



Faculty of Sciences and Technology

كلية العلوم والتكنولوجيا

Department of Process Engineering

قسم هندسة الطرائق

Ref:...../U.M/F.S.T/2025

رقم:..... / ج.م.ك.ع.ت//2025

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : INDUSTRIES PÉTROCHIMIQUES

Option: GÉNIE PÉTROCHIMIQUE

THÈME

Etude de problème de contamination du Butane commercial par l'eau au
niveau de Complexe GL2/Z.

Présenté par HADJAZI Somia

Soutenu le 23/06/ 2025 devant le jury composé de :

Présidente : DRIOUCH Aouatef

Pr

Université de Mostaganem

Examinatrice : BELHOUARI Houria

MAA

Université de Mostaganem

Rapporteuse : MEZOUAGH Amina

MCA

Université de Mostaganem

Année Universitaire 2024/2025

Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier sincèrement

Dieu Tout-Puissant pour la force, la santé et la patience qu'Il m'a accordées tout au long de la réalisation de ce travail.

Je tiens également à remercier ma superviseure,

Mme A. Mezouagh, pour sa confiance,

sa présence constante, sa gentillesse et

son précieux accompagnement tout au long de ce projet.

Je remercie également Mr. Aidoune qui a supervisé mon travail et m'a consacré du temps malgré son emploi du temps chargé .

Je lui suis très reconnaissante pour sa contribution importante, ses conseils et les informations précieuses qu'il m'a fournies .

Un grand merci aux employés de Sonatrach pour leurs conseils et leur soutien pendant la période de formation, ainsi que pour leur coopération et leur gentillesse.

Je tiens à exprimer ma gratitude aux membres du jury, qui m'ont fait l'honneur d'évaluer ce travail.

Dedicace

À mes chers parents,

Vos prières m'ont soutenue, votre patience m'a éclairée et votre amour

a été ma force tout au long de mes études.

Que Dieu vous récompense pour tout et vous accorde santé et longue vie.

À mes chères sœurs :

Wahiba, Fatima Al-Zahra, Hasnâ et Sanaâ,

Votre présence dans ma vie est une bénédiction et votre amour un réconfort

constant.

À mes amies fidèles :

Merci pour votre sincérité et votre soutien indéfectible dans

les moments difficiles comme dans les moments de joie.

À ma famille **Hadjazi** et à tous ceux qui m'ont soutenu, de près ou de loin,

par leurs prières, leurs mots d'encouragement ou leur aide discrète,

que Dieu vous bénisse et vous récompense généreusement.

Table Des Matières

Introduction générale -----	1
I.1.Description du Complexe -----	3
I.1. Fonction de l'usine -----	3
I.2. Situation géographique du Complexe -----	3
I.3. Historique du Complexe GL2/Z -----	3
I.4. Présentation du Complexe -----	3
I.4.1. Zone Utilités -----	3
I.4.2. Zone Process -----	5
I.4.2.1. Section de traitement de gaz : -----	6
I.4.3. Terminal -----	12
II.2. La problématique -----	15
II.3. Analyse de la première hypothèse -----	16
II.4. Analyse de la deuxième hypothèse -----	17
II.5. Analyse de la troisième hypothèse -----	23
II.5.a. Étude comparative des conditions opératoires à travers les tableaux II.1 et II.3 -----	26
II.6. Analyse de perforation ciblée dans le rebouilleur -----	27
II.6.a. Méthode de calcul -----	27
II.6.b. Interprétation des courbes -----	33
II.6.c. Interprétation des causes des perforations des tuyaux de rebouilleur -----	33
Conclusion Générale -----	36
Recommandations -----	37

Resumé

Cette étude vise à analyser la contamination du butane par la vapeur d'eau provenant des trous dans les tuyaux du rebouilleur **X56C** dans le débutaniseur au niveau de l'unité **GL2/Z** du **train 200**. Notre méthodologie s'est appuyée sur la comparaison des valeurs de pression et de température enregistrées avec les normes définies par le fabricant, ce qui a permis de déterminer l'impact de ces perforations sur la qualité du gaz. L'étude a également abordé les causes possibles de l'apparition de ces perforations, telles que la surpression, les contraintes mécaniques et thermiques...

À l'issue de l'étude, nous avons proposé une série de recommandations pour limiter ce phénomène, notamment Optimiser l'épaisseur des tuyaux et placer une couche durable à l'entrée du retour de le rebouilleur pour protéger les tuyaux., la surveillance continue de la pression et de la température, et Promouvoir une culture de la sécurité et de la maintenance proactive au sein de l'organisation la garantie de la sécurité et de la qualité du produit.

Mots clés : Rebouilleur , Désurchauffeur ,Perforation ,Contamination .

Abstract

This study aims to analyze the contamination of butane by water vapor coming from holes in the pipes of the **X56C** reboiler in the debutanizer at the **GL2/Z** unit of **train 200**. Our methodology was based on comparing the recorded pressure and temperature values with the standards defined by the manufacturer, which enabled us to determine the impact of these perforations on gas quality. The study also addressed the possible causes of these perforations, such as overpressure, mechanical and thermal stresses, etc.

At the end of the study, we proposed a series of recommendations to limit this phenomenon, including optimizing pipe thickness and placing a durable layer at the inlet of the reboiler return to protect the pipes, continuous monitoring of pressure and temperature, and promoting a culture of safety and proactive maintenance within the organization to ensure product safety and quality.

Keywords: Reboiler, Desuperheater, Perforation, Contamination.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل تلوث البوتان بواسطة بخار الماء الناتج عن الثقوب في أنابيب معيد التسخين في جهاز إزالة البوتان في وحدة في القطر اعتمدت منهجيتنا على مقارنة قيم الضغط والحرارة المسجلة مع المعايير المحددة من قبل

الشركة المصنعة، مما سمح بتحديد تأثير هذه الثقوب على جودة الغاز. تناولت الدراسة أيضًا الأسباب المحتملة لظهور هذه الثقوب، مثل الضغط الزائد والضغوط الميكانيكية والحرارية. في نهاية الدراسة، اقترحنا سلسلة من التوصيات للحد من هذه الظاهرة، بما في ذلك تحسين سماكة الأنابيب ووضع طبقة متينة عند مدخل عودة المبرد لحماية الأنابيب، والمراقبة المستمرة للضغط والحرارة، وتعزيز ثقافة السلامة والصيانة الاستباقية داخل المنظمة لضمان سلامة وجودة المنتج.

الكلمات المفتاحية: جهاز إعادة التسخين ، مبرد ، ثقب ، تلوث

Liste Des Tableaux

Tableau II.1 : Taux de contamination du butane.....	16
Tableau II.2 : Débits d'alimentation.....	18
Tableau II.3 : Paramètres de marche.....	24
Tableau II.4 : paramètres de marche.....	28

Liste Des Figures

Figure I.1 : Zone d'utilité.....	4
Figure I.2 : Bassin d'eau de mer.....	4
Figure I.3: Unité dessalement.....	5
Figure I.4 : Zone Process.....	6
Figure I.5 : Les tamis moléculaires.....	8
Figure I.6 : Rebouilleur X56C.....	11
Figure I.7: Schéma d'un rebouilleur (Filson Filters, 2020).....	12
Figure I.8: Zone de stockage et chargement.....	13
Figure II.1: Condenseur de reflux du débutaniseur.....	17
Figure II.2 : Teste de fuite par pressurisation par air instrument jusqu'à 4,5 bars.....	17
Figure II.3: Courbes de vaporisation de l'eau.....	32
Figure II.4 : Installation de vannes pour boucher les tuyaux endommagés.....	33
Figure II.5: Mise en place du faisceau tubulaire à l'intérieur de la calandre.....	34
Figure II.6: Mise en place de rebouilleur sur site.....	35

Introduction générale

Sonatrach est un pilier essentiel de l'économie nationale algérienne, jouant un rôle central dans l'exploitation, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures. La société se caractérise par sa capacité à maîtriser toutes les étapes de la production, de l'extraction à la commercialisation et à l'exportation en passant par la transformation, ce qui renforce sa position sur les marchés locaux et internationaux.

Ces dernières années, assurer la qualité des produits énergétiques est devenu l'un des principaux défis auxquels sont confrontés les complexes industriels, en particulier ceux spécialisés dans le raffinage et le traitement du gaz naturel. Parmi eux, le complexe GL2/Z joue un rôle essentiel dans la production et l'exportation de GNL et d'hydrocarbures légers. Dans la chaîne des procédés industriels de Sonatrach, la fractionnement est une étape importante dans la séparation des hydrocarbures à la demande à l'intérieur ou à l'extérieur du pays. Les équipements utilisés dans cette étape fonctionnent dans des conditions de température et de pression très sensibles, et tout dysfonctionnement de ces équipements a de multiples conséquences techniques et économiques, notamment:

- Détérioration de la qualité du produit et non-conformité aux spécifications commerciales.
- Endommagement de l'équipement en raison d'une humidité excessive
- Des pertes économiques dues au rejet de certaines cargaisons.
- Gaspillage de ressources, coûts de maintenance élevés et arrêts forcés.
- Perte de confiance du client dans le produit final.

Dans ce contexte, ce travail vise à étudier les aspects techniques liés au phénomène de contamination, à analyser ses effets sur les performances globales de l'unité de fractionnement et à formuler des recommandations techniques contribuant à réduire ce phénomène et à améliorer l'efficacité opérationnelle, conformément aux exigences de qualité et de productivité.

I. Partie Théorique

I.1. Description du Complexe

I.1. Fonction de l'usine

Le complexe GL2/Z a pour mission de liquéfier le gaz naturel provenant des champs gaziers de HASSI R'MEL, avec possibilité d'extraction du propane, du butane et de la gazoline. Le GNL (Gaz Naturel Liquéfié) est pompé et chargé dans des méthaniers spécialement conçus pour le transport cryogénique pour être expédié vers l'étranger.

