il faut que la température de chauffe soit environ 180 [°C], cette augmentation de température par apport au cas réel conduire aussi à l'augmentation de l'énergie fournit par le rebouilleur.

La distribution de température le long de la colonne est maintenus près au design par un débit de reflux de 9 [m3 /h], tout en gardon le même débit d'alimentation du cas réel.

Le débit de condensat ON Spec produit dépend essentiellement par le débit de la charge d'alimentation.

L'énergie fournit par le rebouilleur dans le cas optimisé est inférieur à celle de cas design mais elle est légèrement supérieure à celle de cas réel dans le but de voir un condensat produit avec un TVR voulue.

nous avons vérifié les paramètres de fonctionnement de la colonne de stabilisation dans le cas design et le cas réel pour confirmer l'exactitude du modèle de l'unité de stabilisation par le logiciel Hysys.

D'après les résultats obtenus on trouve que les valeurs obtenues par la simulation se convergent avec les valeurs de design et aussi pour la simulation de nos valeurs réelles qui donne un résultat proche aux paramètres de marche réelle, ce qui permet de passer à l'optimisation de ces paramètres.

Après cette étape de validation, nous avons entrepris l'optimisation des paramètres de fonctionnement. En utilisant les résultats de simulation comme point de départ, nous avons ajusté les paramètres clés, tels que la température et le débit des rebouilleurs, afin de maximiser l'efficacité et la performance de la colonne de stabilisation. Les résultats de cette optimisation montrent une amélioration significative en termes de consommation d'énergie et de rendement du produit final, confirmant ainsi l'efficacité de notre approche et ouvrant la voie à des améliorations opérationnelles concrètes.

# **Conclusion**



## Conclusion

Nous avons essayé d'optimiser les paramètres opératoires de l'unité de stabilisation de condensat au niveau de centre de compression et de réinjection de gaz Zotti GCR dans le but d'obtenir un condensat stable avec un TVR conforme à la spécification, tout en consommant le minimum d'énergie.

La simulation de cette unité par le simulateur Hysys avec les données du cas design et du cas de marche réelle nous a permis d'établir un modèle représentant cette unité et qui serviront pour étudier d'autres cas de marches réels.

L'optimisation des paramètres de fonctionnement de l'unité de stabilisation de condensat au niveau du centre Zotti GCR nous a permis de trouver des nouveaux paramètres opératoires afin d'améliorer la TVR de condensat produit au fond de la colonne.

Cette étude nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et maîtriser le fonctionnement de cette unité.

