

Faculté des Sciences Exactes et d'Informatique

Département de Chimie.

Filière : Chimie appliquée.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Chimie.
Option : **Chimie appliquée.**

Présenté par :

BELHOUARI IKBAL

BAALI OUIAM

THEME

**Analyse de problème de l'érosion de l'échangeur E-504
au niveau de la section de décarbonatation- GL1/Z**

Devant le jury composé de :

Présidente : Mme. F. ABDEDDAIM

Examinatrice : Mme. N. HAMMOUDI

Encadrant : Mr. AHMEDBELHAKEM Université de Mostaganem

Année Universitaire 2023/2024

Remerciements

Avant tout, nous remercions DIEU qui a illuminé notre chemin et qui nous a armés de courage pour achever nos études. Tout d'abord nos respectueux remerciements à tous les membres de jury qui nous ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de notre travail.

*Nous remercions chaleureusement notre encadreur **Mr. AHMED BELHAKEM** de nous avoir orientés par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.*

Nous tenons à remercier aussi :

*Les membres de jury **Mme. HAMMOUDI** et **Mme. ABDEDDAIM***

D'avoir acceptés d'évaluer notre travail.

*Nous ne manquerons pas de remercier **M. BENYAMINA MOHAMED** et **M. BELLAHOUEL ABDELHAKIM** ingénieure process chargé de la zone de fabrication au niveau du complexe GL1/Z,*

Sans oublier tous nos enseignants et toute la promotion M2 chimie appliqué 2023-2024 on vous remercie tous pour cette année et une grande merci à tous ce qui nous a aidés de près ou de loin.

Merci à tous et à toute

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*A mon très cher PAPA NOURDINE, qui est la source de ma force et de
mon Inspiration.*

*A mon très cher MAMA OUM KELTOUM MAKRELOUFI, quoi je
fasse ou que je dise je ne saurai point Te remercier comme il se doit, ta présence
à mes côtés a toujours été
Ma source de force pour affronter les différents obstacles.*

*A mes sœurs et frères ZINEB, HANAA, ABD ELMALEK et
SADEK*

A mon mari MOHAMED

A mon Binôme OUM

A toute les familles : BELHOUARI et MAKRELOUFI

A tous mes copines, MAROUA, FATMA et ASMA

IKBAL

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents, pour leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, aucune dédicace ne pourrait exprimer mes sentiments envers eux.

À la personne qui me partage la vie *Mon cher mari* Rida Abdalheik, il a été à mes côtés toute la durée de mon stage.

À mes chers sœurs, Manel, Khawla, Samia, Ibtissem elles sont une source d'amour et d'espoir pour moi.

À mes chers frères Mohamed, Hadji, Ahmed, ils m'ont soutenu trop ils me donnent de l'énergie et le courage.

À mes neveux et mes nièces, je les aime trop et particulièrement Issem j'espère qu'il aura son B.E.M.

À ma petite princesse Esine Safae, *Ma fille*, son existence dans ma vie est comme l'existence d'un morceau de sucre dans un verre de thé, que dieu la protège.

À ma copine Feryel et mon binôme Ikbal

À toute personne a été participé à la réalisation de ce travail

À toute la famille Baali et la famille Bilil.

Ouiam

Résumé

La liquéfaction du gaz naturel se fait en plusieurs étapes de traitement, la première étape est primordiale et elle est cruciale pour la suite de la liquéfaction du gaz. C'est l'opération de décarbonatation, au cours de notre modeste travail, notre contribution a été traiter d'étudier le problème de l'érosion et l'encrassement de l'échangeur E-504, qui est un problème majeur fréquenté dans cette section au niveau des équipements de base.

Ensuite et afin de corroborer l'étude pratique menée sur place, l'outil de simulation Aspen Hysys a été utilisé pour décrire les différentes conditions opératoires en cas de fonctionnement normal et en cas de démarrage accidentel. Le travail pratique et l'analyse par Hysys de ces problèmes s'est débouché sur la proposition d'une nouvelle conception prenant en considération les anomalies de fonctionnement suscités. Pour pallier aux problèmes d'érosion et d'encrassement et d'optimiser les conditions de travail, il est judicieux de changer l'emplacement de l'échangeur E-504 sujette d'étude avec la pompe J-503 par une simple modification des canalisations.

La nouvelle conception répond parfaitement aux conditions et assure le bon fonctionnement de la section, nous proposons aussi de changer le type de l'échangeur AES actuel par un autre type AEL moins cher et plus convenable à ces conditions.

ملخص

تتم عملية تسييل الغاز الطبيعي على عدة مراحل، مرحلة واحدة أساسية تسمى المعالجة والتي تبدأ بعملية إزالة الكربونات، في ، وهي مشكلة كبيرة تواجه هذا القسم على مستوى المعدات الأساسية E-504 مساهمتنا سنتناول مشكلة تآكل وانسداد المبادل

والتي ستقوم بالتحقق من ظروف التشغيل المختلفة في حالة التشغيل العادي وفي Aspen Hysys استخدمنا أداة المحاكاة حالة التشغيل العرضي، قمنا بتحليل المشكلة وبعد اقتراح تصميم جديد مع الأخذ في الاعتبار شذوذات التشغيل المثارة عن طريق تعديل بسيط للأنابيب J-503 موضوع الدراسة بمضخة E-504 وبالتالي نحن تم تغيير موقع المبادل

التصميم الجديد يلبي الشروط تمامًا ويضمن الأداء السليم للقسم، ونقترح أيضًا تغيير نوع مبادل AES الحالي بنوع AEL آخر أرخص وأكثر ملاءمة لهذه الظروف.

Abstract

The liquefaction of natural gas is carried out in several treatment stages, the first of which is primordial and crucial to the subsequent liquefaction of the gas. During our modest work, our contribution was to study the problem of erosion and fouling of the E-504 exchanger, which is a major problem encountered in this section at the level of basic equipment.

Then, in order to corroborate the practical study carried out on site, the Aspen Hysys simulation tool was used to describe the different operating conditions in normal operation and in the event of an accidental start-up. The practical work and the analysis of these problems by Hysys led to the proposal of a new design, taking into account the operating anomalies raised. To overcome the problems of erosion and clogging and to optimize working conditions, it is advisable to change the location of the E-504 exchanger studied with the J-503 pump by simply modifying the piping.

The new design is perfectly suited to the conditions and ensures the smooth operation of the section. We also propose changing the type of current AES exchanger to another type, AEL, which is cheaper and more suitable for these conditions.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	14
-----------------------------	----

Partie Théorique

Chapitre I : Description de Complexe GL1/Z

INTRODUCTION.....	18
I. 1. Définition du gaz naturel	18
I. 2. Caractéristiques du gaz naturel.....	19
I. 3. Présentation du complexe GL1/Z	19
I. 3.1. Historique (dates clés)	19
I. 3.2. Fonction du complexe GL1/Z.....	20
I. 4. Les unités du complexe	20
I. 4.1. Zone process	21
4.2. Zone utilités.....	21
I. 4.3. Zone terminal	22
I. 5. Principe de la section de la décarbonatation	23
I. 5.1. Présentation de la section	23
I. 5.2. Le choix de l'absorbant.....	23
I. 5.3. Définition de la monoéthanolamine (MEA) et leur relation avec CO ₂	24
I. 5.4. Caractéristiques de la réaction chimique	24
I. 6. Fonction de la section de décarbonatation	24
I. 6.1. Le procédé d'absorption du CO ₂	25
I. 6.2. Régénération de la solution MEA	25
Conclusion	27

Chapitre II : Description de problématique section du décarbonatation

INTRODUCTION.....	29
II. Equipements de la section de décarbonatation et leurs caractéristiques	30
II. 1.1. Absorbeur de MEA F-502.....	30
II. 1.2. Régénérateur F-501	30
II. 1.3. Pompe MEA-J503/504.....	30
II. 1.4. Echangeur E-503 A et B.....	31
II. 1.5. Rebouilleur E-502.....	31
II. 1.6. Condenseur de tête E-501	31
II. 1.7. Echangeur E-504	32

II. 2. L'échangeur thermique E-504.....	32
II. 2.1. Définition de l'échangeur de chaleur	32
II. 2.2. Les différents types d'échangeurs thermiques	32
II. 2.3. L'échangeur thermique à plaques	33
II. 2.4. L'échangeur thermique tubulaire.....	34
II. 2.5. Autres types d'échangeurs	34
II. 3. Description et rôle de l'échangeur E-504 dans le complexe GNL1	36
II. 4. Les problèmes de l'échangeur E-504.....	37
II. 4.1. Historique de la problématique	37
II. 4.2. Problème de l'encrassement.....	39
II. 4.3. Dégradation des performances	40
II. 4.4. Risques d'arrêts non planifiés	40
II. 4.5. Difficultés d'inspection et de maintenance	40
II. 5. Les causes du mauvais transfert de chaleur du refroidisseur E-504.....	40
II. 6. Conséquences sur la pompe j-503	41
II. 6.1. Phénomène de cavitation.....	41
II. 6.2. Causes probables de la cavitation dans la pompe J-503.....	41
Conclusion	42

Partie Pratique

Chapitre III : Simulation d'une partie de décarbonatation

INTRODUCTION.....	45
III. 1. Objectif et méthodologie.....	45
III. 2. Généralités sur la simulation.....	45
III. 3. Définition de la simulation.....	46
III. 4. Types de simulation	46
III. 5. Présentation du logiciel Hysys.....	46
III. 5.1. Principales caractéristiques d'Aspen Hysys	46
III. 5.2. Les étapes d'utilisation du logiciel Hysys.....	47
III. 6. Choix de modèle thermodynamique.....	49
III. 7. Choix de la zone étudiée	49
III. 7.1. La simulation de la zone étudiée	49
III. 7.2. Simulation avec les condition design.....	49
III. 7.3. Simulation avec les conditions actuelles	50
III. 7.4. Simulation actuelle en cas de démarrage d'accident.....	51
III. 8. Les analyses de MEA (pauvre) qui circuit dans l'échangeur E-504.....	52
III. 8.1. Principe.....	52

III. 8.2. Préparation des solutions	53
III. 8.3. Mode opératoire	53
III. 8.4. Calculs	53
III. 8.5. Repère d'échantillonnage.....	54
Conclusion	54

Chapitre IV : Solution proposée et Recommandation

INTRODUCTION.....	56
IV. 1. La résolution du problème par simulation.....	56
IV. 2. Fonctionnement de la nouvelle conception : cas design et actuel	57
IV. 3. Fonctionnement de la nouvelle conception : cas de démarrage accidentel	58
Conclusion	59
IV. 4. Proposition de modification de l'échangeur.....	60
IV. 4.1. Description de l'échangeur E-504.....	60
IV. 4.2. Modification de l'échangeur E-504.....	61
IV. 4.3. Simulation de la nouvelle conception avec l'échangeur AEL.....	63
Conclusion	64
Conclusion Générale	66