I.2. Situation géographique du Complexe

Le complexe GL2/Z est situé à BETHIOUA (à ARZEW à 390 Km d'ALGER), son emplacement au bord de la mer lui permet d'utiliser son eau comme source d'alimentation pour le refroidissement, la production d'eau dessalée et la lutte anti-incendie.

I.3. Historique du Complexe GL2/Z

Le complexe GL2/Z est la dernière usine de liquéfaction où l'engineering a été assuré par la société américaine d'engineering « PULLMAN KELLOGG » qui a été chargée des études de la construction et du démarrage des différentes installations.

Signature du contrat 09 février 1976

Ouverture du chantier	15 mars 1977
Pose de la première pierre	21 février 1978
Première production du GNL	20 janvier 1981
Première expédition du GNL	29 janvier 1981

I.4. Présentation du Complexe

Le Complexe GL2/Z comprend trois (03) zones essentielles :

I.4.1. Zone Utilités

Les utilités constituent une zone importante au sein du complexe GL2/Z. Elles permettent d'assurer la fourniture de tous les besoins pendant le démarrage et la marche normale des trains de liquéfaction.



Figure I.1 : Zone d'utilité.

I.4.1.a. Source d'énergie

La vapeur d'eau est la source d'énergie choisie pour le complexe :

- ✓ Trois chaudières haute pression 62 bars de 40 tonnes/h par train.
- ✓ Une chaudière basse pression 4.5 bars de 400 tonnes/h



Figure I.2 : Bassin d'eau de mer.

I.4.1.b. Source de refroidissement

L'eau est la source de refroidissement transportée par un ensemble de six (06) pompes de grande puissance de 175000 m³/h.

I.4.1.c. Production d'électricité

La production d'électricité est assurée par trois (03) alternateurs entraînés par des turbines à vapeurs. Les turbo-alternateurs fournissent l'énergie de 36 MW par générateur.

I.4.1.d. Unité de dessalement

Elle permet de produire l'eau distillée à l'alimentation des chaudières de 225 m³/h.



Figure I.3: Unité dessalement.

I.4.1.e. Production d'air comprimé

Une grande partie de l'instrumentation du complexe est pneumatique. La production de l'air comprimé est assurée par un ensemble de quatre (04) compresseurs et d'un compresseur d'air secours.

I.4.1.f. Azote

Utilisé pour l'inertage des installations pour la préparation aux travaux de maintenance ainsi que les démarrages.

I.4.2. Zone Process

Cette zone est composée de six (06) trains qui produisent 9000 m³/jour/train du GNL. Chaque train dispose de sa propre production de vapeur, sa propre section de décarbonatation, de séchage et de liquéfaction des hydrocarbures.



Figure I.4 : Zone Process.

I.4.2.1. Section de traitement de gaz : Elle comprend trois étapes

I.4.2.1.a. Démercurisation

Élimination de Hg par adsorption moléculaire. Pour éviter des bouchages au niveau des vannes et des échangeurs ainsi que la corrosion par le mercure des boîtes froides en aluminium. Le gaz est introduit dans le dèmercuriseur où les traces de mercure sont piégées.

I.4.2.1.b. Décarbonatation

I.4.2.1.b.1. Elimination du CO₂

Le gaz brut d'alimentation passe tout d'abord dans le ballon séparateur GN alimentation ou tous les hydrocarbures liquides en suspension dans le gaz naturel sont récupérés et éliminés vers le système de rejet liquide, afin de ne pas contaminer la MEA et ce qui provoquerait la formation d'une grande quantité de mousse.

Puis le GN est chauffé à 38°C dans le préchauffeur de GN d'alimentation avant de pénétrer dans la colonne d'absorption du CO₂ par le bas ou, à contre courant de la solution de MEA pauvre, il sera débarrassé du CO₂ jusqu'à une teneur inférieure à 70ppm en tête de colonne. Puis le GN est dirigé ensuite vers la section de déshydratation. La solution de la MEA, pénétrant au niveau du 5^{ème} plateau de l'absorbeur s'enrichit en CO₂ au fur et à mesure qu'elle descend jusqu'à 29 palataux de l'absorbeur et quitte le fonds de la colonne sous forme de solution de MEA riche pour se diriger vers la colonne de régénération de MEA ou décarbonatation afin d'y être régénérée.[1]

I.4.2.1.b.2. Régénération de la solution MEA

La solution MEA riche, après être passée dans le ballon séparateur des hydrocarbures, est tout d'abord chauffée à 102°C par échange thermique avec la solution de MEA pauvre régénérée et est ensuite introduite en tête de la colonne de régénération fonctionnant normalement à 110°C et à 1 bar. En fond de la colonne la solution de MEA riche en CO₂ descend dans la colonne. Pour y être épurée par les gaz ascendants provenant de l'évaporation du produit de fond le liquide (solution MEA) en fond de colonne s'appauvrit en CO₂ et est renvoyée à l'absorbeur après avoir réchauffé la MEA riche et être refroidie à 38°C. La vapeur de tête condensée est récupérée au fond du ballon de reflux du régénérateur et est ensuite réinjectée en tête de la tour de régénération. Les gaz incondensables, essentiellement CO₂ sont évacués à l'atmosphère.[2]

I.4.2.1.c. Déshydratation

À la sortie de l'absorbeur, le gaz d'alimentation est humide, surtout par le fait qu'il a absorbé de l'eau de la solution MEA. La phase suivante du traitement du gaz d'alimentation est l'élimination de l'eau en vue d'en réduire la teneur à moins de 0.5 ppm. Cette opération est effectuée dans un jeu de 3 sécheurs à tamis moléculaire.

I.4.2.1.c.1. Pré-refroidissement du GN au propane

Le gaz d'alimentation sortant de l'absorbeur à 38°C est d'abord refroidi à 21°C par du propane 1^{er} niveau à 15.2 bar eff et à 18.3°C afin de réduire au maximum la quantité d'eau que les sécheurs devront adsorber et éviter ainsi leur saturation rapide.

La vapeur d'eau condensée est séparée du GN dans le ballon séparateur des sécheurs et est évacuée soit vers le système d'égout des eaux huileuses soit vers le ballon séparateur des hydrocarbures. Le GN pénètre ensuite dans deux des trois sécheurs en service à 21°C et à 46.1 bar eff avec une teneur en eau de 1000 ppm environ.[2]

I.4.2.1.c.2. Adsorption

Le GN pénètre dans deux des sécheurs en service le troisième étant en régénération ou en standby et traverse les tamis moléculaires pendant progressivement son humidité.

À la sortie de chaque sécheur, le gaz est filtré afin de retenir les particules en suspension et se dirige ensuite vers la section séparation. Chaque sécheur a une capacité d'adsorption correspondant à un cycle de séchage de 8 heures. À fin de ce cycle le sécheur doit être régénéré; il y a toujours deux sécheurs en service pendant que le troisième est en régénération. [3]

I.4.2.1.c.3. Régénération des sécheurs

Le cycle de régénération dure 6 heures ; le sécheur une fois régénéré reste alors en standby pendant 2 heures avant de rentrer en service à nouveau.

Le cycle de régénération se déroule en deux phases : réchauffage et régénération du sécheur, refroidissement du sécheur.



Figure I.5 : Les tamis moléculaires

I.4.2.2. Section séparation

Le mélange condensats lourds/gaz venant des pré-refroidisseurs au propane, passe dans un échangeur d'alimentation où par échange avec les vapeurs de tête de la colonne de séparation appelée tour de lavage est refroidi à -47°C à 39 bars. Ce mélange est injecté au niveau du 10^{ème} plateau de la tour de lavage, les produits lourds seront séparés par distillation.

Le liquide de fond est envoyé vers le fractionnement. Les vapeurs de tête se réchaufferont, dans l'échangeur d'alimentation et passent dans le faisceau chaud de l'échangeur principal qui constitue « le condenseur de tête » de la tour de lavage. Elles seront refroidies et condensées partiellement par le MCR. Sa partie liquide riche en méthane est recueillie dans le ballon de reflux, sera acheminé vers le faisceau central de l'échangeur principal pour être liquéfié.

I.4.2.3. Section liquéfaction

Pour liquéfier le gaz, nous le refroidissons jusqu'au point de rosée, cette température est en fonction de pression.

Nous le condensons et il entre dans le faisceau central sous la forme d'un gaz naturel traité riche en éléments légers et y circule de bas en haut, cette liquéfaction se fait en deux temps:

Par échange thermique avec le MCR liquide et vapeur en refroidir le gaz à 110°C. Le GNL sortant en tête de l'échangeur principal sous forme de liquide à 24,3 bars absolus et 148 °C passe dans l'échangeur de rejet et se combine à sa sortie avec la réinjection du propane et de l'éthane venant du fractionnement.

Lorsque le mélange est détendu dans le ballon flash à gaz combustible haute pression à une pression de 4,8 bar et une température de -151°C, l'azote et l'hélium dissous dans la phase liquide sont séparés du GNL.

Ce dernier est refroidi à -156°C avant d'entrer dans la colonne du déazoteur par échange avec le liquide de fond.

La phase liquide finale du GNL est récupérée au fond du séparateur, puis envoyée vers les bacs de stockage à -162 °C à l'aide de pompes.

Les vapeurs de tête passent dans l'échangeur de rejet où elles se réchauffent au contact du MCR du GNL des réinjections d'éthane et de propane et du gaz combustible venant de tête du ballon flash et déchargent dans le circuit fuel gaz.

I.4.2.4. Section compression

I.4.2.4.a. Le système de propane réfrigérant

Le circuit propane, qui assure la réfrigération des divers fluides du procédé, est une boucle fermée à quatre niveaux de pression et de température pour produire un fluide frigorigène en comprimant du gaz propane soutiré du dépropaniseur à 1,31 bar absolu et 35°C à l'aide d'un compresseur d'aspiration.

I.4.2.4.b. Le système de réfrigérant mixte

Le MCR (Multi Composant Réfrigérant) constitue la deuxième boucle de refroidissement fermée de l'unité de liquéfaction et est un mélange de C1, C2, C3 et d'azote utilisé dans l'échangeur principal.