# **Références Bibliographiques**

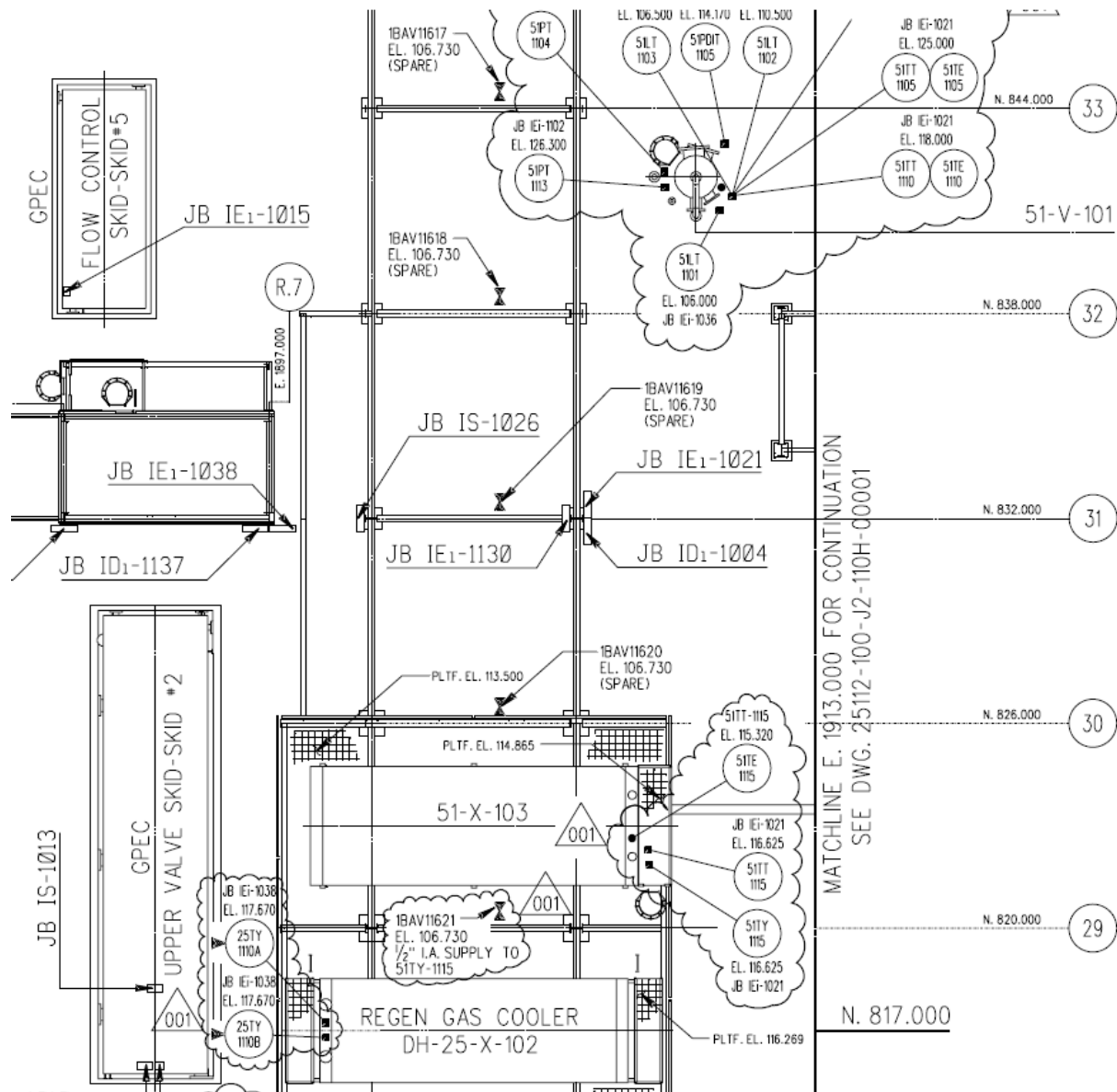
---

## Références Bibliographiques

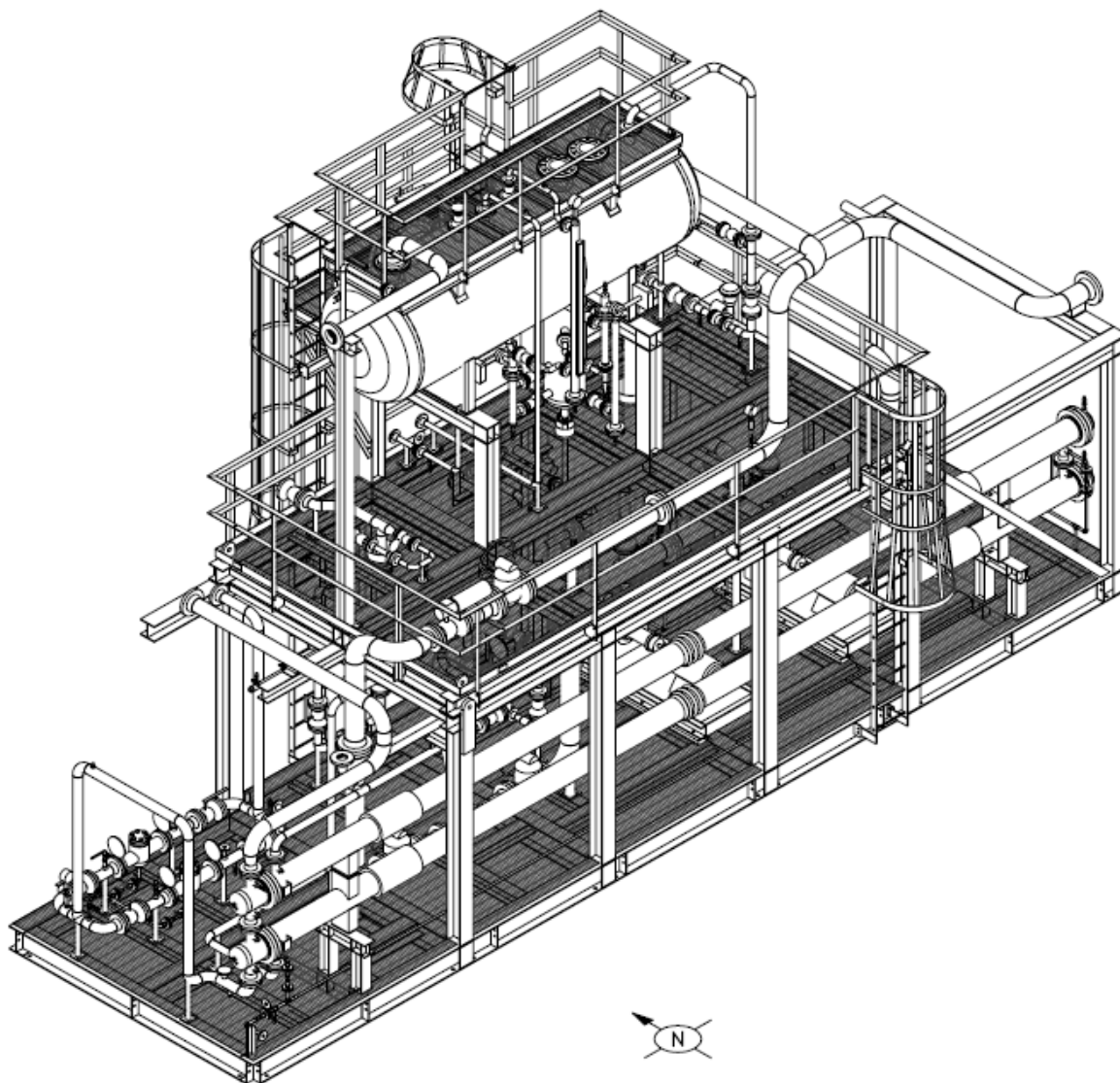
---

- [1] J.-P. Favennec, le raffinage du pétrole, exploitation et gestion de la raffinerie, Vol 5 éd.
- [2] (Eakin, 2018).
- [3] (Al-Ghannam et al., 2017).
- [4] (Speight, 2014).
- [5] Pérez-Marin et al., 2020)
- [6] « Résumé des journées scientifiques et techniques, » Avril 1998.
- [7] Manuelle opératoire de fonctionnement de l'unité de stabilisation Zotti GCS
- [8] N. Mouni simulation et optimisation des paramètres technologique de l'unité de fractionnement des GPL a haoud Berkaoui. Université M'hamed Bouguerra-Boumerdès.2013 p67
- [9] TECH, ASPEN. <https://www.aspentech.com/>. [En ligne]
- [10] AspenTech. Aspen HYSYS user's guide. 2019.
- [11] Vidal, J. Thermodynamique ; Application au génie chimique et à l'industrie pétrolière, édition Technique. 1997.
- [12] .J. Redlich, N.S. Kwong. On the thermodynamics of solutions, V-an Equation of state, fugacities of gaseous solutions. 1949.
- [13] Soave, G. Equilibrium constants from a modified Redlich Kwong equation of state, C.E.S. 1972.
- [14] B.I. Lee, M.G. Kesler. A generalized thermodynamic correction based on three parameter corresponding data, Journal AIChE. 1975.
- [15] Y.D. Peng, D.B.A. Robinson. New two constant equation of state, I.E.C fundamentals. . 1976.
- [16] COMThermo, AspenTech. Aspen COMThermo, Reference guide ASPEN Technology. 2007.
- [17] Belkadi, A. Modélisation de la matière avec l'équation saft pour la prédiction des propriétés thermodynamiques des fluides complexes à travers simulais thermodynamiques, thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse. 2008.

