الجـمـهوريـة الجـزائريـة الديمقـراطيـة الشعبيـة	
People's Democratic Republic of Algeria	
وزارة التعليـم العالي و البحث العلـمي	
Ministery of Higher Education and Scientific Research	
جـامعـة عبد الحميـد بن باديـس – مستغانـم	
Abdel Hamid Ibn Badis University – Mostaganem	
كليـة العلـوم و التكنولـوجـيا	
Faculty of Sciences and Technology	
قسم هنـدسـة الطـرائـق	
Department of Process Engineering	

N° d'ordre : M2……/GP/2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Chimique

Thème

L'étude d'état actuel des rebouilleurs X56C aux niveaux de complexe GL2/Z

Présenté par

1-BOUABDELLI NOUR EL HOUDA

2-TOUAOULA BOUCHRA

Soutenu le 15/05/ 2025 devant le jury composé de :

Présidente :	Sefir Yamina	Maitre de Conférences "A"	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Benmekki Fadila	Maître Assistant "A"	Université de Mostaganem
Encadrante :	TERKHI SABRIA	Professeur	Université de Mostaganem

Année universitaire 2024 / 2025

REMERCIMENTS

Nous adressons en premier lieu nos remerciements les plus sincères à Dieu le Tout-Puissant, pour la force, la santé et la patience qu'Il nous a accordées tout au long de la réalisation de ce travail.

*Nous souhaitons ensuite exprimer toute notre gratitude à notre encadrante, Madame **TERKHI.S**, pour la confiance qu'elle nous a témoignée, sa disponibilité constante, sa bienveillance et son accompagnement précieux tout au long de ce projet.*

*Nos remerciements vont également à Monsieur **METTIUI**, dont l'aide et les précieux conseils ont été d'une grande valeur. Nous sommes profondément reconnaissants pour sa contribution significative.*

Un grand merci au personnel de Sonatrach pour leur encadrement et leur soutien durant notre stage, ainsi que pour leur collaboration et leur bienveillance.

Nous tenons à exprimer notre gratitude aux membres du jury, qui nous font l'honneur de juger ce travail.

Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à l'ensemble des enseignants du département de Génie des procédés. Leur engagement sans faille et leur dévouement à transmettre leur savoir et leurs expériences aux étudiants nous ont été inestimables.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mon cher père.

Que dieu bénisse son âme qui surveillait mon confort et mon bonheur.

Ma très chère mère.

La lumière qui me montre le chemin quand je me sens perdue.

Mes adorables sœurs, leurs maris et Mes chers frères.

Mon soutien moral et le secret de mon sourire, qui étaient toujours présents pour moi.

A Mon amie et binôme de travail ***BOUCHRA.***

A mes chères amies

A Tous ceux qui m'ont soutenue de près ou de loin.

« Soyons reconnaissants aux personnes qui nous donnent du bonheur

Elles sont les charmants jardiniers par qui nos âmes sont fleuries».

BOUABDELLI NOUR EL HOUDA

Dédicace

En guise de reconnaissance

Je dédie ce travail :

À mes très ***chers parents****, pour les encouragements, tendresse, amour et soutien*

Durant mes études

Vous trouverez ici le fruit de vos sacrifices et je souhaite que j'ai réalisée l'un de vos rêves

Par ce modeste travail. Puisse dieu vous accorder longue vie pleine de santé et de bonheur.

À mes ***chers frères*** *et mes* ***belles sœurs****, pour leur amour et compréhension.*

À toute la famille ***TOUAOULA*** *ainsi qu'à tous mes* ***amies.***

TOUAOULA BOUCHRA

Liste des figures

Figure I-1: Complexe GL2/Z. ..... - 5 -

Figure I-2: Organigramme général de complexe GL2/Z. ..... - 7 -

Figure I-3: Section de décarbonatation. ..... - 11 -

Figure I-4: Section de déshydratation ..... - 12 -

Figure II-1 : Evolution des T° dans un échangeur à co-courants ..... - 16 -

Figure II-2: Evolution des T° dans un échangeur à contre-courants ..... - 17 -

Figure II-3 : Représentation d'un échangeur croisé ..... - 18 -

Figure II-4 : Schéma du transfert de chaleur par conduction ..... - 19 -

Figure II-5: Éléments constitutifs d'un échangeur tubulaire ..... - 22 -

Figure II-6: échangeur monotube en serpentin. ..... - 22 -

Figure II-7: échangeur coaxial. ..... - 23 -

Figure II-8: le fonctionnement d'un échangeur de chaleur à plaque. ..... - 25 -

Figure II-9: concept d'un échangeur spiralé ..... - 25 -

Figure III-1 Système de Désurchauffe TV406 ..... - 29 -

Figure III-2 Percement des tubes de rebouilleur X56C ..... - 31 -

Figure III-3 les paramètres actuels nécessaires qui alimentent le rebouilleur 156C. ..... - 38 -

Figure III-4 les compositions actuelles de produit de fond. ..... - 38 -

Figure III-5 La feuille TEMA ..... - 39 -

Figure III-6 les paramètres design nécessaires qui alimentent le rebouilleur 156C ..... - 40 -

Figure III-7 Les compositions design de produit de fond. ..... - 40 -

Figure III-8 La feuille TEMA. ..... - 41 -

Figure III-9 Rebouilleur X56C..... - 42 -

Liste des tableaux

Tableau I-1: Caractéristique du butane dans une température ambiante. ..... - 14 -

Tableau III-1 Les caractéristiques de rebouilleurs X56C..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III-2 Les résultats d'analyses de C4 réalisées le 27/10/2021 **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III-3 Les résultats d'analyses de C4 réalisées le 30/10/2021 ..... - 35 -

Tableau III-4 Les résultats d'analyses de C4 réalisées le 30/10/2023 ..... - 35 -

Tableau III-5 Les résultats d'analyses de C4 réalisées le 05/11/2023 ..... - 36 -

Liste des abréviations

UMAB	Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem
FST	Faculté des Sciences et de la Technologie
GL	Gaz liquéfié
GNL	Gaz naturel liquéfié
GP	Gaz pétrole
MCR	Multi composant réfrigérant
MEA	Monoethanolamine
EDR	Exchanger design and rating
TEMA	Tubular Exchanger Manufacturers Association

Résumé

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire est relatif aux calcul de la surface d'échange actuelle de rebouilleur X56C du fond de la colonne de débutaniseur X53E d'un train de séparation de gaz naturel liquéfier du complexe GL2/Z de Sonatrach ,la surface calculé est ensuite comparée avec la surface d'échange du design . Le rebouilleur X56C est de type tube-calandre, passant dont le tube une partie de résidu de la colonne X53E (hydrocarbures), par contre la vapeur d'eau passe dans la calandre. Après les calculs on remarquant que la surface d'échange réel de 84,1m² est inférieure à la surface de design de 88,6 m². Cela signifie qu'il y a un problème d'obturation des tubes de l'échangeur dû à leur perforation. Comme solution on propose de renforcer la plaque séparatrice de rebouilleur, augmenter l'épaisseur de leurs tubes et faire une régulation de système de désurchauffe.

Mots clés : Rebouilleur, surface d'échange, perforation, obturation.

Abstract

The work presented in this thesis relates to the calculation of the actual heat exchange surface of the X56C reboiler at the bottom of the X53E debutanizer column in a liquefied natural gas separation train at the GL2/Z Sonatrach complex. The calculated surface is then compared with the design heat exchange surface. The X56C reboiler is of the shell-and-tube type, where part of the residue from the X53E column (hydrocarbons) passes through the tubes, while steam passes through the shell. After calculations, it is observed that the actual exchange surface of 84.1m² is smaller than the design surface of 88.6m². This indicates an issue of tube blockage due to perforation. As a solution, it is proposed to reinforce the reboiler's separating plate, increase the thickness of its tubes, and regulate the superheating control system.

Keywords: Reboiler, heat exchange surface, perforation, blockage.

ملخص

تمثل الدراسة المقدمة في هذه الأطروحة حساب السطح الفعلي لتبادل الحرارة في جهاز إعادة الغليان

التابع GL2/Z ضمن سلسلة فصل الغاز الطبيعي المسال في مجمع X53E الموجود في أسفل عمود إزالة البوتان X56C هو من X56C لشركة سوناطراك. يتم مقارنة السطح المحسوب مع السطح المصمم لتبادل الحرارة. جهاز إعادة الغليان (الهيدروكربونات) عبر الأنابيب، بينما يمر البخار عبر X53E النوع الغلاية-الأنبوب، حيث يمر جزء من بقايا عمود الغلاف الخارجي. بعد الحسابات، لوحظ أن السطح الفعلي للتبادل الحراري البالغ 84.1 متر مربع أصغر من السطح المصمم

البالغ 88.6 متر مربع. يشير هذا إلى مشكلة انسداد الأنابيب بسبب التآكل. كحل مقترح، يتم تعزيز لوحة الفصل الخاصة بجهاز إعادة الغليان، زيادة سمك الأنابيب، وضبط نظام التحكم في ارتفاع درجة الحرارة.

الكلمات المفتاحية: جهاز إعادة الغليان، سطح تبادل الحرارة، التآكل، الانسداد.

Table des matières

REMERCIMENTS i

Dédicace ii

Dédicace iii

Liste des figures iv

Liste des tableaux vi

Liste des abréviations vii

Résumé viii

Introduction Générale ..... - 1 -

Chapitre I : Présentation du complexe ..... - 3 -

I.1 Introduction ..... - 3 -

I.2 Historique ..... - 3 -

I.3 Situation géographique ..... - 5 -

I.4 Fiche technique ..... - 5 -

I.5 Organigramme générale de complexe GL2/Z ..... - 7 -

I.6 Procédé de fabrication ..... - 8 -

I.6.1 Zone d'utilité ..... - 8 -

I.6.2 Zone de procédé (procès) ..... - 9 -

I.6.3 Zone de stockage ..... - 10 -

I.6 Traitement de gaz ..... - 10 -

I.7.1 Décarbonations ..... - 10 -

I.7.2 Déshydratation ..... - 12 -

I.7.2 Démercurisation ..... - 12 -

I.8 Le butane C_4H_{10} ..... - 12 -

Chapitre II : Les échangeurs de chaleur ..... - 15 -

II.1 Introduction ..... - 15 -

II.2 Généralité ..... - 15 -

II.3 Principaux mode d'écoulement des deux fluides ..... - 16 -

II .3.1 Ecoulement des deux fluides parallèles en même sens (Echangeurs à co-courant).. - 16 -

II .3.1 Ecoulement des deux fluides parallèles mais de sens contraire (Echangeurs à contre-courant) ..... - 16 -

II .3.1 Ecoulement des deux fluides croisés avec ou sans brassage (Echangeur croisés)- 17 -

II.4 Les différences mode de transfert ..... - 18 -

II.4.1 La conduction ..... - 18 -

II.4.2 La convection ..... - 19 -

II.4.3 Le rayonnement ..... - 20 -

II.4 Les différences types d'échangeurs de chaleur ..... - 21 -

II.6.1 Les échangeurs tubulaires ..... - 22 -

II.6.2 Les échangeurs à plaque ..... - 24 -

II.6.3 : Autre types des échangeurs ..... - 25 -

Chapitre III Etude d'état actuel des rebouilleurs X56C (X=1,2, 3,4, 5,6)- 27 -

III.1 Introduction ..... - 27 -

III.2 Description - 27 -

III.2.1 Rebouilleur X56C - 27 -

III.2.1 Les caractéristiques de rebouilleur X56C - 28 -

III. 3 Système de désurchauffe et atomisation - 28 -

III.4 Situation actuel des rebouilleurs X56C - 30 -

III.5 Etat de rebouilleur X56C - 32 -

III.6 Etat du système de désurchauffe - 33 -

III.7 Conséquences sur l'exploitation - 33 -

III.7.1 Contamination de produit C_4 fini - 33 -

III.7.2 Calcul de la surface d'échange design et actuel de rebouilleur 156C - 37 -

III.7.2.1 Outil numérique - 37 -

III.7.2.2 Calcul de la surface d'échange actuel - 37 -

III.7.2.3 Calcul de la surface d'échange de désigne - 39 -

Conclusion générale et recommandations - 44 -

Annexe A - 46 -

Annexe B - 49 -

Bibliographie - 53 -

Introduction Générale

Parallèlement au pétrole, l'énergie gazière occupe une place très importante dans le marché mondial grâce à ces propriétés énergétiques et écologiques. Il présente plusieurs avantages tel que ses faibles émissions de CO2 lors de sa combustion si on le compare aux dérivés du pétrole, de part, sa forte teneur en méthane et ses rendements énergétiques obtenus pour la production d'électricité sont supérieurs à ceux obtenus avec les centrales à charbon ou à pétrole.

Un plus grand recours à l'énergie gazière permettrait notamment de limiter les impacts négatifs sur l'environnement tel que : les pluies acides, la détérioration de la couche d'ozone ou les émissions des gaz à effet de serre.

Vu la richesse de l'Algérie en gaz et en pétrole, l'économie nationale se base essentiellement sur l'industrie des hydrocarbures. Cette industrie nécessite l'implantation de diverses unités de traitement avec l'installation d'équipements coûteux. Dans ces conditions, les progrès techniques permettant de réduire ces coûts devraient jouer dans l'avenir un rôle majeur dans le développement du commerce international des combustibles.

Pionnière dans le GNL, SONATRACH s'est hissée parmi les tous premiers acteurs mondiaux dans la production et la commercialisation du Gaz Naturel Liquéfié et des sous-produits tels que l'Ethane le Propane Butane et la gazoline. [1]

Notre travail vise à étudie les rebouilleurs X56C qui permet de réchauffer le fond de la colonne de débutaniseur à une température spécifique, tout en circulant le gaz dans le côté tube du rebouilleur et la vapeur d'eau dans le côté calandre, cette vapeur entraine des fuites et des percements au niveau des rebouilleurs, Ce qui provoque une mauvaise qualité de distillat C4 commercial.

Après une introduction générale qui expose la problématique, le travail exposé est divisé en trois chapitres suivants :

I. Le premier chapitre de cette mémoire présente le complexe GNL2/Z ainsi que ses objectifs et ses activités.

II. Le deuxième chapitre basé sur les échangeurs de chaleur et leurs différents types, avec les notions des transferts de chaleur associé au travail de l'échangeur.

III. Le troisième chapitre est consacré aux calculs et discussions des résultats obtenues.

Enfin, une conclusion globale résumant les solutions proposées dans cette étude, et les suggestions pour améliorer le processus employé.

Chapitre I :

Présentation du complexe

I.1 Introduction

SONATRACH dispose de vastes installations pour la production, le transport et la séparation de gaz naturel Liquéfié (GNL), ce qui lui permet de valoriser et de commercialiser ces produits tant sur le marché local qu'international. Le sud de l'Algérie, riche en ressources naturelles, abrite de nombreuses réserves en hydrocarbures, offrant ainsi une large gamme de produits liés aux gisements de pétrole et de gaz.

Afin de séparer ces produits, notre pays a investi des fonds importants pour acquérir et mettre en place de grandes unités de traitement, telles que le complexe GNL2/Z, réparti en plusieurs unités spécialisées. Ce chapitre a pour objectif de décrire en détail le complexe GNL2/Z ainsi que le processus de traitement et d'expédition de GNL destinés tant au marché national qu'international.

I.2 Historique

L'Algérie est un pays riche en ressources naturelles tels que le pétrole et le gaz. La part du gaz naturel n'a pas cessé de croître dans le flux de production d'hydrocarbures de SONATRACH, ceci s'est accompagné de la réalisation d'infrastructures importantes pour la mise à disposition du gaz naturel. Les prévisions optimistes de la demande ont incité SONATRACH à ajouter de nouvelles capacités de liquéfaction dont le complexe GL2/Z.

SONATRACH qui occupe une place prépondérante dans l'industrie du gaz aussi bien national qu'internationale continue à mettre en place les investissements nécessaires pour optimiser sa production, et ainsi faire plus de bénéfice et plus de croissance de l'économie de notre pays.

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. [2]

Le complexe GL2/Z a connu une évolution importante :

➢ Le 09 février 1976 : Signature du contrat.

➢ Le 15 avril 1976 : Le lancement des travaux d'engineerings.