Le méthane circule dans une boucle fermée à deux compresseurs MRC (I) et MCR (II), chacun est entraînés par une turbine. [4]

I.4.2.5. Section fractionnement

Il s'agit d'une unité qui sépare les hydrocarbures lourds provenant de la tour de lavage en fonction de leur degré de volatilité. Il s'agit d'un mélange d'éthane, de propane, de butane et d'essence, et l'objectif de cette séparation est d'isoler chaque composant séparément

Elle est réalisée en 3 étapes, et chaque étape possède sa propre colonne de distillation :

I.4.2.5.a. De-éthanisation

Dans cette colonne, nous récupérons l'éthane, le composant le plus léger, qui sort en tête de colonne sous forme de vapeur à une température de 105°C et à une pression d'environ 29,7 bars pour être réinjecté dans le GNL. L'excès est utilisé comme combustible dans le système fuel gaz, et les produits de fond sont acheminés vers la colonne de de-propanisation.

I.4.2.5.b. De-propanisation

Dans cette colonne, on retire le propane en haut de la colonne à une température de 123°C et une pression de 18 bars, dont une partie est vendue, une partie est utilisée dans la réfrigération ou comme support dans le MCR, tandis que le reste en bas va dans la troisième colonne.

I.4.2.5.c. De-butanisation

Il s'agit de la troisième colonne avec du butane en haut de la colonne à (98.8 %) est envoyé vers GP1/Z pour être commercialisé ou réinjecté dans le GNL. Le produit de fond de la tour constitue la gazoline qui est envoyé vers stockage pour y être commercialisé. [4]

I.4.2.5.c.1. Processus d'élimination du butane

Cette séparation s'effectue dans une colonne fonctionnant à 4,9 bars, avec une température de 114°C en fond de colonne. Les équipements associés incluent :

- Colonne de distillation X53E (Débutaniseur)
- Rebouilleur de fond X56C : Réchauffé par la vapeur à 4,5 bars.
- Condenseur de tête X55C : Échangeur tubulaire refroidi à l'eau de mer.
- Ballon de reflux X54F : Assure la séparation liquide-gaz des vapeurs condensées.
- Deux pompes de reflux X53J/JA qui refoulent vers :

La Colonne X53E pour assurer le taux de reflux .

La passe butane de l'échangeur Multi-passes X60C pour être refroidi et expédié vers le Complexe GP1Z au moyen des pompes X56J/JA.

A la sortie des vapeurs de tête, un piquage peut fournir le produit au gaz combustibles des chaudières.

Le soutirage de fond de colonne, constituant la gazoline, sera refroidi dans un échangeur X62C, à eau de mer, et dirigé vers le stockage. [4]

I.4.2.5.c.2. Définition de rebouilleur à calandre X56C

Le rebouilleur à calandre X56C est un échangeur de chaleur tubulaire principalement installé à la base de colonne de distillation debutaniseur. Sa fonction principale consiste à vaporiser partiellement le liquide provenant du fond de la colonne, produisant ainsi la vapeur indispensable au processus de fractionnement à l'intérieur de la colonne.[5]

La procédure d'insertion de la totalité des tubes (1226), à durée de 10 jours, par l'utilisation des tubes de longueur 3273mm, diamètre de 19mm et d'épaisseur de 05mm, la matière de ce dernier est en Titane.



Figure I.6 : Rebouilleur X56C.

I.4.2.5.c.3. Principe de fonctionnement du rebouilleur X56C

Le rebouilleur reçoit le liquide provenant du bas de la colonne, qui est chauffé par la vapeur circulant dans la calandre ou autour des tubes.

La chaleur ainsi transférée entraîne une vaporisation partielle du liquide, générant un mélange de vapeur et de liquide.

La vapeur produite retourne dans la colonne pour suivre le fractionnement, tandis que le liquide restant est évacué ou réinjecté.[5]

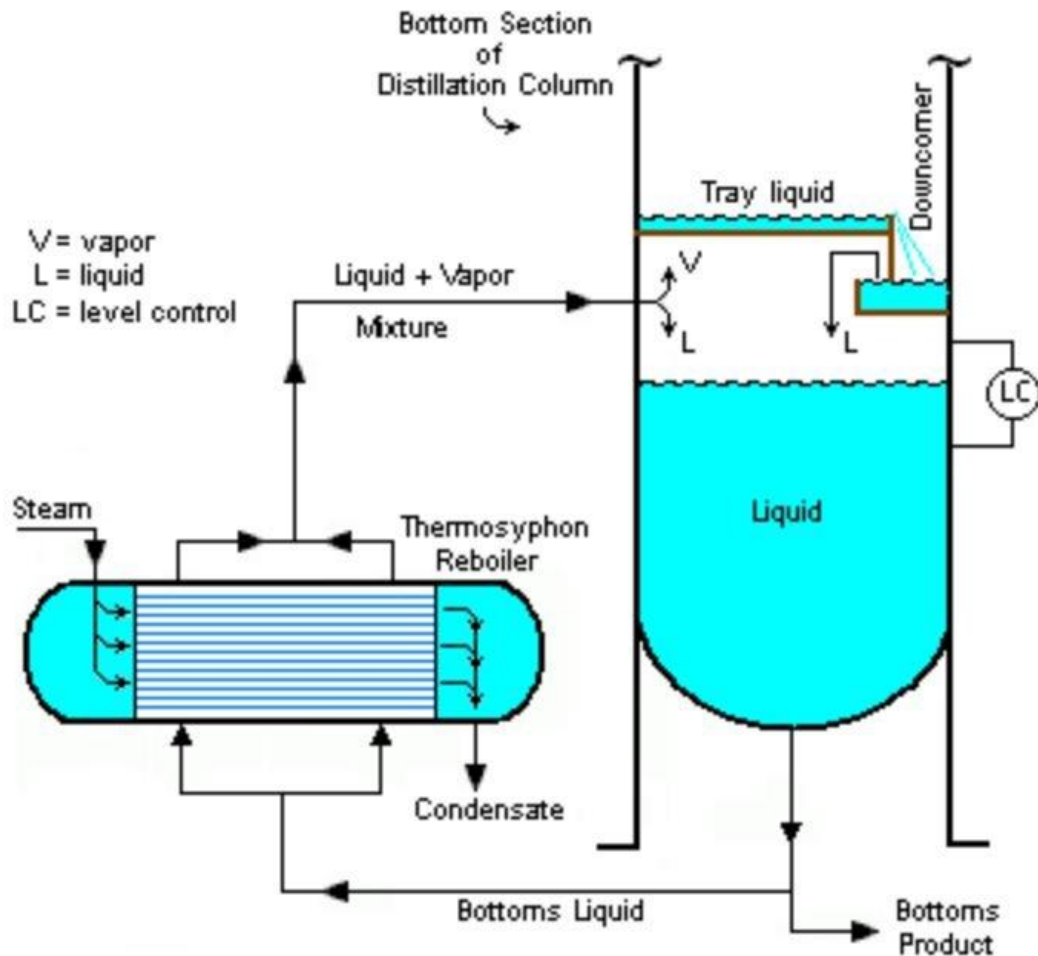


Figure I.7: Schéma d'un rebouilleur. [5]

I.4.3. Terminal

I.4.3.a. Stockage et chargement du GNL/Gazoline

Le GNL est stocké à -162°C dans 3 bacs d'une capacité unitaire de $100\,000\text{ m}^3$ chacun. Le chargement du produit est assuré au niveau de 2 quais de chargement pouvant recevoir des méthaniers d'une capacité de $40\,000$ à $145\,000\text{ m}^3$ GNL.

Le stockage de la gazoline produite est assuré par deux (02) bacs de 14.500 m^3 chacun.

I.4.3.b. Installation d'Expédition et de Chargement

Elles sont composées de :

1. Cinq (05) pompes de chargement d'une capacité unitaire de $2500\text{ m}^3/\text{h}$
2. Une (01) pompe de transfert d'une capacité de $2500\text{ m}^3/\text{h}$
3. Deux (02) pompes de refroidissement d'une capacité unitaire de $60\text{ m}^3/\text{h}$
4. Deux (02) quais de chargement composés chacun de cinq (05) bras de chargement dont un est destiné au retour de la vapeur en provenance des navires. Chacun des

Partie Théorique

deux (02) quais est conçu pour réceptionner des méthaniers d'une capacité située entre 50 000 et 130. 000 m³ de GNL.

La production du Propane (410.000 tonnes/an) et du Butane (327.000 tonnes/an) est acheminée par canalisation vers le complexe GP1/Z.

Pour des raisons de flexibilité maximale, les installations de productions, de stockage et de chargement de GNL les complexes GL1/Z et GL2/Z sont interconnectées.[1]



Figure I.8: Zone de stockage et chargement.

II. Partie pratique

II.2. La problématique

Pendant notre stage au Complexe GL2/Z, un problème technique a été observé, à savoir la contamination du butane commercial par l'eau. Cette question, apparemment technique, comporte des dimensions importantes liées à la qualité du produit final, à la sécurité des installations et au respect des normes adoptées pour la commercialisation des hydrocarbures.

Ce problème a été observé dans le train 200 au niveau de rebouilleur de debutaniseur, qu'est la contamination du butane commercial par l'eau qui va jusqu'au complexe GP1/Z. Cette contamination a été constatée par des résultats d'analyses physiques et chimiques, ce qui nécessite la recherche des causes possibles.

Nous avons étudié ce problème et suppose que ce phénomène se produit en raison de :

1^{ère} hypothèse : Lorsque nous récupérons du butane qui est passé par le condenseur si celui la fonctionne mal, l'eau de mer chargée de refroidissement s'infiltré dans le butane condensé.

2^{ème} hypothèse : Au démarrage de l'équipement, la vapeur d'eau pénètre avant la mise en marche de la colonne de distillation s'il y a un dysfonctionnement dans les tuyaux au niveau du rebouilleur.