Liste des Figures

Figure 1: complexe GNL1/ Arzew	18
Figure 2: Zone de processus du GNL1/Arzew.....	21
Figure 3: Procédé d'absorption par MEA	25
Figure 4: Procédé de régénération de MEA.....	27
Figure 5: schéma de la section de décarbonatation.	29
Figure 6: régénérateur F-501	30
Figure 7: pompe MEA-J503.....	31
Figure 8: échangeur E-503 A et B	31
Figure 9: échangeur E-504	32
Figure 10: échangeur à plaques	33
Figure 11: échangeur tubulaire.....	34
Figure 12: Schéma de principe d'un Échangeur tubulaire.....	34
Figure 13: échangeur tube à ailettes	34
Figure 14: échangeur WEPLEX	35
Figure 15: échangeur avec faisceau de plaque	35
Figure 16: l'aéroréfrigérant	36
Figure 17: l'échangeur E-504.....	37
Figure 18: Dépôt de tartre formé sur les faisceaux tubulaires de l'échangeur	39
Figure 19: corrosion de la boîte de distribution de l'échangeur E-504.....	40
Figure 20: les choix de composant dans logiciel hysys v11	47
Figure 21: choix de modèle thermodynamique	48
Figure 22: Rubrique représentative de spécification de courant de matière convergé en Hysys V11.....	48
Figure 23: Conception cas design.....	50
Figure 24: Conception avec les conditions actuelles.....	51
Figure 25: Simulation en cas de démarrage d'accident	52
Figure 26: Nouvelle conception proposé	57
Figure 27: simulation de la nouvelle conception pendant le fonctionnement avec les conditions design	57
Figure 28: simulation de la nouvelle conception pendant le fonctionnement avec les conditions actuelles.....	58
Figure 29: simulation de la nouvelle conception au démarrage d'accident	59
Figure 30: Echangeur 1-2 passe, tête flottante type AES	60
Figure 31: Echangeur 1-2 passe, type AEL	62
Figure 32: Simulation de la nouvelle conception avec l'échangeur AEL	63

Figure 33: simulation de la nouvelle conception avec le nouvel échangeur AEL
en démarrage d'accident..... 64

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les composant du gaz naturel et leur températures d'ébullition.....	19
Tableau 2 : Les composant du gaz naturel liquéfier	23
Tableau 3 : Refroidisseur de la solution MEA E-504	37
Tableau 4: Historique des problèmes liés à l'échangeur E-504.	38
Tableau 5: la solution standard de CO2.....	53
Tableau 6: Rapport d'analyses de MEA.....	54

LISTE DES ABREVIATIONS

-GN	Gaznaturel.
-GNL	Gaznaturelliquéfié.
-GNT	GazNaturelTraité.
-EDM	Eaude mer.
-MCR	Multi-composant-réfrigérant.
-MEA	Mono-Ethanol-Amine.
-Hg	Mercure.

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie joue un rôle prépondérant dans la vie moderne de l'être humain, elle lui permet de mener ses activités quotidiennes d'une manière pratique et économique.

Le développement de la science dans le domaine de la technologie a conduit l'homme à découvrir des nouvelles ressources d'énergie, surtout avec l'augmentation de la demande mondiale ce qui demande une grande production de diverses énergies.

L'Algérie est connue par ses vastes réserves de gaz naturel ce qui en fait un acteur majeur sur le marché mondial de l'énergie.

Le gaz naturel occupe une place cruciale dans l'économie, c'est la source d'énergie la plus demandée, elle est propre et efficace contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre par rapport à d'autres combustibles fossiles.

Le gaz naturel est utilisé comme source d'énergie ainsi que comme matière première par l'industrie chimique, il se trouve naturellement sous la surface de la terre, généralement piégé dans des formations rocheuses souterraines appelés gisement de gaz, le plus souvent le gaz occupe la partie supérieure de la roche poreuse (appelée aussi roche magasin), au dessus du pétrole et d'eau salée. Sa formation nécessite le passage par deux étapes, d'abord la matière organique (les microorganismes animaux et végétaux) déposés au fond des océans se transforment au fil du temps sous l'effet de la pression et de la température en kérogène, ensuite ce dernier va se décomposer à une température variant de 50 à 120°C en donnant des hydrocarbures.

Lorsqu'il est extrait des gisements, il est sous la forme gazeuse ce qui oblige sa liquéfaction afin de réduire son volume et de le transporter facilement aux pays consommateurs. La première chaîne mondiale de transport de gaz naturel liquéfié est celle qui achemine en 1963 le gaz algérien de HassiRmel à l'usine de liquéfaction d'Arzew le GNL1.

Pour réaliser ce processus de liquéfaction le GN doit passer par des températures cryogéniques aux alentours de -162 °C, cette opération est précédée par un traitement qui sert à éliminer les impuretés qui peuvent nuire au bon fonctionnement des unités industrielles, tel que le CO₂, la présence de ce gaz acide dans le GN pose souvent des problèmes comme la corrosion des installations et le colmatage des tubes lors du fonctionnement. Parmi les unités de ce traitement il y a la section de décarbonatation à travers de laquelle se fait l'élimination du dioxyde de carbone du GN par phénomène d'absorption en utilisant le solvant chimique mono éthanol amine.

Malgré la simplicité de l'opération de décarbonatation, une série de plusieurs problèmes est constatée ce qui entraîne un dysfonctionnement au niveau de différents équipements, en particulier des anomalies de fonctionnement observées au niveau des équipements de base tels que les problèmes de l'érosion des tubes de l'échangeur de chaleur et la cavitation de la pompe.

Notre travail consiste à dresser un état général des lieux en étudiant et en analysant quelques problèmes de dysfonctionnement de l'échangeur E-504, apparus depuis plusieurs années au niveau de la section de décarbonatation dans le complexe d'Arzew GNL1.

Par cette contribution, on essaie de localiser les sources de ces problèmes d'érosion et de cavitation et par conséquent de proposer une solution compatible avec le bon fonctionnement de toute la section. On utilisera, pour compléter notre étude, la simulation par hysys pour suivre les anomalies survenant dans la mise en marche des équipements et proposer les conditions opératoires optimales pour leur bon fonctionnement.

Le présent mémoire est scindé en quatre selon le plan suivant :

- Chapitre I : description du complexe GL1/Z.
- Chapitre II : description de la problématique.
- Chapitre III : simulation d'une partie de la section de décarbonatation.
- Chapitre IV : solution proposée et recommandations.

Enfin une conclusion générale et quelques conseils viendront mettre terme à ce travail.



Partie théorique

Chapitre I :
Description du complexe
 GL_1 / Z

INTRODUCTION

SONATRACH la plus grande entreprise d'état en Algérie, elle a pris le titre « poumons de l'Algérie, l'économie algérienne ne peut respirer que par l'industrie du GNL, afin de valoriser les ressources en gaz naturel plus précisément le gisement de HASSI R'MEL plusieurs complexes ont été construits au nord de l'Algérie afin d'exporter le GNL vers les pays européens et américains. Le premier complexe bâti est le complexe GNL1 d'Arzew.

Le complexe GNL1 a pour objectif de transformer le gaz naturel (GN) en gaz naturel liquéfié (GNL) en jouant sur les paramètres essentiels qui sont la température et la pression. Le GNL désigne le gaz naturel transformé sous forme liquide, cette état est atteint lorsque le gaz est refroidi à une température d'environ -160°C à pression atmosphérique, après traitement la liquéfaction permet de condenser le gaz naturel en GNL en réduisant son volume d'un facteur de près de 600 pour un même pouvoir calorifique ce qui facilite son transport par voie maritime.

Le but de ce chapitre est de donner une idée générale sur le complexe de liquéfaction du gaz GL1/Z d'Arzew et leurs différentes unités.



Figure 1: complexe GNL1/ Arzew

I.1. Définition du gaz naturel

Le gaz naturel est une source d'énergie présente à l'état naturel qui se trouve sous terre dans des bassins sédimentaires. Il est principalement composé de méthane avec des quantités moindres d'éthane, de propane, de butane, de pentanes et d'hexane. [1]

Ce mélange d'hydrocarbures gazeux peut contenir aussi un faible pourcentage de dioxyde de carbone, de vapeur d'eau, d'azote, de sulfure d'hydrogène ou d'hélium, selon le cas. [2]

Le gaz naturel se forme, sous l'effet de la température et de la pression, dans des gisements souterrains à partir de la décomposition de matière organique sur de longues périodes. [3]

Tableau 1: Les composant du gaz naturel et leur températures d'ébullition

Composants	Fractions en % (molaire)	Température d'ébullition (°C)
Hélium (He)	0,19	-269
Azote (Na)	5,80	-196
Méthane (CH ₄)	83,00	-162
Ethane(C ₂ H ₆)	7,10	-90
Propane (C ₃ H ₈)	2,25	-45
i-Butane (C ₄ H ₁₀)	0,6	-12
n-Butane(C ₄ H ₁₀)	0,4	0
i-Pentane(C ₅ H ₁₂)	0,15	+28
n-Pentane(C ₅ H ₁₂)	0,12	+36
Gaz carbonique (CO ₂)	0, 21	-78
Vapeur d'eau (H ₂ O)	50ppm	////////////////
Mercure (Hg)	Trace	////////////////

I.2. Caractéristiques du gaz naturel

Le gaz naturel est un combustible fossile c'est-à-dire qu'il est issu de la transformation naturelle, pendant des millions d'années, des matières organiques, il est caractérisé par :

- Sa densité est de 0,6 par rapport à l'air.
- Sa masse volumique est d'environ 0,8kg/m³
- Sa forme est gazeuse à T = - 162°C
- Son PCS est d'environ 11,5 kwh.m³
- Le gaz naturel n'a aucune couleur (incolore) et aucune odeur (inodore) et sans goût mais une odeur artificielle est ajoutée afin de permettre sa détection lors d'une fuite par exemple le tetrahydrothiophène ou le mercaptan.
- Le gaz naturel a une faible teneur en CO₂ ce qui le rend plus propre à brûler par rapport aux autres combustibles traditionnels
- Le gaz naturel est moins cher à exploiter (faible coût d'exploitation) par rapport aux autres combustibles. [4]

I.3. Présentation du complexe GL1/Z

I.3.1. Historique (dates clés)

- ✓ 26 avril 1971 : signature du premier contrat avec le constructeur chemico (Chemicals construction corporation),
- ✓ 13 juin 1973 : date de démarrage des travaux de construction du projet.

- ✓ 16 juin 1973 : le complexe GL1/Z a été inauguré par le défunt président HOUARI BOUMEDIENE.
- ✓ 20 novembre 1975 : Abondant du chantier par chemico.
- ✓ Avril 1976 : reprise des travaux du chantier par Sonatrach.
- ✓ 21 janvier 1976 : signature du deuxième contrat avec le constructeur BECHTEL(BIL) HOUSTON(USA).
- ✓ Mai 1976 : Reprise des travaux de construction par BACHTEL.
- ✓ Début de la production commerciale : du premier train le 18 décembre 197 au sixième train le 18 octobre 1978.
- ✓ De 1979 à 1983 : Il a fourni des livraisons de GNL aux États-Unis.
- ✓ De 1993 à 1996 : il a été rénové.

Le complexe GNL1 d'Arzew est situé sur la côte algérienne à l'est de la ville d'Arzew, commune de Bethioua, à environ 35 km au Nord-est d'Oran.

Les limites du complexe GL1/Z :

- A l'est, le complexe GL2/Z.
- A l'ouest, le centre AVM NAFTAL et le projet HELLIUM.
- Au nord, la mer méditerranée.
- Au sud on trouve la route d'accès principale de la zone.