➢ Le 15 mars 1977 : Ouverture du chantier.

➢ Le 21 février 1978 : Pose de la première pierre.

➢ Le 1 juillet 1978 : le début du montage mécanique.

➢ Le 20 janvier 1981 : Première production du GNL.

➢ Le 29 janvier 1981 : Première expédition du GNL.

Date de la mise en service de principales zones :

Utilités :

✓ Le 26 novembre 1980 : Achèvement mécanique

✓ Le 27 juillet 1980 : Production vapeur/ électricité

✓ Le 25 janvier 1981 : Production des autres utilités Zone de procédé (train 100)

✓ Le 14 octobre 1980 : Achèvement mécanique

✓ Le 11 février 1981 : 1ere production de GNL Stockage et chargement

✓ Le 20 juillet 1981 : 1ere expédition GNL

✓ Le 11 septembre 1981 : Production cumulée GNL 1 533 000 m3

Zone de procédé (train 100)

✓ Le 14 octobre 1980 : Achèvement mécanique

✓ Le 11 février 1981 : 1ere production de GNL Stockage et chargement

✓ Le 20 juillet 1981 : 1ere expédition GNL

✓ Le 11 septembre 1981 : Production cumulée GNL 1 533 000 m3

Stockage et chargement

✓ Le 20 juillet 1981 : 1ere expédition GNL

✓ Le 11 septembre 1981 : Production cumulée GNL 1 533 000 m3

I.3 Situation géographique

Le complexe GL2/Z est situé au nord-est Bathioua environ 40 km à l'est d'Oran au bord de la méditerranée sur une superficie de 72 ha, son emplacement au bord de la mer lui permet d'utiliser l'eau de mer comme source d'alimentation pour le Refroidissement, la production d'eau distille est la lutte anti- incendie.

Figure I-1: Complexe GL2/Z.

I.4 Fiche technique

Le complexe GL2/Z a pour objet la liquéfaction du gaz naturel avec possibilités d'extraction du propane, du butane, de la gazoline et du gaz de charge. Le complexe GL2/Z est la plus récente usine de liquéfaction du gaz naturel en Algérie. Elle est conçue pour liquéfier 41,25 millions m

3 /jour de gaz naturel en provenance des champs gaziers de HASSI R'MEL .Cette liquéfaction permet de réduire son volume de près de 600 fois à une température de – 162 °C facilitant ainsi son transport par les méthaniers.

GL2/Z a été mis en place par la Société Américaine PULLMAN KELLOG s'étendant sur une superficie de 72 Hectares. La capacité de production du complexe est de 18 Million m 3 /an à l'aide de 6 trains de production identiques d'une capacité de production de 3 Million m 3 /an chacun. Le GNL est stocké dans trois Bacs calorifugés d'une capacité de 100 Mille m 3 chacun. Par un procédé de fractionnement du gaz (Air Product) ; on récupère du propane à 380 Mille t/an, du butane 330 Mille t/an, de la gazoline 200 Mille t/an et de l'hélium. Le propane et le butane sont acheminés par canalisation vers le complexe GL1Z alors que la gazoline est stocké dans un bac de stockage de 14 Mille Tonne pour être exportée, l'hélium est conditionné est fourni à HELIOS pour sa commercialisation. [3]

Le GL2/Z a d'autre caractéristiques telle que :

- Postes de chargement de GNL : Il y a deux postes de réception de méthaniers de 30000 à 125 000 m³
- Prise d'eau de mer : 6 x 30 900 m3 /h ;
- Production d'électricité : 3 x 20 mégawatts (couplée au réseau national) ;
- Production d'eau distillé : 5 x 45 m3 /h ;
- Destination de la production

- GNL et Gazoline ;

-Europe et Etats-Unis ;

- Butane et Propane : vers GL1Z qui se charge de leur commercialisation ;

- Gaz de charge : vers l'usine HELLIOS pour la production de l'hélium ;

En plus de ces installations, d'autres installations auxiliaires existent, à savoir les installations pour la production des utilités dont :

- Des systèmes de dessalement et de circulation de l'eau de mer ;

- Des systèmes de traitement et d'évacuation des eaux usées ;

- Des réseaux d'interconnexion électrique entre les trains. Le gaz naturel (GN) acheminé de Hassi R'mell par gazoduc est traité, purifié, liquéfié, stocké et chargé à bord de navires (méthaniers). Les six (6) trains de liquéfaction reçoivent par voies de canalisation un débit de 270000 m 3 /h de GN chacun. Dans chaque train le gaz qui y arrive est traité pour éliminer le gaz carbonique, la vapeur d'eau (éléments indésirables car ils se solidifient à basse température et bouchent les tubulures). Il subit ensuite une démercurisation pour être ensuite pré refroidis dans les échangeurs de propane à –30.6 °C, après cela le gaz naturel est ensuite fractionné, pour éliminer l'éthane, le propane, le butane, et les C5 + . Après le fractionnement l'hélium est extrait est conditionné au niveau de l'unité d'HELIOS. Enfin le processus de liquéfaction, là le gaz naturel est refroidis jusqu'à sa température de liquéfaction (-162 °C) à pression atmosphérique pour être stocké et expédié. [3]

I.5 Organigramme générale de complexe GL2/Z

L'organigramme ci-dessous illustre les différents départements et cellules présents au sein du complexe, ainsi que leur structure hiérarchique

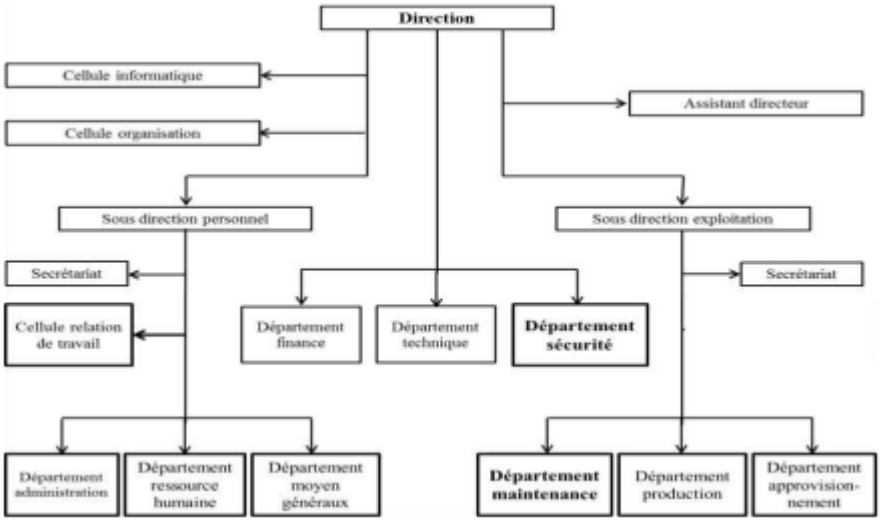


Figure I-2: Organigramme général de complexe GL2/Z.

I.6 Procédé de fabrication

L'usine de liquéfaction du gaz naturel d'Arzew GL/2Z est composée de six trains de liquéfaction identiques, fonctionnant de manière indépendante et en parallèle. Le gaz naturel d'alimentation est distribué à chaque train via un réseau de canalisations. Le débit total de gaz naturel distribué pour les six trains est d'environ 1.500.000 m³/h, ce qui correspond à une moyenne de 250.000 m³/h par train. [4]

Le complexe GL2/Z se divise en trois principales zones :

- La zone des utilités
- La zone de procédé
- La zone de stockage et de chargement

I.6.1 Zone d'utilité

Les utilités constituent des zones importantes au sein du complexe, elles permettent d'assurer la fourniture de tous les besoins pendant le démarrage et la marche normale des trains de liquéfactions

A. Source d'énergie

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

- Trois chaudières hauts pression **62** bar de **40** tonnes /heurs par train.
- Une chaudière basse pression **4,5**bar de **400** tonnes /heurs par train.

B. Source de refroidissement

L'eau de mer est la source de refroidissement transportée par l'ensemble de six pompes à grande puissance **175000 m³/h**

C. Production d'électricité

la production d'électricité est assurée par trois alternateurs entrainés par des turbines à vapeurs, les turbo-alternateurs fournissent l'énergie de **36 MW** par générateurs.

D. Unité de dessalement

Elle permet de produire de l'eau dessalée (eau distillée) pour l'alimentation des chaudières du complexe. Six unités de dessalement chacune d'une capacité de **45m/h** assurant la production de cette énergie.

E. Production d'air comprimés

Une grande partie de l'instrumentation du complexe est pneumatique .La production d'air comprimé est assurée par un ensemble de quatre compresseurs de séchage et de liquéfaction des hydrocarbures.

I.6.2 Zone de procédé (procès)

Cette zone est composée de six trains de liquéfaction indépendante, fonctionne en parallèles avec vingt-deux chaudières dont deux nouvelles dites chaudières **IHI (400t/h).**

Le gaz naturel venant de HASSI R'MELLE est distribué à chacun des trains par un réseau de canalisation permettant d'assurer un débit de **270.000 m³/h** pour chaque train.

- Dans chaque train, le gaz naturel est d'abord traité pour éliminer le gaz carbonique, la vapeur d'eau et le mercure.
- Après ce traitement, le gaz naturel subit en premier un refroidissement dans les échangeurs de propane qui abaisse sa température à **-30°C** pour condenser les hydrocarbures lourds.
- Le gaz passant à travers le faisceau bobiné est refroidi, puis liquéfier à contre-courant par un fluide frigorigène appeler **MCR** (réfrigérant à composant multiple) à la sortie de l'échangeur, sa température est de **-148°C** et sa pression de **24bars** effectifs.
- Le **GNL** obtenu est alors détendu et débarrassé de son azote dans un ballon déazoteur pour acquérir les spécifications définitives pour être acheminé vers le stockage à l'aide des pompes.
- La section de fractionnement qui reçoit les hydrocarbures lourds, extrait l'éthane, le propane, le butane et la gazoline.
- L'éthane est envoyé en en appoint dans la boucle de refroidissement **MCR** et en réinjection dans le **GNL** pour augmenter son pouvoir calorifique supérieur.

- Le propane est envoyé en appoint dans les boucles de **MCR** et propane **(GL1/Z, GL2/Z)** mais la majeur partie est envoyé au complexe **GL1/Z** pour sa commercialisation .Le butane est envoyé principalement au **GL1/Z** pour sa commercialisation.
- La gazoline est acheminée vers les bacs de stockage avant d'être vendue sur le marché international.

I.6.3 Zone de stockage

Le **GNL** est stocké à **-162°C** dans 3 bacs d'une capacité unitaire de **100 000 m3** 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 m3 GNL**. Le stockage de la gazoline produite est assuré par deux (02) bacs de **14.500 m3** chacun.

I.6 Traitement de gaz

I.7.1 Décarbonations

a) Élimination du CO2

En premier lieu, il faut noter qu'il est impératif que le gaz naturel brut traverse le ballon séparateur, car les hydrocarbures liquides en suspension sont récupérés puis transportés et évacués vers le système de rejet liquide. Ceux-ci évitent que la MEA ne se contamine pour ensuite causer une formation excessive de la mousse. Ensuite, l'usine est réalisée à l'aide d'un préchauffeur qui laisse passer à une température de 38°C, puis le gaz naturel brut entre par la base. Ensuite, ils sont introduits dans la colonne d'absorption de CO2 dans le même sens contre-courant en une solution pauvre de MEA afin de réduire la teneur en CO2 dans le gaz à moins de 70 ppm au sommet de la colonne. Après cela, le gaz naturel obtenu est dirigé dans la section de déshydratation. D'un autre côté, la solution de MEA introduite à un niveau de cinquième plateau d'absorbeur s'obtient un enrichissement en CO2 de ~30 %. Elle quitte la base de cette dernière sous forme de solution riche en MEA, qui est ensuite dirigée vers une colonne de régénération pour être purifiée et régénérée. [5]

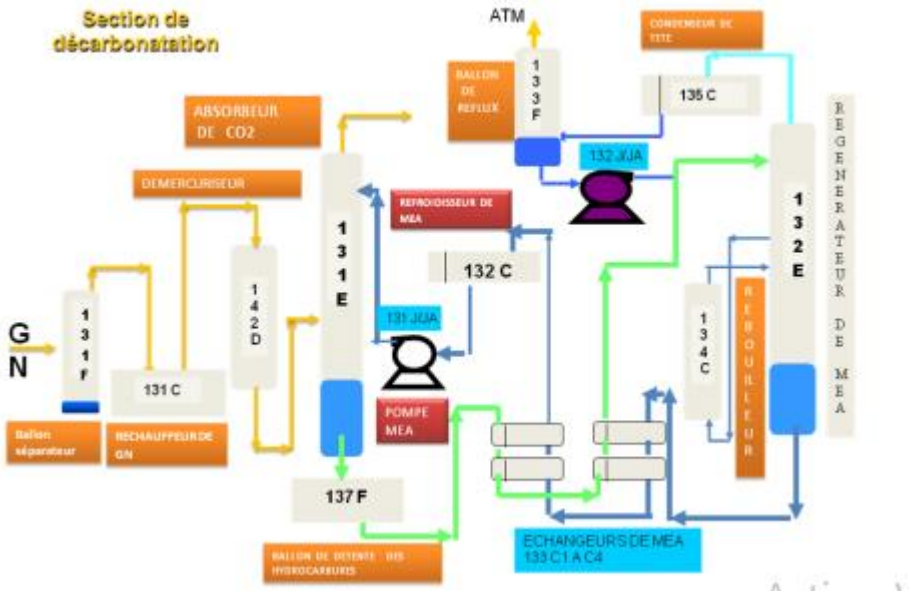


Figure I-3: Section de décarbonatation.

b) Régénération de la solution MEA

La solution de MEA riche passe d'abord par un ballon séparateur d'hydrocarbures, où elle est initialement chauffée à 102°C grâce à un échange thermique avec la solution de MEA pauvre régénérée. Cette solution est ensuite introduite au sommet de la tour de régénération, laquelle fonctionne généralement à une température de 110°C et une pression de 1 bar effectif.

La solution riche en CO2 descend progressivement dans la colonne, où elle est purifiée par les gaz ascendants issus de l'évaporation du produit de fond. En bas de la colonne, la solution de MEA s'appauvrit en CO2 avant d'être réacheminée vers l'absorbeur, après avoir préalablement réchauffé la solution de MEA riche et être refroidie à 38°C.

En parallèle, les vapeurs en tête de colonne sont condensées et récupérées au fond du ballon de reflux. Ces condensats sont ensuite réinjectés au sommet de la tour de régénération. Les gaz incondensables, principalement constitués de CO2, sont évacués dans l'atmosphère. [5]

I.7.2 Déshydratation

Une fois que le gaz sort de l'absorbeur, il est effectivement chargé en eau. Les sécheurs à tamis moléculaire jouent alors un rôle clé en éliminant l'humidité résiduelle et en réduisant la teneur en eau à moins de 0,5 ppm. Ce contrôle strict de l'humidité est crucial pour garantir la qualité du gaz et éviter tout problème en aval, par exemple dans le transport ou l'utilisation du gaz.

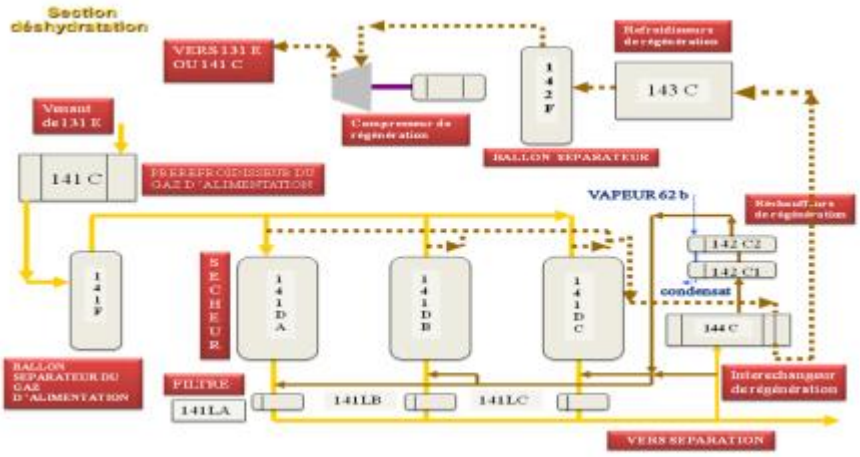


Figure I-4: Section de déshydratation

I.7.2 Démercurisation

Le gaz doit être débarrassé du mercure (Hg) car cet élément attaque les équipements en aluminium. Le démercuriseur est muni d'un produit absorbant à base de carbone et de soufre.

