

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

**Filière : Génie des procédés Option:
Génie chimique**

THÈME

**Étude et modélisation numérique de la valorisation du condensat issu
de l'unité GPL par la colonne de stabilisation DA4501 au niveau de
RHOURE EL BAGUEL-OUARGLA-**

Présenté par

- Douar Meriem

Soutenu le 24/06/ 2026 devant le jury composé de :

Présidente :	BELARBI Ilham	MCB	Université de Mostaganem
Examinatrice :	BELHOUARI houria	MAA	Université de Mostaganem
Encadrante :	BENHOURIA Assia	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2025/2026

Dédicaces

Avant tout, je rends grâce à Dieu, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je dédie ce travail à mes chers parents, pour leur amour, leurs sacrifices et leur soutien constant tout au long de mon parcours.

À ma famille et à mes amis, pour leurs encouragements et leur présence. Mes chères sœurs pour leur grand amour et soutien.

Mes professeurs et mes enseignants pendant ces cinq ans dans l'université, surtout mon encadreur Dr. Benhouria Assia pour son guide, tutorat et encouragement au cours de préparation de mémoire.

Remerciements

Je remercie mon Dieu qui m'a donné la force et la patience pour terminer ce travail.

Je remercie profondément mon encadrante Dr BENHOURLIA Assia, maitres de conférences classe 'A' à l'université de Mostaganem, pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail. Je voudrais également lui témoigner ma gratitude pour sa patience et son soutien qui m'a été précieux afin de mener mon travail à bon port.

Mes remerciements à Dr. BELARBI Ilham maitre de conférences classe 'B' à l'université de Mostaganem, d'avoir accepté de présider le jury. Mes remerciements à Mme BELHOURLI Houria maitre-assistant classe 'A' à l'université de Mostaganem, qui a pris la peine d'examiner ce modeste travail.

Mes sincères remerciements sont dédiés également à Monsieur AMARA Walid, et Monsieur MADANI Abderrazak, et les ingénieurs de CPF tout le personnel de laboratoire et toutes personnes ayant contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail trouvent ici le témoignage de mon profond respect.

Un grand merci à tous ceux qui m'ont soutenu durant mes études.

Sommaire

Introduction générale	1
I. Présentation de la région RHOURDE EL BAGUEL	2
I.1 Situation géographique	2
I.2 Historique du champ	3
I.3 I.3 Capacité des installations	4
I.4 Le centre de production huile (CPF)	4
I.4.1 Unité de traitement.....	4
I.5 Description d'unité de production de GPL	11
I.6 Le condensat.....	12
I.6.1 Définition du condensat	12
I.6.2 Caractéristiques du condensat	12
I.6.3 Utilisation du condensat	13
I.7 Définition de TVR	13
I.7.1 Mesure expérimentale en laboratoire	14
I.7.2 Calcul ou estimation par simulation	14
II.1 Matériels et méthodes	16
II.1.1. Matériels	16
II.1.2. Méthodes	23
II.2 Résultats et discussions	28
II.2.1 Cas design	28
II.2.2 Cas actuel	30
II.2.3 Cas modifié	31
Conclusion générale	41

Liste des figures

Liste des figures

Figure I. 1: Situation géographique de la région Rhourde El Baguel.	4
Figure I. 2: Section de séparation de brut.	7
Figure I. 3: Section de stabilisation basse pression.	8
Figure I. 4: Section stabilisation haute pression.	9
Figure I. 5: Section Air instrument et Azote.	11
Figure I. 6: Unité de génération électrique.	11
Figure I. 7: Bacs de Stockage et expédition.	12
Figure I. 8: La colonne de débutaniseur.	13
Figure I. 9: L'appareil VPXpert ASTM 6377.	15
Figure II. 1: L'unité de stabilisation LP.	17
Figure II. 2: Les équipements de l'unité, a) Ballon tampon FA-4504, b) Pompe de transfert du brut GA-4504, c) Echangeurs de chaleur EA 4501/S d) Pompe de rebouillage GA-4501/S, e) Pompe de rebouillage GA-4501, f) Batterie d'aéroréfrigérants EC-4511.	18
Figure II. 3: La colonne de stabilisation DA-4501.	19
Figure II. 4: Vues rapprochées de la colonne.	20
Figure II. 5: Schéma simplifié de la configuration actuelle de l'unité de stabilisation LP.	22
Figure II. 6: Logiciel Aspen HYSYS V15.	23
Figure II. 7: Schéma simplifié de la nouvelle configuration de l'unité de stabilisation LP.	25
Figure II. 8: Simulation de la colonne DA-4501 avec HYSYS.	26
Figure II. 9: Design de rebouilleur.	27
Figure II. 10: Simulation de la colonne avec la nouvelle charge (condensat de GPL).	32
Figure II. 11: Variation de l'énergie fournie par rebouilleur en fonction de température.	34
Figure II. 12: Variation de la TVR en fonction de température.	35
Figure II. 13: Comparaison des valeurs de la TVR du brut stabilisé pour les différents cas étudiés.	36
Figure II. 14: Phénomène de pleurage dans la colonne DA4501.	38

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau II. 1: Paramètres design des charges de la colonne.	14
Tableau II. 5: Vérification de la composition en éléments légers du brut stabilisé.	15
Tableau II. 6: Vérification des propriétés du brut stabilisé.	15
Tableau II. 2: Les paramètres des charges actuelles de la colonne.	16
Tableau II. 7: Caractéristiques du brut stabilisé dans le cas actuel.	16
Tableau II. 8: Les paramètres du rebouilleur dans le cas actuel.	17
Tableau II. 3: Les paramètres d'entrée des charges après modification.	17
Tableau II. 4: La composition du condensat produit par le débutaniseur.	18
Tableau II. 9: Les paramètres de condensat de GPL.	19
Tableau II. 10: Variation des paramètres (TVR et chaleur fournie) du brut et du rebouilleur.	19
Tableau II. 12 : Caractéristiques du brut à la sortie de la colonne pour les différents cas.	23
Tableau II. 13: Comparaison de l'énergie fournie par le rebouilleur pour les différents cas..	24

Abstract

The objective of this study is to determine the influence of introducing the condensate feed (which will be produced by the LPG train) at the 16th tray of the LP (Low Pressure) stabilization column on its proper operation. In the event that this new feed does not cause any technical issues, the amount of heat to be supplied by the reboiler and the required column bottom temperature will be determined, in order to ensure that the RVP (Reid Vapor Pressure) value of the stabilized crude oil complies with Algerian transport and storage standards, which is 10 psi.

Key words: condensate, LPG, the LP stabilization column, RVP .

Résumé

L'objectif de cette étude est la détermination de l'influence de l'introduction de la charge de condensât (qui sera produit par le train GPL) au niveau du 16^{ème} plateau de la colonne de stabilisation LP sur le bon fonctionnement de cette dernière. Dans le cas où cette nouvelle charge n'engendre pas de problèmes techniques, on déterminera la quantité de chaleur que doit fournir le rebouilleur et la température de fond de colonne nécessaire pour assurer la valeur de la TVR du pétrole brut stabilisé qui correspond aux normes de transport et de stockage algériens, soit égale à 10 psi.

Mots clés: Condensat , GPL, colonne de stabilisation LP, TVR .

ملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير إدخال شحنة المكثفات الناتجة عن وحدة غاز البترول المسال عند الصحن السادس عشر من عمود التثبيت منخفض الضغط على كفاءة تشغيله واستقراره. وفي حال أثبتت الدراسة أن هذه الشحنة الإضافية لا تؤثر سلباً على الأداء الفني أو التشغيلي للعمود، فسيتم تحديد كمية الحرارة اللازمة التي يجب أن يوفرها جهاز إعادة الغليان، بالإضافة إلى تحديد درجة حرارة قاع العمود المطلوبة لضمان أن يكون ضغط بخار ريد للنفط الخام المثبت مطابقاً للمعايير الجزائرية الخاصة بالنقل والتخزين، والمحددة بقيمة 10 رطل لكل بوصة مربعة.

الكلمات المفتاحية : المكثفات , غاز البترول المسال , عمود التثبيت منخفض الضغط, ضغط بخار ريد .

Introduction générale

Introduction générale

L'Algérie figure sur l'échelle internationale avec des réserves importantes en pétrole brut contenues dans une multitude de gisements éparpillés à travers le bassin saharien parmi lesquels, on retrouve le gisement de Rhourde El-Baguel(REB) [1].

Dans le cas le plus général, le pétrole brut, en sortie de puits, est un mélange triphasique comprenant : une phase gazeuse, une phase liquide hydrocarbonnée (le brut proprement dit), une phase aqueuse (l'eau de formation). Cet effluent peut également véhiculer des particules solides en suspension comme des sables provenant de la formation, des produits de corrosion, des composants paraffiniques ou asphaltiques ayant précipité [2].

Ce brut effluent puits ne peut être commercialisé en l'état. Il est nécessaire de lui faire subir un traitement pour le rendre conforme aux spécifications de vente requise par les normes de ventes et de sécurités.

La connaissance des caractéristiques physico-chimiques globales des pétroles brut, qui sont variables d'un champ de production à un autre, va conditionner le traitement initial. Ce dernier peut comprendre plusieurs procédés à mettre en œuvre pour la mise aux spécifications du brut et satisfaire les exigences de stockage, transport et de commercialisation [3,4].

La stabilisation du brut produit par un gisement consiste à satisfaire certaines spécifications, notamment en TVR (Tension Vapeur Reid) et une spécification en H_2S si le brut en contient en quantité notable. Si la TVR après traitement reste trop élevée, elle peut conduire à des accidents au niveau de bacs de stockage, il pourra aussi apparaître des bouchons de gaz (ces bouchons perturbent les mesures, les pompes et créent des pertes de charges parasites et imprévisibles dans le réseau de transport) [3].

La spécification de TVR est liée à la teneur en gaz dissous dans le brut. Plus la teneur en gaz dissous augmente, plus la TVR du brut va croître. Ainsi pour satisfaire cette dernière, Le moyen le plus simple pour stabiliser un brut est de lui faire subir un certain nombre de séparations à des pressions décroissantes (séparation multi étagée) et de séparer le gaz obtenu à chacun des étages de séparation [3,4].

Souvent cette simple séparation physique n'est pas suffisante. Il faut alors prévoir un traitement additionnel qui peut consister en un chauffage du brut pour améliorer le dégazage; ce chauffage peut être accompagné d'une distillation.

Une unité de traitement de brut doit souvent répondre à certaines modifications, soit concernant la variation des caractéristiques des charges, l'évolution du gisement et les modes de production [2].

L'objectif de ce travail est de contribuer à la vérification de la capacité de la colonne DA-4501 à accepter une charge supplémentaire de condensat, ainsi qu'à l'optimisation de ses paramètres de fonctionnement afin de garantir la qualité du pétrole brut stabilisé. Pour atteindre cet objectif, ce mémoire est structuré en deux chapitres : Le premier chapitre est consacré à la présentation des différentes unités de la région de Rhourde El Baguel ainsi qu'aux principales étapes du traitement du pétrole brut qui y sont réalisées. Le deuxième chapitre est dédié à la description détaillée de la section concernée par cette étude. Il présente également les modifications envisagées, ainsi que les calculs, les simulations et les résultats obtenus dans le cadre de l'évaluation de l'impact de l'intégration de la nouvelle charge de condensat sur les performances de la colonne de stabilisation.