Ce complexe fait partie de la zone DRIZ, le terrain sur lequel installé est un terrain plat, orienté vers la mer, la surface totale des installations représente approximativement 72 hectares, il est également équipé d'une jetée comprenant un appontement de chargement de GNL [4]

I.3.2. Fonction du complexe GL1/Z

Le complexe GNL1 a pour mission de liquéfier le gaz naturel provenant des champs gaziers de HASSI R'MEL en utilisant un processus de refroidissement à très basse température afin de réduire son volume d'un facteur de près de 600 fois pour un même pouvoir calorifique, ce qui facilite son transport par les méthaniers.

Le processus de liquéfaction du gaz naturel dans le complexe GNL1 implique plusieurs étapes de refroidissement pour atteindre des températures cryogéniques où le gaz se transforme de l'état vapeur à l'état liquide.

I.4. Les unités du complexe

L'usine de liquéfaction de gaz naturel GL1/Comprend six trains de production indépendants. Dns chaque train, le gaz naturel d'alimentation est traité pour éliminer le gaz carbonique, l'eau ainsi que le mercure.il est ensuite réfrigéré pour extraire les hydrocarbures

lourds afin d'être liquéfié. Une fois le gaz naturel liquéfié, il est envoyé par pompage dans trois réservoirs de stockage qui desservent l'ensemble de six trains.

Le débit de gaz naturel distribué est d'environ 1500000 m³/h pour les six trains, soit en moyenne 250000 m³/h par train. Chaque train a la capacité d'environ de neuf mille mètres cubes (9000 m³) de GNL par jour. [3]

Le complexe GL1/Z est constitué de trois zones différentes :

I.4.1. Zone process

Le complexe GL1/Z comprend six unités de liquéfaction identiques appelées trains, fonctionnant en parallèle.

Chaque train de liquéfaction est composé de huit sections :

- ❖ La section de décarbonatation : sert à éliminer le CO₂.
 - ❖ La section de déshydratation : élimination de la vapeur d'eau.
 - ❖ La section de démercurisation : élimination de mercure.
 - ❖ Le pré refroidissement : refroidissement du GN d'alimentation.
 - ❖ La section séparation et tour de lavage : séparation des hydrocarbures lourds
 - ❖ La section de fractionnement : récupération de l'éthane, du propane et du butane.
 - ❖ Le circuit de réfrigérant mixte : système de réfrigérant mixte
 - ❖ La section de liquéfaction : liquéfaction du gaz naturel et l'élimination de l'azote du GNL
- [3]



Figure 2: Zone de processus du GNL1/Arzew.

4.2. Zone utilités

Cette zone assure la fourniture de toutes les utilités en ce qui concerne la production d'électricité, d'air instrument, en eau distillée et d'azote.

Au niveau de cette zone on rencontre essentiellement :

- Les chaudières
- Les unités de dessalements
- Les installations servant pour la production d'azote

La zone utilité consiste principalement à la production de ce qui suit :

- ✓ **Energie électrique** : la production d'électricité est assurée par secours qui est SONELGAZ, fournie en grande partie trois alternateurs (turbogénérateurs) entérinés par des turbines à vapeur chaque turbo alternateur fournit l'énergie de 36 MW par générateur.
- ✓ **Source de vapeur** : la vapeur est fournie par un ensemble de chaudières de différents tonnages : nouvelles chaudières HP(62bars) et HT(440°C)de 00 tonnes /H(04 chaudières MHI et 02 chaudières IHI)

La production de vapeur est distribuée en quatre parties utilisées pour des fonctions différentes :

- Pression de vapeur 62 bar et 400°C utilisé par les turbocompresseurs
 - Pression de vapeur 16,5 bar et 220°C utilisé par les turbopompes
 - Pression de vapeur 10,3 bar et 200°C utilisé par batterie éjecteur ou boîte d'étanche pour créer du vide, elle est utilisée aussi par l'épurateur de la solution MEA, E505.
 - Pression de vapeur 3,45bar et 148°C utilisé par les équipements de transfert de chaleur. [3]
- ✓ **Source de refroidissement** : l'eau de mer est une source de refroidissement fournie par six pompes de grande puissance de 175000m³utilisée dans les différentes unités, il peut être utilisé aussi pour produire de l'eau dessalée.
 - ✓ **Eau dessalée** : utilisé dans l'alimentation des chaudières pour produire de la vapeur, elle est fournie par cinq unités de dessalement produisant chacune 45 TN/H.
 - ✓ **Production d'air comprimé** : fournie par quatre compresseurs et séché par deux sècheurs d'air fonctionnant à tour de rôle, une grande partie de l'instrumentation du complexe est pneumatique ce qui nécessite l'utilisation de l'air comprimé.
 - ✓ **Azote** : l'azote est utilisé comme un fluide de sécurité lors du démarrage des unités d'exploitation.

I.4.3. Zone terminal

La zone terminal est concerné par le stockage et le chargement de GNL à une pression de 1.03 bar et une température de -162°C, cette zone se trouve face aux trains, côté mer, elle contient 03 bacs aériens de GNL d'une capacité de 100000 m³ et 02 réservoirs de gazoline d'une capacité

de 14500 m³, le complexe dispose de 02 postes de chargement pour méthaniers de 50000 m³ à 125000 m³, ce chargement est assuré par cinq pompes et par dix bras de chargement. [4]

Le GNL produit à la composition suivante :

Tableau 2 : Les composant du gaz naturel liquéfier

Composants	% Minimum	% Maximum
N ₂	0,60	01,40
C ₁	84,00	92,50
C ₂	06,00	08,50
C ₃	02,20	03,00
IC ₄	00,30	0,50
NC ₁	0,30	0,70
C ₅	0,00	0,02

I.5. Principe de la section de la décarbonatation

I.5.1. Présentation de la section

Le gaz naturel, de nature acide en raison de sa teneur en dioxyde de carbone, peut causer la corrosion et des obstructions dans les tuyaux lorsqu'il atteint sa température de solidification à -70°C. Afin d'éviter ces problèmes, la section de décarbonatation vise à purifier le gaz pour empêcher le gel du CO₂ dans les parties froides du processus de liquéfaction.

Pour éliminer le dioxyde de carbone jusqu'à une concentration maximale de 90 ppm, un processus d'absorption est utilisé dans une colonne F-502 équipée de 27 plateaux, fonctionnant à haute pression (42 bar) et basse température (38°C). Ce processus implique la circulation à contre-courant d'une solution aqueuse de monoéthanolamine (MEA) diluée à 18 % en poids pour absorber le CO₂.

Le gaz naturel purifié, dépourvu de CO₂, est dirigé vers la section de déshydratation après avoir quitté le sommet de l'absorbeur. En parallèle, la solution chargée en CO₂ est extraite de la base de l'absorbeur pour être régénérée dans une colonne de distillation F-501 fonctionnant à basse pression et haute température. [5]

I.5.2. Le choix de l'absorbant

Le choix de l'absorbante repose principalement sur des considérations thermiques et économiques. En règle générale, les solvants utilisés pour l'absorption doivent présenter des caractéristiques telles que la stabilité thermique maximale, un coût abordable, une faible volatilité, une non-corrosivité, une non-toxicité et une non-inflammabilité. Ils doivent également

être sélectifs, faciles à séparer des composants entraînés, non adhérents et non moussants pour assurer une capacité d'absorption élevée et une régénération aisée.

I.5.3. Définition de la monoéthanolamine (MEA) et leur relation avec CO₂

La monoéthanolamine (MEA) est un absorbant couramment utilisé pour capturer le dioxyde de carbone présent dans le gaz naturel. À température ambiante, la MEA se présente sous forme d'un liquide visqueux incolore ou d'un solide cristallin, dégageant une légère odeur aminée. Ce composé est hygroscopique et miscible à l'eau dans toutes les proportions.

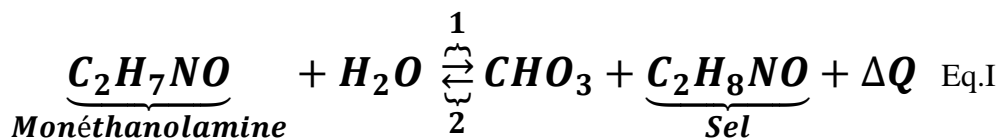
La fabrication de la MEA implique la réaction de l'oxyde d'éthylène avec de l'ammoniac sous pression. L'opération fondamentale associée à la MEA est l'absorption avec réaction chimique, où l'acide (CO₂), la base (MEA), et l'eau réagissent pour former un sel et libérer de la chaleur (Q). [6]

❖ **La réaction chimique :**

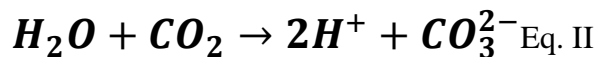


I.5.4. Caractéristiques de la réaction chimique

La principale réaction par laquelle le CO₂ est absorbé par la solution de MEA peut être représentée comme suite :



Cette étape comporte une étape intermédiaire dans laquelle l'eau et le CO₂ donnent l'acide carbonique :



L'équilibre de la réaction (I) se déplace dans le sens (1) à haute pression et basse température (condition de l'absorption), et dans le sens (2) à basse pression et haute température (condition de désorption, régénération de MEA) [6]

I.6. Fonction de la section de décarbonatation

La section de décarbonatation contient deux opérations différentes, dans lesquels le dioxyde de carbone CO₂ est éliminé avec la solution MEA, par absorption, et en même temps la solution est recyclée dans la colonne de régénération par chauffage et purification.

I.6.1. Le procédé d'absorption du CO₂

Le gaz naturel est introduit dans l'unité à une pression contrôlée de 42 bar pour le processus d'absorption du CO₂. Initialement, le gaz passe par la section de séparation rapide située en bas de l'absorbeur F-502, où le liquide est extrait et séparé du flux de gaz d'alimentation. Après cette séparation, le liquide est dirigé vers le système de décantation des hydrocarbures, tandis que le gaz traverse le préchauffeur E-506 pour atteindre le sommet de l'absorbeur. À une température de 38 °C, le gaz naturel pénètre dans l'absorbeur et monte à travers 27 plateaux à soupapes, se déplaçant en contre-courant vers le bas de la colonne en contact avec une solution aqueuse de monoéthanolamine (MEA) à 15 % en poids. Cette solution de MEA à faible teneur en CO₂ est également introduite dans l'absorbeur à 38°C et 42 bars de pression, avec un débit de 54 000 kg/h régulé dans des conditions standard pour le processus d'absorption.