I.8 Le butane C_4H_{10}

Le gaz butane, couramment désigné sous le terme « gaz » par les ménages, appartient à la famille des hydrocarbures et plus précisément à celle des alcanes. Il est principalement constitué de butane (C_4H_{10}) et de propane. Les hydrocarbures sont des composés organiques formés exclusivement de carbone et d'hydrogène.

À température ambiante et sous pression atmosphérique normale, le butane se présente sous forme gazeuse. Cependant, il se liquéfie sous une pression modérée, ce qui facilite son stockage et son transport. Il est ainsi conditionné sous forme liquide dans des bouteilles ou transporté en vrac via des citernes. Parmi ses propriétés physiques fondamentales figurent son point d'ébullition et sa masse volumique. Sous pression atmosphérique standard, le butane entre en

ébullition à 0°C, ce qui signifie qu'il demeure à l'état liquide pour toute température inférieure et prend une forme gazeuse au-delà de ce seuil. Sa masse volumique est de 585 kg/m³ à l'état liquide et de 2,50 kg/m³ à l'état gazeux sous une température de 15°C. En outre, un litre de butane liquide génère un volume de 239 litres de gaz sous des conditions de température et de pression normalisées (15°C, 1 bar).

Ces caractéristiques confèrent au butane un avantage considérable en termes de stockage et de transport. Toutefois, il convient de distinguer le butane pur de celui utilisé à des fins domestiques, notamment pour la cuisson. Le gaz butane commercialisé n'est pas un composé chimiquement pur mais un mélange d'hydrocarbures formulé selon des spécifications officielles strictes.

I.8.1 Domaine d'utilisation

Le gaz butane généralement utilisé comme combustibles à des fins de cuisson par les ménages. Le gaz butane est essentiellement utilisé pour faire fonctionner des appareils domestiques, en grande partie pour la cuisson. Il va ainsi pouvoir alimenter des fours, des plaques de cuisson et autres gazinières. Il peut également être utilisé avec des appareils extérieurs comme un parasol chauffant, un barbecue à gaz, un désherber thermique, ou encore une plancha, à condition qu'ils ne soient pas trop gourmands en énergie.

I.8.1 Caractéristiques du butane

Pour en savoir plus sur le butane, nous mentionnons certaines de ses propriétés dans le tableau1**.**

Tableau I-1: Caractéristique du butane dans une température ambiante.

Formule brut	**C_4H_{10}**
Point d'ébullition (°C)	320
Masse volumique du liquide (kg/m^3) à 15°C	585
Masse volumique du gaz (kg/m^3) à 15°C	2.50
Point de congélation	-1.38
Densité (kg/m3) à 15°C	2.48
Masse molaire (g.mol-1)	58.124

Chapitre II :

Les échangeurs de chaleur

II.1 Introduction

Les procédés utilisés dans l'industrie du traitement de gaz demandent souvent que les fluides traités soient réchauffés ou refroidis, avec ou sans changement de phase. Parmi les équipements utilisés pour ces procédés existent les «ECHANGEURS DE CHALEUR» [4]. Les échangeurs de chaleur facilitent l'échange de chaleur entre deux fluides avec des températures différentes, tout empêchant leur mélange. Les échangeurs de chaleur ont un champ d'utilisation très vaste ; ils sont appliqués dans plusieurs secteurs d'activités industrielles tels que la production d'énergie dans les grandes usines, les industries chimiques, la climatisation.

II.2 Généralité

Un échangeur de chaleur est un dispositif permettant de transférer L'énergie thermique d'un fluide à un autre sans qu'ils ne se mélangent. Le flux thermique traverse une surface d'échange qui sépare les deux fluides. Cette technologie est couramment utilisée pour chauffer ou refroidir un liquide ou un gaz lorsqu'un refroidissement ou un chauffage direct est impossible ou complexe, comme dans le cas de l'eau du circuit primaire de refroidissement d'une centrale nucléaire.

Dans la plupart des échangeurs thermiques industriels, les fluides circulent dans des espaces distincts, séparés par une paroi à faible inertie thermique. Le transfert de chaleur s'effectue alors par conduction à travers cette paroi : un fluide cède sa chaleur par convection à la surface de contact, celle-ci la transmet ensuite par conduction, puis la restitue au second fluide par convection sur l'autre face.

Les échangeurs de chaleur sont généralement classés en fonction de la configuration d'écoulement des fluides et de leur mode de construction. [6]

II.3 Principaux mode d'écoulement des deux fluides

On peut distinguer 3 modes d'écoulement différents

II .3.1 Ecoulement des deux fluides parallèles en même sens (Echangeurs à co-courant)

Dans ce type d'échangeur, les deux fluides s'écoulent parallèlement dans la même direction. La figure ci-dessous illustre l'évolution de leurs températures le long d'un échangeur tubulaire à co-courants. La longueur de l'échangeur est représentée en abscisse [4-5].

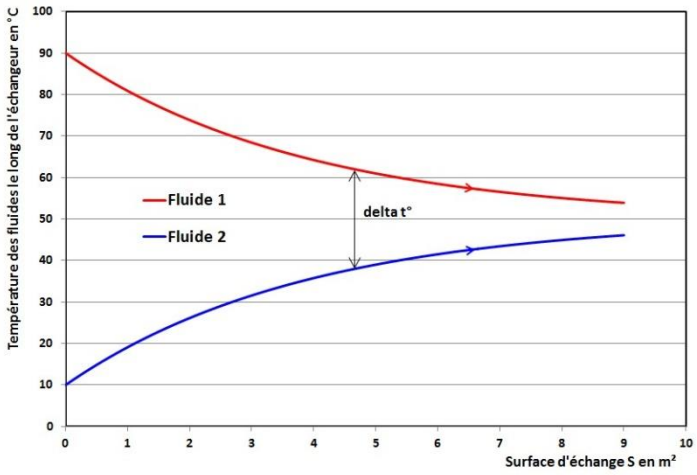


Figure II-1 : Evolution des T° dans un échangeur à co-courants

II .3.1 Ecoulement des deux fluides parallèles mais de sens contraire (Echangeurs à contre-courant)

Dans ce type d'échangeur à contre-courants, la température de sortie du fluide froid peut dépasser celle du fluide chaud. Cette configuration est particulièrement avantageuse pour optimiser le transfert thermique. Comme précédemment, la longueur de l'échangeur est

représentée en abscisse (figure ci-dessous), et les températures sont indiquées à l'aide des mêmes indices que précédemment [4-5].

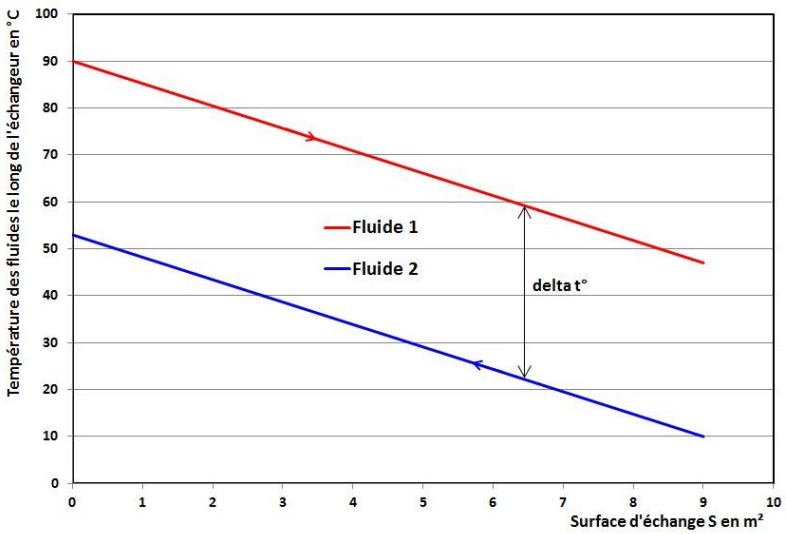


Figure II-2: Evolution des T° dans un échangeur à contre-courants

II .3.1 Ecoulement des deux fluides croisés avec ou sans brassage (Echangeur croisés)

Dans ce type d'échangeur, les deux fluides s'écoulent perpendiculairement l'un à l'autre (Figure ci-dessous). Le fluide non brassé circule dans des conduites, où son écoulement est divisé en plusieurs canaux parallèles de faible section. L'autre fluide, quant à lui, s'écoule librement entre ces canaux et est partiellement brassé en raison des tourbillons générés par les tubes. Ce brassage contribue à homogénéiser la température dans les sections droites du fluide en mouvement. Sans ce phénomène, la température varierait non seulement le long de l'écoulement, mais aussi à l'intérieur même de la section fluide.

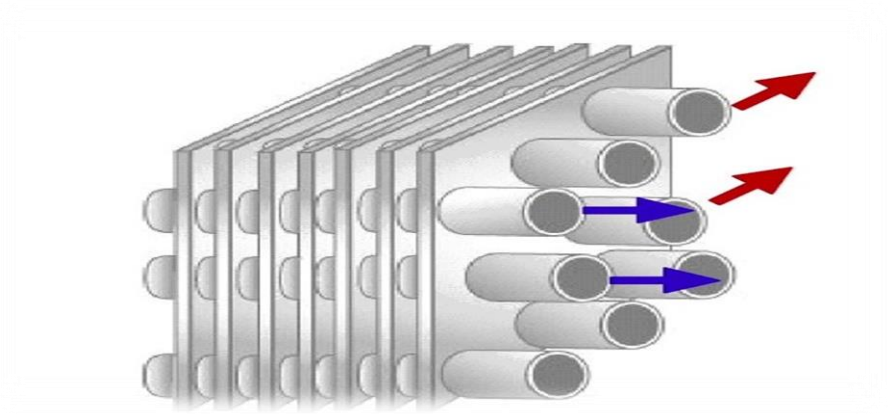


Figure II-3 : Représentation d'un échangeur croisé

II.4 Les différences mode de transfert

Lorsque deux systèmes présentent des températures différentes, le plus chaud transfère de la chaleur vers le plus froid. Ce phénomène, appelé échange ou transfert thermique, permet d'équilibrer les températures entre les deux systèmes.

On distingue trois principaux modes de transfert de chaleur : la conduction, le rayonnement et la convection

II.4.1 La conduction

La conduction thermique correspond à la propagation de la chaleur au sein d'un matériau ou entre plusieurs corps en contact, sans déplacement de matière. Ce mode de transfert est principalement observé dans les solides, où l'énergie se transmet de molécule à molécule.

Bien que la conduction se produise également dans les liquides et les gaz, son impact y est généralement limité par rapport à la convection, sauf dans le cas des liquides très visqueux ou des gaz piégés dans des matériaux poreux.

Il est important de ne pas confondre la conduction thermique avec le chauffage par conduction électrique, qui repose sur le passage d'un courant électrique directement dans la pièce à chauffer. [6]

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température :

$$\varphi = -\boldsymbol{\lambda S grad(T)}$$

Ou sous forme algébrique :

$$\boldsymbol{\varphi = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial X}}$$

Avec :

φ : Flux de chaleur transmis par conduction [W]

λ : Conductivité thermique du milieu [W m^{-1} $°C^{-1}$]

x : Variable d'espace dans la direction du flux [m]

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur [m^2]

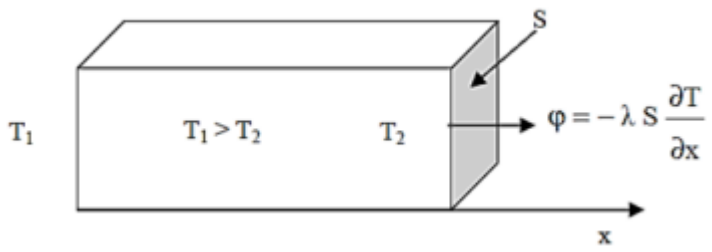


Figure II-4 : Schéma du transfert de chaleur par conduction .

II.4.2 La convection

La convection désigne le transfert de chaleur au sein d'un fluide, qu'il soit liquide ou gazeux, grâce au mouvement de ses molécules. Prenons l'exemple d'un solide immergé dans un fluide en mouvement. Si leurs températures diffèrent, un échange thermique s'opère entre le solide et les particules fluides en contact avec lui, principalement par conduction. Une fois réchauffée ou refroidie, chaque particule fluide se déplace et est remplacée par une autre, poursuivant ainsi le transfert de chaleur. En se déplaçant, cette particule interagit avec d'autres particules fluides, échangeant également de la chaleur par conduction, contribuant ainsi à la propagation thermique dans l'ensemble du fluide.

Le transfert de chaleur repose fondamentalement sur la conduction thermique. Cependant, la convection thermique, qui est un phénomène plus global, résulte de l'association entre cette conduction et les mouvements du fluide. [6]

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton :$\varphi = hS(Tp - T\infty)$

Avec

φ : Flux de chaleur transmis par convection [W]

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection (W m^{2-} $°C^{1-}$ [

TP : Température de surface du solide [°C]

T∞ : Température du fluide loin de la surface du solide [°C]

S : Aire de la surface de contact solide/fluide [m^2]

On distingue généralement deux types de convection :

- **La convection naturelle**

Le mouvement résulte de la variation de la masse volumique du fluide en fonction de la température. Cette variation engendre un champ de forces gravitationnelles qui influence le déplacement des particules du fluide.

- **La convection forcée**

Le mouvement est induit par un mécanisme mécanique indépendant des effets thermiques, où un gradient de pression extérieur entraîne le déplacement des particules du fluide. Ainsi, l'analyse de la transmission de chaleur par convection est étroitement associée à l'étude de l'écoulement des fluides.

II.4.3 Le rayonnement

Dans le transfert de chaleur par rayonnement, l'échange thermique s'effectue via des vibrations électromagnétiques qui se propagent en ligne droite, sans nécessiter de support matériel. Le rayonnement thermique englobe les ondes électromagnétiques dont la longueur d'onde s'étend du spectre ultraviolet au spectre infrarouge (de 0,01 à 100 µm), en passant par le spectre visible (0,38 à 0,76 µm).

Le rayonnement peut être décomposé en radiations monochromatiques, chacune correspondant à une longueur d'onde spécifique. Dans les applications industrielles, il est principalement composé d'infrarouge.

Lorsqu'un flux d'énergie rayonnée atteint un corps, une partie de l'énergie est absorbée, une autre est réfléchie, et le reste peut traverser le corps.

- Si toute l'énergie incidente est absorbée, le corps est qualifié de **corps noir** ou **radiateur intégral**.
- Si seule une fraction constante de l'énergie est absorbée, indépendamment de la longueur d'onde incidente, le corps est dit **gris** (sinon, il est **coloré**).
- Si l'absorption de l'énergie ne varie pas en fonction de l'angle d'incidence du rayonnement, le corps est considéré comme **mat** (dans le cas contraire, il est **poli**).
- Si aucune énergie ne traverse le corps, celui-ci est **opaque** (à l'inverse, il est **transparent**).

Nous avons la relation : $\varphi = \sigma \varepsilon p S(Tp\,4 - T\infty 4)$

Avec :

φ: Flux de chaleur transmis par rayonnement [W]

σ: Constante de Stefan Boltzmann [$5{,}67.10^{8}$ - W m^{2}- K^{4}- [

εp : Facteur d'émission de la surface

Tp : Température de la surface [K]

T∞ : Température du milieu environnant la surface [K]

S : Aire de la surface [m^2]

II.4 Les différences types d'échangeurs de chaleur

Les principaux types d'échangeurs de chaleur couramment utilisés sont :

- Les échangeurs tubulaires
- Les échangeurs à plaques

Étant donné la diversité des applications des échangeurs de chaleur et leurs évolutions constantes, il ne s'agit pas ici de présenter une liste exhaustive de toutes les configurations existantes.