# Liste des annexes

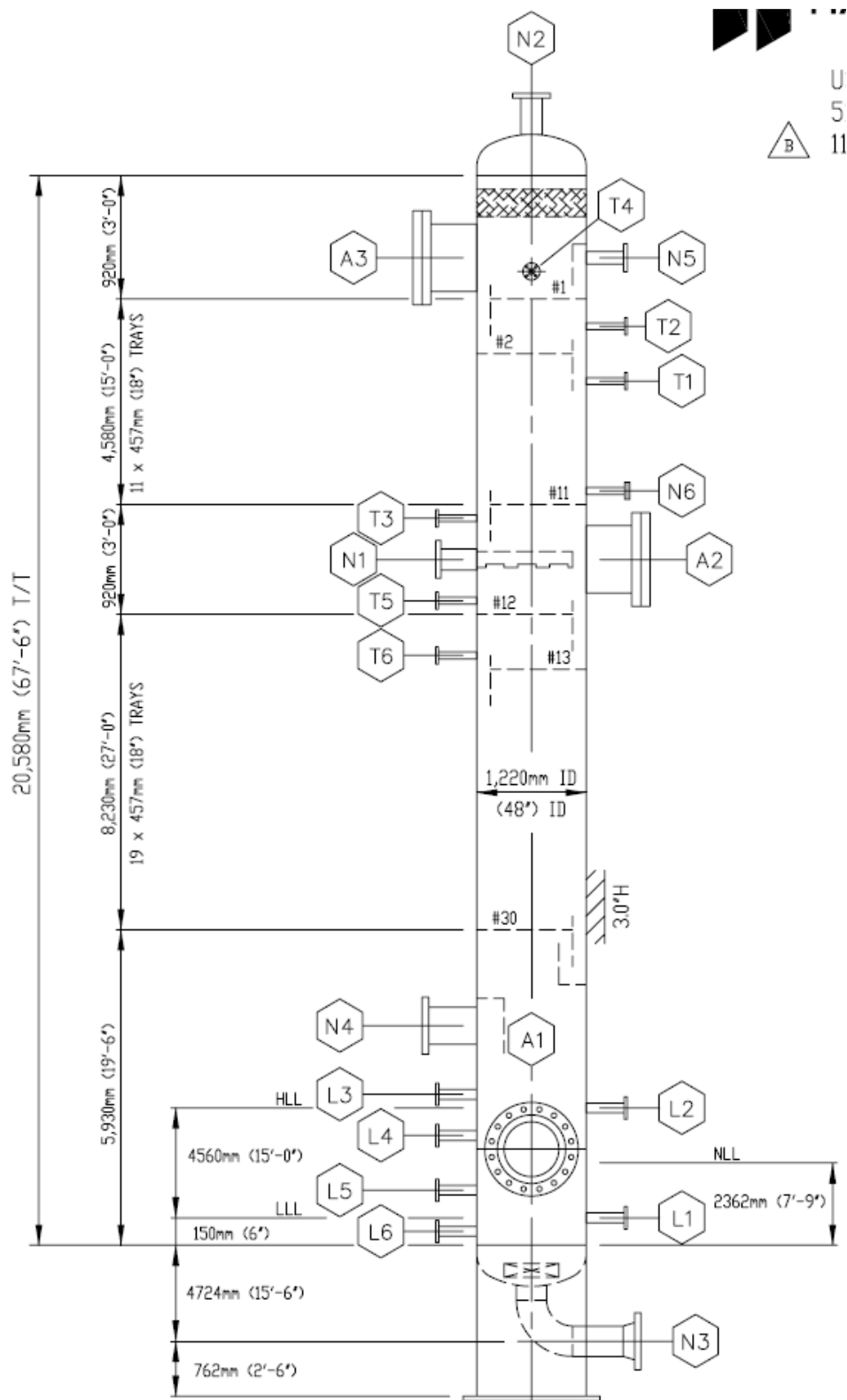


Annexe 1 Plan d'implantation de l'équipement de traitement de condensat



*Annexe 2 Schéma isométrique de l'équipement de traitement de condensat sur la plateforme*