3^{ème} hypothèse : Sachant que le rebouilleur se nourrit de butane à une pression de 4,9 bar, alors que la vapeur d'eau a une pression de 4,5 bar, s'il y a des trous au niveau des tubes du rebouilleur et qu'une variation de la pression de la vapeur se produit et monte à 4,9 bar ou plus, elle pénétrera certainement dans les trous pour provoquer une contamination du butane.

Partie Pratique

Le suivi de pourcentage de l'eau dans le C4 est représenté sur le tableau II.1:

Tableau II.1: Taux de contamination du butane.

Date	Heure d'échantillonnage (h)	Pourcentage de l'eau dans le C4 (ppm)
14/11/2024	8	32
	13	32
15/11/2024	8	25
	11:30	35
16/11/2024	11:30	22
	18	26
17/11/2024	11	24
	18	24.5
18/11/2024	8	15
	18	15.15

Sachant que la teneur en vapeur d'eau du butane doit être $<1\text{ppm}$

II.3. Analyse de la première hypothèse

En analysant cette hypothèse, nous avons constaté qu'il est impossible que la source de contamination du butane par la vapeur d'eau provienne de l'eau de mer, la raison pour laquelle cette hypothèse a été exclue est : la pression des vapeurs qu'est la pression de la colonne 4,9 bars et la pression de l'eau de mer est la même pression du train 2,2 bars. En d'autres termes, la différence entre les deux pressions est énorme, ce qui empêche l'eau de mer de pénétrer, même si cela se produit, il s'agira d'un pourcentage très faible.

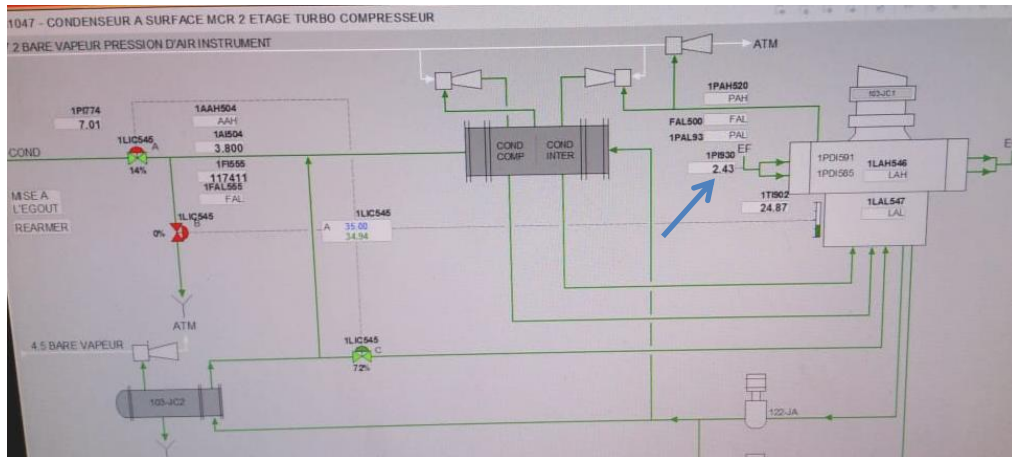


Figure II.1: Condenseur de reflux du débutaniseur.

II.4. Analyse de la deuxième hypothèse

Après une analyse approfondie des dessins techniques et des inspections sur le terrain, il s'est avéré que la source de ce problème était due à une fuite de vapeur d'eau par un trou dans les tuyaux du rebouilleur, l'élément chargé de chauffer le butane pendant la phase de séparation.



Figure II.2 : Teste de fuite par pressurisation par air instrument jusqu'à 4,5 bars.

Partie Pratique

Le suivi des valeurs des débits d'alimentation de la charge débutaniseur et la vapeur d'eau du Complexe GL2/Z donne les résultats regroupés dans le tableau II.2 :

Avec :

Q_v : débit d'alimentation de la vapeur d'eau.

Q_c : débit d'alimentation de la colonne distillation débutaniseur.

Tableau II.2: Débits d'alimentation.

Temps	Q_v	Q_c
02/09/2024 à 05:00	-275	0
02/09/2024 à 06:00	-275	0
02/09/2024 à 07:00	-275	0
02/09/2024 à 08:00	-275	0
02/09/2024 à 09:00	-275	0
02/09/2024 à 10:00	-263,764109	0
02/09/2024 à 11:00	-167,422263	0
02/09/2024 à 12:00	-158,02752	0
02/09/2024 à 13:00	67,6191817	0
02/09/2024 à 14:00	277,202336	0
02/09/2024 à 15:00	623,621398	0
02/09/2024 à 16:00	739,906977	0
02/09/2024 à 17:00	687,163109	0
02/09/2024 à 18:00	768,235713	0
02/09/2024 à 19:00	748,883109	0
02/09/2024 à 20:00	732,985267	0
02/09/2024 à 21:00	787,949503	0
02/09/2024 à 22:00	840,637285	0
02/09/2024 à 23:00	846,777502	0
03/09/2024	743,247571	0
03/09/2024 à 01:00	295,596849	0

Partie Pratique

03/09/2024 à 02:00	407,818958	0
03/09/2024 à 03:00	616,024264	0
03/09/2024 à 04:00	942,538566	0
03/09/2024 à 05:00	632,291289	0
03/09/2024 à 06:00	659,853435	0
03/09/2024 à 07:00	717,318581	0
03/09/2024 à 08:00	858,854223	0
03/09/2024 à 09:00	954,944794	0
03/09/2024 à 10:00	1175,06906	0
03/09/2024 à 11:00	1067,07873	0
03/09/2024 à 12:00	1032,0885	0
03/09/2024 à 13:00	1087,4851	0
03/09/2024 à 14:00	1125,94441	0
03/09/2024 à 15:00	1199,64456	0
03/09/2024 à 16:00	1211,75688	0
03/09/2024 à 17:00	1150,68074	0
03/09/2024 à 18:00	1120,15638	0
03/09/2024 à 19:00	1218,80728	0
03/09/2024 à 20:00	1165,9013	0
03/09/2024 à 21:00	1429,44356	0
03/09/2024 à 22:00	1425,47455	0
03/09/2024 à 23:00	1310,99889	0
04/09/2024	1115,41642	0
04/09/2024 à 01:00	1035,28857	0
04/09/2024 à 02:00	1014,52608	0
04/09/2024 à 03:00	1063,24681	0
04/09/2024 à 04:00	1219,42044	0

Partie Pratique

04/09/2024 à 05:00	1164,08845	0
04/09/2024 à 06:00	1137,03723	0
04/09/2024 à 07:00	1122,76383	0
04/09/2024 à 08:00	1195,80532	0
04/09/2024 à 09:00	1262,70727	0
04/09/2024 à 10:00	1275,34892	0
04/09/2024 à 11:00	1881,46979	0
04/09/2024 à 12:00	1848,24095	0
04/09/2024 à 13:00	1990,68245	0
04/09/2024 à 14:00	2146,09677	0
04/09/2024 à 15:00	2124,85085	0
04/09/2024 à 16:00	1860,31792	0
04/09/2024 à 17:00	1797,56048	0
04/09/2024 à 18:00	2047,90599	0
04/09/2024 à 19:00	2157,60856	0
04/09/2024 à 20:00	2052,56717	0
04/09/2024 à 21:00	1860,75388	0
04/09/2024 à 22:00	2085,97281	0
04/09/2024 à 23:00	1874,84449	0
05/09/2024	1651,96896	0
05/09/2024 à 01:00	1759,14518	0
05/09/2024 à 02:00	2114,94702	0
05/09/2024 à 03:00	2134,83348	0
05/09/2024 à 04:00	2442,9439	0
05/09/2024 à 05:00	2303,1736	0
05/09/2024 à 06:00	1854,22778	0
05/09/2024 à 07:00	1833,04825	0

Partie Pratique

05/09/2024 à 08:00	2135,76665	0
05/09/2024 à 09:00	2676,57748	0
05/09/2024 à 10:00	2754,66449	0
05/09/2024 à 11:00	2438,77418	0
05/09/2024 à 12:00	2406,17192	0
05/09/2024 à 13:00	2556,6689	0
05/09/2024 à 14:00	2671,73004	0
05/09/2024 à 15:00	2940,35056	0
05/09/2024 à 16:00	2886,8717	0
05/09/2024 à 17:00	3057,25385	0
05/09/2024 à 18:00	3242,98333	0
05/09/2024 à 19:00	3267,98936	0
05/09/2024 à 20:00	3206,42822	0
05/09/2024 à 21:00	3060,50343	0
05/09/2024 à 22:00	2429,66287	0
05/09/2024 à 23:00	2382,88486	0
06/09/2024	2396,10616	0
06/09/2024 à 01:00	2353,42978	0
06/09/2024 à 02:00	2259,65072	0
06/09/2024 à 03:00	2005,67274	0
06/09/2024 à 04:00	2173,28909	0
06/09/2024 à 05:00	2179,43757	0
06/09/2024 à 06:00	2219,3461	0
06/09/2024 à 07:00	2651,15284	0
06/09/2024 à 08:00	2353,86959	0
06/09/2024 à 09:00	2345,72389	0
06/09/2024 10:00	2691,29871	0