II.6.1 Les échangeurs tubulaires

Les échangeurs tubulaires représentent encore près de la moitié des échangeurs thermiques vendus en France et en Europe. Ils présentent un certain nombre d'avantages : en particulier ils sont faciles à fabriquer, relativement bon marché, de maintenance aisée et surtout ils peuvent être utilisés à des pressions élevées et à de fortes températures. Leur robustesse et leur fiabilité contrebalancent leur encombrement.

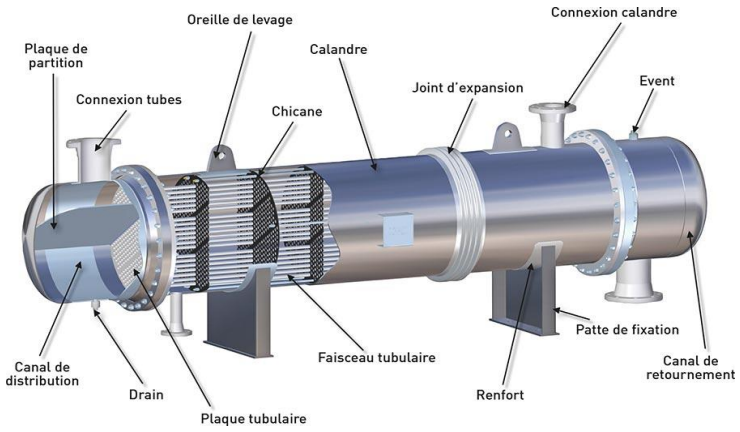


Figure II-5: Éléments constitutifs d'un échangeur tubulaire

On distingue généralement trois catégories d'échangeurs de chaleur

- **Dont les échangeurs monotubes :** Dans ce type d'échangeur, un tube est placé à l'intérieur d'un réservoir et adopte le plus souvent une forme de serpentin.

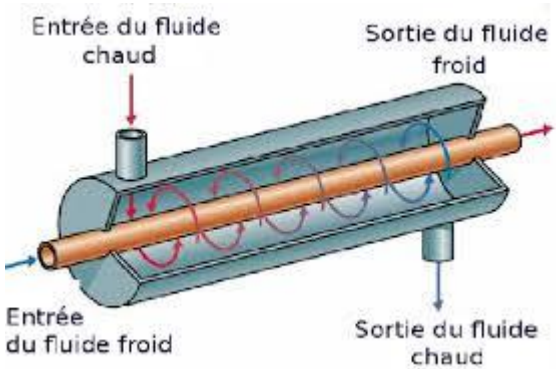


Figure II-6: échangeur monotube en serpentin.

- **Les échangeurs Coaxiaux :** où les tubes sont généralement cintrés, permettent l'écoulement du fluide chaud ou du fluide à haute pression à l'intérieur du tube central.

Figure II-7: échangeur coaxial.

Les échangeurs multitubulaires qui existent sous 4 formes :

i) les échangeurs à tubes séparés : À l'intérieur d'un tube de grand diamètre, plusieurs tubes de plus petit diamètre sont disposés et maintenus écartés à l'aide d'entretoises.

ii) les échangeurs à tubes rapprochés : Les tubes sont en appui les uns sur les autres grâce à des rubans enroulés en spirale autour de certains d'entre eux.

iii) les échangeurs à tubes ailettes qui permettent d'améliorer le coefficient d'échange : Lorsque l'un des fluides circulant dans l'échangeur possède une capacité calorifique inférieure à l'autre, l'ajout d'ailettes autour ou à l'intérieur des tubes devient nécessaire afin d'éviter que la résistance thermique globale ne soit principalement influencée par le fluide ayant le plus faible coefficient d'échange thermique.

Les ailettes peuvent être disposées de différentes manières :

- **Ailettes transversales** : divisées en deux catégories :
    - **Ailettes continues** : traversées par plusieurs tubes, elles sont généralement rectangulaires, planes ou ondulées.

    - **Ailettes indépendantes** : traversées par un seul tube, elles peuvent être annulaires ou hélicoïdales, pleines ou segmentées. Certaines sont réalisées sous forme de fil préformé, poinçonnées ou en brosse.
- **Ailettes longitudinales** : alignées selon l'axe des tubes, elles peuvent être localement torsadées.

II.6.2 Les échangeurs à plaque

Les échangeurs à plaques, plus récents que les échangeurs tubulaires, ont connu d'importantes améliorations depuis leur apparition il y a environ 60 ans. Ils se composent de plaques métalliques embouties empilées, à travers lesquelles s'effectue le transfert thermique entre deux fluides. Bien qu'ils ne soient pas toujours adaptés aux températures élevées et aux fortes pressions, ils se distinguent par leur compacité et leur efficacité énergétique. Différentes technologies existent dans ce domaine. La plus ancienne et la plus répandue est celle des échangeurs à plaques avec joints, où un joint par plaque assure l'étanchéité et la répartition des fluides dans les canaux formés entre les plaques. Toutefois, ces échangeurs sont limités à une pression maximale de 30 bars et une température de 200°C.

Pour pallier les limites liées aux joints, des technologies plus récentes ont émergé, notamment les échangeurs à plaques soudées. Ces derniers conviennent aux fluides corrosifs, encrassant, chauds et sous pression, ainsi qu'aux situations où les débits diffèrent de part et d'autre de la surface d'échange.

D'autres types d'échangeurs à plaques existent, bien que moins répandus. Parmi eux, les échangeurs à plaques brasées, dépourvus de joints, offrent une structure compacte et une résistance aux hautes pressions. Les échangeurs à spirales, quant à eux, sont constitués de rubans de tôle gaufrée enroulés parallèlement, où la circulation des fluides s'effectue en monocanal à courants parallèles ou croisés. Enfin, les échangeurs à plaques serties se composent de tôles planes parallèles entre lesquelles sont insérées des ailettes.

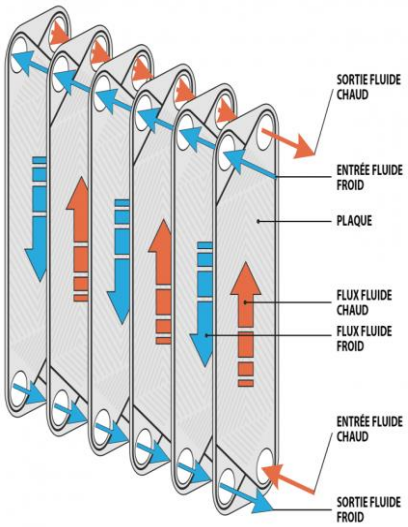


Figure II-8: le fonctionnement d'un échangeur de chaleur à plaque.

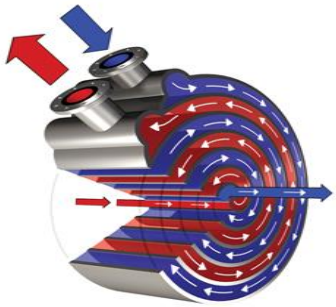


Figure II-9: concept d'un échangeur spiralé

II.6.3 : Autre types des échangeurs

Certains échangeurs thermiques se distinguent par le changement de phase de l'un des fluides. C'est notamment le cas des évaporateurs, où le fluide froid passe de l'état liquide à l'état gazeux, et des condenseurs, qu'ils soient tubulaires ou à plaques, où le fluide chaud se liquéfie. Ces dispositifs sont largement utilisés pour concentrer une solution, refroidir un fluide ou optimiser les transferts thermiques.

Face à cette diversité, les utilisateurs ont le choix entre plusieurs types d'échangeurs thermiques, les principaux étant les échangeurs tubulaires et les échangeurs à plaques. Les avancées technologiques dans ce domaine portent sur l'utilisation de nouveaux matériaux et l'optimisation de la circulation des fluides. Si l'acier inoxydable et le titane restent privilégiés, d'autres matériaux comme le graphite, la céramique, le verre ou les plastiques sont également

employés pour limiter la corrosion. L'objectif est d'améliorer la résistance et la fiabilité des échangeurs, notamment dans des environnements thermiques exigeants.

Une autre approche technologique vise à réduire leur encombrement en développant des modèles plus compacts, voire des micro-échangeurs.

Par ailleurs, bien que moins courants, d'autres types d'échangeurs existent, notamment :

- les échangeurs à lit fluidisé,
- les échangeurs à contact direct,
- les échangeurs à fluide complexe.

Utilisés depuis plus d'un siècle dans l'industrie agroalimentaire, les échangeurs thermiques trouvent aujourd'hui de nombreuses applications, non seulement dans l'industrie, mais aussi dans l'habitat et les transports. Leur diversité repose sur plusieurs critères, tels que leur fonction, leurs conditions d'utilisation, la technologie employée, les matériaux utilisés et leur coût.

Chapitre III

Etude d'état actuel des rebouilleurs X56C

(X=1,2, 3,4, 5,6)

III.1 Introduction

La section de séparation présente la 2^{éme} étape dans le processus de fabrication de GNL,

Le rebouilleur X56C se place au fond de la colonne X53E, alimenté par une partie du résidu

par la circulation de butane coté tube et la vapeur d'eau coté calandre .Le chauffage de rebouilleur permette de vaporisé les trace de propane et de purifier le butane en plus.

Ce chapitre présente des généralités et des caractéristiques des fluides utilisées dans le rebouilleur X56C et les calculs de détermination de la surface d'échange actuelle et de design par l'utilisation de logiciel EDR.

III.2 Description

III.2.1 Rebouilleur X56C

Le rebouilleur **X56C** de la colonne du débutaniseur **X53E**, c'est un échangeur tubulaire vertical utilisant la vapeur à **4.5 bars** comme agent de réchauffage.

Ci-dessous les principaux caractéristiques et paramètres de fonctionnement de ce type de rebouilleur.

La surface d'échange y est constante, le niveau de condensât étant assuré dans un pot de condensât liée au rebouilleur et au collecteur de condensât du train. Il est alimenté par le fond de la colonne **X53E** où se trouve la plaque séparatrice**.** [7]

- **Coté calandre**

Fluide de circulation : Vapeur d'eau

- **T° d'entrée :** 161°C
- **T° de sortie :** 148°C

➢ **Coté tubes**

- **Fluide de circulation :** mélange d'hydrocarbures
- **T° d'entrée :** 111°C
- **T° de sortie :** 113°C

III.2.1 Les caractéristiques de rebouilleur X56C

Les caractéristiques du rebouilleur X56C sont données dans le tableau suivant

Tableau III-1 : Les caractéristiques de rebouilleurs X56C**.**

Caractéristiques	Valeurs
Diamètre extérieur des tubes	19.05 mm
Epaisseur des parois des tubes	2.1 mm
Pas de tube	24
Nombre de passes	1
Nombre de tubes	630
La longueur des tubes	2440 mm
Diamètre intérieure de la calandre	685 mm

Système de désurchauffe et atomisation

Les rebouilleurs de fractionnement fonctionnent en chaleur latente de condensation.

Le niveau de condensât dans le rebouilleur est réglé à **50%** (vapeur saturée). C'est la phase de transfert de calories la plus intéressante (pour une masse de **1 kg** d'eau, la chaleur latente de condensation fournie est de **540 kcal** alors que la chaleur sensible cédée par le refroidissement de la vapeur ne fournit que quelques kcal). Dans ce cas, il ne sera pas nécessaire d'admettre la vapeur **4.5 b** à sa température de service **(230°C)**. **La vapeur est désurchauffée jusqu'à 165°C.**

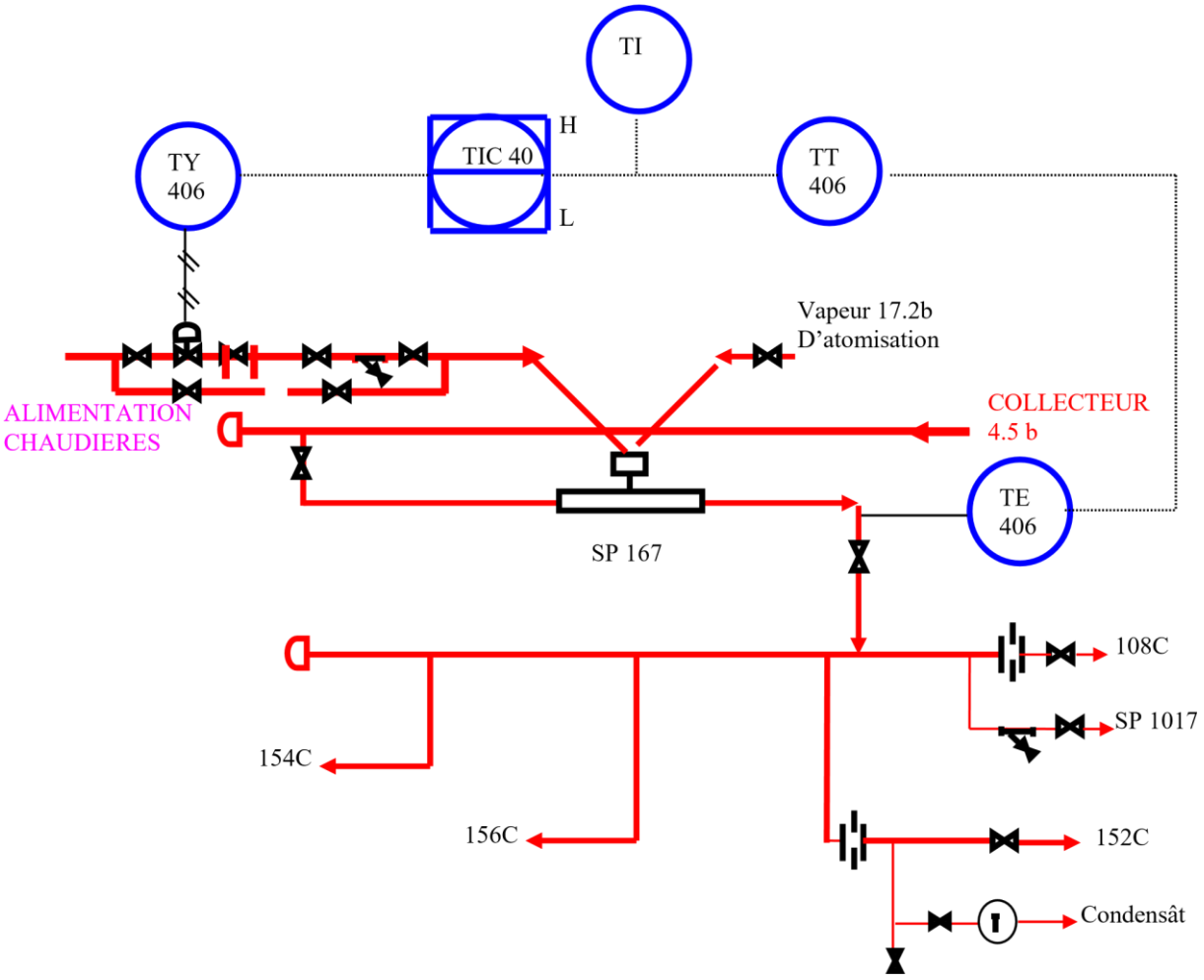


Figure III-1 Système de Désurchauffe TV406

III.3 Situation actuel des rebouilleurs X56C

Signalons que les rebouilleurs **X56C** présentent des problèmes fréquents de percement de leurs tubes. L'origine de ce problème, est la défaillance du système de désurchauffe ; où l'action ne se fait pas convenablement, la vapeur sorte avec une température élevée (dépasse celle du fonctionnement des rebouilleurs) et aussi saturée par des gouttelettes d'eau à cause de l'indisponibilité de l'atomisation d'eau condensat haute pression au niveau des **TV** de désurchauffe **« TV406 »**, ainsi que le disfonctionnement du désurchauffeur **« SP167 ».** Vu que ce système de désurchauffe est défaillant, il y a un passage important d'eau au circuit de vapeur **4,5**bars qui est acheminée directement vers la calandre du rebouilleur avec une vitesse élevée et tenant compte de la pression de la vapeur, d'où l'inévitable effet est sur la plaque déflectrice qui est percée avec le temps, laissant le passage direct vers le faisceau de tubes entraînant des piqûres par érosion menant à la perforation des tubes. [7]

Ci-dessous la photo et le dessin descriptif (**Figure 16**).