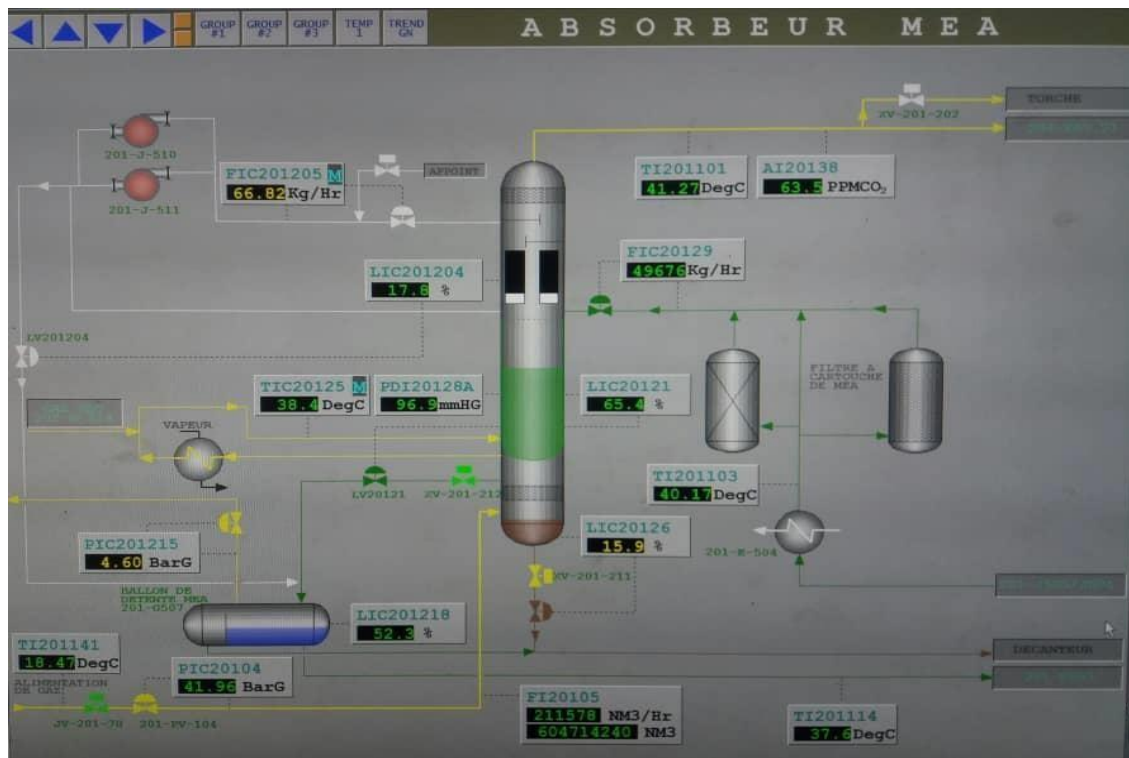


Figure 3: Procédé d'absorption par MEA

I.6.2. Régénération de la solution MEA

La solution riche de MEA quitte l'absorbeur F-502 à une température de 45°C par le bas, subit une détente rapide de 42 à 8 bars via la vanne LV-121 au ballon de détente G-507, puis est chauffée à 93°C en échangeant de la chaleur avec le liquide résiduel du régénérateur F-501 dans

les échangeurs E-503 A et B. Cette solution entre ensuite dans le régénérateur par le haut pour assurer le reflux.

Dans le régénérateur, la solution riche descend en cascade à travers les 21 plateaux à clapets pour être collectée en tant que solution pauvre de MEA au fond. Après passage sur le déversoir, elle se dirige vers la partie inférieure du régénérateur maintenue à 116°C par le rebouilleur E-502, alimenté en vapeur d'eau à 3,45 bars et 148°C.

La vapeur composée principalement de CO₂ et de vapeur d'eau, située en haut du régénérateur, quitte la colonne à 107°C, est refroidie à 50°C dans le condenseur de tête E-501, puis accumulée dans le ballon gaz acide G-502 où la partie CO₂ est rejetée. Le liquide est pompé vers le bas du régénérateur par la pompe J-506.

La solution pauvre de MEA passe par les échangeurs E-503 A et B pour être refroidie à 69°C, puis par l'une des pompes J-503 ou J-504 pour augmenter sa pression à 63 bars. En exploitation normale, la pompe J-503 est utilisée, avec la J-504 en secours en cas de chute de pression de la vapeur. La solution est ensuite refroidie à 38°C dans l'échangeur E-504 avant d'entrer dans l'absorbeur.

Un système de double filtration est en place pour éviter l'accumulation d'impuretés solides dans la solution de MEA, prévenant ainsi le moussage dans l'absorbeur et le régénérateur. Environ 84% de la solution refroidie est filtrée en continu par le filtre à charbon P-501, entouré de filtres à cartouche pour une protection optimale. [6]

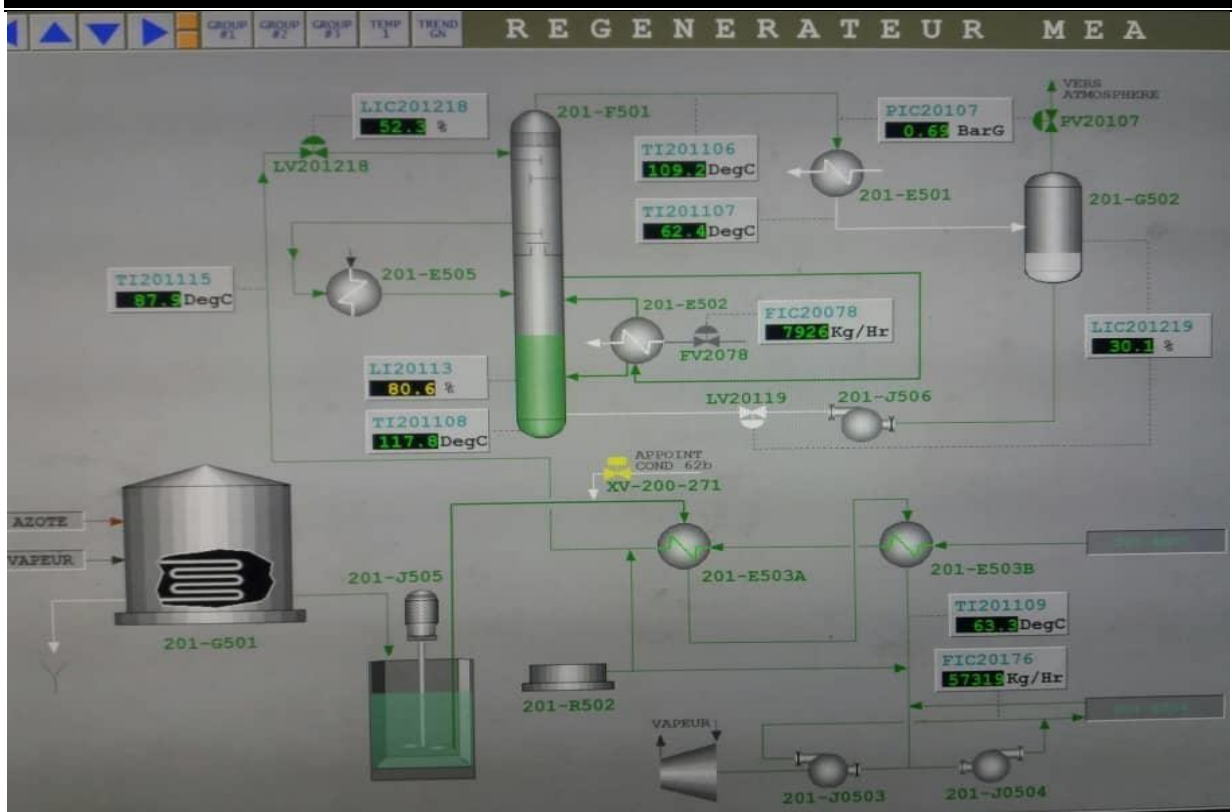


Figure 4: Procédé de régénération de MEA

Conclusion

Le complexe GL1/Z, l'une des plus anciennes installations de liquéfaction de gaz naturel en Algérie, est constitué de multiples zones et départements dédiés à la production et à la commercialisation de produits finis à l'échelle mondiale.

L'objectif principal de ce complexe est de liquéfier le gaz naturel afin de réduire son volume, faciliter son transport, diversifier les sources d'énergie et renforcer la sécurité énergétique du pays. En tant que l'un des principaux complexes de l'industrie des hydrocarbures, il joue un rôle crucial dans l'économie nationale en générant d'importants revenus en devises.

**Chapitre II : *Description de la
problématique***
Section de décarbonatation

INTRODUCTION

La section de décarbonatation est la principale section du complexe de liquéfaction du gaz naturel, c'est la première unité de traitement par laquelle passe le gaz d'alimentation à son entrée dans le process, elle a un rôle très intéressant, donc elle nécessite l'entretien périodique afin d'assurer le bon fonctionnement des trains qui conduit à la bonne production.

Malgré les efforts déployés pour éviter le dysfonctionnement, mais le processus se heurte plusieurs problèmes au niveau de cette section, spécialement dans les équipements de base tels que le problème de l'encrassement de l'échangeur E-504, causé par le problème de cavitation de la pompe MEA J-503.

De ce fait, on va étudier ces problèmes-là, espérant trouver des solutions adaptées peuvent réduire les conséquences de ces problèmes sur la production et l'obtention d'un bon rendement.

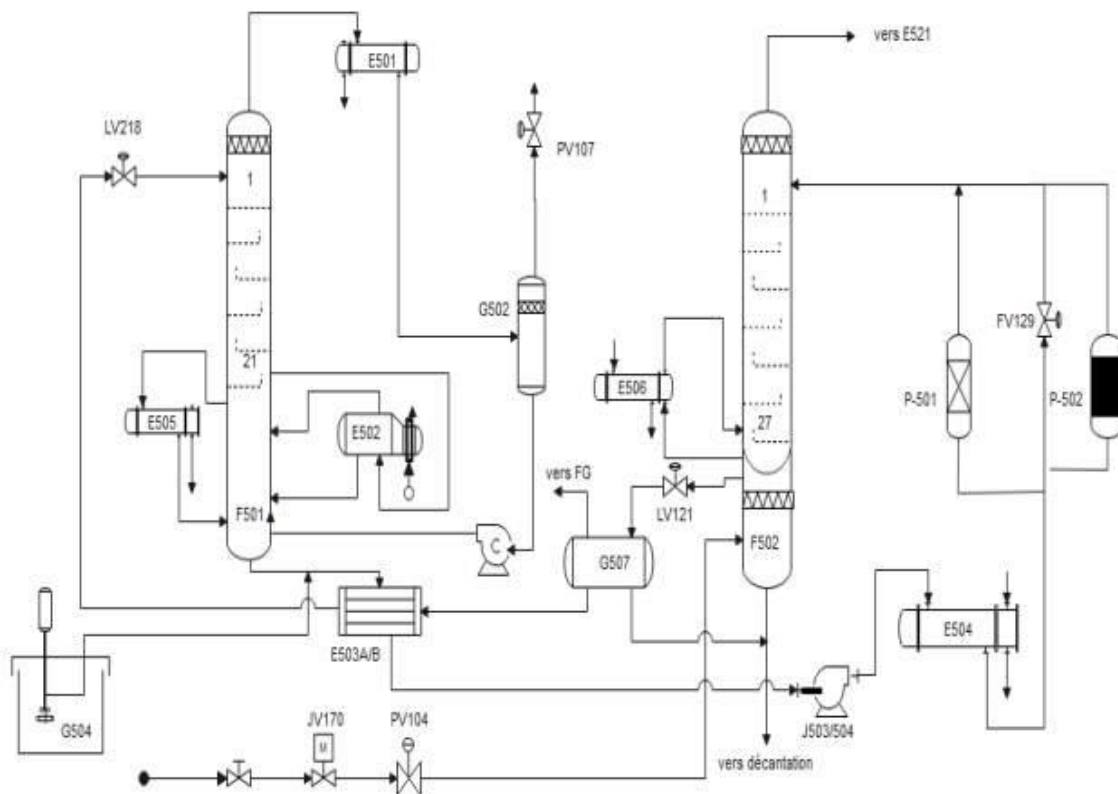


Figure 5: schéma de la section de décarbonatation.