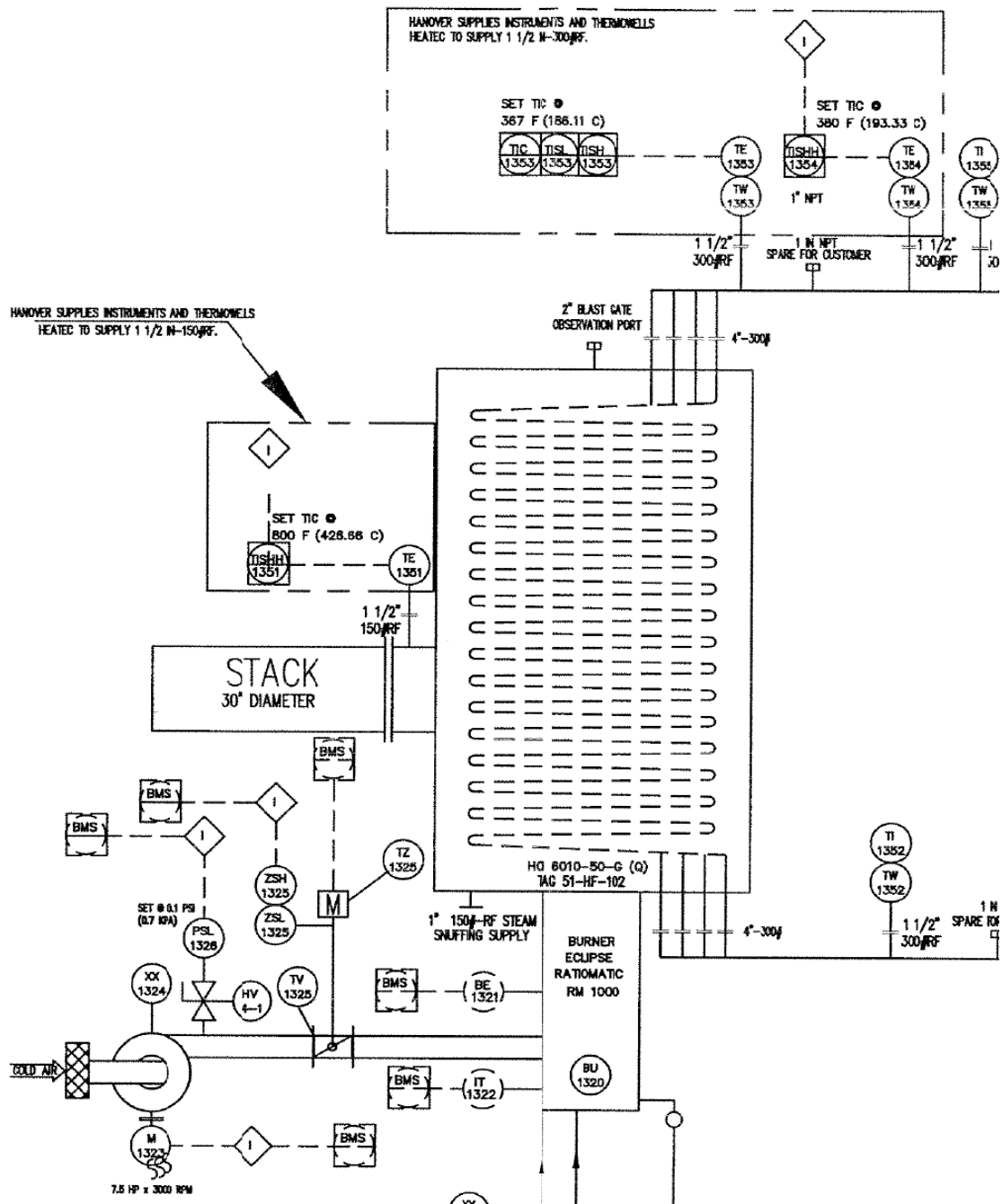


Annexe 5 Schema de Réservoir 51-V-101 du stabilisateur



|                                                  |                                            |                                      |                       |             |       |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------|-------|
| CUSTOMER                                         | SONAHES                                    | ITEM NUMBER                          | 51-HF-102             | PAGE 1 OF 6 |       |
| PROJECT                                          | GAS COMPRESSION AND REINJECTION FACILITIES | SERVICE OF UNIT                      | 3 STABILIZER REBOILER |             |       |
| LOCATION                                         | ZOTTI, ALGERIA                             | NUMBER REQUIRED                      | ONE                   |             |       |
| JOB NUMBER                                       | 25112-100                                  | MANUFACTURER                         | Heatec                |             |       |
| TYPE OF HEATER                                   | Vertical Helical Coil                      | VAPORIZATION CURVE REFERENCE DRAWING | (SEE PAGES 3-6)       |             |       |
| TOTAL HEAT ABSORBED (GJ/h)                       | 1 1,623 KW                                 | (NOTES 3)                            |                       |             |       |
| - HEATER PERFORMANCE (TOTAL FOR ALL UNITS) -     |                                            |                                      |                       |             |       |
| HEATER SECTION                                   |                                            |                                      |                       |             |       |
| CASE                                             |                                            | SUMMER 2012                          | WINTER 2007           |             |       |
| FLUID DESCRIPTION / TYPE                         |                                            |                                      |                       |             |       |
| HEAT ABSORPTION (NOTES 3)                        | KW                                         | 1 1623 3                             | 1 1006 3              |             |       |
| MAXIMUM TURNDOWN                                 | %                                          | 30                                   | 30                    |             |       |
| FLOW RATE (NOTES 3)                              | kg/h                                       | 1 92,443                             | 1 54,861              |             |       |
| NUMBER OF PASSES                                 |                                            | Two                                  |                       |             |       |
| MAXIMUM ALLOWABLE PRESSURE DROP - CLEAN / FOULED | bar                                        | / 2.5                                | / 2.5                 | /           |       |
| CALCULATED PRESSURE DROP - CLEAN / FOULED        | bar                                        | 2.3 /                                | /                     | /           |       |
| COKING ALLOWANCE                                 | mm                                         |                                      |                       |             |       |
| ALLOWABLE HEAT FLUX DENSITY                      | W / m <sup>2</sup>                         |                                      |                       |             |       |
| CALCULATED AVERAGE RADIANT FLUX DENSITY (NOTE 2) | W / m <sup>2</sup>                         | 34,608                               |                       |             |       |
| MAXIMUM AVERAGE FLUX DENSITY                     | W / m <sup>2</sup>                         | 31,545                               | 31,545                |             |       |
| AVERAGE CONVECTION FLUX DENSITY (NOTE 2)         | W / m <sup>2</sup>                         |                                      |                       |             |       |
| VELOCITY LIMITATION                              | m / s                                      |                                      |                       |             |       |
| MAXIMUM ALLOWABLE BULK TEMPERATURE               | °C                                         |                                      |                       |             |       |
| MAXIMUM ALLOWABLE INSIDE FILM TEMPERATURE        | °C                                         |                                      |                       |             |       |
| FOULING RESISTANCE INSIDE                        | m <sup>2</sup> ·°C/W                       | 0.0004                               | 0.0004                |             |       |
| DESIGN - TEMPERATURE / PRESSURE                  | °C / barg                                  | 225 / 24.0                           | 225 / 24.0            | /           |       |
| INLET CONDITIONS                                 |                                            | STREAM 169                           |                       |             |       |
| TEMPERATURE                                      | °C                                         | 178.2                                | 175.3                 |             |       |
| PRESSURE                                         | barg / bara                                | 19.69                                | 19.69                 |             |       |