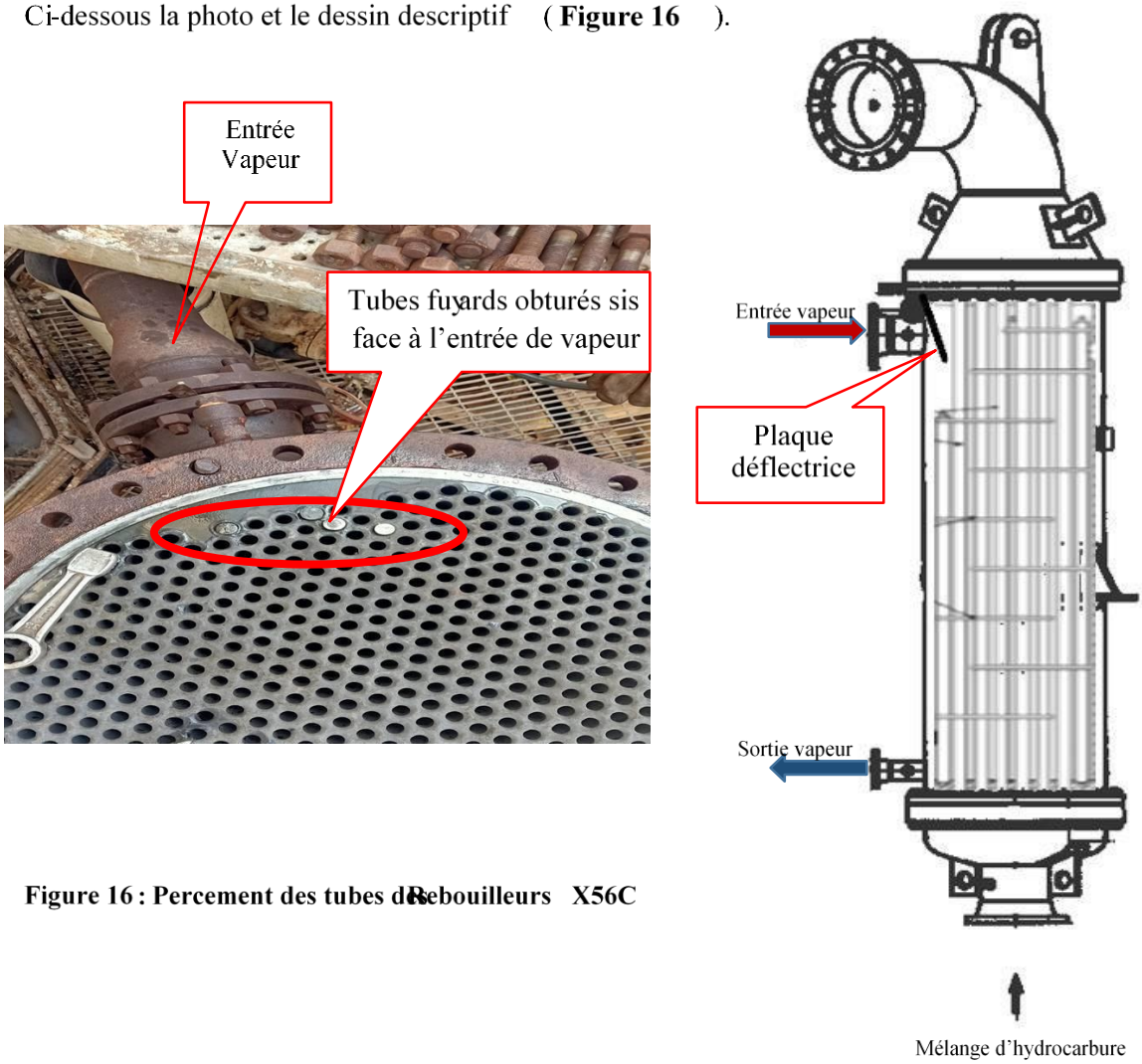


Figure 16 : Percement des tubes de Rebouilleurs X56C

Figure III-2 Percement des tubes de rebouilleur X56C

III.4 Etat de rebouilleur X56C

Ci-dessous la situation des rebouilleurs installés au niveau des trains avec leurs numéros de séries et le nombre des tubes obturés.

156C : Rebouilleur des hydrocarbures du débutaniseur **(**Constructeur : **MUIRHEAD**

ENGINEERING LIMITED ; N° de série : 4213 -A ; Date de fabrication : **1978**)

Le dernier test de fuite à l'eau effectué le **30/10/2023** après l'obturation d'un (01)

tube fuyard. Au total le rebouilleur présent **32 tubes obturés.**

256C : Rebouilleur des hydrocarbures du débutaniseur (Constructeur : **ASTRA**

REFREGERANTI SPA- PIETRAMARAZZI ITALIE ; N° de série : 44424 -A ; Date

de fabrication : **2008**).

Le dernier test de fuite à l'eau effectué le **23/10/2023** après l'obturation d'un (01)

tube fuyard. Au total le rebouilleur présent **05 tubes obturés.**

356C : Rebouilleur des hydrocarbures du débutaniseur (Constructeur : **MUIRHEAD**

ENGINEERING LIMITED ; N° de série : 4213 -C ; Date de fabrication : **1979**).

Le nombre des tubes obturés est **79 / 630 tubes (soit 12.5%)**

456C : Rebouilleur des hydrocarbures du débutaniseur (Constructeur : **MUIRHEAD**

ENGINEERING LIMITED ; N° de série : 4213 -D ; Date de fabrication : **1979**).

Dernier test de fuite effectué était le **27/10/2023**, après l'obturation 02 tubes fuyards.

Au total le rebouilleur présent **34 tubes obturés.**

556C : Rebouilleur des hydrocarbures du débutaniseur (Constructeur : **MUIRHEAD**

ENGINEERING LIMITED ; N° de série : 44424 -B ; Date de fabrication : **2010**).

656C : Rebouilleur des hydrocarbures du débutaniseur **156C** (Constructeur : **MUIRHEAD**

ENGINEERING LIMITED ; N° de série : 4213 -F ; Date de fabrication : **1979**).

III.6 Etat du système de désurchauffe

Le fonctionnement des vannes du système de désurchauffe peut être contrôlé par la vérification et réglage de leurs instruments ; les SP176 sont inspectés maintes fois et nécessitent un changement vu leur vétusté, le trend Procès de la température contrôlée par la TV 406 indique des valeurs de température supérieur à **165°C**, atteignant des valeurs dépassant les **175°C** pour le train 400. [7]

III.7 Conséquences sur l'exploitation

Le percement des tubes des rebouilleurs **X56C** des colonnes débutaniseurs **X53E** suite au disfonctionnement du système de désurchauffe génère la pénétration d'humidité provenant de la vapeur **4,5 bars** vers le fluide d'hydrocarbure traité au niveau de la colonne de **D-C4** provoque la contamination par l'humidité du produit C4 commercial destiné vers le complexe **GP1Z** et conduit ainsi à la diminution de la surface d'échange de rebouilleur**.**

III.7.1 Contamination de produit C_4 fini

Le Complexe **GP1Z** a réclamé la **non-conformité** du produit **C4** réceptionné depuis le complexe **GL2Z** (Présence d'humidité dépassant le seuil toléré de **20 ppm**) le **28/10/2023**.

Actions entreprises :

Suite à cette réclamation, une compagne d'analyses qualitatives du **C4** produit a été effectuée au niveau des têtes colonnes **D-C4** qui étaient en service. (Voir les résultats d'analyses de dans le tableau 3 Ci-dessous).

Tableau III-2 : Les résultats d'analyses de C4 réalisées le 27/10/2021

Trains	T100	T200	T300	T400
Humidité dans le C4 (en ppm)	**500**	8	9	**315**

L'analyse de ces résultats a montré que la source de ce type de contamination ne peut être produite qu'au niveau des rebouilleurs de DC4, au niveau de 156C pour le T100, et au niveau de 456C pour le T400.

Les actions correctives sont les suivantes :

Pour le rebouilleur de D-C4 du train 400 :

- Un test de fuite à l'eau a été réalisé le **27/10/2023** sur rebouilleur **456C** à une pression de **07 bars**. Le test est jugé concluant après l'obturation **02 tubes trouvés fuyards**.
- Un autre test procès a été effectué par l'exploitant (Isolation de la vapeur 4,5 bars et

L'ouverture de l'évent vapeur 4.5bars), aucune trace des hydrocarbures ne se présente ni dans le condensat ni au niveau de la sortie vapeur **4.5 bars** échappée par l'évent.

Pour le rebouilleur de D-C4 du train 100 :

- Le test de fuite à l'eau effectué le **30/10/2023** au niveau du rebouilleur **156C** du **train 100** par pressurisation à l'air instrument à une pression de 07 bars, est jugé concluant après l'obturation **d'un (01) tube trouvé fuyard.**

Après la localisation et l'obturation des tubes foyards des rebouilleurs **156C** et **456C**, les résultats d'analyse de l'humidité du C4 produit au niveau des **Train 100** et **400** montrent que le produit **C4** est toujours contaminé par l'humidité (voir dans le tableau 4 ci-dessous, les analyses laboratoire réalisées le **30/10/2023**).

Tableau III-3 Les résultats d'analyses de C4 réalisées le 30/10/2021

Trains	**Taux d'humidité en ppm**	**Repère d'échantillons**
100	180	Tête de colonne 153E
200	9	Tête de colonne 253E
400	220	Tête de colonne 453E

Après ces résultats qui indiquent la persistance de la contamination, d'autres actions correctives ont été effectués :

- Vidange des ballons accumulateurs de reflux **154F** et **454F** des deux colonnes pour éliminer toutes les traces d'humidité restantes dans le circuit causant la contamination après l'opération de l'obturation des tubes trouvés fuyard au niveau des rebouilleurs **156** et **456C.**

Les résultats d'analyses obtenues après cette action ont été déclarées conformes (voir dans le tableau 3 ci-dessous).

Tableau III-4 : Les résultats d'analyses de C4 réalisées le 30/10/2023

Trains	**Taux d'humidité en ppm**	**Repère d'échantillons**
100	7	Tête de colonne 153E
200	6	Tête de colonne 253E
300	9	Tête de colonne 353E
400	10	Tête de colonne 453E

- Vidange de la ligne **C4** entre **GP1Z-GL2Z** à partir de **GP1Z** vers **CLD T100** suite à la demande de **GP1Z.**
- Drainage avec plusieurs reprises de la ligne inter-complexe C4 à partir de **GP1Z** vers fosse de brûlage **GL2Z** suite à la demande de **GP1Z**.

Les analyses de confirmation qui ont été effectuées après ces actions de drainage ont donné des valeurs conformes (voir dans le tableau 6 ci-dessous).

Tableau III-5 : Les résultats d'analyses de C4 réalisées le 05/11/2023

Trains	**Taux d'humidité en ppm**	**Repère d'échantillonnage**
Train 100	4	Tête de colonne 153E
Train 200	9	Tête de colonne 253E
Train 300	10	Tête de colonne 353E
Train 400	Train à l'arrêt depuis	01/11/2021

Signalons aussi, que malgré toutes les actions correctives qui ont été effectuées par le complexe **GL2Z**, autres réclamations ont été évoquées par le complexe **GP1Z** en date du **07/11/2023** annonçant que le problème de contamination persiste toujours, avec une légère augmentation de la teneur d'humidité de **33 à 42 ppm.**

L'analyse du **C4** commune vers **GP1Z** qui a été effectué le **07/11/2023** en présence des laborantins des deux (02) complexes GP1Z et GL2Z via deux appareils hygromètres à donner les résultats suivants :

- **L'analyse de GP1Z : 10 ppm**
- **L'analyse du GL2Z : 9.97 ppm**

III.7.2 Calcul de la surface d'échange design et actuel de rebouilleur 156C

III.7.2.1 Outil numérique

Les calculs de simulation et de dimensionnement de la présente étude ont été effectués à l'aide de logiciel de la série Aspen Tech V.10,

- **Définition d'Aspen EDR**

Aspen Exchanger Design and Rating (EDR) est un logiciel et outil de conception et d'évaluation thermique et mécanique, développé par Aspen Tech qui permet de modéliser et d'optimiser les échangeurs de chaleur dans les processus industriels. Il offre une intégration avec Aspen HYSYS et Aspen Plus pour produire des conceptions optimales tout en respectant les normes ASME les plus récentes [8]

Parmi ses fonctionnalités :

- Modélisation avancée de tous les types d'échangeurs de chaleur (coque et tube, air refroidi, plaques, etc.).
- Base de données étendue avec plus de 37 000 composants et 127 packages de propriétés.
- Optimisation des coûts et de la performance énergétique.
- Intégration avec des outils de simulation pour une meilleure conception des procédés.

III.7.2.2 Calcul de la surface d'échange actuel

Utilisant des paramètres actuels pour l'alimentation de l'échangeur dans le logiciel EDR, ont été collectés à partir de l'historique de la dernière date de fonctionnement de rebouilleur **156C** (**13/09/2024**) .Les détails de calculs sont regroupés dans l'ANNEX.

Les figures 3 et 4 présentent les paramètres nécessaires et les compositions de produit de fond (gazoline) de la colonne 153E qui alimentent le rebouilleur 156C pour réaliser le calcul de la surface actuel.

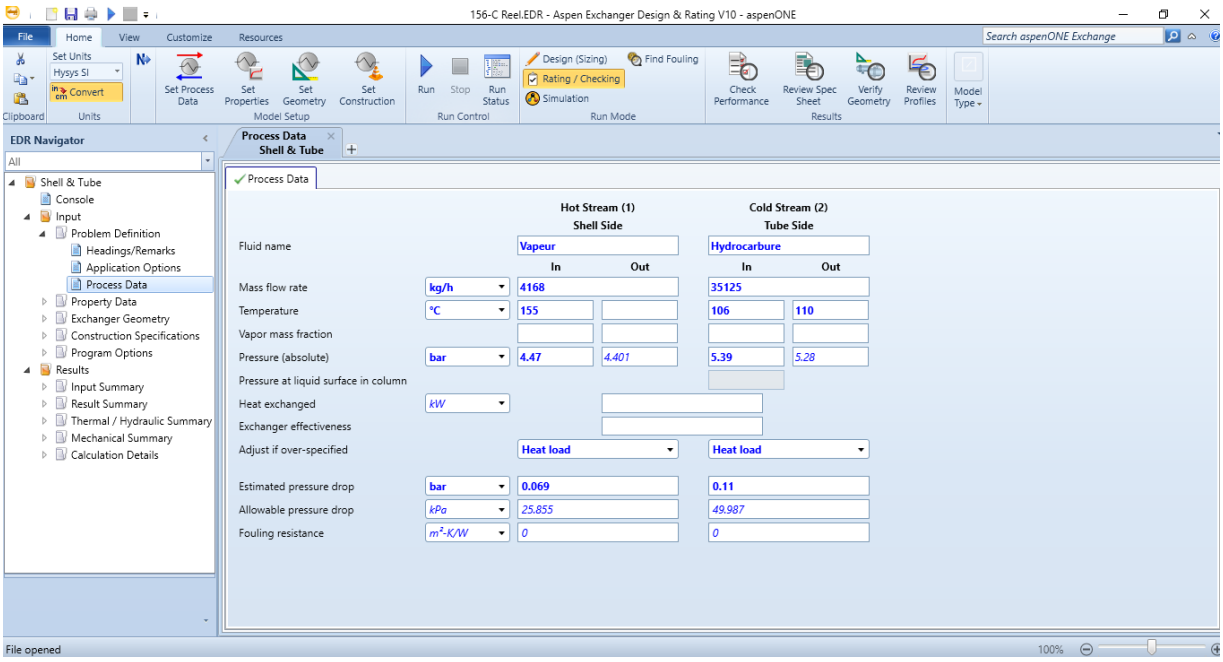


Figure III-3 : les paramètres actuels nécessaires qui alimentent le rebouilleur 156C.