II. Equipements de la section de décarbonation et leurs caractéristiques

II.1.1. Absorbeur de MEA F-502

C'est une colonne d'absorption où le gaz CO_2 est absorbé par la solution MEA diluée entre 12 et 15% sous pression de 42 bars et une température de 38 °C, elle contient 27 plateaux (l'installation de système de lavage nécessite la suppression de deux plateaux dans la tête). [7]

II.1.2. Régénérateur F-501

La colonne de régénération contient 21 plateaux, où on élimine le CO_2 de la solution MEA par ébullition du MEA riche en CO_2 , cette opération nécessite des conditions spécifiques qui sont une pression de 1,7 bar, et une température de fond égale à 116°C. [7]



Figure 6: régénérateur F-501

II. 1.3. Pompe MEA-J503/504

Est un équipement crucial pour le fonctionnement de la section de décarbonation, elle contient 6 étages (impulser), la pompe de solution de MEA, X01-J503 ou J-504 (les deux pompes travaillent alternativement) refoule la solution pauvre en CO_2 à une pression de 53 bar dans le refroidisseur de solution MEA. [7]



Figure 7: pompe MEA-J503

II. 1.4. Echangeur E-503 A et B

Cet échangeur assure le transfert de chaleur entre la solution de MEA riche en CO₂ (froide) et la solution de MEA pauvre (chaude), la température d'entrée côté tubes MEA riche est de 42°C avec une pression de 6 bars, la température d'entrée côté calandre MEA pauvre est de 116°C et sa pression est de 1,7 bar. [7]



Figure 8: échangeur E-503 A et B

II. 1.5. Rebouilleur E-502

C'est un échangeur thermique permet de chauffer la MEA riche de température 116°C en utilisant la pression de vapeur 3,45 bar et 148°C. [7]

II. 1.6. Condenseur de tête E-501

Est un échangeur thermique (tube /calandre), ou les produits de tête du régénérateur entrent dans la calandre à une température de 107°C et il se refroidit à l'eau de mer au environ de 69°C, la pression de service est de 1,7 bar. [7]

II. 1.7. Echangeur E-504

C'est un échangeur de chaleur assure le refroidissement de la MEA pauvre de 72°C à 38°C par l'eau de mer à une température ambiante et une pression de 2,7 bar [7]



Figure 9: échangeur E-504

II. 2. L'échangeur thermique E-504

II. 2.1. Définition de l'échangeur de chaleur

Echangeur de chaleur élément clef des systèmes énergétiques, est un dispositif qui permet le transfert de chaleur d'un fluide chaud vers un autre fluide froid sans les mélanger, à travers une paroi sans contact entre les deux fluides.

Dans le cas d'un système de chauffage ou de production d'une eau chaude, un premier fluide dit « chauffant », considéré comme le fluide primaire, sert à chauffer le fluide secondaire. [8]

II. 2.2. Les différents types d'échangeurs thermiques

Le fonctionnement d'un échangeur thermique se fait grâce à deux principaux dispositifs :

- ✓ Les plaques
- ✓ Les tubes

Il existe d'autres, comme les échangeurs thermiques à ailettes, à bloc ou encore à spirales. Cependant, pour les systèmes de chauffage ou d'eau chaude des logements, ce sont surtout ceux à plaques et ceux munis de tubes qui sont principalement employés. De plus, les échangeurs thermiques ne fonctionnent pas tous avec la même nature de fluide.

[8] Ils peuvent donc être de type :

- ✓ Eau/eau
- ✓ Vapeur d'eau/eau
- ✓ Huile/eau
- ✓ Eau/air
- ✓ Huile/air
- ✓ Air/air

II. 2.3. L'échangeur thermique à plaques

Dans le cas de l'échangeur thermique à plaques, les fluides se déplacent de chaque côté des plaques, qui sont généralement ondulées. Ce type d'échangeur thermique est fréquemment employé car il est très performant. On le trouve dans les climatisations, les réfrigérateurs ou encore dans les chaudières, pour la production d'eau chaude sanitaire. [8]

Les plaques utilisées dans ce dispositif peuvent être :

- ✓ A joints
- ✓ Soudées
- ✓ Brasées
- ✓ Assemblées par fusion

Pour chaque type, il est primordial que l'étanchéité entre chaque plaque soit maximale afin que les fluides de différentes températures ne se mélangent pas. Ici, ce sont les plaques qui vont servir de conducteur de chaleur, elles sont fabriquées dans l'un des matériaux cités précédemment.

L'échangeur thermique à plaques peut donc disposer d'un système eau/eau, mais aussi air/air, comme c'est le cas pour certains systèmes de ventilations mécaniques contrôlées (VMC). Dans cet exemple, l'échange thermique se fait à courant croisés. [8]



Figure 10: échangeur à plaques

II. 2.4. L'échangeur thermique tubulaire

L'échangeur thermique tubulaire, ou multitubulaire, se compose de nombreux tubes qui sont utilisés pour échanger de la chaleur entre deux fluides qui circulent à l'intérieur et à l'extérieur de ces tubes. Les fluides peuvent être des liquides, des gaz ou une combinaison des deux. Les tubes sont disposés dans une enveloppe (calandre) qui contient également l'un des fluides, les tubes peuvent être droits ou courbés en forme de U ou de serpentin pour maximiser la surface d'échange de chaleur.

Les échangeurs tubulaires sont utilisés pour le chauffage, le refroidissement ou la régulation de la température des fluides

En effet, l'objectif principal de cet échangeur est la récupération de chaleur sur liquides ou gaz. Ce type d'échangeur est caractérisé par sa résistance à la pression élevée ce qui le rend le plus présent dans les installations thermiques industrielles. [9]

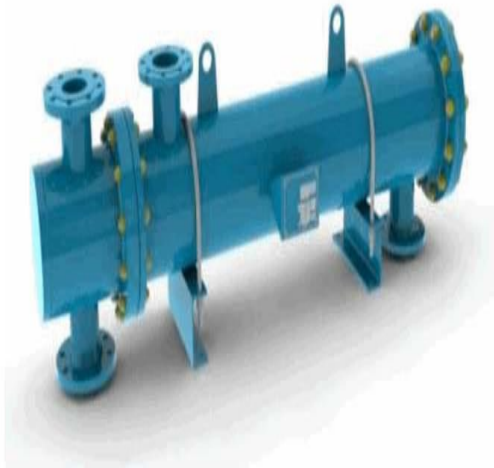


Figure 11: échangeur tubulaire

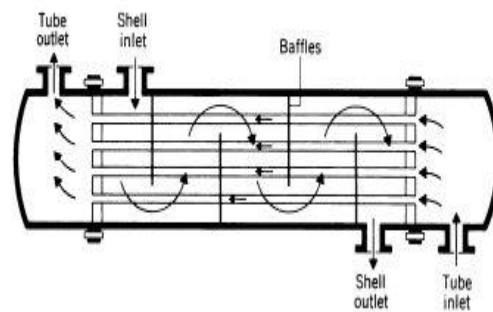


Figure 12: Schéma de principe d'un Échangeur tubulaire

II. 2.5. Autres types d'échangeurs

- ❖ L'échangeur tube à ailettes : sert principalement à refroidir ou réchauffer des fluides grâce à du gaz, ou inversement. Avec récupération de l'énergie fatale. [9]

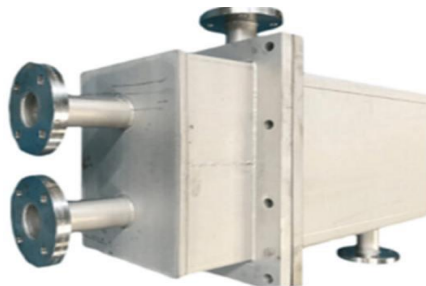


Figure 13: échangeur tube à ailettes

- ❖ **L'échangeur WEPLEX (plaques soudées et larges canaux) :** consiste en une série de fines plaques d'inox soudées entre elles dans lesquelles ont fait passer le fluide caloporteur et entre lesquelles on fait passer le produit à traiter.



Figure 14: échangeur WEPLEX

- ❖ **L'échangeur avec faisceau de plaques :** cet appareil se compose d'une calandre cylindrique ou parallélépipédique dans laquelle se trouve un faisceau de plaques soudées.

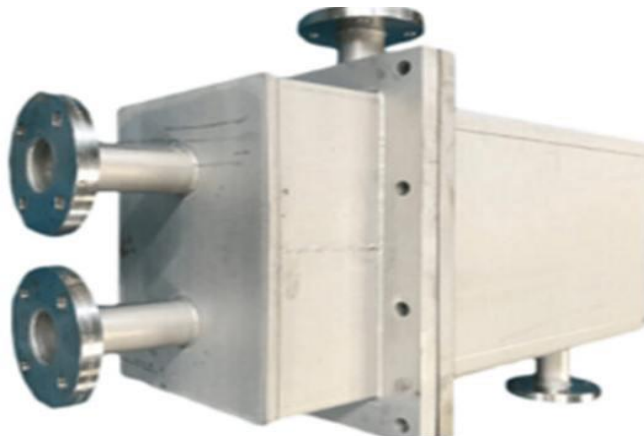


Figure 15: échangeur avec faisceau de plaque

- ❖ **L'aéroréfrigérant :** c'est un dispositif permettant d'étendre de l'énergie thermique d'un fluide interne vers l'air extérieur. Il est composé d'une surface d'échange et d'un moyen de ventilation.



Figure 16: l'aéroréfrigérant

II. 3. Description et rôle de l'échangeur E-504 dans le complexe GNL1

La solution de la MEA pauvre, débarrassée de CO₂, quitte le puisard du régénérateur de MEA F-501 à une température de 116°C et une pression de 1,7 bars puis passe par la calandre de deux échangeurs de solution de MEA, E-503 A et B où sa température diminue jusqu'à environ de 71°C par échange de chaleur avec la solution riche venant de l'absorbeur F-502.

La solution pauvre passe de l'échangeur E-503 à l'aspiration de la pompe J-503 ou 504, cette pompe refoule la solution de MEA pauvre dans l'échangeur E-504, où la température de la solution est réglée au moyen d'eau de mer comme agent de refroidissement au environ de 40°C. L'échangeur E-504 est un échangeur thermique tubulaire (faisceaux calandre) qui est placé horizontalement, l'eau de mer passant côté tubes et la solution MEA pauvre passant côté calandre. [10]

L'échangeur E-504 est caractérisé par :

- Les tubes :
 - ✓ Nuance : 70-30 CuNi.
 - ✓ Nombre de tubes : 410 tubes.
 - ✓ Diamètre extérieur $\frac{3}{4}$ in BWG12.
 - ✓ Longueur : 6,096 m.
 - ✓ Nombre de passes : 02.
- La calandre :(en acier de carbone)
 - ✓ Diamètre extérieur : 63,5 cm.
 - ✓ Couvercle de la calandre avec tête flottante.
 - ✓ Nombre de passes : 01.
- Boite de distribution : en acier de carbone.



Figure 17: l'échangeur E-504.

Tableau 3 : Refroidisseur de la solution MEA E-504

Constructeur		
Données	coté tube	coté calandre
Fluide	Solution de MEA à 15 pauvre	eau de mer
Position	Horizontal	Horizontal
Nombre de passage	1	2
Pression nominale	50 bars	1.7 bars
Température nominal	72°C	20°C
Métal	Acier au carbone	Acier au carbone

II. 4. Les problèmes de l'échangeur E-504

II. 4.1. Historique de la problématique

Depuis plusieurs années, l'échangeur E-504, dans la section de décarbonation, est exposée à plusieurs problèmes qui se répètent plusieurs fois et dans des laps de temps de plus en plus rapprochés. Le tableau 4 donne quelques exemples des problèmes liés à cet équipement lors De ces dernières années [7]

Chapitre II : Description de la problématique section de décarbonation

Tableau 4: Historique des problèmes liés à l'échangeur E-504.