Partie Pratique

06/09/2024 à 11:00	3024,97797	0
06/09/2024 à 12:00	3011,59939	0
06/09/2024 à 13:00	2950,58565	0
06/09/2024 à 14:00	2951,96024	0
06/09/2024 à 15:00	2877,70278	0
06/09/2024 à 16:00	2983,71523	0
06/09/2024 à 17:00	2839,32915	0
06/09/2024 à 18:00	2859,12955	0
06/09/2024 à 19:00	2888,30815	0
06/09/2024 à 20:00	2750,35136	0
06/09/2024 à 21:00	5461,11329	0
06/09/2024 à 22:00	5571,75755	0
06/09/2024 à 23:00	5571,86926	0
07/09/2024	5572,07192	0
07/09/2024 à 01:00	5572,22807	0
07/09/2024 à 02:00	5572,5363	0
07/09/2024 à 03:00	5572,68432	0
07/09/2024 à 04:00	5572,8972	0
07/09/2024 à 05:00	5572,97957	0
07/09/2024 à 06:00	5573,16748	146,832656
07/09/2024 à 07:00	5573,24134	188,672352
07/09/2024 à 08:00	5573,43565	254,149073
07/09/2024 à 09:00	5573,65275	259,823342
07/09/2024 à 10:00	5573,67383	286,891862
07/09/2024 à 11:00	5573,67383	299,205633
07/09/2024 à 12:00	5573,52418	333,884269
07/09/2024 à 13:00	5569,20655	316,287736

07/09/2024 à 14:00	5221,9567	319,591263
07/09/2024 à 15:00	4761,90566	315,002631
07/09/2024 à 16:00	4934,73516	317,480247
07/09/2024 à 17:00	3557,63542	322,361447
07/09/2024 à 18:00	4426,87148	324,25955
07/09/2024 à 19:00	5573,66961	321,84909
07/09/2024 à 20:00	4167,33234	336,565252
07/09/2024 à 21:00	3684,27666	344,108973
07/09/2024 à 22:00	3729,73947	344,927869

D'après les résultats de **tableau II.2**, nous pouvons constater que, pendant le démarrage de l'équipement, le coté calandre était en marche alors que la colonne distillation était éteinte jusqu'à $Q_v = 5573,16748$ et $Q_c = 146,832656$, permettant à la vapeur d'eau de s'échapper par les trous des tuyaux de gaz, ce qui se mélangera sûrement avec le butane destiné au stockage.

II.5. Analyse de la troisième hypothèse

Le suivie des valeurs des températures de vapeur entrante dans le rebouilleur et la pression de vapeur entrante dans le rebouilleur et pression de colonne debutaniseur du Complexe GL2/Z donne les résultats regroupés dans le tableau II.3:

Avec:

T_v : Température de vapeur d'entrée dans le rebouilleur.

P_v : pression de vapeur d'entrée dans le rebouilleur.

P_c : pression de colonne debutaniseur .

Partie Pratique

Tableau II.3: Paramètres de marche.

Temps	T _v	P _v	P _c
14/11/2024	159,187707	5,17280876	3,61398967
14/11/2024 à 01:00	158,856688	5,15432038	3,81934391
14/11/2024 à 02:00	158,713407	5,1518805	4,7858719
14/11/2024 à 03:00	158,594106	5,16105893	4,85883096
14/11/2024 à 04:00	158,430202	5,1595563	4,78248324
14/11/2024 à 05:00	158,080095	5,10306095	4,7060924
14/11/2024 à 06:00	157,746329	5,05227408	4,7709539
14/11/2024 à 07:00	158,026326	5,0668897	4,84215458
14/11/2024 à 08:00	157,966296	5,06612294	4,85346018
14/11/2024 à 09:00	158,095064	5,08421629	4,82464321
14/11/2024 à 10:00	158,497566	5,1062908	4,3185871
14/11/2024 à 11:00	158,287838	5,11423767	4,7080599
14/11/2024 à 12:00	158,816055	5,15839454	3,58568411
14/11/2024 à 13:00	158,474346	5,11694859	4,55261377
14/11/2024 à 14:00	158,209783	5,10161263	4,39655973
14/11/2024 à 15:00	157,921388	5,03971862	4,8885517
14/11/2024 à 16:00	158,207186	5,059671	4,52733374
14/11/2024 à 17:00	158,367115	5,08702789	4,36668719
14/11/2024 à 18:00	159,148601	5,20942148	4,48987078
14/11/2024 à 19:00	158,680561	5,1239582	3,71064476
14/11/2024 à 20:00	158,716614	5,13026296	3,96159528
14/11/2024 à 21:00	158,695993	5,12602623	4,1921027
14/11/2024 à 22:00	158,635196	5,11815691	4,4091756
14/11/2024 à 23:00	158,527811	5,11140277	4,10117378
15/11/2024	158,693244	5,13023982	4,63352833
15/11/2024 à 01:00	158,745791	5,14317465	4,43054447
15/11/2024 à 02:00	158,679953	5,14637353	4,26623322
15/11/2024 à 03:00	158,642987	5,14130802	4,44372452
15/11/2024 à 04:00	158,315333	5,1060043	4,41083626
15/11/2024 à 05:00	158,477098	5,11635989	4,46508615
15/11/2024 à 06:00	158,159069	5,07808969	4,66224063
15/11/2024 à 07:00	158,240942	5,07774876	4,67514686
15/11/2024 à 08:00	157,998067	5,04424973	4,72891855
15/11/2024 à 09:00	158,144249	5,07158346	4,82250511
15/11/2024 à 10:00	158,144708	5,08280665	4,79158371
15/11/2024 à 11:00	158,103159	5,07774107	4,79061174
15/11/2024 à 12:00	158,2026	5,09702724	4,76165672
15/11/2024 à 13:00	158,389723	5,1389224	4,83198898
15/11/2024 à 14:00	158,394	5,13875194	4,7962263
15/11/2024 à 15:00	158,561873	5,11213091	4,79331274
15/11/2024 à 16:00	158,49283	5,10602749	4,77163109
15/11/2024 à 17:00	158,147457	5,05599192	4,76150587

Partie Pratique

15/11/2024 à 18:00	158,322051	5,09058299	4,73392011
15/11/2024 à 19:00	158,395834	5,10568666	4,56001787
15/11/2024 à 20:00	158,644516	5,13494902	4,65458812
15/11/2024 à 21:00	157,771686	5,00195955	4,39355565
15/11/2024 à 22:00	157,923219	5,03569105	4,82059978
15/11/2024 à 23:00	158,440282	5,06853948	4,66198782
16/11/2024	157,993788	5,0351953	4,6420196
16/11/2024 à 01:00	157,789868	5,00987539	4,04460447
16/11/2024 à 02:00	157,721283	5,00283484	4,54431683
16/11/2024 à 03:00	157,964158	5,02352297	4,62276316
16/11/2024 à 04:00	158,03641	5,02581554	4,84176385
16/11/2024 à 05:00	157,887935	5,01964249	4,79742833
16/11/2024 à 06:00	157,824238	5,00385716	4,73436142
16/11/2024 à 07:00	157,719906	4,99028715	4,8167738
16/11/2024 à 08:00	158,050613	5,0099762	4,2908608
16/11/2024 à 09:00	158,062835	5,02363907	3,89878662
16/11/2024 à 10:00	158,327554	5,05662691	4,1298528
16/11/2024 à 11:00	158,546904	5,09372774	4,720104
16/11/2024 à 12:00	158,603883	5,10028809	4,76986217
16/11/2024 à 13:00	158,482139	5,10094645	4,58114
16/11/2024 à 14:00	158,315181	5,06051524	4,29047883
16/11/2024 à 15:00	158,419816	5,07870927	4,59417295
16/11/2024 à 16:00	158,709586	5,10822719	4,55797253
16/11/2024 à 17:00	158,897625	5,13302041	4,76565523
16/11/2024 à 18:00	158,470834	5,07828332	4,78036459
16/11/2024 à 19:00	157,885946	5,00429095	4,81355186
16/11/2024 à 20:00	157,659873	4,97698046	4,83851571
16/11/2024 à 21:00	157,354671	4,94571985	4,8245315
16/11/2024 à 22:00	157,130579	4,91978024	4,76565008
16/11/2024 à 23:00	157,082769	4,90301921	4,77908991
17/11/2024	157,205889	4,91519496	4,81811211
17/11/2024 à 01:00	157,210321	4,92552743	4,81421112
17/11/2024 à 02:00	157,204821	4,93313344	4,80851516
17/11/2024 à 03:00	157,246828	4,93297847	4,74617479
17/11/2024 à 04:00	157,117751	4,92093439	4,85668183
17/11/2024 à 05:00	157,249882	4,92431146	4,78316004
17/11/2024 à 06:00	157,191682	4,91413388	4,79451492
17/11/2024 à 07:00	157,27539	4,93001204	4,81010923
17/11/2024 à 08:00	157,308081	4,94194001	4,79166758
17/11/2024 à 09:00	157,516591	4,970544	4,778977
17/11/2024 à 10:00	157,473972	4,96629178	4,76143243
17/11/2024 à 11:00	157,844859	4,99269602	4,57806271
17/11/2024 à 12:00	157,514602	4,96836751	4,64752225
17/11/2024 à 13:00	157,43853	4,97539275	4,25312181
17/11/2024 à 14:00	158,013343	5,05545745	3,90444256

Partie Pratique

17/11/2024 à 15:00	157,767409	5,04299502	4,70677103
17/11/2024 à 16:00	157,934677	4,97863805	4,24634798
17/11/2024 à 17:00	158,021436	4,95032067	4,60044018
17/11/2024 à 18:00	157,33298	4,91060193	4,61310626
17/11/2024 à 19:00	157,937728	4,99775378	4,47754137
17/11/2024 à 20:00	158,128669	5,01269484	2,79167863
17/11/2024 à 21:00	157,380181	4,92307983	3,95909805
17/11/2024 à 22:00	157,054969	4,88268739	4,46553587
17/11/2024 à 23:00	156,602822	4,81559627	4,46193157
18/11/2024	156,525835	4,80870278	4,62738653
18/11/2024 à 01:00	156,617181	4,81590602	4,81925487
18/11/2024 à 02:00	156,699971	4,83593574	4,84035098
18/11/2024 à 03:00	157,043513	4,89219093	4,4482907
18/11/2024 à 04:00	157,30365	4,91376988	4,39810992
18/11/2024 à 05:00	157,059094	4,89680724	4,35457226
18/11/2024 à 06:00	156,960109	4,87840405	4,59500038
18/11/2024 à 07:00	156,878998	4,861062	4,05987773
18/11/2024 à 08:00	156,715705	4,83582732	4,03687053
18/11/2024 à 09:00	156,800023	4,85316168	4,4424319
18/11/2024 à 10:00	156,758629	4,8538433	4,20106461
18/11/2024 à 11:00	157,020447	4,87848934	4,43871276
18/11/2024 à 12:00	156,777723	4,83900299	4,14723629
18/11/2024 à 13:00	157,848976	4,98484985	3,80938027
18/11/2024 à 14:00	157,03404	4,87924057	4,60510378
18/11/2024 à 15:00	157,60366	4,93857851	4,59629466
18/11/2024 à 16:00	156,891219	4,82436414	4,61410427
18/11/2024 à 17:00	157,52728	4,93338137	3,96735396
18/11/2024 à 18:00	157,50284	4,93510857	3,81299798
18/11/2024 à 19:00	157,073146	4,89155587	4,43293306
18/11/2024 à 20:00	156,531638	4,82248193	3,96845868
18/11/2024 à 21:00	156,348184	4,79161631	4,28786869
18/11/2024 à 22:00	156,531029	4,81372954	4,16018096
18/11/2024 à 23:00	156,820339	4,84567961	4,72453263