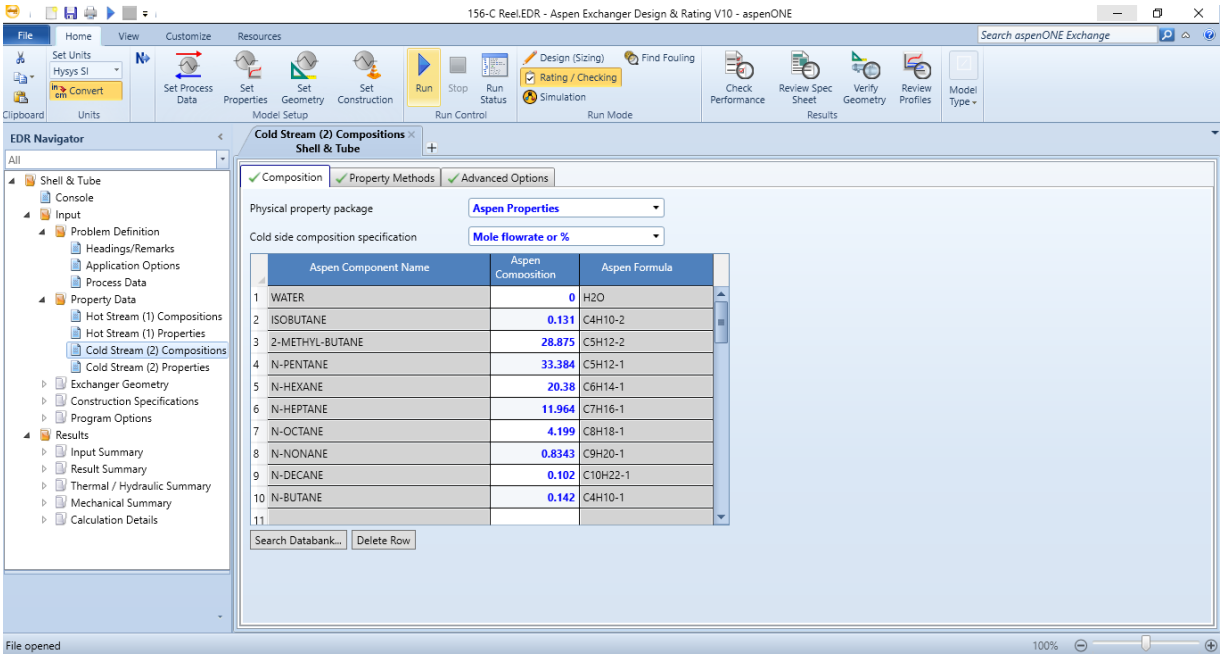


Figure III-4 : les compositions actuelles de produit de fond.

Les paramètres dans les figures sont intégrés dans le logiciel EDR.

Les étapes de calcule sont regroupé dans l'annexe A et B

Le résultat obtenu de la surface d'échange actuel de rebouilleur est présenté dans la feuille TEMA suivante :

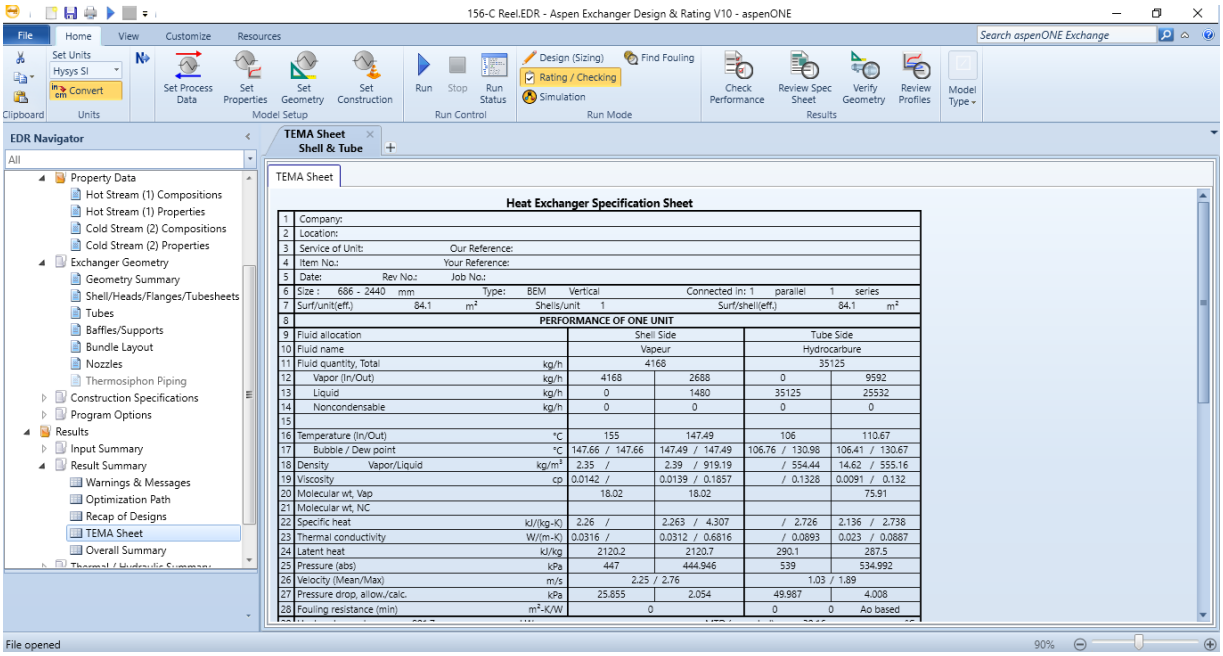


Figure III-5 : La feuille TEMA

Le rebouilleur **156C** actuel est simulé par l'outil Aspen EDR avec succès et la surface calculée égale à 84.1 m^2.

III.7.2.3 Calcul de la surface d'échange de design

On détermine la surface d'échange du design afin de la comparer à celle actuellement calculée, ce qui permet d'évaluer les performances et les éventuelles améliorations possibles.

Utilisant des données et des compositions de design pour l'alimentation de l'échangeur dans le logiciel EDR, ont été recueillis à partir de datasheet et l'historique ci-dessus (les détails de calculs sont regroupés dans l'ANNEXE).

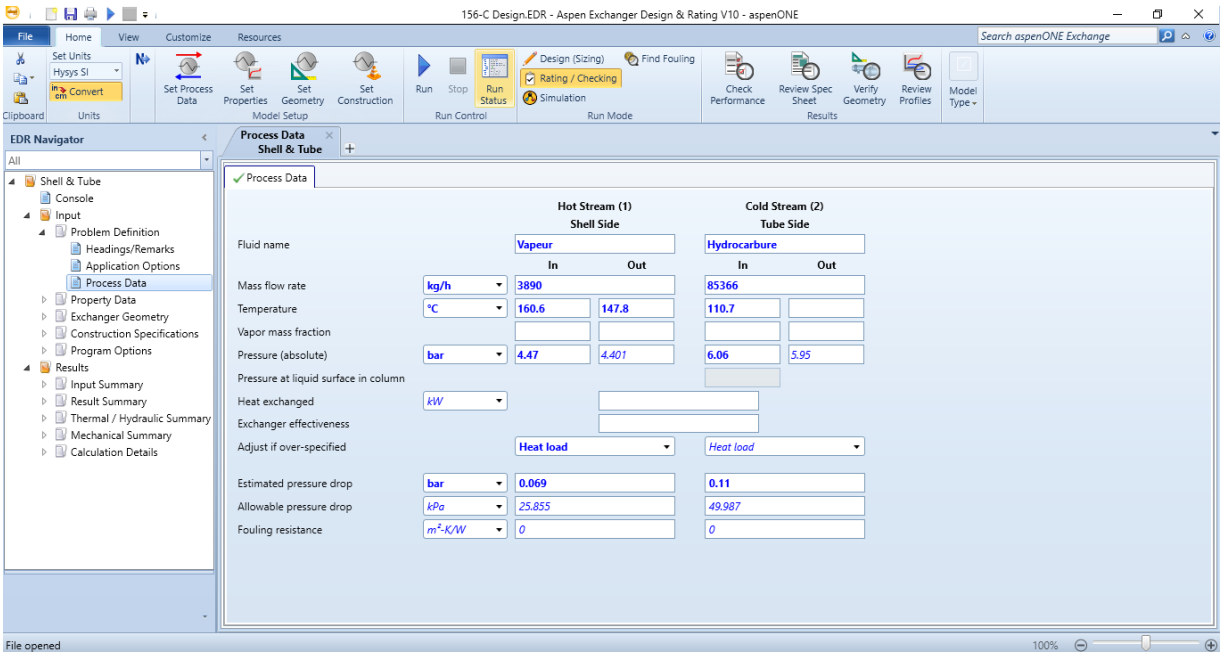


Figure III-6 : les paramètres design nécessaires qui alimentent le rebouilleur 156C.

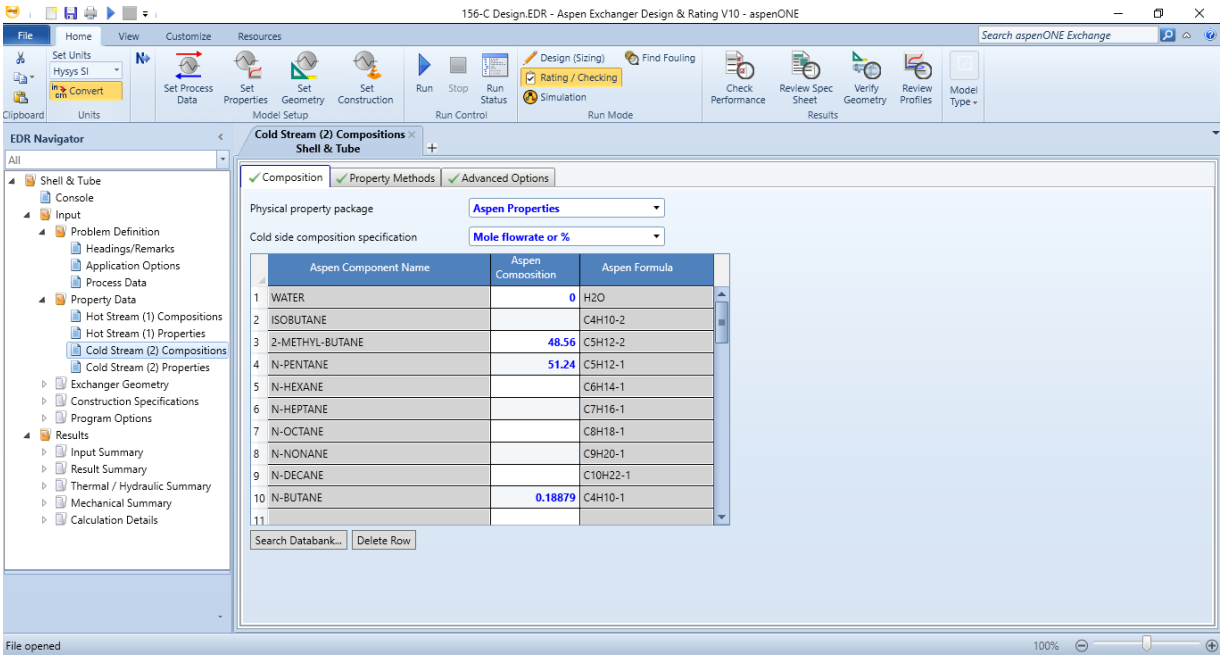


Figure III-7 : Les compositions design de produit de fond.

La surface de design est bien calculée où

$$s = 88.6\ m^2$$

Les résultats obtenus sont représentés sur la feuille de TEMA suivante :

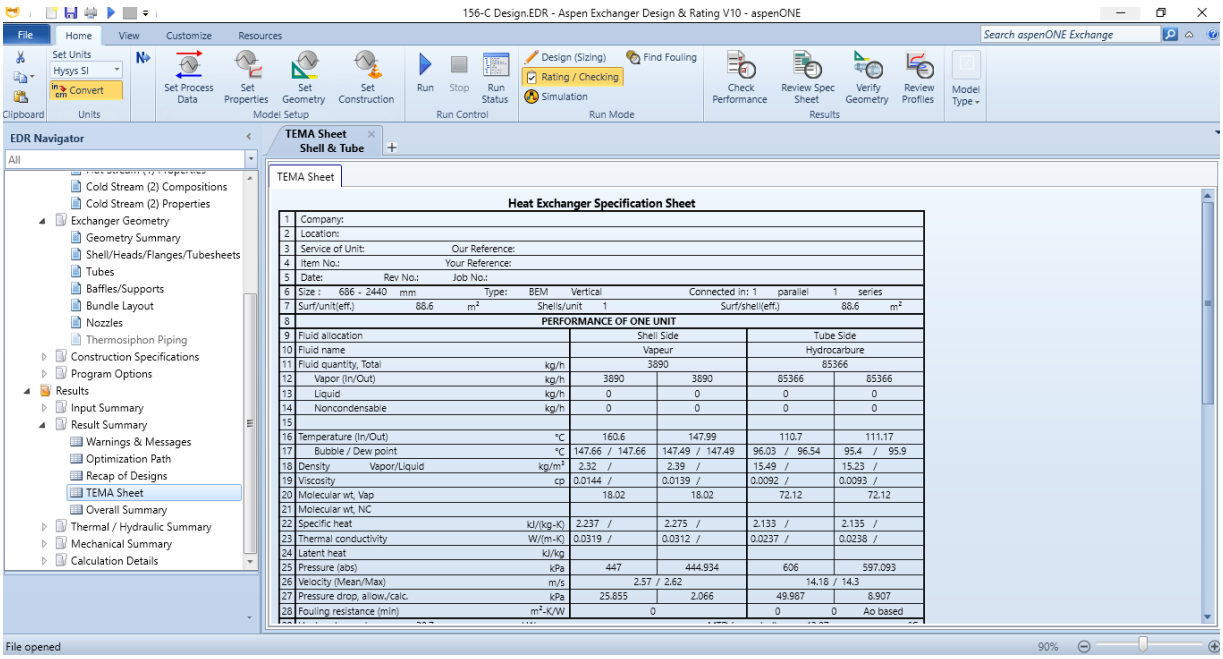


Figure III-8 : La feuille TEMA.

Figure III-9: Rebouilleur X56C.

III.5. Interprétation :

Les résultats montrent que la surface d'échange actuelle égale à 84.1 m². Cette valeur est réduite de 5.07 % par rapport à celle installée design qui est de l'ordre de 88.6 m². Cette constatation observée indiquant un problème de percement des tubes.

Pour y remédier, il est possible de réguler la désurchauffe (SP167), renforcer la plaque séparatrice et augmenter l'épaisseur des tubes de la première rangée.

Conclusion générale et recommandations

Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre d'une convention entre le département de génie des procédés de l'université de Mostaganem et le complexe GNL2/Z. Son objectif principal est de calculer la surface d'échange réelle et design du rebouilleur X56C qui permet de réchauffer le fond de la colonne de débutaniseur à une température spécifique, tout en circulant le gaz dans le coté tube du rebouilleur et la vapeur d'eau dans le coté calandre. On utilisant l'ASPEN EDR (Aspen Exchanger Design and Rating), un logiciel et outil de conception et d'évaluation thermique et mécanique, développé par Aspen Tech qui permet de modéliser et d'optimiser les échangeurs de chaleur dans les processus industriels. Il offre une intégration avec Aspen HYSYS et Aspen Plus pour produire des conceptions optimales tout en respectant les normes ASME les plus récentes.

Parmi ses fonctionnalités :

-Modélisation avancée de tous les types d'échangeurs de chaleur (coque et tube, air refroidi, plaques, etc.).

-Base de données étendue avec plus de 37 000 composants et 127 packages de propriétés.

-Optimisation des coûts et de la performance énergétique.

-Intégration avec des outils de simulation pour une meilleure conception des procédés.

Le calcul de la surface d'échange du rebouilleur actuel X56C donne une valeur de 84 ,1m², inférieure à la surface installée de 88 ,6m². Cette différence s'expliquer l'obturation des tubes de rebouilleur à cause de la perforation.

Une solution recommandée pour atténuer ces problèmes est

- la régulation de système de désurchauffe.

- augmentation de l'épaisseur des deux premières rangées des tubes.

- renforcer la plaque séparatrice.