Chapitre I : Partie théorique

Chapitre I : Partie théorique

I. Présentation de la région RHOURDE EL BAGUEL

I.1 Situation géographique

Le champ de Rhourde El Baguel est situé à Ouargla dans la partie Nord-est du Sahara algérien à environ 90 Km au de Hassi Messaoud, sur la route d'El Borma, s'étend du Sudouest au Nord-est sur une longueur de 11.2 Km et une largeur de 7 km (voir figure I.1).

L'altitude moyenne est de 150 m par rapport au niveau de la mer.

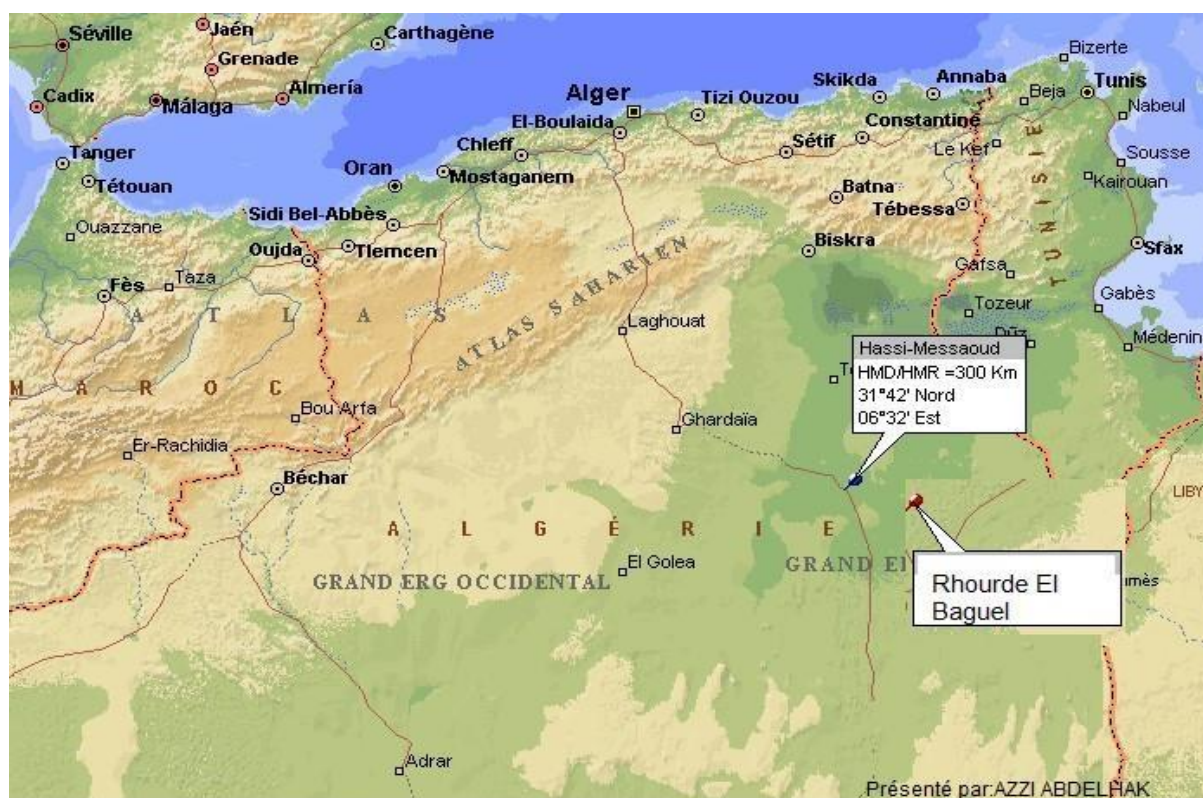


Figure I. 1: Situation géographique de la région Rhourde El Baguel.

I.2 Historique du champ

Le champ de RHOURDE EL BAGUEL a été découvert en 1962 par la compagnie SINCLAIR OIL, les réserves initiales en place étaient de 460 million de m³ c'est-à-dire 2,9 milliard de barils.

Le champ a été mis en production après l'indépendance en 1962 par déplétion naturelle et à travers les cinq puits forés avec une pression initiale de 375 bars, ensuite entre la période de 1963

et 1969, 17 puits ont été forés par SINCLAIR OIL et ses associés français. En 1970, SINCLAIR OIL a quitté REB et a vendu sa part de production de 28 % à SONATRACH.

Il a connu son apogée en 1968 avec un taux de production atteint 94 000 barils par jour et après cette date la production a chuté progressivement jusqu'à 25 000 barils par jour suite à l'abaissement de la pression naturelle du réservoir qui avait chuté de 345 à 117 bars. Les grandes étapes qui ont ponctué le développement de la région de Rhourde EL BAGUEL :

1962 : la découverte du champ par le premier forage RB01.

1962-1987 : dans cette période 35 puits ont été forés sous la direction de SONATRACH.

1976 : le début de la récupération assistée par l'injection d'eau.

1991 : SONATRACH lance un appel d'offre ayant pour objectif principal l'augmentation du taux de récupération des réserves du pétrole brut du gisement de REB.

1992 : démarrage de l'unité du gas lift.

1996 : création de la société SONARCO après l'association entre SONATRACH et ARCO.

1997 : début de la stratégie de la récupération par injection de gaz miscible.

1996-1999 : 25 puits ont été forés, et la création d'un nouveau Centre de traitement. **2000**

: nouvelle association entre SONATRACH et BP.

2000-2002 : 25 puits ont été forés dont cinq horizontaux.

I.3 Capacité des installations

Le complexe de Rhourde El Baguel se divise en deux phases : Phase A et Phase B, **Phase A** : Ou CPF (Central Processing Facilities) ; Qui englobe le service de traitement et d'optimisation de l'huile. Actuellement, la production atteint 18 000 baril/jour.

CPF a une capacité de traitement design de 120 000 BPD(baril per day).

Phase B : Ou TCF (Turbo Compressor Facilities), le gaz extrait d'huile est dirigé vers l'unité TCF où il est séché, comprimé avant d'être injecté dans les puits injecteurs. Le gaz est traité pour l'élimination des petites quantités de condensats liquides. La capacité de compression actuelle 18 MMSm³ /j (million de mètres cubes standards par jour).

TCF a une capacité de réinjection de 22.4 MMSm³/j.

I.4 Le centre de production huile (CPF) [5]

I.4.1 Unité de traitement

I.4.1.1 Section de séparation

Consiste à traiter les effluents HP (haute pression), MP (moyenne pression) et LP (basse pression) provenant des puits HP, MP et LP respectivement à travers les manifolds dans le but d'une séparation du pétrole en trois éléments suivant leurs densités : le gaz, le brut et l'eau. (voir figure I.2) . On distingue :

- Les séparateurs HP (V1509, V1523, V1527) sont installés pour contenir la charge du manifold HP, à une pression de 32 bars et une température de 46 °C pour garantir la séparation du brut et gaz, l'écoulement gaz de ces séparateurs est envoyé vers TCF pour être déshydraté au TEG, comprimé à une pression de 240 bars et par la suite injecté dans les puits tandis que l'huile s'écoule directement vers les séparateurs MP1.
- Les séparateurs MP sont composés de deux batteries : MP1 (V1521, V1522, V1511) et MP2 (V1529, V1530, V1531). Les séparateurs MP1 sont alimentés par la charge provenant des manifolds MP et aussi par Le brut soutiré des séparateurs HP pour être séparé de nouveau. Ils fonctionnent actuellement à une pression 13 bars et température de l'ordre de 28°C. Le débit gazeux des séparateurs MP₁ a deux chemins, une partie vers (TCF) au ballon V2007 pour alimenter le compresseur MP

Booster et l'autre partie s'achemine vers le ballon d'aspiration FA4510 du compresseur GBT4502 (2^{ème} étage). Les séparateurs MP₂ reçoivent le brut des séparateurs MP₁ puis il est envoyé vers le séparateur LP (V1532). La pression de service est de 10 bars, les liquides de cette batterie seront envoyés vers V1532 (séparateur LP).

- Le séparateur LP reçoit le brut du manifold LP, l'huile sortant du V1532 s'écoule vers le ballon FA4504 et sera orientée par la suite vers la colonne de stabilisation basse pression LP (DA4501). Les effluents gazeux des MP₂ et LP se rencontrent dans le ballon FA4507 pour alimenter Le ballon d'aspiration FA4501 du compresseur GBT4501 (1^{er} étage).

Remarque : les eaux sortant des séparateurs HP, MP, LP sont envoyés vers unité API/CPI.



Figure I. 2: Section de séparation de brut.

I.4.1.2 Description de process de partenaire GHBR (Groupement Hassi Bir Rekaiz)

La charge provenant des puits HBR arrive à une pression de 23 Bar au niveau du manifold, ladite charge est dirigée vers le centre de traitement CPF (slug catcher).

Le slug-catcher permet de casser et tranquilliser l'écoulement provenant des puits HBR à une pression de 17 Bar et aussi la séparation de l'huile et de gaz, le débit gazeux est dirigé vers TCF (MP BOOSTER) et l'autre partie s'achemine vers le compresseur GBT02 tandis que l'huile s'écoule vers le séparateur MP1 (V1511) qui traite ladite charge à une pression de 13 bar une partie du gaz est dirigé vers TCF (MP BOOSTER) et l'autre partie s'achemine vers le compresseur GBT02.

Ensuite le brut traverse le séparateur MP2 (V1531) qui fonctionne à 10 bar par la suite il rejoint le séparateur LP (V1532) qui traitent la charge provenant des séparateurs MP2 (V1529 et V1530), qui traite aussi la charge provenant des puits LP ce séparateur fonctionne à 3 bar, le gaz des séparateurs MP2 et LP est dirigé vers le ballon FA-4507.

I.4.1.3 Unité API/CPI

Ce sont des bassins en béton armé muni de plaques ondulées pour récupérer le brut contenu dans l'eau, La récupération du brut résiduel par décantation de l'eau albienne et cambrienne provenant des séparateurs HP, MP et LP en passant par les ballons de dégazage albien et cambrien V3003 et V3002, les vapeurs inflammables de ces dégazeurs sont directement évacués vers la torche. L'eau huileuse des ballons de dégazage rejoint le réservoir dans lequel le pétrole et l'eau

se séparent. Le brut récupéré est envoyé vers les bacs de stockage, tandis que l'eau salée est envoyée vers le bourbier.

I.4.2 Unité d'optimisation

L'unité d'optimisation a pour but d'ajuster la tension de vapeur TVR du brut, récupérer le condensat contenu dans le gaz associé, actuellement ce dernier est isolé et remplacé par le réseau de fuel gaz provenant de station fuel gaz de ZINA.

L'unité est constituée par les sections suivantes :

I.4.2.1 Section stabilisation basse pression

Le brut sortant du ballon FA4504 est refoulé par la pompe GA4504/S à 8 bars vers la colonne de stabilisation DA4501, cette dernière contient 18 plateaux et fonctionne sous une basse pression de 2 bars pour assurer la séparation gaz-brut afin d'ajuster la tension de vapeur TVR du brut (voir figure I.3).



Figure I. 3: Section de stabilisation basse pression.

Le rebouillage de la charge à une température de 130 °C est assuré par deux rebouilleurs EA 4501/S, le brut circule côté calandre et l'huile chaude côté faisceau (tubes). Le brut ainsi stabilisé, après avoir été refroidi dans l'aéroréfrigérant EC4511 à 35°C sera envoyé vers le séparateur 3^{ème} étage V1524 pour le dégazer ainsi l'huile s'écoulera par gravité vers le bac de stockage.