II.5.a. Étude comparative des conditions opératoires à travers les tableaux II.1 et II.3

Les analyses de la quantité de butane commerciale contaminée par l'eau, sont suivies seulement pendant la période de 14 novembre au 18 novembre 2024 et cette contamination atteint une valeur de 32 ppm comme indique le **tableau II.1**, sachant que la teneur en vapeur d'eau dans le butane doit être < 1 ppm c'est une très grande différence.

Les résultats de **tableau II.3**, montrent que les paramètres de marche n'étaient jamais conformes aux paramètres désigne du rebouilleur et de la colonne DC4, car la pression du rebouilleur est censée être de 4,5 bars et celle de la colonne DC4 de 4,9 bars.

On constate que $P_{\text{vap}} > P_{\text{DC4}}$, c'est une raison suffisante pour que la vapeur d'eau pénètre dans les trous des tuyaux du rebouilleur en direction du butane.

C'est peut-être aussi la raison pour laquelle les tubes de rebouilleur ont été perforés.

II.6. Analyse de perforation ciblée dans le rebouilleur

Calculs des valeurs de la pression effective de vapeur d'entrée dans le rebouilleur, la pression absolue de vapeur d'entrée dans le rebouilleur, et la pression absolue de vapeur d'eau saturante du Complexe GL2/Z.

II.6.a. Méthode de calcul

À l'aide de la formule de Duperray, on peut estimer la valeur de la pression de vaporisation en fonction de la température pour une pression comprise entre 1 et 40 bars :

$$P_s = (T_s/100)^4$$

Où

P_s : est la pression absolue en bar,

T_s : la température en $^{\circ}\text{C}$.

Pour calculer la pression absolue du vapeur d'eau nous avons pris les valeurs de T_s à partir de 1°C à 300°C .

Exemple de calcul :

$$P_s = (15/100)^4$$

$$P_s = 0.00051 \text{ bar}$$

Pour tracer la courbe de la contamination de butane il faut calculer P absolue

$$P_{\text{Absolue}} = P_{\text{Effectue}} + 1 \text{ atm}$$

$$\text{Avec: } 1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar}$$

Exemple de calcul :

$$P_{\text{absolue}} = 4,99014792 + 1.01325$$

$$P_{\text{absolue}} = 6.003398 \text{ bar}$$

Les résultats de calcul sont regroupés dans le tableau II.4 :

T_{vap} : Température de vapeur d'entrée dans le rebouilleur.

Partie Pratique

P_{eff} : pression effectuée de vapeur d'entrée dans le rebouilleur.

$P_{\text{s conta}}$: Pression absolue de vapeur d'entrée dans le rebouilleur.

$P_{\text{s vap d'eau}}$: Pression absolue de vapeur d'eau saturante

Tableau II.4: Paramètres de marche.

Periode	T_{vap}	P_{eff}	$P_{\text{s conta}}$	T_{s}	$P_{\text{s VAP D'eau}}$
01/09/2024	158,476927	4,99014792	6,00339792	1	0,00000001
01/09/2024 à 01:00	158,850378	5,01666824	6,02991824	2	0,00000016
01/09/2024 à 02:00	158,609983	5,02275624	6,03600624	3	0,00000081
01/09/2024 à 03:00	158,87098	5,02269425	6,03594425	4	0,00000256
01/09/2024 à 04:00	158,629035	5,01278004	6,02603004	5	0,00000625
01/09/2024 à 05:00	158,447191	4,97196929	5,98521929	6	0,00001296
01/09/2024 à 06:00	158,091242	4,91330529	5,92655529	7	0,00002401
01/09/2024 à 07:00	157,835974	4,88689321	5,90014321	8	0,00004096
01/09/2024 à 08:00	157,967172	4,89511889	5,90836889	9	0,00006561
01/09/2024 à 09:00	157,812276	4,90318192	5,91643192	10	0,0001
01/09/2024 à 10:00	158,32064	4,95258243	5,96583243	11	0,00014641
01/09/2024 à 11:00	158,546167	4,96365847	5,97690847	12	0,00020736
01/09/2024 à 12:00	158,412648	4,96076163	5,97401163	13	0,00028561
01/09/2024 à 13:00	158,035172	4,91400231	5,92725231	14	0,00038416
01/09/2024 à 14:00	158,235759	4,91809969	5,93134969	15	0,00050625
01/09/2024 à 15:00	158,665589	4,99817998	6,01142998	16	0,00065536
01/09/2024 à 16:00	158,786407	5,01344616	6,02669616	17	0,00083521
01/09/2024 à 17:00	158,813976	5,03998993	6,05323993	18	0,00104976
01/09/2024 à 18:00	158,813358	5,02598612	6,03923612	19	0,00130321
01/09/2024 à 19:00	158,995049	5,02283367	6,03608367	20	0,0016
01/09/2024 à 20:00	158,969646	5,0374726	6,0507226	21	0,00194481
01/09/2024 à 21:00	158,928135	5,0303003	6,0435503	22	0,00234256
01/09/2024 à 22:00	158,813358	5,02840266	6,04165266	23	0,00279841
01/09/2024 à 23:00	158,702299	5,03161702	6,04486702	24	0,00331776
02/09/2024	158,839227	5,03101296	6,04426296	25	0,00390625
02/09/2024 à 01:00	158,986839	5,03345272	6,04670272	26	0,00456976
02/09/2024 à 02:00	158,87609	5,05441964	6,06766964	27	0,00531441
02/09/2024 à 03:00	159,179218	5,06246713	6,07571713	28	0,00614656
02/09/2024 à 04:00	158,941455	5,06249814	6,07574814	29	0,00707281
02/09/2024 à 05:00	158,941921	5,0318262	6,0450762	30	0,0081
02/09/2024 à 06:00	158,789503	5,03671358	6,04996358	31	0,00923521
02/09/2024 à 07:00	158,879498	5,03425829	6,04750829	32	0,01048576
02/09/2024 à 08:00	158,748457	5,00920951	6,02245951	33	0,01185921
02/09/2024 à 09:00	158,450598	5,01477056	6,02802056	34	0,01336336

Partie Pratique

02/09/2024 à 10:00	158,792914	5,02339137	6,03664137	35	0,01500625
02/09/2024 à 11:00	158,878726	5,04644184	6,05969184	36	0,01679616
02/09/2024 à 12:00	159,46175	5,08296162	6,09621162	37	0,01874161
02/09/2024 à 13:00	158,917913	5,06128992	6,07453992	38	0,02085136
02/09/2024 à 14:00	158,945327	5,05479146	6,06804146	39	0,02313441
02/09/2024 à 15:00	158,844491	5,05071735	6,06396735	40	0,0256
02/09/2024 à 16:00	158,973675	5,00557683	6,01882683	41	0,02825761
02/09/2024 à 17:00	158,683248	5,02522706	6,03847706	42	0,03111696
02/09/2024 à 18:00	158,813358	5,03771279	6,05096279	43	0,03418801
02/09/2024 à 19:00	159,09573	5,04758043	6,06083043	44	0,03748096
02/09/2024 à 20:00	159,037801	5,04964074	6,06289074	45	0,04100625
02/09/2024 à 21:00	158,796785	4,99853616	6,01178616	46	0,04477456
02/09/2024 à 22:00	158,52603	5,00650626	6,01975626	47	0,04879681
02/09/2024 à 23:00	158,832256	5,01039454	6,02364454	48	0,05308416
03/09/2024	158,618655	5,01470872	6,02795872	49	0,05764801
03/09/2024 à 01:00	158,933248	5,03098189	6,04423189	50	0,0625
03/09/2024 à 02:00	158,791984	5,0420114	6,0552614	51	0,06765201
03/09/2024 à 03:00	159,092942	5,05077926	6,06402926	52	0,07311616
03/09/2024 à 04:00	158,823271	5,05470616	6,06795616	53	0,07890481
03/09/2024 à 05:00	158,952608	5,03284089	6,04609089	54	0,08503056
03/09/2024 à 06:00	158,655677	5,03537358	6,04862358	55	0,09150625
03/09/2024 à 07:00	158,993655	5,04699177	6,06024177	56	0,09834496
03/09/2024 à 08:00	158,776958	5,0332667	6,0465167	57	0,10556001
03/09/2024 à 09:00	158,823116	5,04091935	6,05416935	58	0,11316496
03/09/2024 à 10:00	159,262708	5,04517938	6,05842938	59	0,12117361
03/09/2024 à 11:00	159,085664	5,0522819	6,0655319	60	0,1296
03/09/2024 à 12:00	159,397156	5,06537951	6,07862951	61	0,13845841
03/09/2024 à 13:00	159,174884	5,08389887	6,09714887	62	0,14776336
03/09/2024 à 14:00	158,978009	5,06163069	6,07488069	63	0,15752961
03/09/2024 à 15:00	158,938512	5,03848724	6,05173724	64	0,16777216
03/09/2024 à 16:00	158,982039	5,04431184	6,05756184	65	0,17850625
03/09/2024 à 17:00	158,969338	5,04802966	6,06127966	66	0,18974736
03/09/2024 à 18:00	159,037026	5,07995644	6,09320644	67	0,20151121
03/09/2024 à 19:00	159,336283	5,10267384	6,11592384	68	0,21381376
03/09/2024 à 20:00	159,556234	5,10502846	6,11827846	69	0,22667121
03/09/2024 à 21:00	158,941301	5,07031333	6,08356333	70	0,2401
03/09/2024 à 22:00	159,142198	5,05749458	6,07074458	71	0,25411681
03/09/2024 à 23:00	158,798488	5,04578349	6,05903349	72	0,26873856
04/09/2024	158,982966	5,0408496	6,0540996	73	0,28398241
04/09/2024 à 01:00	158,863388	5,04186421	6,05511421	74	0,29986576
04/09/2024 à 02:00	159,062893	5,06155318	6,07480318	75	0,31640625
04/09/2024 à 03:00	158,990558	5,07169202	6,08494202	76	0,33362176
04/09/2024 à 04:00	159,228166	5,07757859	6,09082859	77	0,35153041