Annexe A

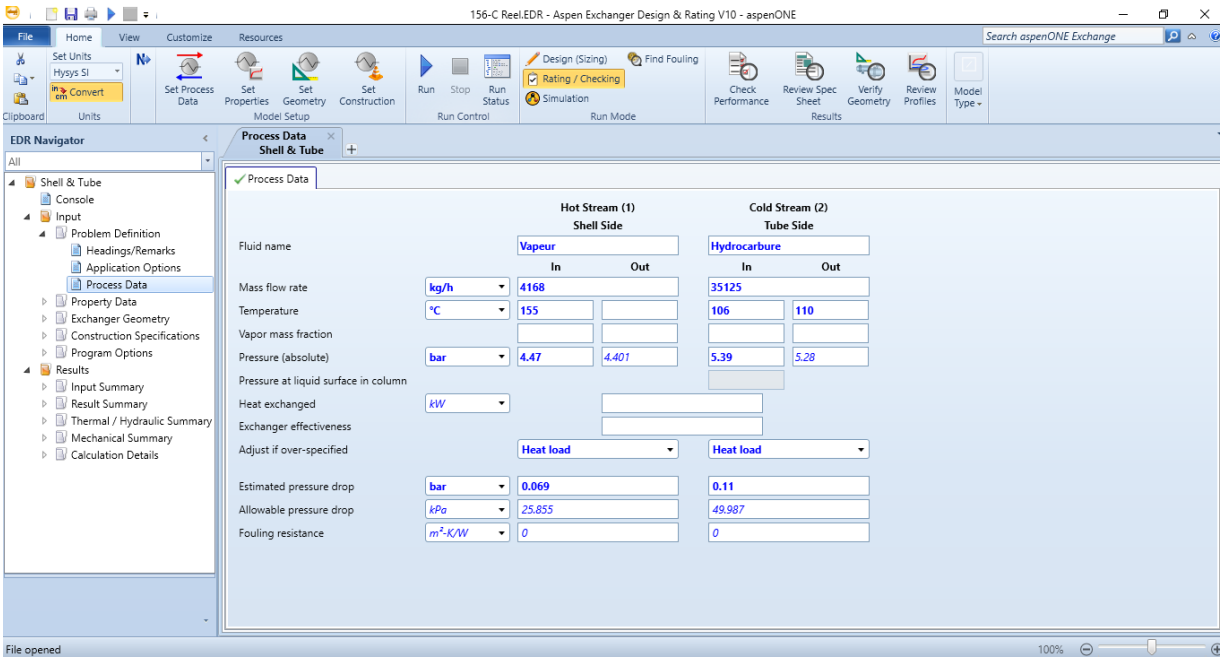


Figure A-1 : étape 1 paramètres de procès actuel de rebouilleur 156C.

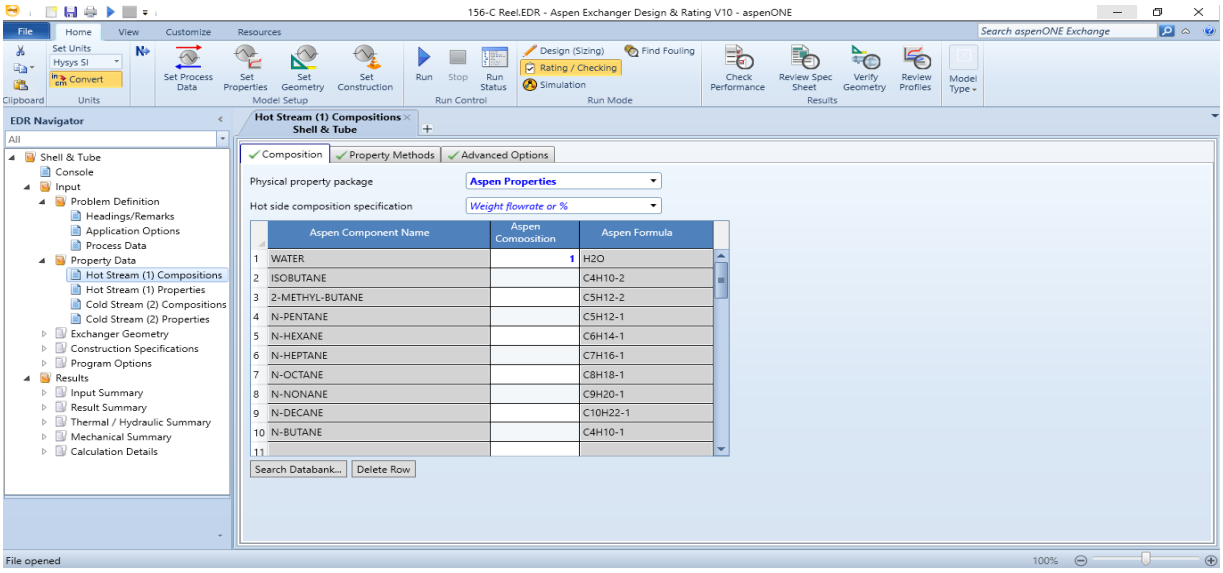


Figure A-2 : étape 2 compositions actuels qui alimentent coté calandre de rebouilleur 156C.

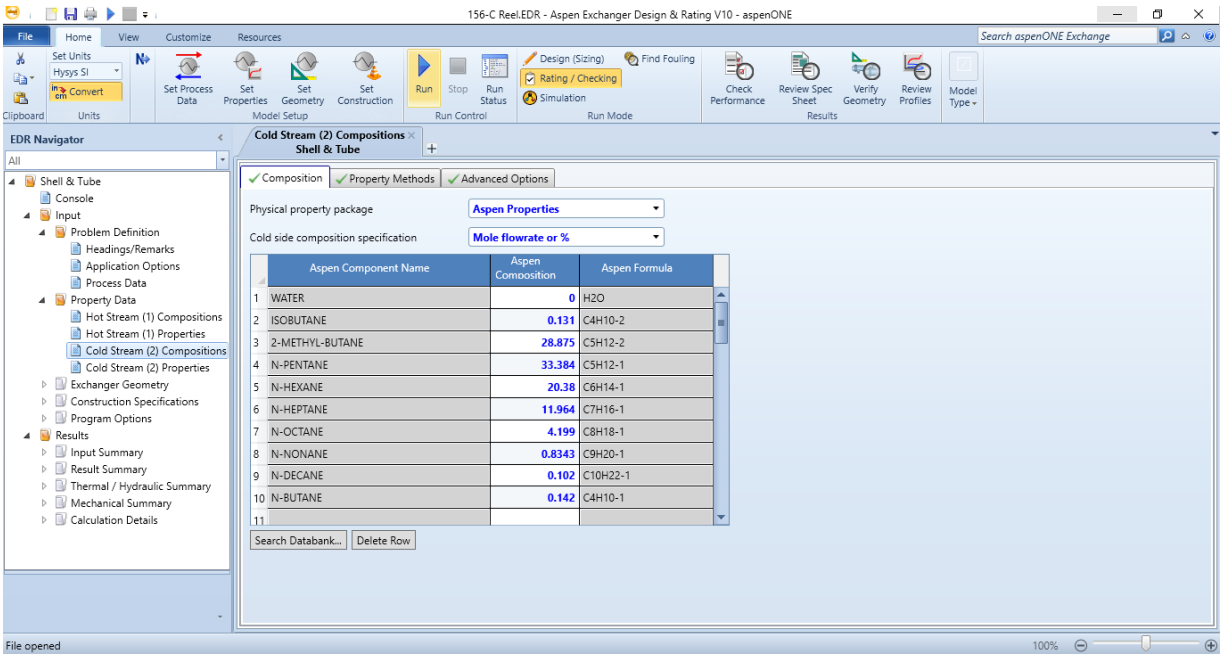


Figure A-3 : étape 3 les compositions actuelles qui alimentent coté tube de rebouilleur 156C.

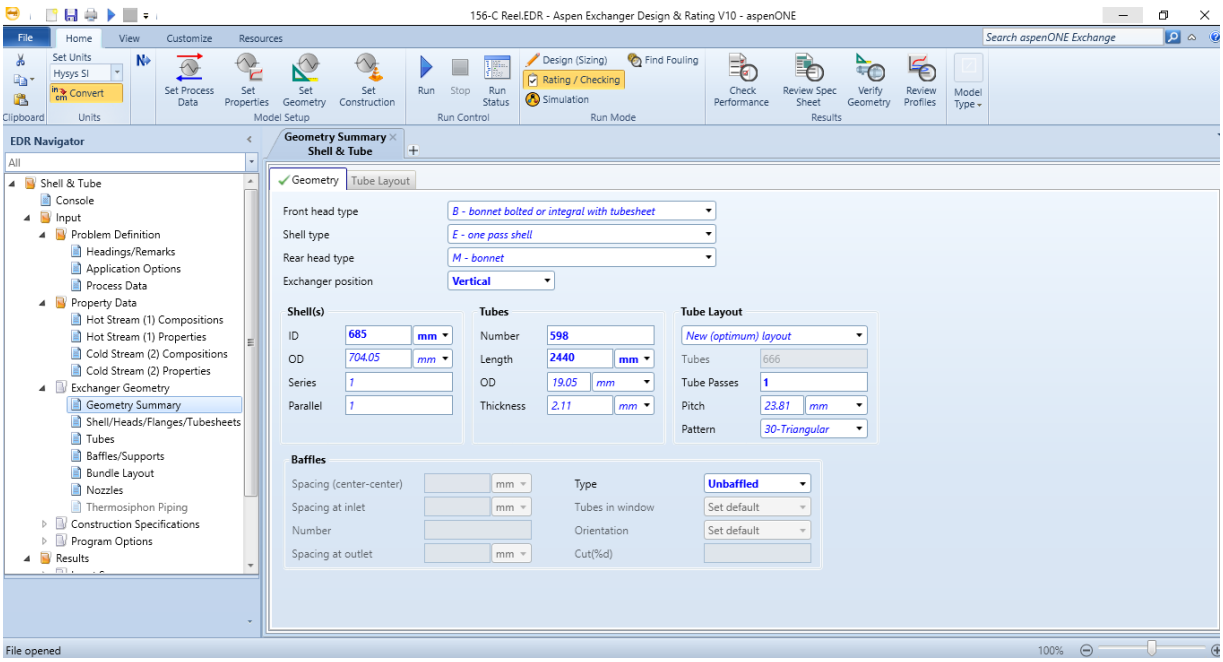


Figure A-4 : Etape 4 les paramètres actuels de construction de rebouilleur 156C.

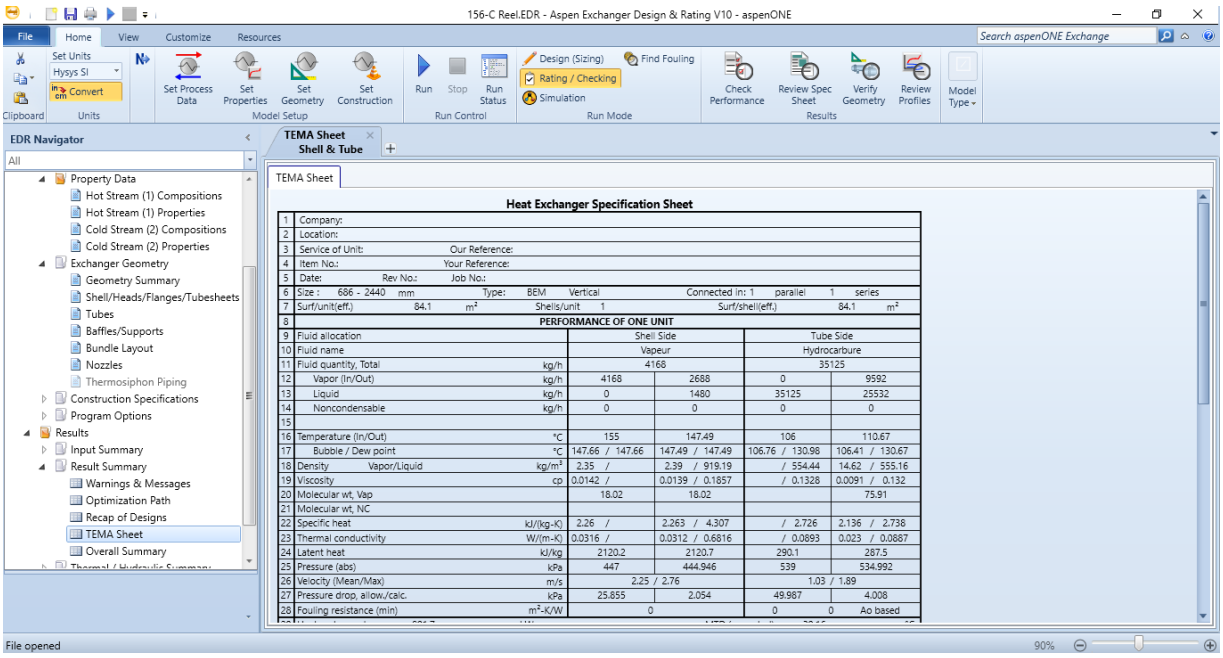


Figure A-5 : Etape 5 les résultats de calcul de rebouilleur actuel 156C.

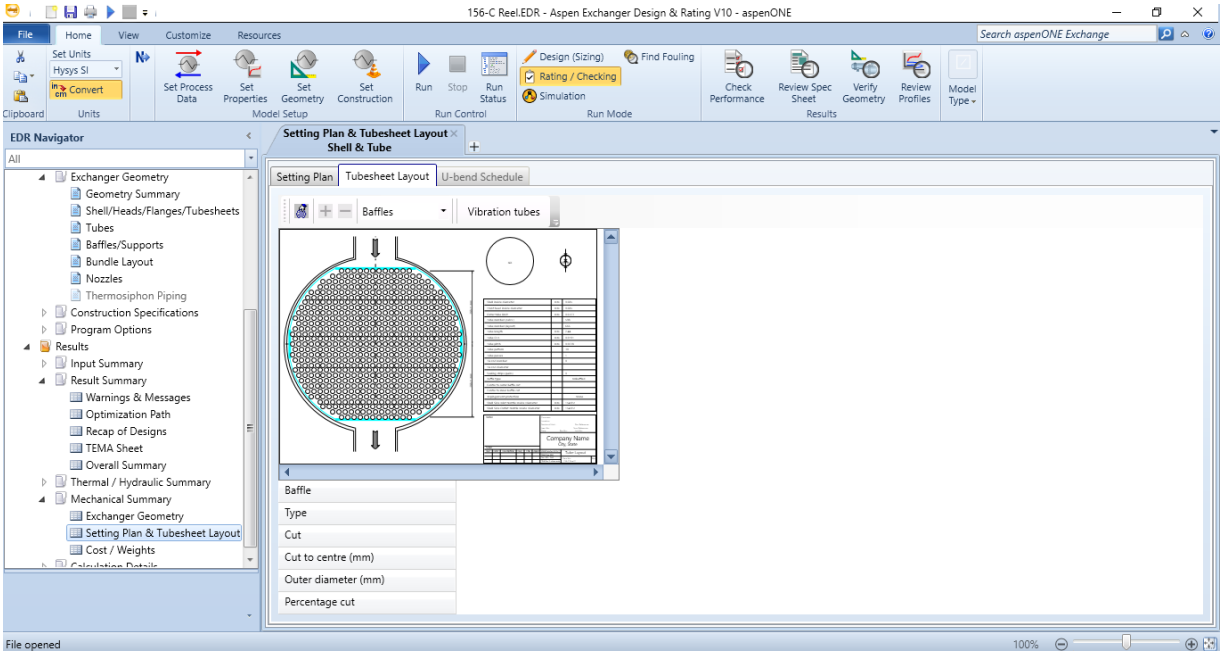


Figure A-6 : Etape 6 la disposition des tubes de rebouilleur 156C actuel.