Le débit gazeux sortant de la tête de la colonne DA4501, le gaz provenant des séparateurs LP, MP₂ et FA4504 alimentent le ballon FA4507. La partie gazeuse est envoyée vers le ballon d'aspiration FA4501 (Elliot 1^{er} étage), tandis que les condensats sont recyclés vers FA4504. Le gaz

du ballon FA4501 est aspiré à une pression de 1,6 Bar et comprimé par l'intermédiaire d'un compresseur GBT4501 à une pression de 14 bars puis refoulé vers l'aéroréfrigérant EC4512 pour le refroidissement du gaz à 33°C ; l'effluent est recueilli dans le ballon FA4502 puis envoyé vers le ballon d'aspiration FA4510 (2^{ème} étage).

Les condensats récupérés dans le ballon de refoulement de deuxième étage FA4503 seront stabilisés dans la colonne DA 4502, Le condensat optimisé est dirigé vers la colonne de stabilisation LP (DA4501) ; le gaz obtenu est recyclé vers le ballon d'aspiration du 2^{ème} étage.

I.4.2.2 Section stabilisation de brut haute pression Actuellement la stabilisation HP (voir figure I.4) est à l'arrêt.



Figure I. 4: Section stabilisation haute pression.

I.4.3 Unité déshydratation au TEG

Le gaz provenant du ballon FA4503 est dirigé vers le séparateur MV-1401-1 pour éliminer les condensats puis alimente le contacteur MV-1401-A où se fait l'absorption à contre-courant entre le gaz ascendant et le TEG (Triéthylène glycol) descendant. L'absorption se fait à une température avoisinante de 35°C. Le TEG humide sortant du fond du contacteur est dirigé vers la régénération tandis que le gaz de tête du contacteur alimente le ballon séparateur à cyclone V1404 où il s'effectue la récupération des traces du TEG entraînée dans le gaz.

Le gaz de tête est envoyé vers les trains de compression TCF tandis que le TEG récupéré au fond est acheminé vers la section de régénération TEG.

La section de régénération TEG est constituée d'un rebouilleur MH-1401, ballon tampon MV-1401-C et une colonne de distillation MV-1401-B, une colonne de stripping où se

fait le stripping du TEG pour éliminer les traces d'humidité par le fuel gaz chaud, la température de rebouillage est maintenue à 196 °C et les vapeurs d'eau de la tête de la colonne sont condensées dans l'aéro-réfrigérant E2509A/B, à une température 35 °C puis recueillies dans le ballon V2509 pour être pompés vers API/CPI.

Le TEG récupéré au fond de la colonne de stripping est refroidi dans les échangeurs MX1401-A1/A2 ensuite récupéré dans le ballon MV-1401-C pour être pompé par des pompes MP-1401-A/B vers le contacteur TEG.

I.4.4 Les utilités

I.4.4.1 Réseau fuel gaz

Le fuel gaz provenant de TCF est acheminé vers le ballon FA4509 pour être débarrassé d'humidité et d'impuretés, puis dirigé vers le réseau fuel gaz existant du CPF, il servira de gaz combustible pour le four F5001, GBT01,GBT02, et l'unité de glycol et comme gaz pilote des torches. Le réseau fuel gaz dispose d'un circuit de secours commandé par le régulateur PIC4595 qui ajuste la pression à 14 bars du réseau en cas d'éventuelle chute de pression.

I.4.4.2 Section Air instrument et Azote

Le système air instrument est conçu pour produire continuellement de l'air sec après Séchage à travers des sécheurs à tamis moléculaire (voir figure I.5). Le traitement se fait par l'aspiration de l'air l'atmosphérique, en éliminant les impuretés qui s'y trouvent afin de fournir l'air de service et l'air instrument, trois compresseurs AIRDYNE ont été prévus à cet effet, l'air aspiré passe à travers des filtres ,comprimé , refroidi et par la suite passe à travers des sécheurs d'air où il est dépourvu de l'humidité pour être utilisé comme air instrument pour l'unité CPF et TCF. D'autre part, une partie d'air traité est acheminée vers l'unité azote, pour être séparée de l'oxygène, L'azote produit est utilisé pour l'inertage. La pression d'air dans le réseau est maintenue à 7.6 bars.



Figure I. 5: Section Air instrument et Azote.

I.4.4.3 Unité de génération électrique

La génération d'électricité se fait au moyen des turbogénérateurs PGT10A /B/C (voir figure I.6), qui ont pour but d'assurer l'alimentation électrique des différents équipements : moteurs des aéroréfrigérant, des compresseurs d'air, des pompes, éclairage et la base de vie.

La puissance design d'un PGT10 est de 10 MW.



I.4.1.4 Bacs d'eau anti-incendie

Les bacs d'eau anti-incendie, T4501 et FB4501 sont alimentés à partir de l'unité EDR en eau traitée.

I.4.5 Stockage et expédition

Pour assurer le stockage du brut, le champ de REB dispose de trois Bacs à toit flottant (voir figure(I.7)). D'une capacité de 20 000m³ chacun. Après sa stabilisation dans l'unité d'optimisation le brut est dirigé d'abord vers le ballon surélevé V1524 puis vers les bacs de stockage où il est stocké à la pression atmosphérique et laissé en décantation pour un certain temps afin de purger l'eau libre vers API/CPI.



Figure I. 7: Bacs de Stockage et expédition.

I.5 Description d'unité de production de GPL [1]

Le gaz produit au niveau du CPF et actuellement réinjecté dans le réservoir contient des quantités considérables de GPL (propane et butane). De ce fait, SONATRACH a décidé de réaliser une nouvelle usine d'extraction de GPL et de condensat à partir du gaz riche provenant du CPF.

➤ Au niveau du débutaniseur (voir figure I.8) : à ce niveau le produit de tête sera du GPL et le produit du fond de colonne sera du condensat.



Figure I. 8:La colonne de débuteur.

I.6 Le condensat

I.6.1 Définition du condensat

Le condensat est un mélange d'hydrocarbures légers, principalement composé de pentanes et de composés plus lourds (C_5^+), qui se trouvent à l'état gazeux dans le réservoir mais se condensent sous forme liquide lors de la production ou du traitement du gaz [6].

I.6.2 Caractéristiques du condensat

Les condensats sont des liquides qui se forment lors du refroidissement de la vapeur d'eau ou des gaz, généralement composés d'eau et de divers hydrocarbures dissous ou en suspension. Les propriétés spécifiques du condensat dépendent de la source et de la composition du gaz et des conditions dans lesquelles il a été produit. Cependant les propriétés communes des condensats incluent :

- Couleur : claire à jaune pâle
- Odeur : Parfum doux semblable à l'huile légère
- Gravité API : généralement entre 45 et 75 degrés
- Densité : typiquement 650-750 kg/m³
- Teneur en hydrocarbures : généralement entre 70% et 95%
- Teneur en soufre : généralement inférieure à 1 %

I.6.3 Utilisation du condensat [7]

Le condensat qui est un liquide qui se forme lors du refroidissement de la vapeur d'eau ou du gaz, peut être utilisé de différentes manières en fonction de sa qualité et de sa composition. Voici quelques utilisations courantes du condensat :

- **Matière première pour les raffineries** : Le condensat peut être utilisé comme matière première pour les raffineries afin de produire de l'essence, du diesel et d'autres produits raffinés.
- **Mélange avec du pétrole brut** : Le condensat peut être mélangé avec du pétrole brut pour produire une charge d'alimentation de meilleure qualité pour les raffineries.
- **Combustible pour la production d'électricité** : le condensat peut être utilisé comme combustible pour la production d'électricité dans les centrales électriques au gaz.
- **Chauffage** : le condensat peut être utilisé pour des applications de chauffage dans des processus industriels ou des bâtiments commerciaux et résidentiels.
- **Procédés industriels** : Le condensat peut être utilisé comme fluide de refroidissement dans les procédés industriels, comme la production chimique ou pétrochimique.

I.7 Définition de TVR

TVR (Tension de Vapeur Reid) ou Reid Vapor Pressure (RVP) est une mesure de la volatilité d'un pétrole brut, d'un condensat ou d'un carburant. La tension de vapeur Reid (TVR) est un paramètre important utilisé pour caractériser la volatilité des produits pétroliers. Elle est définie comme la pression exercée par les vapeurs d'un produit en équilibre avec sa phase liquide à une température de 37,8 °C (100 °F), selon une méthode normalisée. La TVR constitue un indicateur de la quantité d'hydrocarbures légers présents dans le produit : une valeur élevée traduit une forte volatilité, tandis qu'une valeur faible indique un produit plus stable. Dans les opérations de stabilisation du pétrole brut, la réduction de la TVR est essentielle afin de limiter les pertes par évaporation, d'améliorer la sécurité lors du stockage et du transport, et de garantir le respect des spécifications commerciales du brut stabilisé [6].

Dans l'industrie pétrolière, la TVR (Tension de Vapeur Reid) est généralement déterminée par deux méthodes :

I.7.1 Mesure expérimentale en laboratoire

Dans le CPF où s'est déroulé mon stage, la TVR du pétrole brut est mesurée au laboratoire à l'aide d'un appareil de détermination de la tension de vapeur Reid conforme à la norme VPXpert ASTM 6377 (voir figure I.9). Cette mesure permet de contrôler la teneur en hydrocarbures légers du brut et d'évaluer l'efficacité du procédé de stabilisation.



Figure I. 9: L'appareil VPXpert ASTM 6377.

I.7.2 Calcul ou estimation par simulation

Dans les études d'ingénierie et de simulation de procédés, la TVR peut être calculée à l'aide de logiciels tels qu'Aspen HYSYS, Aspen Plus ou PRO/II. Le logiciel utilise la composition du fluide et un modèle thermodynamique approprié pour estimer la pression de vapeur dans les conditions normalisées de l'essai Reid. Dans le cadre de ce travail, cette approche a été adoptée à l'aide du logiciel Aspen HYSYS afin de calculer la TVR du pétrole brut [8].

Chapitre II :

Partie expérimentale

Chapitre II : Partie expérimentale

Au niveau du Centre de Traitement Principal (CPF), le contrôle et l'ajustement de la tension de vapeur Reid (TVR) du pétrole brut sont assurés par l'unité de stabilisation LP (Low Pressure). L'objectif de ce chapitre est de présenter la démarche expérimentale et numérique visant à évaluer l'impact de l'intégration d'une nouvelle charge de condensat, issue du train GPL, au niveau du 16^{ème} plateau de cette colonne. Cette étude vise à déterminer la quantité de chaleur à fournir par le rebouilleur ainsi que la température de fond de colonne nécessaire pour garantir une valeur de TVR du pétrole brut stabilisé conforme aux normes algériennes de transport et de stockage, soit égale à 10 psia. Afin de mener à bien cette étude, la modélisation et la simulation du procédé ont été réalisées à l'aide du logiciel Aspen HYSYS, en s'appuyant sur le modèle thermodynamique Peng–Robinson Equation of State.

II.1 Matériels et méthodes

II.1.1. Matériels

II.1.1.1 Matériels industriel

Cette section présente les principaux équipements industriels utilisés dans l'étude, notamment l'unité de stabilisation LP, la colonne de stabilisation DA-4501, le rebouilleur, le ballon tampon et les autres équipements associés.

L'unité de stabilisation Low Pressure (LP) (voir figure II.1) est principalement constituée de la colonne de stabilisation (DA-4501). Cette dernière comporte 18 plateaux à clapets, et elle est conçue pour traiter une charge de 45 000 bpd (baril per day).



Figure II. 1: L'unité de stabilisation LP.

La stabilisation du pétrole brut en colonne est assurée thermiquement par un rebouilleur au fond (EA-4501 ou EA-4501S), fonctionnant selon un mode de permutation service/stand-by. Le rebouilleur actif est alimenté en huile chaude.