Partie Pratique

04/09/2024 à 05:00	158,835198	5,05187142	6,06512142	78	0,37015056
04/09/2024 à 06:00	159,084576	5,04262329	6,05587329	79	0,38950081
04/09/2024 à 07:00	158,720576	5,02472358	6,03797358	80	0,4096
04/09/2024 à 08:00	158,807782	5,03573766	6,04898766	81	0,43046721
04/09/2024 à 09:00	159,131201	5,08307006	6,09632006	82	0,45212176
04/09/2024 à 10:00	159,576218	5,12921752	6,14246752	83	0,47458321
04/09/2024 à 11:00	159,874544	5,14337618	6,15662618	84	0,49787136
04/09/2024 à 12:00	159,564753	5,12262618	6,13587618	85	0,52200625
04/09/2024 à 13:00	159,418223	5,12646006	6,13971006	86	0,54700816
04/09/2024 à 14:00	159,447031	5,1173282	6,1305782	87	0,57289761
04/09/2024 à 15:00	159,179064	5,08505297	6,09830297	88	0,59969536
04/09/2024 à 16:00	159,493034	5,08713641	6,10038641	89	0,62742241
04/09/2024 à 17:00	159,454467	5,1079408	6,1211908	90	0,6561
04/09/2024 à 18:00	159,261159	5,11587208	6,12912208	91	0,68574961
04/09/2024 à 19:00	159,620359	5,10666268	6,11991268	92	0,71639296
04/09/2024 à 20:00	159,366953	5,07709838	6,09034838	93	0,74805201
04/09/2024 à 21:00	158,993191	5,07855451	6,09180451	94	0,78074896
04/09/2024 à 22:00	159,33458	5,08142807	6,09467807	95	0,81450625
04/09/2024 à 23:00	159,352392	5,08245819	6,09570819	96	0,84934656
05/09/2024	159,133214	5,08609084	6,09934084	97	0,88529281
05/09/2024 à 01:00	159,389412	5,08980869	6,10305869	98	0,92236816
05/09/2024 à 02:00	159,387088	5,09502128	6,10827128	99	0,96059601
05/09/2024 à 03:00	159,260692	5,10174437	6,11499437	100	1
05/09/2024 à 04:00	159,329003	5,08774063	6,10099063	101	1,04060401
05/09/2024 à 05:00	159,136779	5,08439465	6,09764465	102	1,08243216
05/09/2024 à 06:00	159,361065	5,09999387	6,11324387	103	1,12550881
05/09/2024 à 07:00	159,407379	5,10359548	6,11684548	104	1,16985856
05/09/2024 à 08:00	158,991178	5,08313979	6,09638979	105	1,21550625
05/09/2024 à 09:00	158,939287	5,35035791	6,36360791	106	1,26247696
05/09/2024 à 10:00	159,212211	5,59838284	6,61163284	107	1,31079601
05/09/2024 à 11:00	159,239474	5,62872953	6,64197953	108	1,36048896
05/09/2024 à 12:00	159,040432	5,57492959	6,58817959	109	1,41158161
05/09/2024 à 13:00	158,642974	5,56970147	6,58295147	110	1,4641
05/09/2024 à 14:00	158,327454	5,55816847	6,57141847	111	1,51807041
05/09/2024 à 15:00	158,042141	5,45620729	6,46945729	112	1,57351936
05/09/2024 à 16:00	157,605025	5,38896902	6,40221902	113	1,63047361
05/09/2024 à 17:00	157,590156	5,16040068	6,17365068	114	1,68896016
05/09/2024 à 18:00	157,262244	4,79868023	5,81193023	115	1,74900625
05/09/2024 à 19:00	157,084735	4,78598545	5,79923545	116	1,81063936
05/09/2024 à 20:00	157,521538	4,78662834	5,79987834	117	1,87388721
05/09/2024 à 21:00	157,542448	4,80707635	5,82032635	118	1,93877776
05/09/2024 à 22:00	157,315527	4,83151322	5,84476322	119	2,00533921
05/09/2024 à 23:00	157,622064	4,82932901	5,84257901	120	2,0736

Partie Pratique

06/09/2024	157,698584	4,84290682	5,85615682	121	2,14358881
06/09/2024 à 01:00	157,543533	4,85857594	5,87182594	122	2,21533456
06/09/2024 à 02:00	157,307008	4,7867058	5,7999558	123	2,28886641
06/09/2024 à 03:00	157,155985	4,76242376	5,77567376	124	2,36421376
06/09/2024 à 04:00	156,991951	4,74082181	5,75407181	125	2,44140625
06/09/2024 à 05:00	157,409395	4,80691366	5,82016366	126	2,52047376
06/09/2024 à 06:00	157,244896	4,81309463	5,82634463	127	2,60144641
06/09/2024 à 07:00	157,048486	4,75148722	5,76473722	128	2,68435456
06/09/2024 à 08:00	156,8321	4,71900283	5,73225283	129	2,76922881
06/09/2024 à 09:00	156,872063	4,72648502	5,73973502	130	2,8561
06/09/2024 à 10:00	156,671939	4,68839281	5,70164281	131	2,94499921
06/09/2024 à 11:00	156,83907	4,7290177	5,7422677	132	3,03595776
06/09/2024 à 12:00	157,684177	4,84166752	5,85491752	133	3,12900721
06/09/2024 à 13:00	157,917606	4,89042523	5,90367523	134	3,22417936
06/09/2024 à 14:00	157,287182	4,78816973	5,80141973	135	3,32150625
06/09/2024 à 15:00	156,645919	4,68884198	5,70209198	136	3,42102016
06/09/2024 à 16:00	156,966705	4,71709742	5,73034742	137	3,52275361
06/09/2024 à 17:00	156,56506	4,69091007	5,70416007	138	3,62673936
06/09/2024 à 18:00	153,9317	4,30424141	5,31749141	139	3,73301041
06/09/2024 à 19:00	152,127641	4,14861215	5,16186215	140	3,8416
06/09/2024 à 20:00	154,91404	4,51394196	5,52719196	141	3,95254161
06/09/2024 à 21:00	158,652113	4,43346663	5,44671663	142	4,06586896
06/09/2024 à 22:00	160,140498	4,46931263	5,48256263	143	4,18161601
06/09/2024 à 23:00	161,085044	4,09692663	5,11017663	144	4,29981696
07/09/2024	155,602393	3,89970414	4,91295414	145	4,42050625
07/09/2024 à 01:00	159,102857	4,72160531	5,73485531	146	4,54371856
07/09/2024 à 02:00	161,556235	4,52959545	5,54284545	147	4,66948881
07/09/2024 à 03:00	163,113236	4,5705611	5,5838111	148	4,79785216
07/09/2024 à 04:00	158,203384	4,27906878	5,29231878	149	4,92884401
07/09/2024 à 05:00	168,673025	4,76746613	5,78071613	150	5,0625
07/09/2024 à 06:00	176,607814	4,77156346	5,78481346	151	5,19885601
07/09/2024 à 07:00	192,349296	4,63949574	5,65274574	152	5,33794816
07/09/2024 à 08:00	190,554838	4,6817239	5,6949739	153	5,47981281
07/09/2024 à 09:00	156,136936	4,57627738	5,58952738	154	5,62448656
07/09/2024 à 10:00	152,068625	4,09811941	5,11136941	155	5,77200625
07/09/2024 à 11:00	152,950597	4,17415669	5,18740669	156	5,92240896
07/09/2024 à 12:00	155,616801	4,49034154	5,50359154	157	6,07573201
07/09/2024 à 13:00	155,452763	4,59380527	5,60705527	158	6,23201296
07/09/2024 à 14:00	154,908928	4,54368452	5,55693452	159	6,39128961
07/09/2024 à 15:00	154,105337	4,32038303	5,33363303	160	6,5536
07/09/2024 à 16:00	155,862152	4,69415535	5,70740535	161	6,71898241
07/09/2024 à 17:00	155,730183	4,70749314	5,72074314	162	6,88747536
07/09/2024 à 18:00	153,027733	4,29064052	5,30389052	163	7,05911761

07/09/2024 à 19:00	155,891117	4,63745095	5,65070095	164	7,23394816
07/09/2024 à 20:00	156,440062	4,83344958	5,84669958	165	7,41200625
07/09/2024 à 21:00	156,508682	4,84293778	5,85618778	166	7,59333136
07/09/2024 à 22:00	155,918068	4,7547713	5,7680213	167	7,77796321