Date	Problèmes	Remèdes
12/ 04/2012	Bouchage important des tubes par les dépôts	Nettoyage à l'eau HP Nettoyage chimique
11/10/2013	Présence de dépôt sur les anodes sacrificielles	Grattage d'anodes sacrificielles
	Un (1) tube fuyard sur 1 ^{ère} passe	Fixation de tube fuyard par soudure
25/03/2014	Dégradation de peinture coté calandre et couvercle de la tête flottante	Application de la peinture sakafen
	Corrosion des boulons de fixation , ligne sortie EDM	Changement des boulons de fixation, ligne sortie EDM
25/05/2015	La ligne d'entrée d'eau de mer est complètement corrodée	Changement la ligne d'entrée de eau de mer
03/04/2016	La paroi de la boite est couverte d'une solution gélatineuse (mélange EDM avec la solution MEA°	Nettoyage la paroi de boite couverte avec un chiffon
15/08/2017	La température de sortie de MEA est élevée	Augmentation de débit d'EDM
	Tube fuyards au niveau de l'entrée d'eau de mer	Fixation les tubes fuyards par la soudure
23/08/2018	Consommation excessive de MEA l'analyse de l'eau de mer du refroidisseur au laboratoire confirme la présence de MEA	Réparation des tubes perforés pour éviter la fuite du MEA
17/ 11 /2019	Présence de crevasses de corrosion niveau de la boite distribution	Sablage des boites de distribution et application de la peinture protectrice
23/09/2020	Importantes fuites des tubes à intérieure de l'échangeur E-504	Réparation des tubes fuités

Après avoir analysé les incidents liés à l'échangeur E-504 à différentes dates, il est clair que la majorité des problèmes proviennent de l'érosion et l'encrassement des tubes et la tête flottante de cet équipement.

Cela s'explique par la possibilité de formation des dépôts de sels à cause de la température élevée de la solution MEA du côté de la calandre qui peut entraîner un problème d'ébullition de l'eau de mer du côté du tube, ce qui provoque un colmatage de la plaque tubulaire.

De plus il faut noter que la pompe envoie une solution MEA à une pression élevée de 63 bars et à une température élevée de 116 °C vers l'échangeur E-504. Ces conditions provoquent une érosion des tubes et de la tête flottante, entraînant un colmatage important sur la plaque tubulaire. L'historique de l'échangeur E-504 révèle que les problèmes d'érosion sont récurrents et se manifestent sur la surface extérieure des tubes, conduisant à leur perforation.

II.4.2. Problème de l'encrassement

L'échangeur E-504, situé dans la section de décarbonatation du complexe GL1/Z, rencontre plusieurs problèmes qui affectent son fonctionnement et sa performance. Parmi les plus importants, on peut citer :

- **Dépôts** : L'accumulation de dépôts, principalement composés de sels de calcium et de magnésium, sur les parois internes des tubes réduit le débit et l'efficacité du transfert de chaleur.



Figure 18: Dépôt de tartre formé sur les faisceaux tubulaires de l'échangeur

- **Corrosion** : L'eau de mer utilisée côté tubes est corrosive et peut attaquer le métal, fragilisant l'échangeur et provoquant des fuites.



Figure 19: corrosion de la boîte de distribution de l'échangeur E-504

- **Bio-encrassement** : La prolifération de micro-organismes dans l'eau de mer peut également contribuer à l'encrassement.

II. 4.3. Dégradation des performances

- **Baisse du coefficient de transfert de chaleur** : L'encrassement et la corrosion réduisent la capacité de l'échangeur à transférer la chaleur entre l'eau de mer et la solution de MEA.
- **Augmentation de la perte de charge** : L'encrassement des tubes augmente la résistance à l'écoulement de l'eau de mer, ce qui nécessite une puissance de pompage plus importante.
- **Diminution de la production de gaz naturel liquéfié (GNL)** : La baisse des performances de l'échangeur E-504 affecte la capacité de la section de décarbonatation à traiter le gaz naturel, réduisant ainsi la production de GNL.

II. 4.4. Risques d'arrêts non planifiés

- **Fuites** : La corrosion peut fragiliser l'échangeur et provoquer des fuites de solution de MEA, ce qui peut entraîner des arrêts de production pour réparation.
- **Défaillances mécaniques** : L'encrassement et la corrosion peuvent également causer des défaillances mécaniques des tubes ou d'autres composants de l'échangeur.

II. 4.5. Difficultés d'inspection et de maintenance

- **L'accès difficile à l'échangeur** : L'emplacement de l'échangeur E-504 rend son inspection et sa maintenance difficiles et coûteuses.
- **Risques pour la sécurité** : L'intervention sur l'échangeur peut exposer les personnels à des risques chimiques et électriques.

II. 5. Les causes du mauvais transfert de chaleur du refroidisseur E-504

Le mauvais transfert de chaleur du refroidisseur E-504 est dû aux causes suivantes :

- Débit d'eau de mer insuffisant de refroidissement.
- Présence des dépôts sur la paroi intérieure des tubes d'échangeur.

- Dégradation de la surface externe des tubes d'échangeur.

Les fuites et la corrosion sur les tubes et la boîte de distribution d'échangeur et ça c'est le phénomène le plus courant au niveau de complexe GL1/Z

II. 6. Conséquences sur la pompe j-503

II. 6.1. Phénomène de cavitation

La cavitation est la formation de microbulles de gaz dans une solution liquide. Ces bulles augmentent progressivement de volume sous l'effet de la température et peuvent impacter le fonctionnement de la pompe J-503.

II. 6.2. Causes probables de la cavitation dans la pompe J-503

II. 6.2.1. Endommagement du clapet anti-retour

Le clapet anti-retour, une soupape en forme de couvercle à charnière, empêche le fluide de revenir à contre-courant. Dans la section de décarbonation, il protège la pompe J-503 de la cavitation. S'il est endommagé, il peut laisser passer le gaz à haute pression de la colonne d'absorption F-502 vers la pompe, en raison de la faible pression de la MEA (pauvre) provenant du régénérateur F-501. Cela peut causer la cavitation.

II. 6.2.2. Corrosion de l'échangeur E-503 A/B

La solution MEA (riche) peut corroder et perforer les tubes de l'échangeur E-503 en raison de la présence de dioxyde de carbone. Cela peut créer un contact direct entre les solutions MEA riche et pauvre. Lorsque le niveau du ballon de flash G-507 diminue, la solution peut amener du gaz naturel vers l'échangeur E-503. Ce gaz peut fuir dans les tubes à cause de sa forte pression par rapport à la pression du côté calandre. Cela entraîne une fuite de gaz naturel avec la solution MEA (pauvre) vers la pompe, provoquant la cavitation.

II. 4.2.3. Evaporation de la solution MEA

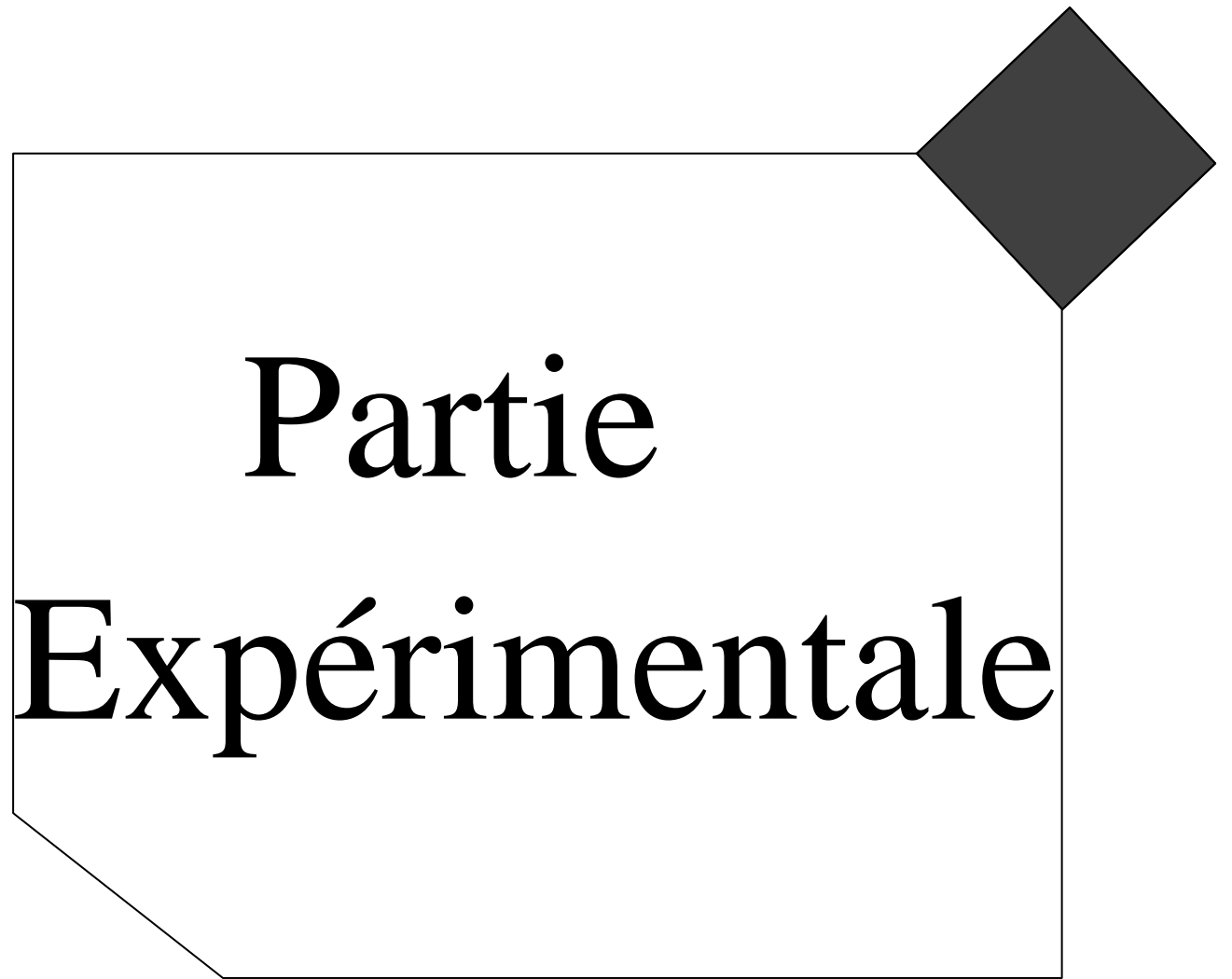
La turbopompe J-503 est essentielle au démarrage du processus de décarbonation, lors d'un démarrage normal les conditions de fonctionnement sont contrôlées pour éviter la cavitation, mais en cas de démarrage accidentel les conditions ne sont pas optimales et la pompe s'arrête automatiquement pour stopper le flux de solution MEA pauvre vers l'absorbeur F-502, la vanne LV121 se ferme pour maintenir le niveau de solution dans l'absorbeur, la solution MEA chaude est alors aspirée directement par la pompe, ce qui cause une cavitation subite ou une dilatation des impulsers, menant à un blocage immédiat de la pompe.