| LIQUID FLOW                                      | kg/h                                       | 92,443                               | 54,861                |             |       |
| VAPOR FLOW                                       | kg/h                                       | ---                                  | ---                   |             |       |
| GRAVITY, LIQUID                                  | S.G. @ 15.7°C                              | 0.484                                | 0.481                 |             |       |
| VAPOR MOLECULAR WEIGHT                           |                                            | ---                                  | ---                   |             |       |
| MIXED PHASE DENSITY                              | kg/m <sup>3</sup>                          | ---                                  | ---                   |             |       |
| SURFACE TENSION                                  | dyne/cm                                    | 3.53                                 | 3.36                  |             |       |
|                                                  |                                            | LIQ                                  | VAP                   | LIQ         | VAP   |
| DENSITY @ P.T                                    | kg/m <sup>3</sup>                          | 484.4                                | ---                   | 480.6       | ---   |
| VISCOSITY                                        | cP                                         | 0.087                                | ---                   | 0.086       | ---   |
| SPECIFIC HEAT                                    | kJ/kg·°C                                   | 3.309                                | ---                   | 3.351       | ---   |
| THERMAL CONDUCTIVITY                             | W/m·°C                                     | 0.053                                | ---                   | 0.056       | ---   |
| OUTLET CONDITIONS                                |                                            | STREAM 170                           |                       |             |       |
| TEMPERATURE                                      | °C                                         | 186.3                                | 182.4                 |             |       |
| PRESSURE                                         | barg / bara                                | 17.19                                | 17.19                 |             |       |
| LIQUID FLOW                                      | kg/h                                       | 75,604                               | 49,374                |             |       |
| VAPOR FLOW                                       | kg/h                                       | 16,750                               | 11,487                |             |       |
| GRAVITY, LIQUID                                  | S.G. @ 15.7°C                              | 0.473                                | 0.469                 |             |       |
| VAPOR MOLECULAR WEIGHT                           |                                            | ---                                  | ---                   |             |       |
| MIXED PHASE DENSITY                              | kg/m <sup>3</sup>                          | 199.4                                | 184.3                 |             |       |
| SURFACE TENSION                                  | dyne/cm                                    | 3.17                                 | 3.02                  |             |       |
|                                                  |                                            | LIQ                                  | VAP                   | LIQ         | VAP   |
| DENSITY @ P.T                                    | kg/m <sup>3</sup>                          | 472.8                                | 55.2                  | 468.9       | 56.0  |
| VISCOSITY                                        | cP                                         | 0.083                                | 0.012                 | 0.082       | 0.012 |
| SPECIFIC HEAT                                    | kJ/kg·°C                                   | 3.467                                | 2.711                 | 3.517       | 2.720 |
| THERMAL CONDUCTIVITY                             | W/m·°C                                     | 0.046                                | 0.031                 | 0.051       | 0.031 |

Annexe 6 Fiche technique de Rebouilleur du stabilisateur – spécifications Bechtel



Annexe 7 Réchauffeur à combustible 51-HF-102

## Annexes 8 : les résultats de calcul depuis Hysys

Annexe 8.1.Résultat d'optimisation à Trb =176.5 °C

| Qrb   | Qpr  | TVR   | Erb     | Ecd    | Tf    | Tt   |
|-------|------|-------|---------|--------|-------|------|
| 155   | 10.0 | 0.845 | 1010226 | 719951 | 173.1 | 81.4 |
| 158.5 | 10.0 | 0.843 | 1010417 | 720675 | 173.2 | 81.4 |
| 162   | 10.0 | 0.841 | 1011031 | 721135 | 173.2 | 81.4 |
| 165.5 | 10.0 | 0.840 | 1011241 | 721769 | 173.3 | 81.4 |
| 169   | 9.9  | 0.838 | 1011193 | 722497 | 173.4 | 81.4 |
| 172.5 | 9.9  | 0.836 | 1011496 | 723001 | 173.4 | 81.5 |
| 176   | 9.9  | 0.835 | 1011610 | 723586 | 173.5 | 81.5 |
| 179.5 | 9.9  | 0.834 | 1011940 | 723997 | 173.6 | 81.5 |
| 183   | 9.9  | 0.832 | 1012041 | 724638 | 173.6 | 81.5 |
| 186.5 | 9.9  | 0.831 | 1012159 | 725026 | 173.7 | 81.5 |
| 190   | 9.9  | 0.830 | 1012389 | 725418 | 173.7 | 81.5 |