L'unité est composée des équipements suivants :

- Ballon tampon FA-4504 (figure II.2a).
- Pompe de transfert du brut GA-4504 (figure II.2b).
- La colonne de stabilisation DA-4501 (figure II.3) et (figure II.4).
- Echangeurs de chaleur EA 4501/S (figure II.2c).
- Pompe de rebouillage GA-4501/S (figure II.2d et figure II.2e).
- Batterie d'aéroréfrigérants EC-4511(figure II.2f).

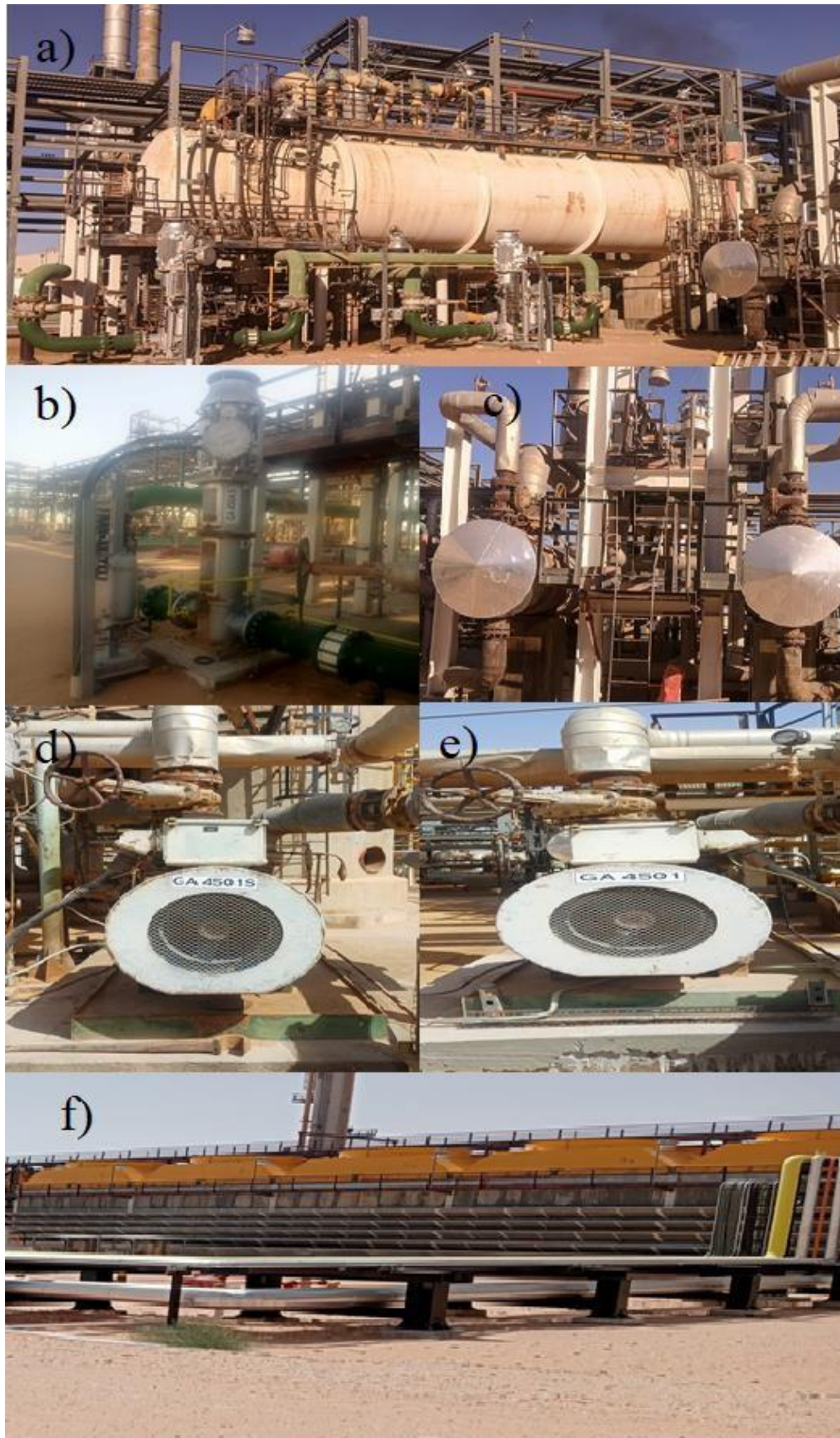


Figure II. 2: Les équipements de l'unité, a) Ballon tampon FA-4504, b) Pompe de transfert du brut GA-4504, c) Echangeurs de chaleur EA 4501/S d) Pompe de rebouillage GA-4501/S, e) Pompe de rebouillage GA-4501, f) Batterie d'aéroréfrigérants EC-4511.



Figure II. 3: La colonne de stabilisation DA-4501.



Figure II. 4: Vues rapprochées de la colonne.

- ✓ Le fonctionnement de la colonne de stabilisation DA-4501 peut être décrit à travers les étapes suivantes :

a) Alimentation de la colonne de stabilisation

Le pétrole brut sortant du ballon FA-4504 est acheminé par la pompe GA-4504 vers la colonne de stabilisation DA-4501. Cette colonne fonctionne à une basse pression de 2,2 bars afin de favoriser la séparation des constituants légers du pétrole brut. Par ailleurs, un flux de condensat partiellement stabilisé provenant de la colonne de stripping DA-4502 est injecté au niveau du 16^{ème} plateau de la colonne.

b) Collecte du brut non stabilisé

Le pétrole brut est introduit dans la partie supérieure de la colonne et s'écoule à travers les plateaux. Il est ensuite recueilli dans le compartiment réservé au brut non stabilisé situé au fond de la colonne.

c) Chauffage du brut dans le rebouilleur

Le brut non stabilisé est aspiré par la pompe GA-4501 puis envoyé vers le rebouilleur EA4501/S côté calandre. La chaleur nécessaire est fournie par une huile thermique circulant côté tubes et préchauffée dans le four F-5001 à une température d'environ 220 °C. À la sortie du rebouilleur, la température du brut peut atteindre 125 °C.

d) Stabilisation du pétrole brut

Le brut chauffé est réintroduit dans la colonne au niveau du compartiment du brut stabilisé. L'effet de détente (flash) provoque la vaporisation des hydrocarbures légers qui remontent à travers les plateaux de la colonne, assurant ainsi leur séparation du pétrole brut et sa stabilisation.

e) Refroidissement et stockage du brut stabilisé

Le pétrole brut stabilisé est récupéré au fond de la colonne puis refroidi dans la batterie d'aéroréfrigérants EC-4511 jusqu'à une température inférieure à 40 °C. Il est ensuite dirigé vers le séparateur de troisième étage V-1524 (ballon surélevé), avant d'être envoyé par gravité vers les bacs de stockage.

f) Traitement des gaz de tête

Les gaz légers séparés au sommet de la colonne DA-4501 sont envoyés vers le ballon de récupération de condensat FA-4507, puis vers le ballon d'aspiration FA-4501 alimentant le premier étage du compresseur GBT-4501 pour leur traitement ultérieur.

Voici un schéma simplifié sur le mode de fonctionnement de la colonne (figure II.5) :

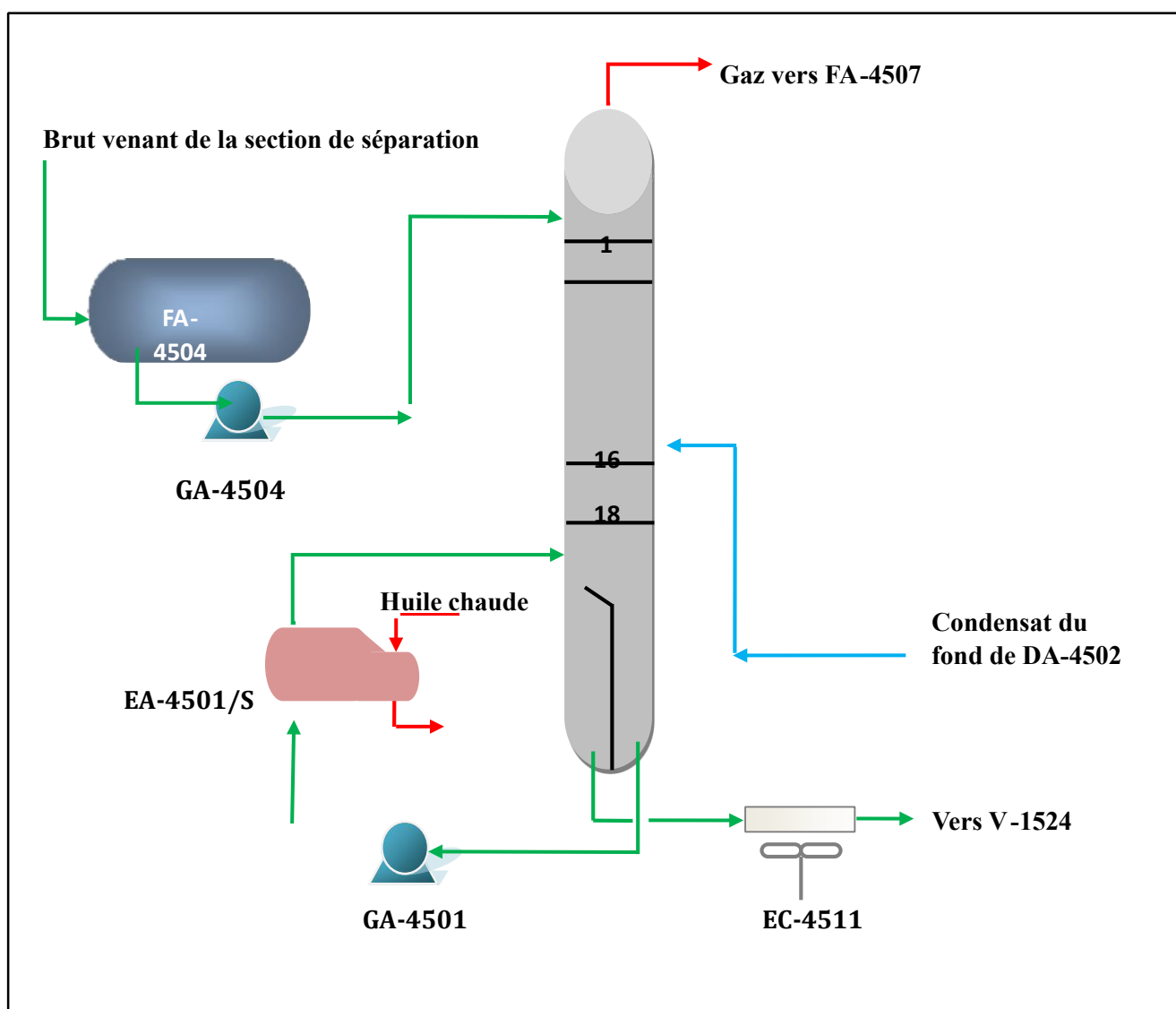


Figure II. 5:Schéma simplifié de la configuration actuelle de l'unité de stabilisation LP.

II.1.1.2 Matériel de simulation

La simulation de la colonne de stabilisation LP a été réalisée avec le logiciel Hysys V15 (voir figure II.6) en utilisant le modèle thermodynamique du Peng Robinson. Aspen HYSYS est un logiciel de simulation de procédés utilisé pour modéliser et analyser les procédés des industries pétrolière, gazière et chimique. Il permet d'effectuer les calculs de génie chimique nécessaires à la conception, à l'optimisation et à l'évaluation des performances des installations en régime stationnaire ou dynamique.