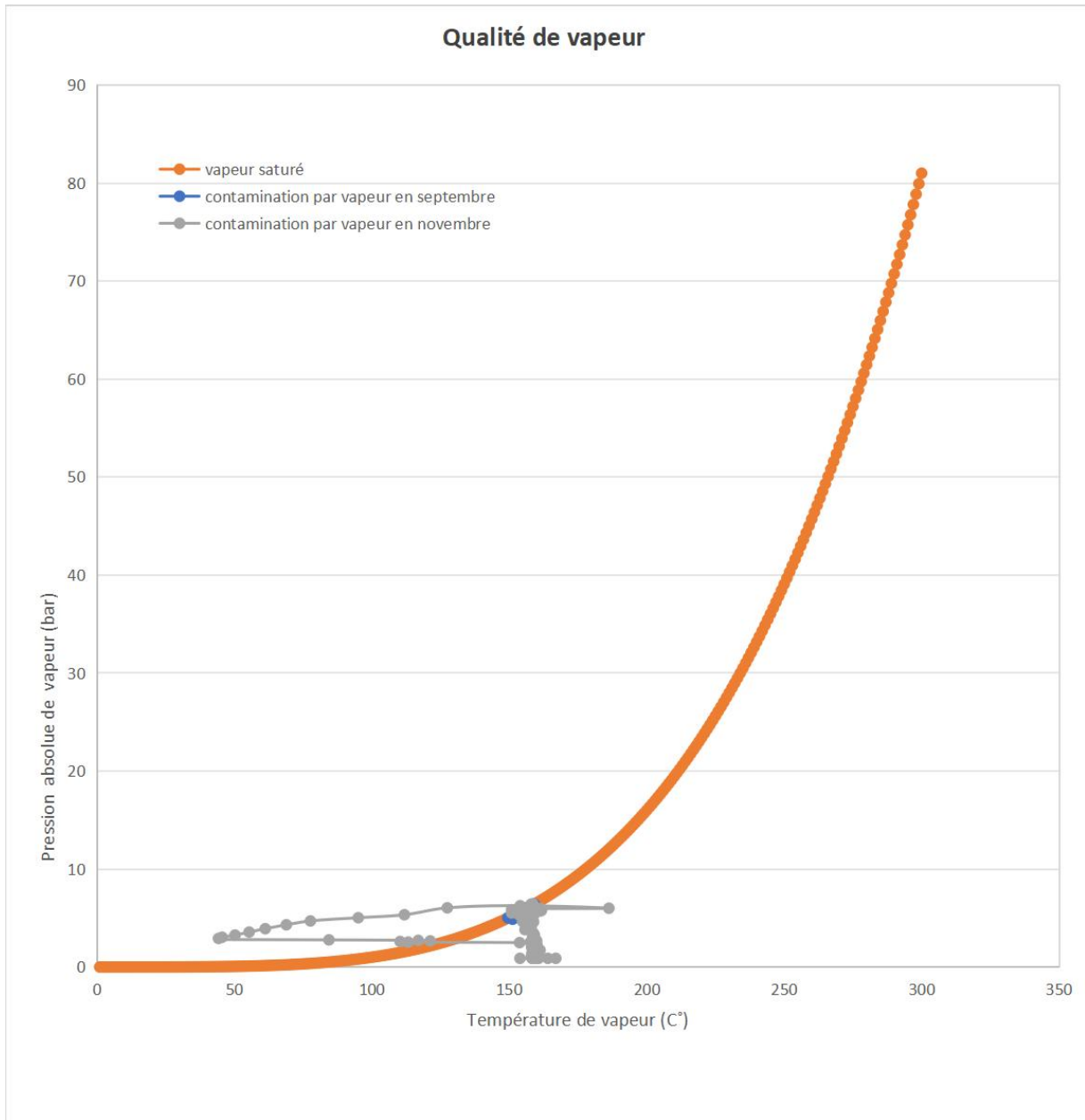


Figure II.3: Courbes de vaporisation de l'eau.

II.6.b. Interprétation des courbes

Les courbes représentent les pressions absolue en fonction de la température de vapeur, elles nous a permet de suivre l'évolution de la qualité de la vapeur au cours des différentes étapes du chauffage.

D'abord, **Vapeur humide** : à ce stade, une grande quantité de liquide est convertie en vapeur, ce qui entraîne une augmentation progressive de la qualité de la vapeur.

Ensuite, **vapeur à état de saturation**: c'est la fin de la phase d'ébullition, attestée par l'équilibre de la courbe rouge représentant la vapeur saturée.

Vapeur surchauffée : lorsque la vapeur est chauffée en continu après saturation, sa température commence à augmenter bien qu'il n'y ait plus de liquide. Ce phénomène est illustré par la courbe rouge qui montre une forte augmentation de la valeur, indiquant une vapeur chauffée, qui est la vapeur la plus stable dans les systèmes d'alimentation. Les lignes bleue et gris montrent les fluctuations de la qualité de la vapeur en septembre et novembre. Nous observons une irrégularité de la pression ou de la température dans ce système, ce qui représente des fuites ou une contamination au butane dans les tuyaux et, en même temps, la cause principale de l'endommagement des tuyaux et de leur perçage.

II.6.c. Interprétation des causes des perforations des tuyaux de rebouilleur

En raison de la détérioration progressive de la qualité du produit butane et des niveaux élevés de contamination au quotidien, rebouilleur a été mise à l'arrêt pour une analyse technique approfondie. Après le démontage de l'unité, l'inspection a montré que les trous se trouvaient uniquement dans les tuyaux d'entrée du rebouilleur, la zone qui reçoit la vapeur d'eau. Cela indique une corrélation étroite entre les conditions de pénétration de la vapeur et la dégradation du matériau dans cette zone particulière.



Figure II.4 : Installation de vanes pour boucher les tuyaux endommagés.

Lorsque des normes de conception d'usine sont imposées, c'est pour maintenir l'intégrité de l'équipement qui a été étudié du point de vue technique, mécanique, chimique, thermique et électrique. Le non-respect de ces normes, par exemple, comme le montrent les températures et pressions élevées et basses dans les tableaux ci-dessus et la courbe **figure II.5** de la vapeur entrant dans le rebouilleur, entraîne des problèmes:

Contrainte thermique ou contrainte mécanique : Les températures élevées, supérieures à 158-160°C, provoquent des tensions et affaiblissent ou ramollissent le métal des tubes du rebouilleur, ce qui provoque des fissures et des perforations. Elles peuvent également modifier l'état physique de la vapeur et de la condensation, entraînant des réactions chimiques et la corrosion du métal, en particulier si le métal est en contact direct avec la vapeur d'eau condensée, même s'il est résistant à la corrosion.

L'augmentation de la pression de la vapeur au-delà de 4,5 bars entraîne une augmentation de la vitesse de la vapeur, ce qui fait que le métal des tubes du rebouilleur se heurte et se perforé directement au fil du temps.

Si la hausse et la baisse de température sont soudaines, elles provoqueront inévitablement un choc thermique sur le métal, ce qui entraînera des fissures et des craquelures.



Figure II.5: Mise en place du faisceau tubulaire à l'intérieur de la calandre.

Nous pouvons traiter temporairement en bouchant les tuyaux endommagés à l'aide de valves placées à l'entrée des tuyaux, mais cela affecte progressivement le rendement du produit final jusqu'à ce que le rebouilleur soit démontée et remplacée par une autre, ce qui prend du temps, demande des efforts et coûte de l'argent, et peut même entraîner l'arrêt complet du train 200.



Figure II.6: Mise en place de rebouilleur sur site.

Conclusion Générale

À la fin de ce travail, nous avons pu mettre en lumière les problèmes liés au phénomène de contamination dans la colonne de distillation debutaniseur. Grâce à une analyse minutieuse des différentes étapes de ce processus industriel, nous avons découvert que cela se produit à travers des trous dans les tuyaux de rebouilleur. Nous avons ainsi pu identifier les causes profondes de ces trous , à savoir :

- ✓ les contraintes thermiques et mécaniques.
- ✓ le contact direct entre la vapeur d'eau humide et le métal.
- ✓ le changement de nature de la vapeur en raison d'un changement soudain causé par un problème au niveau du refroidisseur.

Nous avons adopté une méthodologie scientifique rigoureuse comprenant un examen visuel minutieux, des tests de pression et des analyses des résidus, ce qui nous a permis de proposer des solutions pratiques et réalistes visant à améliorer l'isolation et à réduire le taux de fuite. Cette étude constitue une première étape vers l'amélioration des performances d'unité de fractionnement DC4 et la réduction des pertes dues à la contamination invisible.

Enfin, nous cherchons à réduire ces problèmes afin de préserver les actifs de Sonatrach et d'améliorer la qualité des produits algériens dans le but de rehausser le statut du pays, de rivaliser avec les pays développés, de rejoindre leurs rangs et d'occuper les premières places.

Recommandations

Pour réduire le phénomène de contamination du butane par la vapeur d'eau à travers les trous des tubes des rebouilleurs nous proposons les solutions suivantes:

1. Surveillance périodique et maintenance préventive en:
 - ✓ utilisant des techniques de détection précoce des fissures.
 - ✓ Identification des zones de fuite par thermographie infrarouge.
 - ✓ l'installation de détecteurs de fuite reliés au système **SCADA** pour une surveillance en temps réel.
2. Promouvoir une culture de la sécurité et de la maintenance proactive au sein de l'organisation.
3. Optimiser l'épaisseur des tuyaux et placer une couche durable à l'entrée du retour de le rebouilleur pour protéger les tuyaux.
4. Régler le système de contrôle de la température "désurchauffeur".

Bibliographie

- [1] Boudalia, F., & Khellaf, M, Étude de problème de moussage dans la section de décarbonation au niveau du complexe GNL2. Mémoire de fin d'études, Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem,(2023).
- [2] Benson, H. E. Amine gas treating: Process design and simulation. Hydrocarbon Processing.
- [3] GPSA Engineering Data Book (13th ed.). Tulsa, OK: Gas Processors Suppliers Association, (2011)
- [4] Manuel opératoire du complexe GL2/Z, SONATRACH. (s.d.).
- [5] Office québécois de la langue française, Rebouilleur. Grand dictionnaire terminologique,(1990)