II. 4.2.3. Conséquences de la cavitation :

- **Érosion des composants de la pompe :** Les bulles de gaz implosent violemment, ce qui peut éroder les composants internes de la pompe, réduisant sa durée de vie et son efficacité.
- **Bruit excessif :** La cavitation peut générer un bruit excessif et des vibrations dans la pompe.
- **Perte de performance :** La cavitation peut réduire le débit et la pression de la pompe, affectant la production de l'unité.

Conclusion

La section de décarbonatation est cruciale dans le traitement du gaz naturel, elle nécessite l'entretien d'une façon périodique afin d'assurer le bon fonctionnement des trains et donc la bonne production. Malgré les efforts faits pour éviter ce dysfonctionnement, mais le processus reste toujours menacé par plusieurs problèmes qui surviennent au niveau de cette section, plus précisément dans les équipements de base tels que le problème de l'érosion de l'échangeur E504 qui conduit à un mauvais transfert de chaleur à cause de la pression élevée de la MEA. C'est ce qu'on va étudier dans notre mémoire afin d'arriver à des solutions adaptées peuvent réduire les conséquences de ces problèmes sur la production du GNL et l'obtention d'un bon rendement.



Partie

Expérimentale

Chapitre III : *Simulation*
d'une partie de la section de
décarbonatation

INTRODUCTION

Lorsqu'on reçoit une unité de production chimique, la simulation joue un rôle essentiel. Grâce à cette simulation, on peut analyser et optimiser les processus, prédire les performances et ainsi minimiser les risques. Cette méthode s'avère capitale pour assurer la sécurité, l'efficacité et la rentabilité de l'unité de production.

Le développement de l'informatique, en utilisant comme outil des logiciels de simulation dans nous permet de résoudre des problèmes dont les calculs sont longs et fastidieux d'un côté, et d'anticiper par extrapolation certains obstacles technique, pouvant subvenir au cours de ce processus.

Les simulateurs de procédés permettent d'établir aisément et avec rigueur les bilans matière et énergie pour ce type de process, ils peuvent créer un modèle virtuel de l'unité, en prenant en compte les réactions chimiques, les flux de matières et d'énergies.

Dans ce chapitre, nous simulerons une partie de la section de décarbonatation actuelle en utilisant le simulateur industriel Hysys, avec les conditions du design et en temps réel lors du fonctionnement normal et en cas de dysfonctionnement.

III. 1.Objectif et méthodologie

Cette étude vise à résoudre le problème qui est lié à la section de décarbonatation au niveau de l'unité de traitement de gaz naturel liquéfié, dans le but de réduire les arrêts fréquents qui surviennent au niveau de cette section à cause de l'érosion et l'encrassement de l'échangeur E-504.

On espère arriver par cette contribution à des conditions opératoires optimales aux caractéristiques techniques de l'échangeur afin d'assurer le bon fonctionnement sans les défaillances connues.

Pour ce faire, nous allons simuler une partie de la section de décarbonatation afin de vérifier la convenance des paramètres de fonctionnement. [11]

III. 2.Généralités sur la simulation

Le développement de l'informatique dans le domaine de la simulation, nous permet de résoudre le problème de calcul manuel long, en utilisant comme outil des logiciels de simulation. Les simulateurs existants tels que Aspen Plus, ChemCAD, Hysim, Hysys, Pro-II sont les plus vendus et qui deviennent de plus en plus indispensables pour concevoir de nouvelles unités et pour optimiser les procédés industriels qui fonctionnent parfois loin de leur optimum.

Cela dit, le simulateur HYSYS est l'un des plus performants logiciels de simulation utilisé par SONATRACH. [11]

III. 3. Définition de la simulation

La simulation est définie comme étant la représentation d'un phénomène physique ou chimique à l'aide de modèles mathématiques simples permettant de décrire son comportement. C'est une série de calculs effectués sur un ordinateur en reproduisant un phénomène, elle aboutit à la description du résultat de ce phénomène, comme s'ils étaient réellement déroulés. [11]

III. 4. Types de simulation

On peut distinguer principalement deux types de simulation dans le cas des procédés chimiques la simulation statique (steady state) et la simulation dynamique (dynamic state).

- ❖ **La simulation statique** : la simulation statique d'un procédé vise à définir les propriétés des flux (débit, température, fraction vaporisée, etc...) ainsi que les bilans matière et d'énergie en régime stabilisé.
- ❖ **La simulation dynamique** : la simulation dynamique d'un procédé vise à définir les propriétés des courants en fonction du temps, pendant des situations transitoires ou le régime n'est pas stable.

III. 5. Présentation du logiciel Hysys

C'est un logiciel créé et développé par HYPROTECH et repris par 'Aspen technologie'. Il est utilisé dans notre cas un outil de modélisation des processus, il est le leader du marché pour la conception, l'optimisation, la planification d'entreprise, la gestion d'actifs et de suivi des performances de production de pétrole et de gaz, de traitement du gaz, du raffinage du pétrole. Il se présente comme un logiciel de simulation statique et dynamique des procédés (colonne de distillation, échangeur de chaleur, réacteur, colonne d'absorption...).

Ce logiciel est très utilisé dans l'industrie pour le dimensionnement, la simulation et l'évaluation économique des procédés, il permet le développement du modèle de processus selon les lois conservatrices de l'équilibre de masse et d'énergie.

III. 5.1. Principales caractéristiques d'Aspen Hysys

Le logiciel HYSYS comme tous les logiciels de simulation a des caractéristiques qui le distinguent des autres, tel que :

- Facile à utiliser et donne des résultats fiables,
- Toutes les applications nécessaires sont utilisées dans un environnement de simulation commun,
- Il intègre la possibilité d'une modélisation dans un état stable ou stationnaire et en régime dynamique.

- On peut automatiser différentes tâches dans Hysys sans avoir besoin d'un autre programme.
- Le simulateur Hysys combine le calcul interactif avec un accès instantané à l'information.
- Les calculs des propriétés thermodynamiques s'effectuent instantanément et automatiquement dès qu'une nouvelle information est disponible.

III. 5.2. Les étapes d'utilisation du logiciel Hysys

Pour réaliser une simulation en Hysys, les pas suivants sont nécessaires :

- 1) Choix des composés

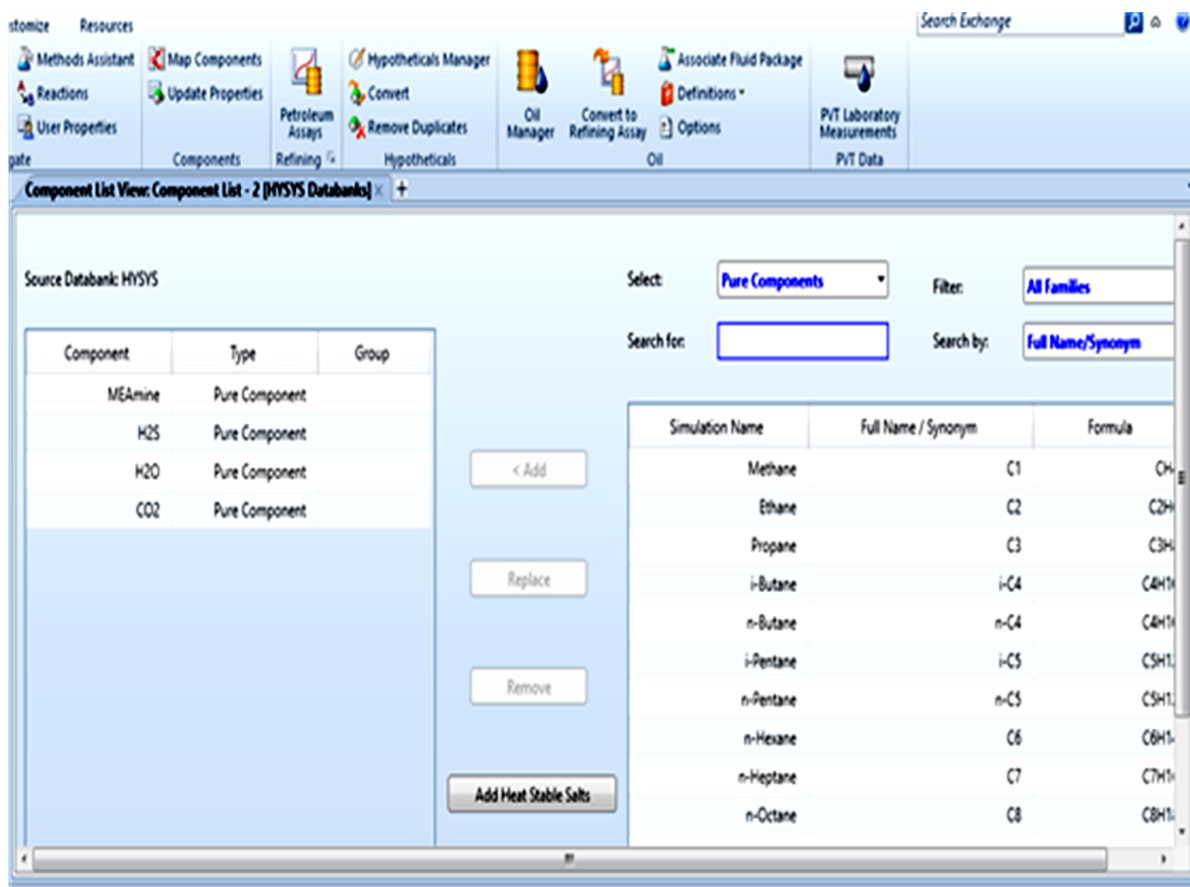


Figure 20: les choix de composant dans logiciel hysys v11

- 2) Sélection d'un modèle thermodynamique.

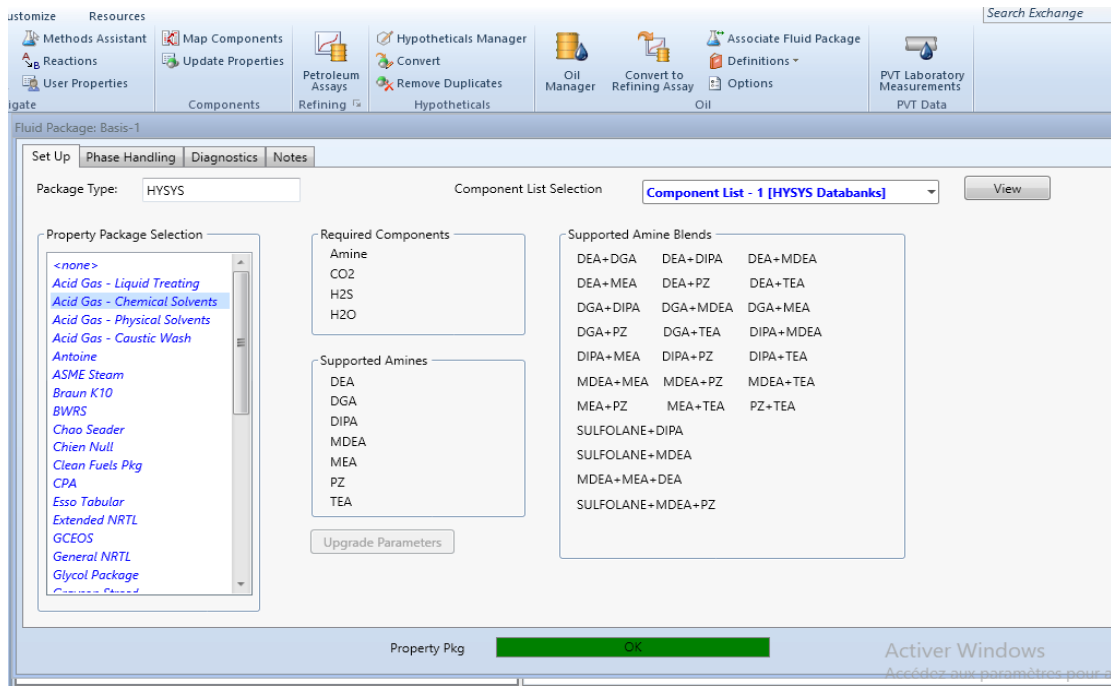


Figure 21: choix de modèle thermodynamique .