Figure II. 6: Logiciel Aspen HYSYS V15.

II.1.2. Méthodes

II.1.2.1 Partie industrielle

- Le gaz produit au niveau du CPF, actuellement réinjecté dans le réservoir, renferme des quantités importantes de GPL, principalement du propane et du butane. Afin de valoriser ces hydrocarbures et d'optimiser l'exploitation du gisement, SONATRACH a décidé de mettre en place une nouvelle unité destinée à l'extraction du GPL et du condensat à partir du gaz riche issu du CPF.
- Le condensat qui sera produit par le nouveau train ne répond pas aux normes de TVR imposées et cela est dû au fait de sa forte concentration en C₅ et C₆. Et d'autre part, le budget limité consacré à ce projet vise plus la qualité du GPL et ne permet pas d'ajouter

des améliorations au niveau du débutaniseur favorisant l'amélioration de la qualité du condensat produit.

- PETROFAC a proposé d'acheminé le condensat vers la colonne de stabilisation de brut se trouvant au niveau du CPF où il sera mélangé et stabilisé avec le brut traité au niveau de cette dernière.
- Avant de procéder à cette modification au niveau de la section de stabilisation LP qui est représentée dans (figure II.7), il est nécessaire d'étudier l'influence de cette nouvelle charge sur le fonctionnement de la colonne de stabilisation LP et assurer la bonne qualité du brut produit.

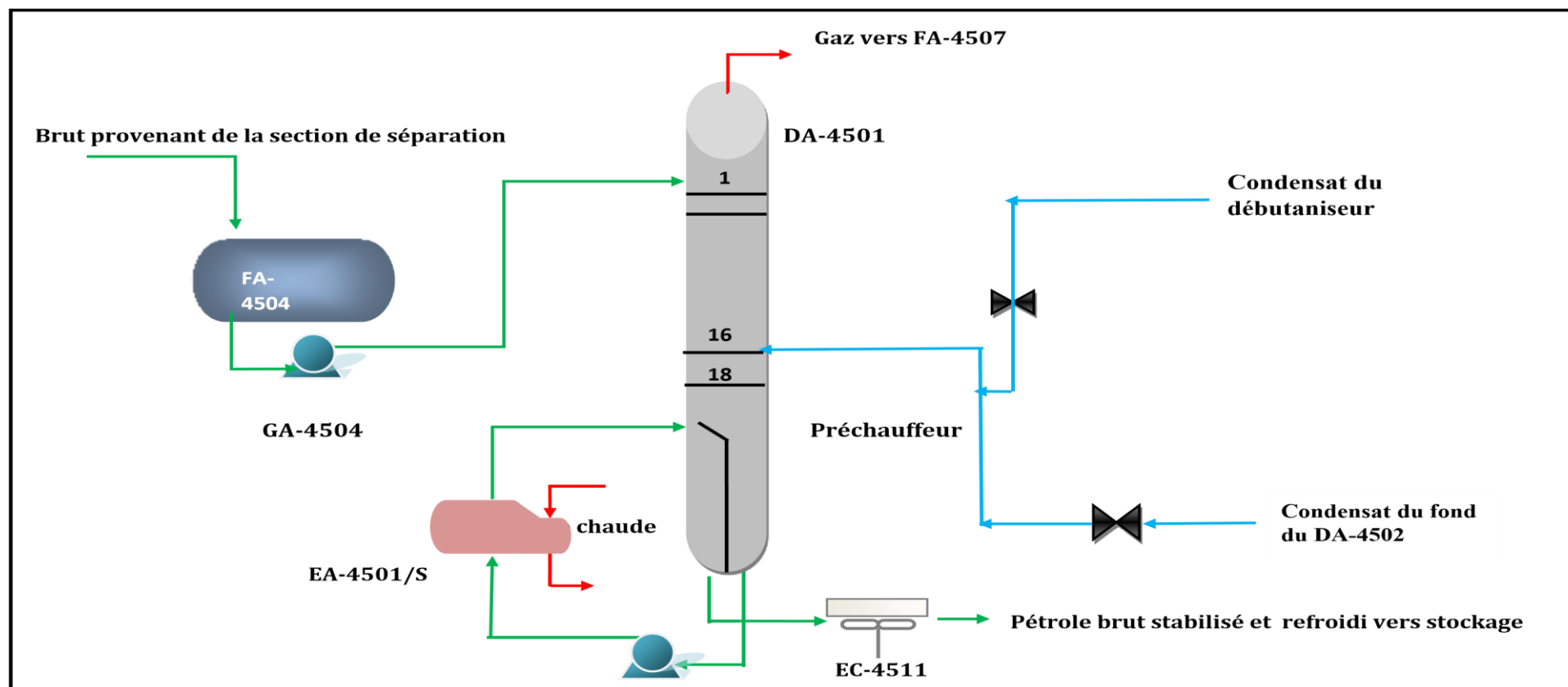


Figure II. 7: Schéma simplifié de la nouvelle configuration de l'unité de stabilisation LP .

- La figure (II.7) représente que :

Le pétrole brut sortant du ballon FA-4504 est acheminé par la pompe GA-4504 vers la colonne de stabilisation DA-4501 de 18 plateaux. Elle fonctionne à une basse pression de 2,2 bars afin de favoriser la séparation des constituants légers du pétrole brut. un flux de condensat est introduit au 16 ème plateau ,le brut est introduit dans le premier plateau et s'écoule à travers les plateaux. Il est ensuite recueilli dans le coté non stable de la colonne.

Le brut non stabilisé est aspiré par la pompe GA-4501 puis envoyé vers le rebouilleur EA-4501/S côté calandre. La chaleur nécessaire est fournie par une huile thermique circulant côté tubes et préchauffée dans le four F-5001 à une température d'environ 220 °C.

Le brut chauffé est réintroduit dans la colonne au niveau du compartiment du brut stabilisé. L'effet de détente (flash) provoque la vaporisation des hydrocarbures légers qui remontent à travers les plateaux de la colonne.

Le pétrole brut stabilisé est récupéré au fond de la colonne puis refroidi dans L'aéro EC-4511 jusqu'à une température inférieure à 40 °C. et ensuite vers le ballon V-1524 ,

Les gaz légers séparés au sommet de la colonne DA-4501.

- Cette nouvelle charge(condensat de débutaniseur) introduit la colonne au 16 ème plateau .

II.1.2.2 Partie simulation

La méthodologie adoptée dans cette étude repose sur l'analyse de trois cas de fonctionnement de l'unité de stabilisation. Dans un premier temps, le cas de design a été étudié afin d'évaluer les performances de l'installation dans les conditions pour lesquelles elle a été initialement conçue dont on a calculé l'erreur par l'équation montrée ci-dessous (voir l'équation II.1). Dans un deuxième temps, le cas actuel a été simulé en utilisant les données réelles d'exploitation afin d'analyser le comportement de l'unité dans ses conditions de fonctionnement actuelles. Enfin, un cas modifié a été développé et simulé dans le but d'évaluer l'impact de la nouvelle charge (condensat issue de GPL) sur le fonctionnement de la colonne de stabilisation LP, en particulier sur la TVR du brut et sur la charge thermique du rebouilleur.

$$\text{Erreur (\%)} = (|\text{Valeur simulée} - \text{Valeur de référence}| / \text{Valeur de référence}) \times 100 \quad (\text{EqII.1})$$

- ✓ Pour la simulation des trois cas étudiés, la colonne de stabilisation DA-4501 ainsi que son rebouilleur ont été utilisés pour élaborer le modèle de procédé.

A. La colonne de stabilisation DA-4501

La colonne de stabilisation DA-4501 étudiée est une colonne à clapets (562 clapets) constituée de 18 plateaux et possède un diamètre de 3,078 m ainsi qu'une hauteur de 30 m. Ces données ont été utilisées comme paramètres de base pour la simulation (voir figure II.8 (configuration actuelle)).

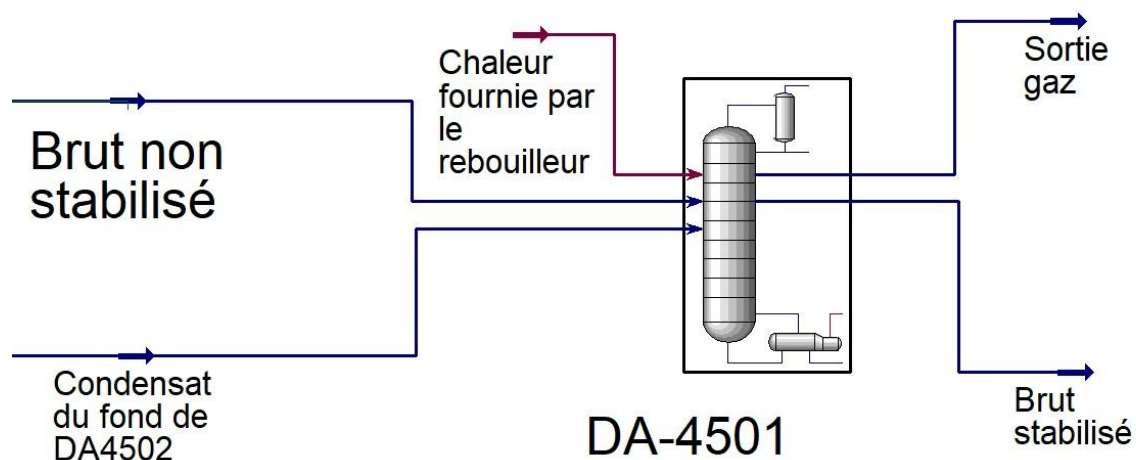


Figure II. 8: Simulation de la colonne DA-4501 avec HYSYS.

Tableau II.**B. Le rebouilleur**

Le brut quittant la colonne DA-4501 de côté non stable avec une température de 40 °C et aspirant par la pompe GA-4501 puis refoulé vers le rebouilleur EA-4501/S côté calandre, où il sera chauffé. La chaleur est fournie par de l'huile chaude circulant côté tube avec une température de 220°C. Le brut chauffé, sort du rebouilleur à une température qui peut atteindre 125°C, pour être réintroduit dans la colonne au niveau du côté stable de la colonne. Le design de rebouilleur utilisé est présenté dans la figure (II.9).