Annexe 8.2.Résultat d'optimisation à  $T_{rb} = 177\text{ °C}$

| <b>Qrb</b> | <b>Qpr</b> | <b>TVR</b> | <b>Erb</b> | <b>Ecd</b> | <b>Tf</b> | <b>Tt</b> |
|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| 155        | 9.9        | 0.833      | 1013478    | 724272     | 173.6     | 81.5      |
| 158.5      | 9.9        | 0.831      | 1013774    | 724911     | 173.7     | 81.5      |
| 162        | 9.9        | 0.829      | 1014052    | 725531     | 173.8     | 81.5      |
| 165.5      | 9.9        | 0.828      | 1014030    | 726265     | 173.8     | 81.5      |
| 169        | 9.9        | 0.826      | 1014362    | 726771     | 173.9     | 81.6      |
| 172.5      | 9.9        | 0.824      | 1014388    | 727421     | 174.0     | 81.6      |
| 176        | 9.9        | 0.823      | 1014855    | 727821     | 174.0     | 81.6      |
| 179.5      | 9.9        | 0.822      | 1015069    | 728300     | 174.1     | 81.6      |
| 183        | 9.9        | 0.820      | 1015065    | 728874     | 174.1     | 81.6      |
| 186.5      | 9.9        | 0.819      | 1015344    | 729274     | 174.2     | 81.6      |
| 190        | 9.9        | 0.818      | 1015541    | 729677     | 174.2     | 81.6      |

Annexe 8.3.Résultat d'optimisation à  $T_{rb} = 178\text{ °C}$

| <b>Qrb</b> | <b>Qpr</b> | <b>TVR</b> | <b>Erb</b> | <b>Ecd</b> | <b>Tf</b> | <b>Tt</b> |
|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| 155        | 9.8        | 0.809      | 1019167    | 732870     | 174.6     | 81.5      |
| 158.5      | 9.8        | 0.807      | 1019495    | 773461     | 174.7     | 81.5      |
| 162        | 9.8        | 0.805      | 1019771    | 734057     | 174.8     | 81.7      |
| 165.5      | 9.8        | 0.804      | 1019994    | 734642     | 174.9     | 81.7      |
| 169        | 9.8        | 0.802      | 1020209    | 735194     | 174.9     | 81.8      |
| 172.5      | 9.8        | 0.801      | 1020422    | 735718     | 175.0     | 81.8      |
| 176        | 9.8        | 0.799      | 1020619    | 736215     | 175.1     | 81.8      |
| 179.5      | 9.8        | 0.798      | 1020759    | 736715     | 175.1     | 81.8      |
| 183        | 9.8        | 0.796      | 1020946    | 737159     | 175.2     | 81.9      |
| 186.5      | 9.8        | 0.795      | 1021003    | 737663     | 175.2     | 81.9      |
| 190        | 9.8        | 0.794      | 1021208    | 738044     | 175.3     | 81.9      |

Annexe 8.4.Résultat d'optimisation à Trb =179 °C

| <b>Qrb</b> | <b>Qpr</b> | <b>TVR</b> | <b>Erb</b> | <b>Ecd</b> | <b>Tf</b> | <b>Tt</b> |
|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| 155        | 9.7        | 0.785      | 1025150    | 741327     | 175.7     | 82.0      |
| 158.5      | 9.7        | 0.783      | 1025395    | 741952     | 175.8     | 82.0      |
| 162        | 9.7        | 0.782      | 1025575    | 742575     | 175.8     | 82.0      |
| 165.5      | 9.7        | 0.780      | 1025898    | 743074     | 175.      | 82.0      |
| 169        | 9.7        | 0.778      | 1026126    | 743588     | 176.0     | 82.0      |
| 172.5      | 9.7        | 0.777      | 1026352    | 744076     | 176.0     | 82.1      |
| 176        | 9.7        | 0.776      | 1026402    | 744640     | 176.1     | 82.1      |
| 179.5      | 9.7        | 0.774      | 1026590    | 745101     | 176.2     | 82.1      |
| 183        | 9.7        | 0.773      | 1026733    | 745551     | 176.2     | 82.1      |
| 186.5      | 9.7        | 0.772      | 1026849    | 745985     | 176.3     | 82.1      |
| 190        | 9.7        | 0.770      | 1026990    | 746398     | 176.3     | 82.1      |