Annexe B

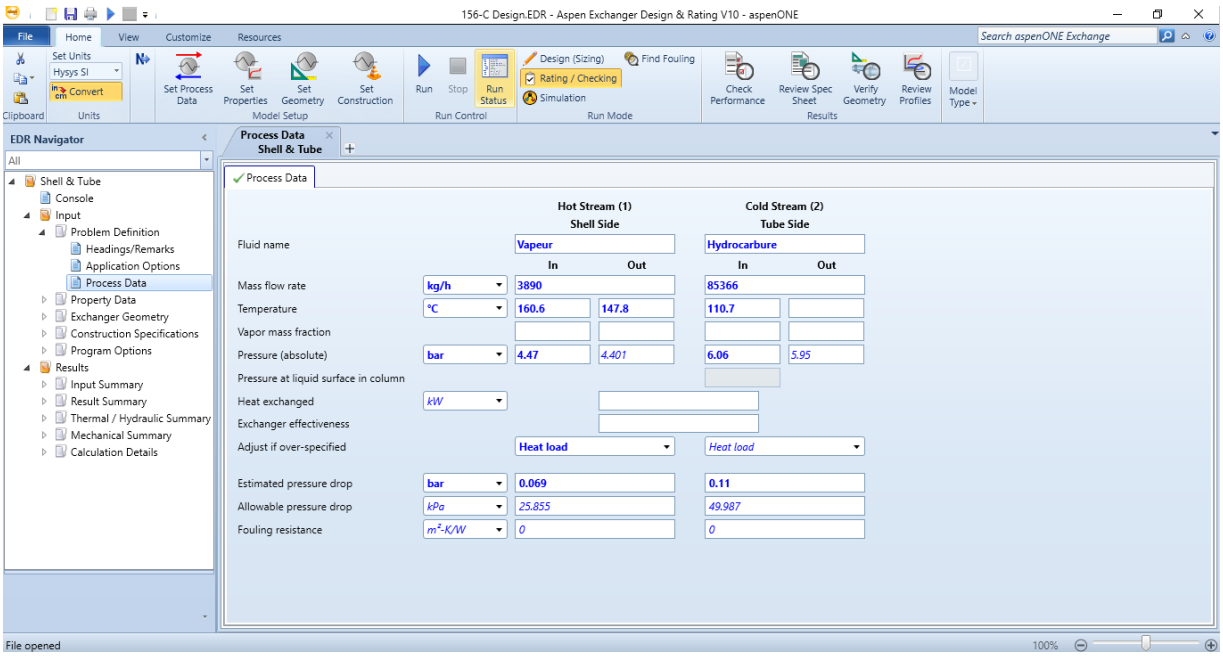


Figure B-1: Etape 1 les données de procédé design de rebouilleur 156C.

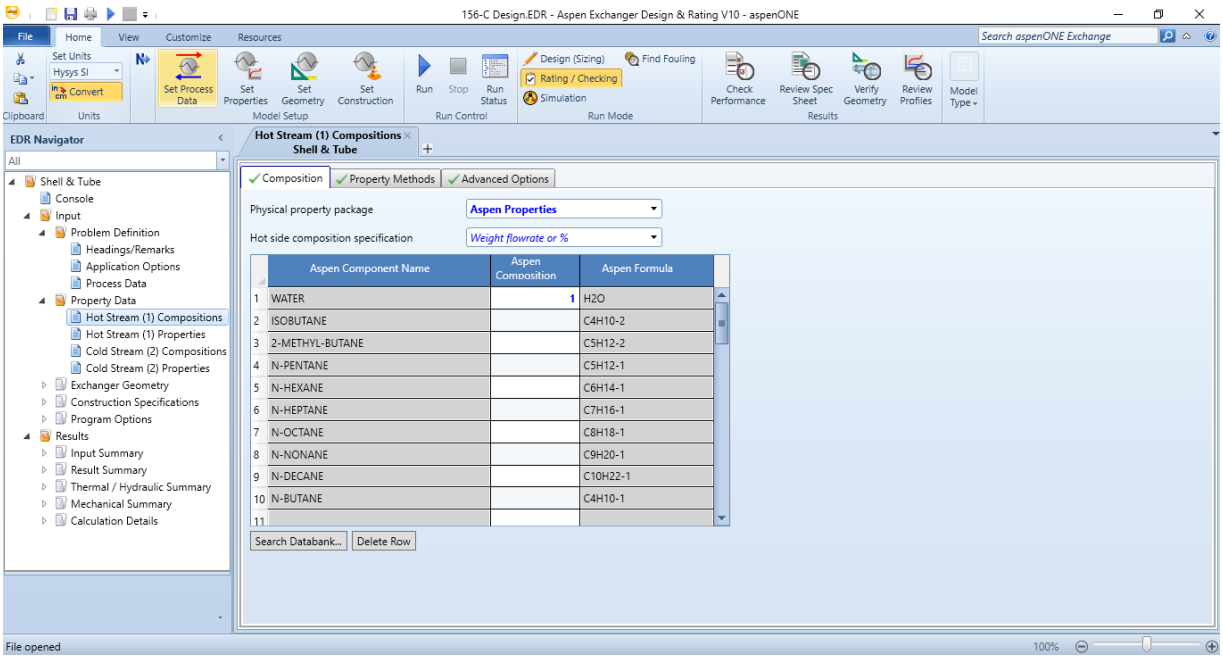


Figure B-2 : Etape 2 les compositions design qui alimentent coté calandre de rebouilleur 156C.

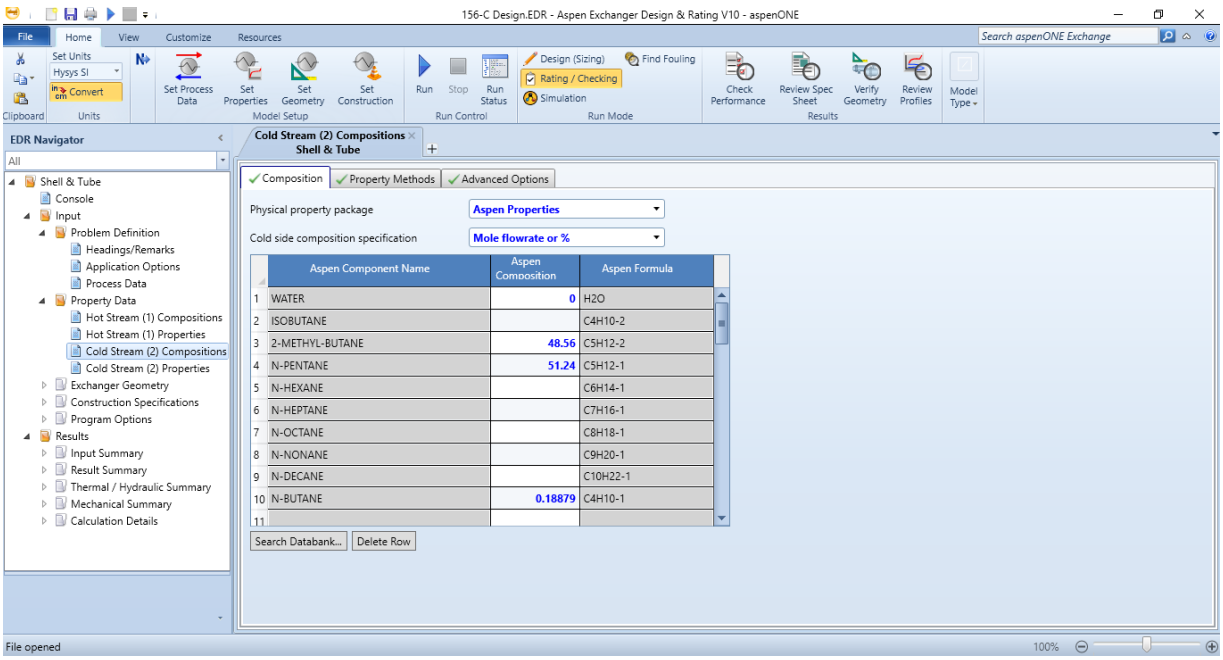


Figure B-3 : Etape 3 les compositions design qui alimentent coté tube de rebouilleur 156C.

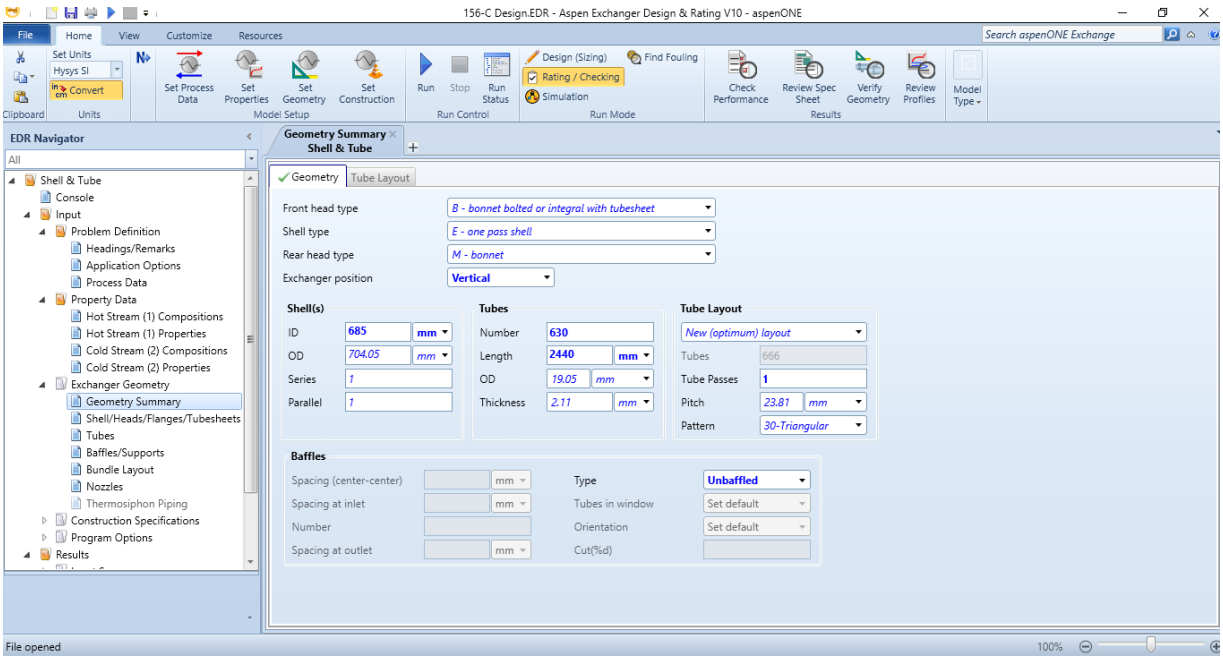
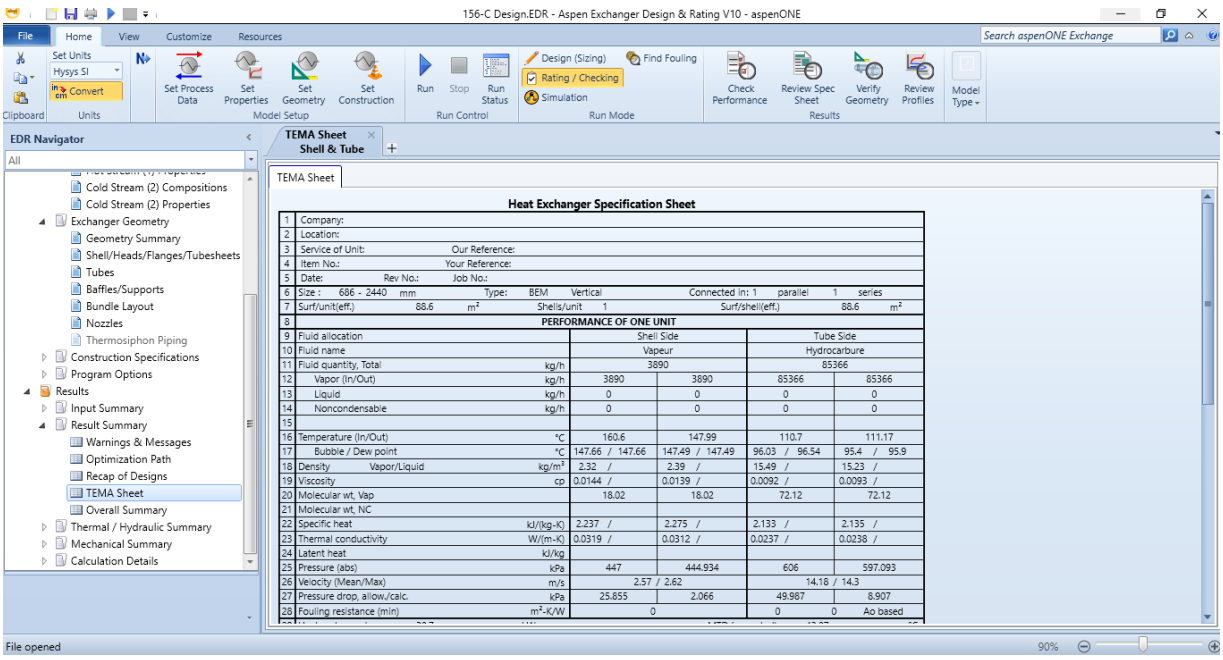
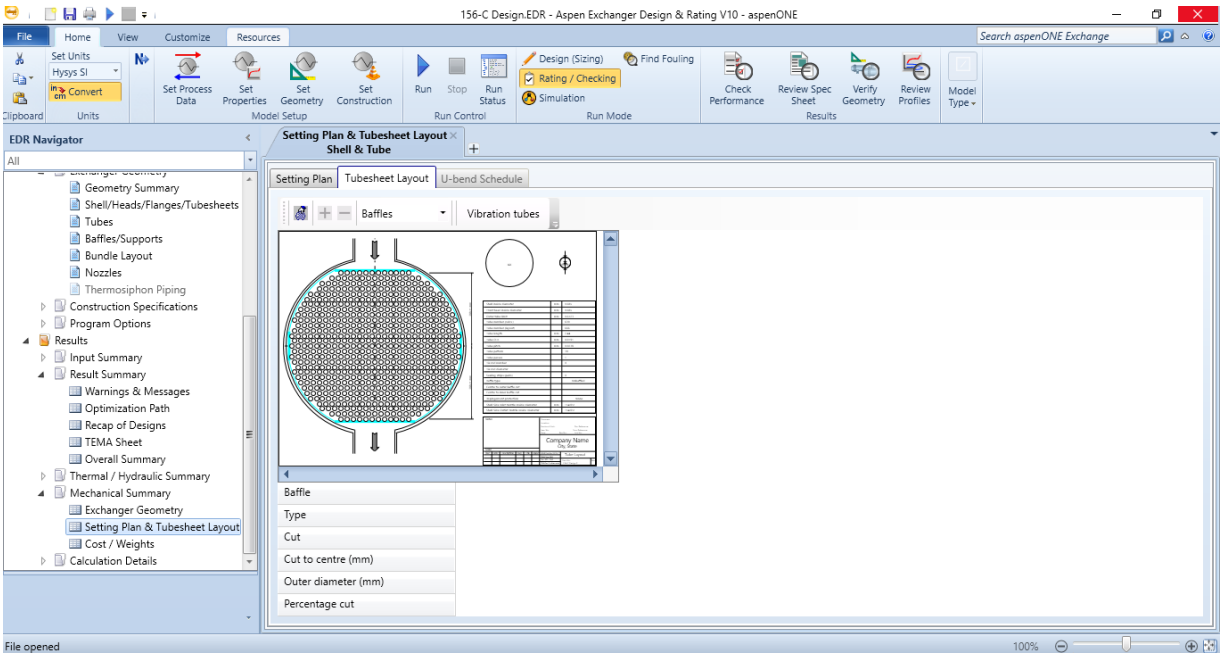


Figure B-4 : Etape 4 les données de construction design de rebouilleur 156C.



FigureB-5: Les résultats de calcul.



FigureB-6 : La disposition des tubes de rebouilleur 156C.

Bibliographie

[1] Manuel opératoire de procédé volume I.

[2] The down chemical company: the alkanoamines HANDBOOK.

[3] Sakloun Bensoltana, M. (2017). *Le complexe GL2/Z : liquéfaction du gaz naturel et extraction des hydrocarbures* (Mémoire de master).

[4] Perry chemical engineers: HAND BOOK.5th edition 1973.

[5] Manuel opératoire GL2/Z section traitement 1981.

[6]Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.(2022).

Principal cours des échangeurs .1

https://www.univ-usto.dz/faculte/fac-chimie/wp-content/uploads/2022/12/Principal-cours-des-echangeurs-1.pdf

[7] Sonatrach. (2023). *la situation des rebouilleurs des colonnes de débutaniseurs.Sonatrach.*

[8] AspenTech (n.d).Aspen Exchanger Design and Rating.

https://www.aspentech.com/en/engineering/aspen-exchanger-design-and-rating