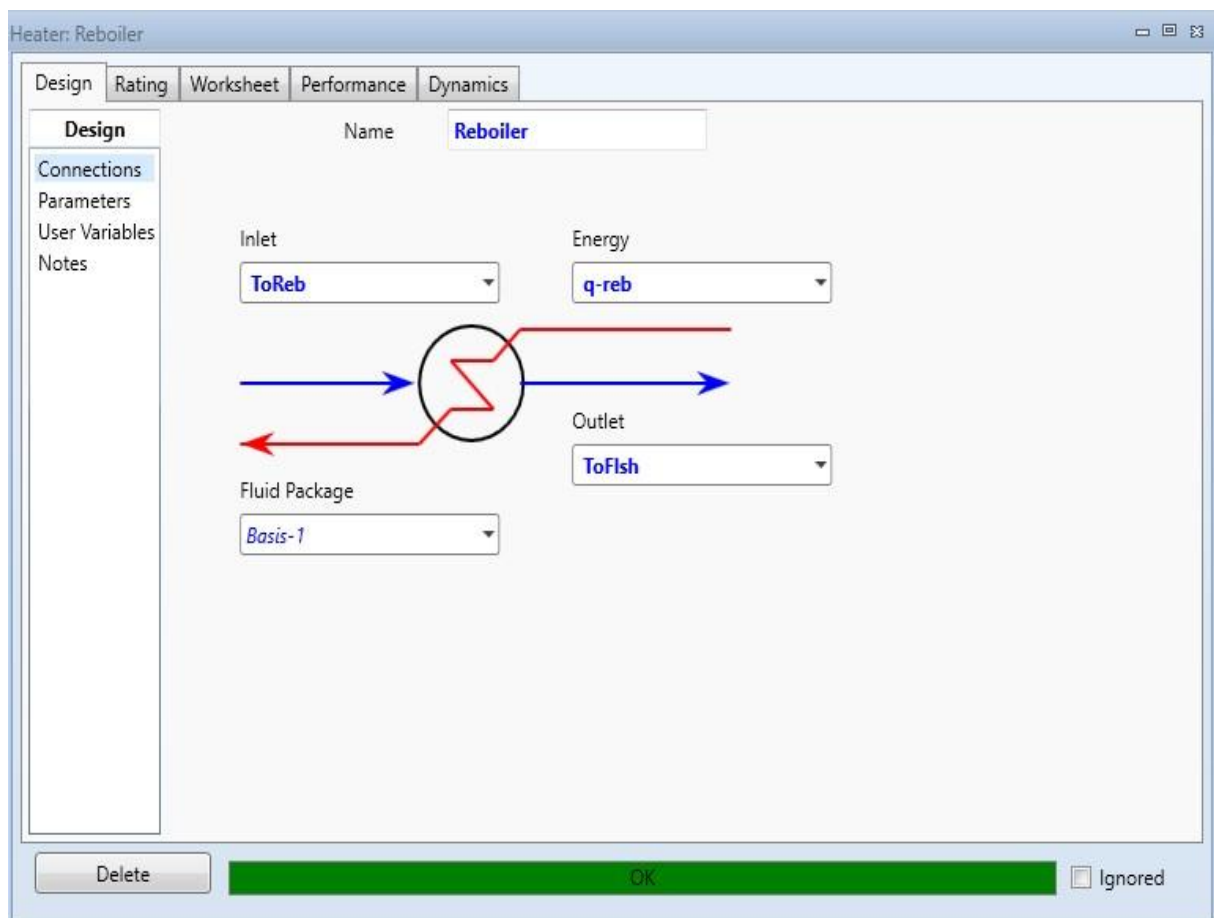


Figure II. 9: Design de rebouilleur.

II.2 Résultats et discussions

II.2.1 Cas design

Avant d'introduire toutes modifications au niveau de la colonne concernée par l'étude, il est indispensable de vérifier que la simulation correspond au design de la colonne (figure II.8). Les paramètres d'entrée des différentes charges de la colonne (le pétrole brut et le condensat) sont représentés dans le tableau suivant :

1: Paramètres design des charges de la colonne.

Caractéristiques	Pétrole brut	Condensât de DA4502
Introduction de la charge	1 ^{er} plateau	16 ^{ème} plateau
Température d'entrée (°C)	41,29	26,83
Pression d'entrée (bar)	2,83	3,10
Débit molaire d'entrée (kmol/h)	1533	350

Les résultats de simulation du cas de design par le modèle thermodynamique de Peng Robinson sont reportés dans les tableaux suivants :

Tableau II. 2: Vérification de la composition en éléments légers du brut stabilisé.

Constituants	Composition brut (% molaire)		
	Design	Simulé	Erreur(%)
CO ₂	0,000	0,000	0,000
N ₂	0,000	0,000	0,000
C1	0,000	0,000	0,000
C2	0,000	0,000	0,000
C3	0,0127	0,0116	8,661
iC4	0,0162	0,0163	-0,617
nC4	0,0762	0,0752	1,312
iC5	0,0332	0,0315	5.120
nC5	0,0697	0,0656	5,882

Pour la composition du brut stabilisé, les écarts observés sur les hydrocarbures légers restent faibles, avec une erreur maximale de 8,66 % pour le propane (C3). Ces différences peuvent être attribuées aux approximations inhérentes au modèle thermodynamique ainsi qu'aux hypothèses retenues lors de la simulation.

Tableau II.**3: Vérification des propriétés du brut stabilisé.**

Paramètres	Design	Simulé	Erreur (%)
T (°C) sortie de la colonne	101	101	0
Densité (kg/m³)	715.2	714.9	0.042
Débit (kmol/h)	1900	1990	4.74
TVR (psi)	10.00	10.01	0.1

L'analyse des résultats montre une excellente concordance entre les données de design et les résultats de simulation. Les erreurs relatives calculées sont très faibles pour la température, la densité et la TVR, avec respectivement 0 %, 0,042 % et 0,10 %. L'écart observé sur le débit (4,74 %) demeure acceptable dans le cadre d'une étude de simulation. Ces résultats confirment la capacité du modèle à reproduire fidèlement le comportement de l'unité de stabilisation et valident ainsi les hypothèses et le modèle thermodynamique adoptés pour la simulation. Les résultats obtenus montrent que la composition et les caractéristiques du brut stabilisé simulé sont proches de celles prévues par le design, ce qui indique que la simulation réalisée et le modèle choisi sont satisfaisants.

II.2.2 Cas actuel

Le cas hiver a été retenu pour cette étude car les basses températures du pétrole brut durant cette période compliquent l'élimination des composés légers. Les données du cas actuel sont représentées dans ce tableau :

Tableau II. 4: Les paramètres des charges actuelles de la colonne.

Caractéristiques	Pétrole brut	Condensât DA4502
Introduction de la charge	1 ^{er} plateau	16 ^{ème} plateau
Température d'entrée (°C)	39.15	27.2
Pression d'entrée (bar)	2.76	2.97
Débit molaire d'entrée (kmol/h)	1432	296.7

Les résultats de simulation du cas actuel sont donnés dans les tableaux suivants :

5: Caractéristiques du brut stabilisé dans le cas actuel.

Caractéristiques	Cas actuel
Débits (baril par jour)	41 100
Température (°C)	80
TVR (psi)	10.05

Les valeurs obtenues montrent que le brut stabilisé est produit avec un débit de 41 100 barils par jour à une température de 80°C. La TVR obtenue est de 10,05 psi, une valeur conforme aux spécifications de stabilisation du pétrole brut. Ce résultat indique que la quantité de composés légers présente dans le brut est maîtrisée et que le brut obtenu satisfait les exigences de stockage et de transport.

Tableau II. 6: Les paramètres du rebouilleur dans le cas actuel.

Paramètres du rebouilleur	Cas actuel	Cas design
Chaleur échangée (kcal/h)	3 883 000	7 700 000

Le tableau (II.8) présente les paramètres de fonctionnement du rebouilleur dans le cas actuel comparés aux valeurs de design. La chaleur échangée est de 3 883 000kcal/h, soit une valeur inférieure à celle du design (7 700 000 kcal/h). Malgré cette diminution de la charge thermique, la température du rebouilleur atteint 80 °C contre 102 °C dans le cas de design. Ces résultats montrent que les conditions actuelles de fonctionnement permettent d'assurer la quantité de chaleur nécessaire à la stabilisation du brut. Ceci est confirmé par la valeur de TVR obtenue, qui respecte les spécifications requises pour le pétrole brut stabilisé.

II.2.3 Cas modifié

La modification de la colonne après réalisation du train GPL consiste à introduire le condensat, produit par ce dernier, au niveau du 16^{ème} plateau de la colonne de stabilisation LP. Pour les caractéristiques et la composition de la charge de condensat produit par le train GPL sont données dans les tableaux (II.3) et (II.4), nous nous sommes référés aux résultats de l'étude fournis par PETROFAC (voir annexe 1).

Tableau II.**Tableau II. 7:** Les paramètres d'entrée des charges après modification.

Caractéristiques	Pétrole brut	Condensât de DA4502	Condensat du débutaniseur
Introduction de la charge	1 ^{er} plateau	16 ^{ème} plateau	16 ^{ème} plateau
Température d'entrée (°C)	39.8	48.8	60.3
Pression d'entrée (bar)	2.76	3	2.9
Débit molaire d'entrée (kmol/h)	1367	142.2	229

✓ La composition du condensat produit par le débutaniseur est présentée dans le tableau (II.4).

Tableau II. 8: La composition du condensat produit par le débutaniseur.

Composition	% Molaire
CO ₂	0,0000
C1	0,0000
C2	0,0000
C3	0,0000
i-C4	0,0000
n-C4	0,0002
i-C5	0,1661
n-C5	0,3170
n-C6	0,1527
n-C7	0,1732
n-C8	0,1628
n-C9	0,0102
n-C10	0,0080
n-C11	0,0053
n-C12	0,0032
n-C13	0,0015
Benzène	0,0000

Toluène	0,0000
H₂ O	0,0000

✓ La simulation du cas modifié est présentée dans la figure suivante :

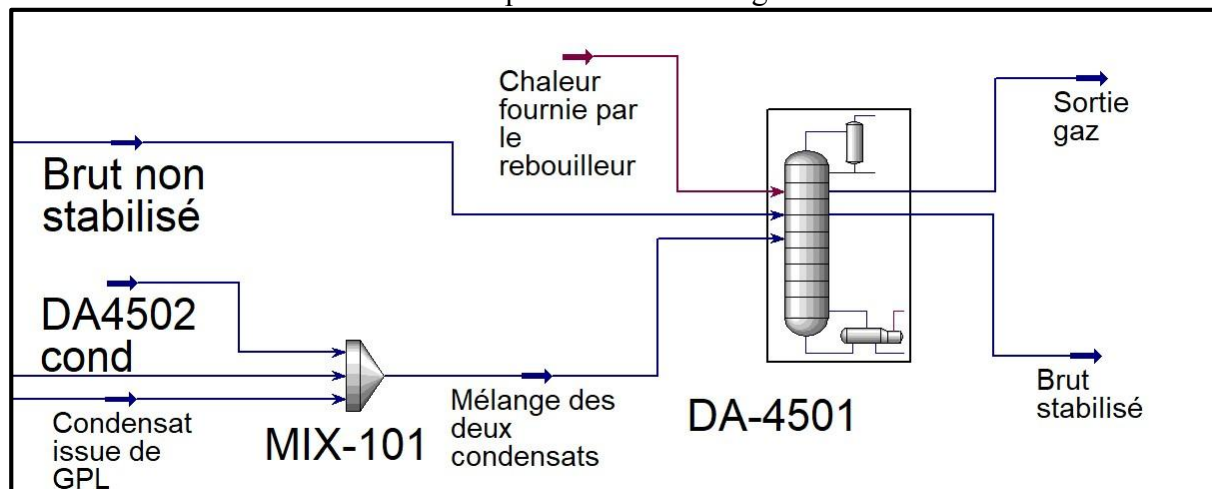


Figure II. 10: Simulation de la colonne avec la nouvelle charge (condensat de GPL).

Les résultats de cette simulation concernant les caractéristiques du condensat sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II. 9: Les paramètres de condensat de GPL.

Caractéristiques	Condensat de GPL
Introduction de la charge	16 ^{ème} plateau
TVR (psi)	11.22
Densité (kg/m³)	613.4

Le condensat obtenu présente une TVR de 11,22 psi et une densité de 613,4 kg/m³, ce qui confirme son caractère léger. Ces propriétés sont représentatives d'un condensat riche en hydrocarbures légers récupérés au niveau de l'unité de traitement du GPL.

II.2.3.1 Optimisation des paramètres de fonctionnement de la colonne

Pour assurer le bon fonctionnement de la colonne après ajouter la nouvelle charge ainsi la production d'un brut stabilisé avec une TVR qui correspond aux normes, nous procédons à une optimisation de la température du fond de la colonne. Dans ce but, nous avons choisi de varier la température du rebouillage jusqu'à atteindre la valeur de TVR souhaitée sous forme le tableau suivant :

Tableau II. 10: Variation des paramètres (TVR et chaleur fournie) du brut et du rebouilleur.