Annexe 8.5.Résultat d'optimisation à  $T_{rb} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$

| <b>Qrb</b> | <b>Qpr</b> | <b>TVR</b> | <b>Erb</b> | <b>Ecd</b> | <b>Tf</b> | <b>Tt</b> |
|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| 155        | 9.6        | 0.762      | 1030779    | 749824     | 176.7     | 82.2      |
| 158.5      | 9.6        | 0.760      | 1030988    | 750443     | 176.8     | 82.2      |
| 162        | 9.6        | 0.758      | 1031200    | 751005     | 176.9     | 82.3      |
| 165.5      | 9.6        | 0.757      | 1031414    | 751528     | 176.9     | 82.3      |
| 169        | 9.6        | 0.755      | 1031635    | 752047     | 177.0     | 82.3      |
| 172.5      | 9.6        | 0.754      | 1031894    | 752491     | 177.1     | 82.3      |
| 176        | 9.6        | 0.752      | 1031909    | 753042     | 177.1     | 82.3      |
| 179.5      | 9.6        | 0.751      | 1032199    | 753426     | 177.2     | 82.3      |
| 183        | 9.6        | 0.750      | 1032298    | 753899     | 177.2     | 82.3      |
| 186.5      | 9.6        | 0.748      | 1032323    | 754343     | 177.3     | 82.4      |
| 190        | 9.6        | 0.747      | 1032447    | 754725     | 177.4     | 82.4      |

Annexe 8.6.Résultat d'optimisation à Trb =181 °C

| Qrb   | Qpr | TVR   | Erb     | Ecd    | Tf    | Tt   |
|-------|-----|-------|---------|--------|-------|------|
| 155.0 | 9.5 | 0.739 | 1035713 | 758556 | 177.8 | 82.5 |
| 158.5 | 9.5 | 0.737 | 1035894 | 759124 | 177.8 | 82.5 |
| 162.0 | 9.5 | 0.735 | 1036174 | 759636 | 177.9 | 82.5 |
| 165.5 | 9.5 | 0.734 | 1036352 | 760183 | 178.0 | 82.5 |
| 169.0 | 9.5 | 0.732 | 1036649 | 760628 | 178.0 | 82.5 |
| 172.5 | 9.5 | 0.731 | 1036715 | 761156 | 178.1 | 82.6 |
| 176.0 | 9.5 | 0.729 | 1036982 | 761565 | 178.2 | 82.6 |
| 179.5 | 9.5 | 0.728 | 1037062 | 762038 | 178.2 | 82.6 |
| 183.0 | 9.5 | 0.727 | 1037114 | 762475 | 178.3 | 82.6 |
| 186.5 | 9.5 | 0.726 | 1037399 | 762798 | 178.3 | 82.6 |
| 190.0 | 9.5 | 0.724 | 1037335 | 763264 | 178.4 | 82.6 |



Annexe 8.7.Résultat d'optimisation à Trb =182 °C

| <b>Qrb</b> | <b>Qpr</b> | <b>TVR</b> | <b>Erb</b> | <b>Ecd</b> | <b>Tf</b> | <b>Tt</b> |
|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| 155        | 9.43       | 0.715      | 1040760    | 767123     | 178.8     | 82.8      |
| 158.5      | 9.42       | 0.713      | 1041046    | 767639     | 178.9     | 82.8      |
| 162        | 9.42       | 0.711      | 1041120    | 768227     | 179.0     | 82.8      |
| 165.5      | 9.41       | 0.710      | 1041488    | 768644     | 179.0     | 82.8      |
| 169        | 9.41       | 0.708      | 1041537    | 769176     | 179.1     | 82.8      |
| 172.5      | 9.40       | 0.707      | 1041676    | 769640     | 179.2     | 82.8      |
| 176        | 9.40       | 0.706      | 1042095    | 769949     | 179.2     | 82.8      |
| 179.5      | 9.39       | 0.704      | 1041649    | 770652     | 179.3     | 82.9      |
| 183        | 9.38       | 0.704      | 1041475    | 771375     | 179.3     | 82.9      |
| 186.5      | 9.38       | 0.703      | 1041844    | 771539     | 179.4     | 82.9      |
| 190        | 9.37       | 0.702      | 1041528    | 772143     | 179.4     | 82.9      |