Température du fond de colonne (°C)	TVR du brut en sortie (psi)	Chaleur fournie par le rebouilleur (kcal/h)
80	10.67	3 727 181
85	10.24	4 313 545
90	9.793	5 006 626
95	9.289	5 591 075
100	8.725	5 928 031
105	8.100	6 545 014
110	7.434	7 073 864
115	6.741	7 843 147
120	6.040	8 697 598
125	5.301	9 140 861
130	4.553	9 877 566
135	3.836	10 306 913
140	3.213	11 088 728
145	2.673	11 747 456
150	2.309	12 416 607

- ✓ Les variations de ces paramètres en fonction de la température du fond de colonne sont représentées dans les figures (II.11) et (II.12) :

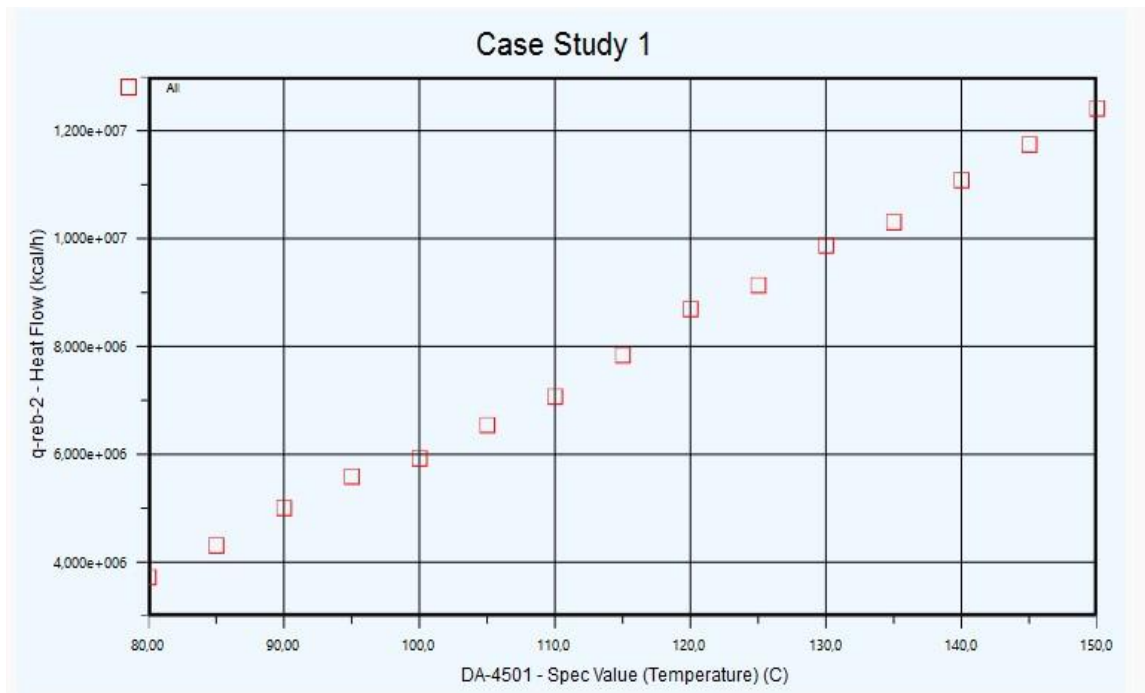


Figure II. 11: Variation de l'énergie fournie par rebouilleur en fonction de température.

D'après la figure (II.11), On observe que la chaleur fournie par le rebouilleur augmente continuellement avec l'élévation de la température. La charge thermique passe d'environ $3,73 \times 10^6$ kcal/h à $12,42 \times 10^6$ kcal/h à 150°C. La relation observée est pratiquement linéaire sur l'ensemble de la plage étudiée.

L'augmentation de la température du fond de colonne nécessite un apport de chaleur plus important afin de vaporiser une quantité croissante d'hydrocarbures légers et de maintenir les conditions de séparation dans la colonne. Ainsi, plus la température de fonctionnement est élevée, plus l'énergie requise par le rebouilleur augmente. Cette augmentation de la charge thermique améliore l'efficacité de la stabilisation du brut en favorisant l'élimination des composés légers responsables des valeurs élevées de TVR.

Toutefois, ce gain en performance s'accompagne d'une hausse significative de la consommation énergétique du procédé. Il est donc nécessaire de rechercher un compromis entre la qualité du brut stabilisé obtenue et le coût énergétique associé au fonctionnement du rebouilleur.

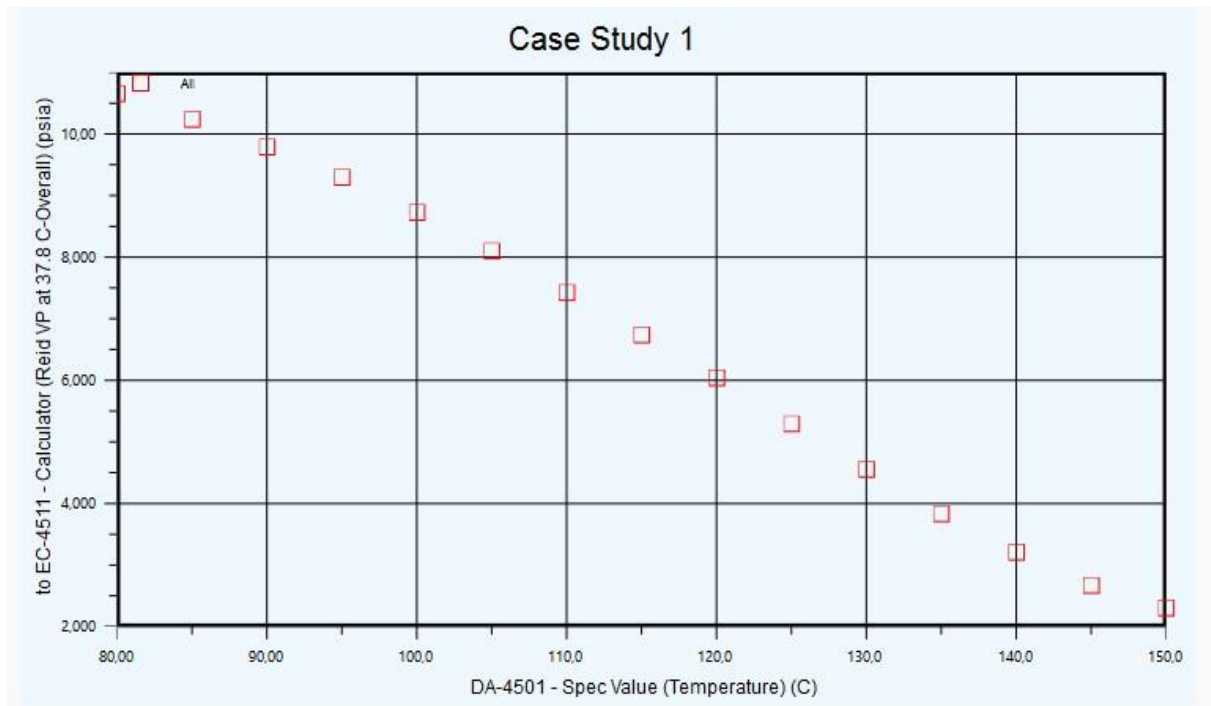


Figure II. 12: Variation de la TVR en fonction de température.

D'après la figure (II.12), On observe une diminution continue du TVR lorsque la température augmente de 80 °C à 150 °C. La TVR passe d'environ 10,67 psia à 2,31 psia, ce qui traduit une relation inverse entre ces deux paramètres.

L'augmentation de la température du fond de colonne favorise la vaporisation et l'élimination des hydrocarbures légers (C_1 – C_4 et une partie des C_5) présents dans le brut. Par conséquent, la quantité de composés volatils restant dans le produit stabilisé diminue, ce qui entraîne une réduction progressive de sa pression de vapeur Reid (TVR). Cette tendance confirme que l'élévation de la température améliore l'efficacité de la stabilisation du pétrole brut.

- ✓ D'après les résultats obtenus, une comparaison a été effectuée des caractéristiques de brut à la sortie pour les différents cas étudiés dans le tableau suivant :

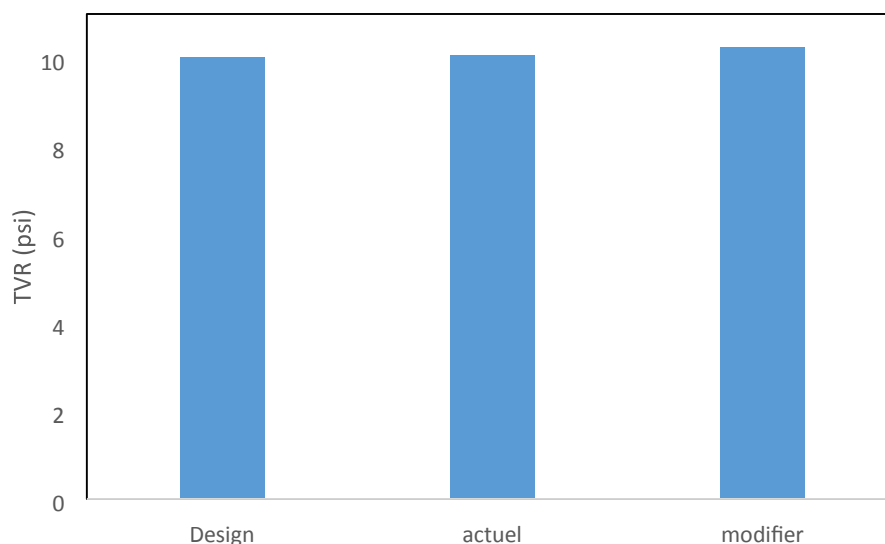
Tableau II. 11 : Caractéristiques du brut à la sortie de la colonne pour les différents cas.

Spécification du brut produit	Cas design	Cas actuel	Cas modifié
Débits (baril par jour)	72 400	41 100	44 060
Température (°C)	101	80	85
TVR (psi)	10.01	10.05	10.24

Le tableau (II.12) met en évidence l'impact des conditions opératoires sur les caractéristiques du brut stabilisé. Par rapport au cas design, le cas actuel présente une diminution importante du débit de production, passant de 72 400 à 41 100 barils par jour, accompagnée d'une baisse de la température de stabilisation de 101 à 80 °C. Malgré cette réduction de température, la TVR reste proche de la spécification de design (10,05 psi contre 10,01 psi).

Dans le cas modifié, l'augmentation de la température de stabilisation à 85 °C permet d'accroître le débit de brut produit jusqu'à 44060 barils par jour. Cette amélioration s'accompagne d'une légère augmentation de la TVR à 10,24 psi, qui demeure toutefois proche de la valeur de cas design.

- ✓ D'après les résultats obtenus, une comparaison des valeurs de la TVR pour les différents cas étudiés a été effectuée, comme présenté sur la figure (II.13).

**Figure II. 13:** Comparaison des valeurs de la TVR du brut stabilisé pour les différents cas étudiés.

D'après la figure (II.13), on observe que les valeurs de la TVR obtenues pour les cas design et actuel sont pratiquement identiques et égales à environ 10 psi, ce qui correspond à la spécification requise pour le transport et le stockage du brut stabilisé. Pour le cas modifié, correspondant à l'introduction du condensat issu de l'unité GPL, une légère augmentation de la TVR est constatée, avec une valeur d'environ 10,2 psi. Cette augmentation reste faible, traduisant un impact limité de la charge additionnelle de condensat sur la volatilité du brut stabilisé.

✓ Il est aussi nécessaire de vérifier l'énergie fournie par le rebouilleur.

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II. 12: Comparaison de l'énergie fournie par le rebouilleur pour les différents cas.

	Cas design	Cas actuel	Cas modifié
Chaleur échangée (kcal/h)	7 700 000	3 883 000	4 313 545

Les résultats montrent que la chaleur requise dans le cas modifié (4 313 545 kcal/h) est supérieure à celle du cas actuel (3 883 000 kcal/h) en raison de l'augmentation du débit et de la température de fonctionnement. Comme le design de la colonne DA-4501 permet la prise en charge du double de la charge actuelle, la norme de TVR a été bien respectée, malgré l'ajout d'une charge additionnelle, et cela tout en respectant la capacité du rebouilleur.

D'après les résultats obtenus, nous pouvons conclure que le chauffage du brut jusqu'à 85°C permet d'atteindre une valeur de TVR égale à 10 psi qui correspond à la valeur optimale de TVR recherchée.

II.2.3.2 Problématique rencontrée au niveau de la colonne

Un phénomène de pleurage « weeping » a été observé au niveau du 16^{ème} et le 17^{ème} plateau (figure II.13). Ce phénomène se produit lorsque le débit de vapeur devient insuffisant pour maintenir le liquide sur le plateau, ce qui entraîne l'écoulement du liquide à travers les perforations du plateau au lieu d'assurer un contact efficace entre les phases liquide et vapeur.

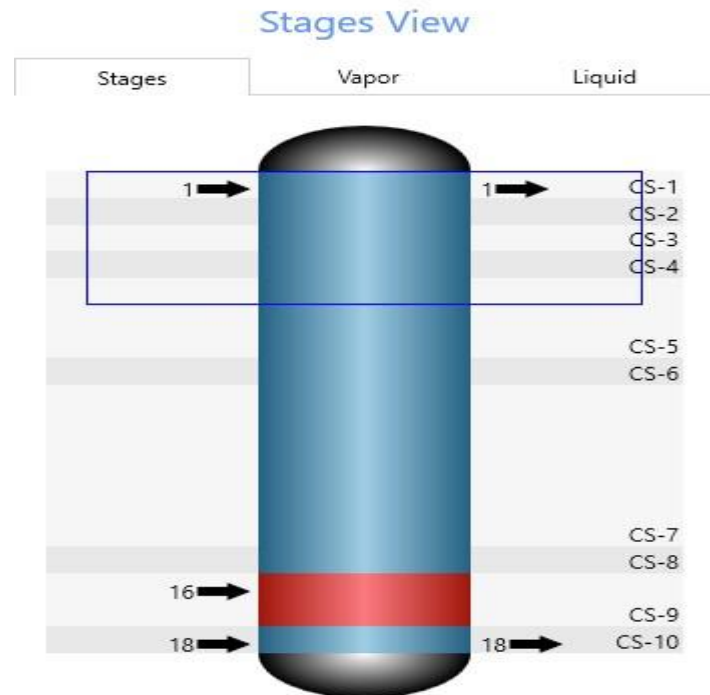


Figure II. 14: Phénomène de pleurage dans la colonne DA4501.

Afin d'éliminer le phénomène de pleurage observé au niveau des 16^{ème} et 17^{ème} plateaux, une augmentation de la température du rebouilleur a été testée dans le but d'accroître la quantité de vapeur générée et d'améliorer ainsi le contact entre les phases liquide et vapeur au sein de la colonne. Toutefois, les résultats de simulation ont montré que cette augmentation de température n'a pas permis de supprimer le phénomène de pleurage, qui est resté présent sur les plateaux concernés. Ce phénomène n'affecte pas significativement les performances globales de stabilisation de la colonne.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a été consacré à l'étude de l'impact de l'intégration d'une nouvelle charge de condensat issue du futur train GPL sur les performances de la colonne de stabilisation DA4501 du CPF de Rhourde El Baguel. Pour atteindre cet objectif, une modélisation du procédé a été réalisée à l'aide du logiciel Aspen HYSYS en utilisant le modèle thermodynamique de Peng-Robinson.

La validation du modèle de simulation a d'abord été effectuée à travers le cas de design. Les faibles écarts observés entre les résultats simulés et les données de conception ont confirmé la fiabilité du modèle retenu pour représenter le comportement réel de l'unité de stabilisation.

L'étude du cas actuel a montré que les conditions de fonctionnement en vigueur permettent d'obtenir un pétrole brut stabilisé conforme aux spécifications de TVR exigées pour le stockage et le transport. Par ailleurs, l'analyse du cas modifié a permis d'évaluer l'effet de l'introduction du condensat provenant du train GPL au niveau du 16ème plateau de la colonne. Les résultats obtenus ont montré que cette modification entraîne une augmentation du débit de brut produit tout en maintenant une qualité de stabilisation satisfaisante.

L'optimisation des paramètres de fonctionnement a mis en évidence l'influence significative de la température du fond de colonne sur la TVR du brut et sur la charge thermique du rebouilleur. Il a été démontré qu'une température de fonctionnement de 85 °C permet d'obtenir une TVR proche de la valeur cible de 10 psi tout en limitant la consommation énergétique de l'installation.

Enfin, bien qu'un phénomène de pleurage ait été observé au niveau des 16ème et 17ème plateaux, les simulations ont montré que celui-ci n'affecte pas significativement les performances globales de stabilisation de la colonne. Ainsi, les résultats de cette étude confirment la faisabilité de l'intégration de la nouvelle charge de condensat dans l'unité de stabilisation LP, tout en respectant les contraintes de qualité du brut stabilisé et les capacités des équipements existants.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Rhourde El Baguel specifics for selected design, document fourni par PETROFAC pour SONARCO, 316Z-GREB-TN-C-0000001 rev B, 2014.
- [2] Généralités sur la production surface, ENSPM Formation Industrie - IFP Training, PS DIV - 03360_A_F - Rév. 1, 2006.
- [3] É.TOCQUÉ, C.TRAVERS, Pétrole, Technique de l'ingénieur, BE 8 520.
- [4] J.P WAUQUIER, le raffinage du pétrole, pétrole brut, produits pétroliers. Paris, France : Editions Technip.1994. p 323-334.
- [5] CPF et TCF, document fourni par Bertin Technologies pour SONARCO, Réf. : 5288-100-DE004-A.
- [6] Campbell, J. M. (2014). Gas Conditioning and Processing, Volume 1: The Basic Principles (9th ed.). Campbell Petroleum Series.
- [7] Mokhatab, S., Poe, W. A., & Mak, J. Y. (2019). Handbook of Natural Gas Transmission and Processing. Gulf Professional Publishing.
- [8] Aspen Technology, Inc. Aspen HYSYS® Petroleum Refining and Gas Processing Documentation.

Paramètres physico chimique du condensat							
	<i>Stream</i> <i>(PFD)</i>	37 Summer SOR	Summer MOR	Summer EOR	Winter SOR	Winter MOR	Winter EOR
Overall							
Vapour Fraction		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperature	<i>C</i>	60,00	60,00	60,00	45,00	45,00	45,00
Pressure	<i>bar_g</i>	15,48	16,00	16,00	15,08	16,00	16,00
Actual Volume Flow	<i>m3/h</i>	30,94	19,13	13,89	23,22	16,08	12,22
Mass Flow	<i>kg/h</i>	19057,84	12001,29	8722,42	14447,32	10217,97	7782,63
Molar Flow	<i>kgmole/h</i>	228,90	136,30	98,64	181,34	119,96	90,73
Mass Density	<i>kg/m3</i>	616,04	627,37	628,11	622,07	635,57	636,89
Molecular Weight		83,26	88,05	88,42	79,67	85,18	85,78
Mass Heat Capacity	<i>kJ/kg-C</i>	2,38	2,36	2,36	2,31	2,29	2,28
Vapour Phase							
Phase Actual Volume Flow	<i>m3/h</i>						
Phase Mass Flow	<i>kg/h</i>						
Phase Molar Flow	<i>kgmole/h</i>						
Phase Mass Density	<i>kg/m3</i>						
Phase Molecular Weight							

Phase Cp/Cv							
Phase Std Gas Flow	<i>STD_m3/d</i>						
Phase Lower Heating Value	<i>kJ/kgmole</i>						
Phase Viscosity	<i>cP</i>						
Phase Thermal Conductivity	<i>W/m-K</i>						
Phase Z Factor							
Liquid Phase							
Phase Actual Volume Flow	<i>m3/h</i>	30,94	19,13	13,89	23,22	16,08	12,22
Phase Mass Flow	<i>kg/h</i>	19057,84	12001,29	8722,42	14447,32	10217,97	7782,63
Phase Molar Flow	<i>kgmole/h</i>	228,90	136,30	98,64	181,34	119,96	90,73
Phase Mass Density	<i>kg/m3</i>	616,04	627,37	628,11	622,07	635,57	636,89
Phase Molecular Weight		83,26	88,05	88,42	79,67	85,18	85,78
Phase Liq Vol Flow @Std Cond	<i>m3/h</i>	28,97	17,97	13,05	22,24	15,44	11,73
Phase Surface Tension	<i>dyne/cm</i>	13,15	13,91	13,89	14,12	15,02	15,07
Phase Thermal Conductivity	<i>W/m-K</i>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11

Phase Viscosity	<i>cP</i>	0,21	0,23	0,23	0,22	0,25	0,25
Aqueous Phase							
Phase Actual Volume Flow	<i>m3/h</i>						
Phase Mass Flow	<i>kg/h</i>						
Phase Molar Flow	<i>kgmole/h</i>						
Phase Mass Density	<i>kg/m3</i>						
Phase Molecular Weight							
Phase Liq Vol Flow @Std Cond	<i>m3/h</i>						
Phase Thermal Conductivity	<i>W/m-K</i>						
Phase Viscosity	<i>cP</i>						
Component mole							
CO2	<i>Fraction</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Nitrogen	<i>Fraction</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Methane	<i>Fraction</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ethane	<i>Fraction</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Propane	<i>Fraction</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
i-Butane	<i>Fraction</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
n-Butane	<i>Fraction</i>	0,0018	0,0002	0,0001	0,0003	0,0001	0,0001
i-Pentane	<i>Fraction</i>	0,2143	0,1661	0,1722	0,2456	0,1839	0,1847

n-Pentane	<i>Fraction</i>	0,3988	0,3170	0,3327	0,4590	0,3500	0,3564
n-Hexane	<i>Fraction</i>	0,1240	0,1527	0,1384	0,1242	0,1616	0,1453
n-Heptane	<i>Fraction</i>	0,1355	0,1732	0,1585	0,1059	0,1659	0,1578
n-Octane	<i>Fraction</i>	0,1148	0,1628	0,1506	0,0620	0,1271	0,1326
n-Nonane	<i>Fraction</i>	0,0046	0,0102	0,0154	0,0017	0,0058	0,0108
n-Decane	<i>Fraction</i>	0,0031	0,0080	0,0130	0,0008	0,0031	0,0066
n-C11	<i>Fraction</i>	0,0017	0,0053	0,0095	0,0003	0,0014	0,0033
n-C12	<i>Fraction</i>	0,0010	0,0032	0,0063	0,0002	0,0007	0,0017
n-C13	<i>Fraction</i>	0,0004	0,0015	0,0031	0,0001	0,0003	0,0006
Benzene	<i>Fraction</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Toluene	<i>Fraction</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
H2O	<i>Fraction</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000