- 3) Construction du PFD.
- 4) Spécification des courants et des unités.

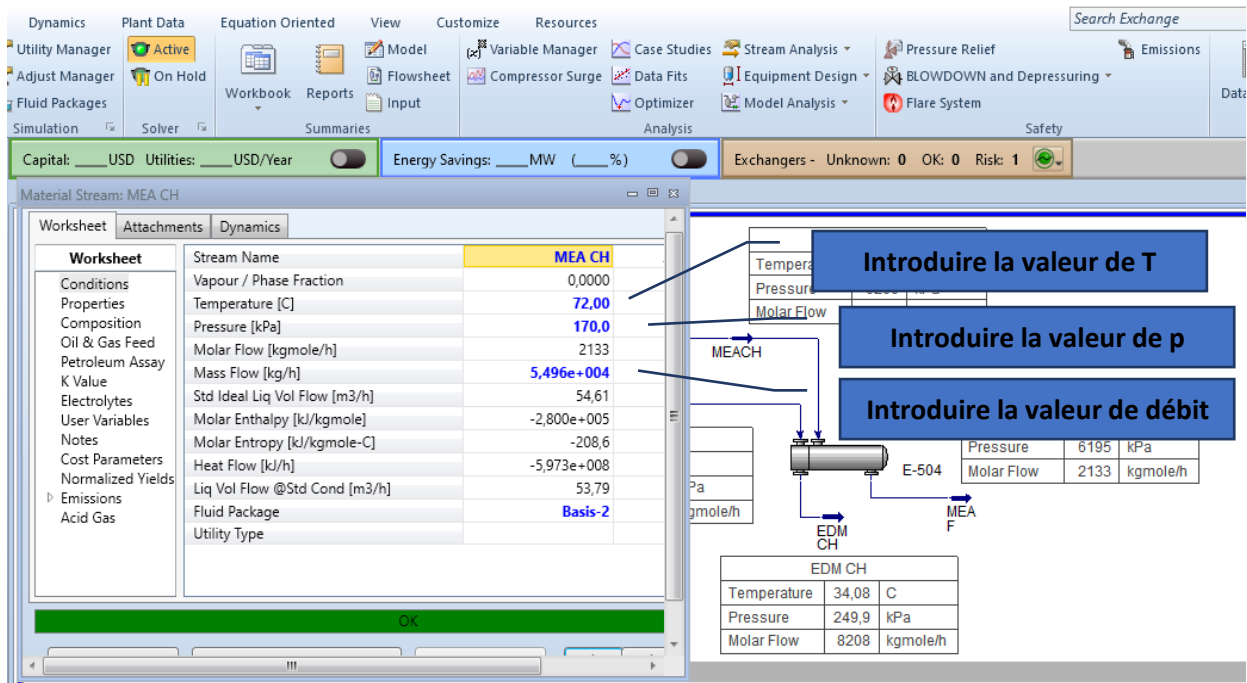


Figure 22: Rubrique représentative de spécification de courant de matière convergé en Hysys

- 5) Exécution du programme de simulation.
- 6) Interprétation des résultats.

III. 6. Choix de modèle thermodynamique

Afin de simuler et calculer les paramètres de la section de décarbonatation, notamment le point de bulle de la solution MEA, ses enthalpies et ses propriétés physicochimiques, nous avons opté pour le modèle thermodynamique Acid Gas - Chemical Solv. Ce modèle particulier a été choisi pour sa prédiction fiable des propriétés d'absorption du dioxyde de carbone acide par le solvant MEA, ainsi que pour ses caractéristiques fondamentales.

III. 7. Choix de la zone étudiée

La problématique étudiée dans ce travail est l'érosion sévère des tubes de l'échangeur E-504 causé par la haute pression sortie de la pompe j-503 ce phénomène conduit à des arrêts des trains de production. De ce fait, on va étudier une partie du procédé de décarbonatation dans l'objectif de générer les problèmes de l'échangeur E-504

III. 7.1. La simulation de la zone étudiée

Afin d'étudier tous les cas de figures, la simulation sera faite dans le cas design puis avec les conditions actuelles et en fin en cas d'un démarrage d'accident.

III. 7.2. Simulation avec les condition design

Les conditions design, étant compatibles avec les caractéristiques techniques des équipements, permettent, en cas de simulation, de connaître les paramètres opératoires précis des différents équipements en cas de fonctionnement optimal.

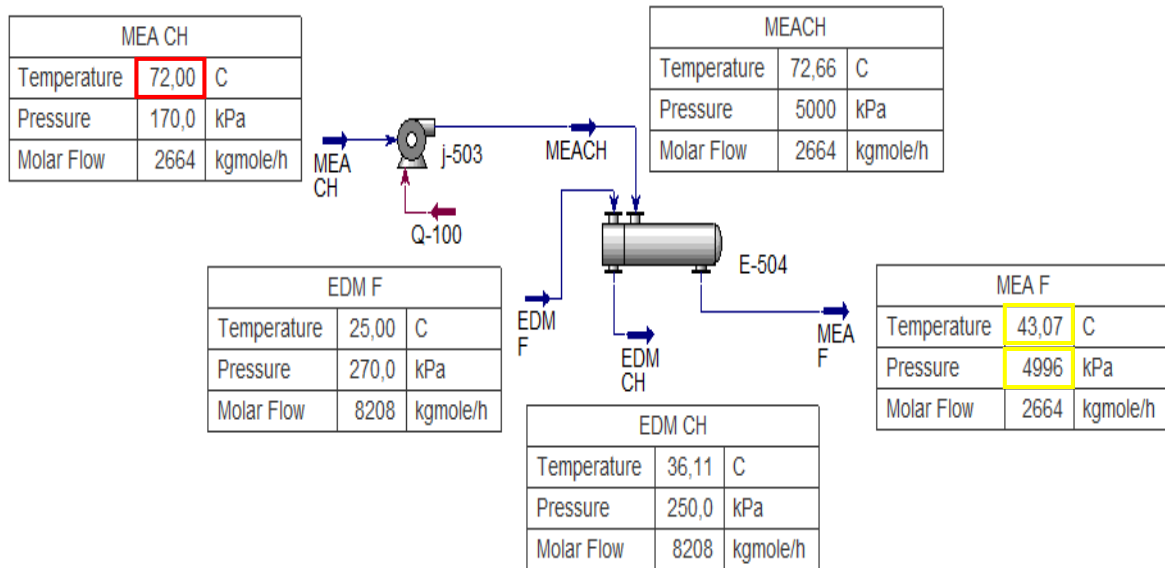


Figure 23: Conception cas design

La simulation, avec les conditions design en amont de l'échangeur E-504, donne, des paramètres de fonctionnement en accord avec les équipements en aval.

III. 7.3. Simulation avec les conditions actuelles

Au fil du temps, l'efficacité des orifices de l'équipement diminue en raison de l'usure par conséquent il devient nécessaire d'ajuster les conditions de conception initiales pour garantir que le produit final conserve ses attributs souhaités.

Néanmoins ces modifications entraînent par conséquent des ajustements de divers paramètres qui doivent être pris en compte lors de la simulation proprement dite

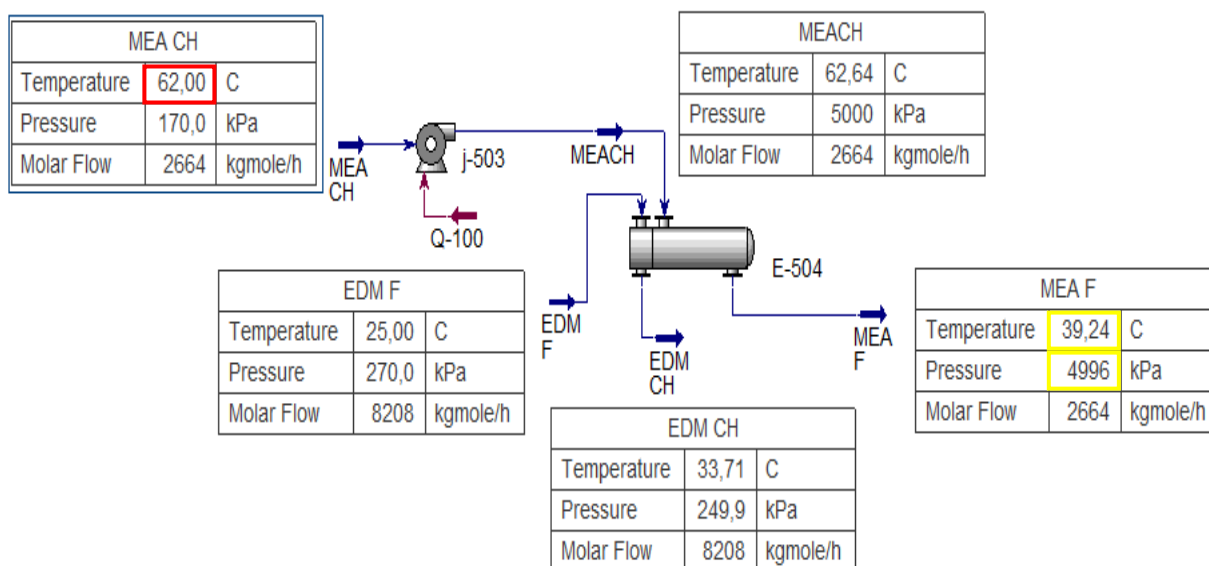


Figure 24: Conception avec les conditions actuelles

Nous constatons que la simulation de la zone étudiée avec les conditions actuelles, donne des résultats conformes au bon fonctionnement des équipements. La température de la MEA à la sortie de l'échangeur, de l'ordre de 40 °C, est dans la gamme [35-45°C] exigée pour l'opération d'absorption du CO₂ dans la colonne F-502.

Remarque importante

Une lecture des résultats de simulation entre le cas design et le cas actuel permet de constater une conformité des conditions opératoires dans les deux cas, malgré les problèmes techniques soulevés au niveau de plusieurs équipements. Cela nous autorise à étudier, correctement, certains problèmes qui surviennent au niveau de cette section.

III. 7.4. Simulation actuelle en cas de démarrage d'accident

Si le tronçon démarre accidentellement, cela provoque une modification des conditions de fonctionnement, ce qui entraîne alors le dysfonctionnement d'un équipement spécifique. Par conséquent, pour empêcher l'écoulement de la solution MEA (riche) de la sortie de l'absorbeur vers l'échangeur E-503, la vanne ou électrovanne LV-121 se ferme automatiquement lorsque l'écoulement de la solution MEA (pauvre) dans l'absorbeur F-502 cesse. Cette fermeture garantit que le niveau de solution dans la colonne est maintenu et que la solution MEA, qui est à une température de 116°C du régénérateur, va directement à la pompe J-503 sans aucun échange thermique entre les solutions pauvres et chaudes dans l'échangeur E-503

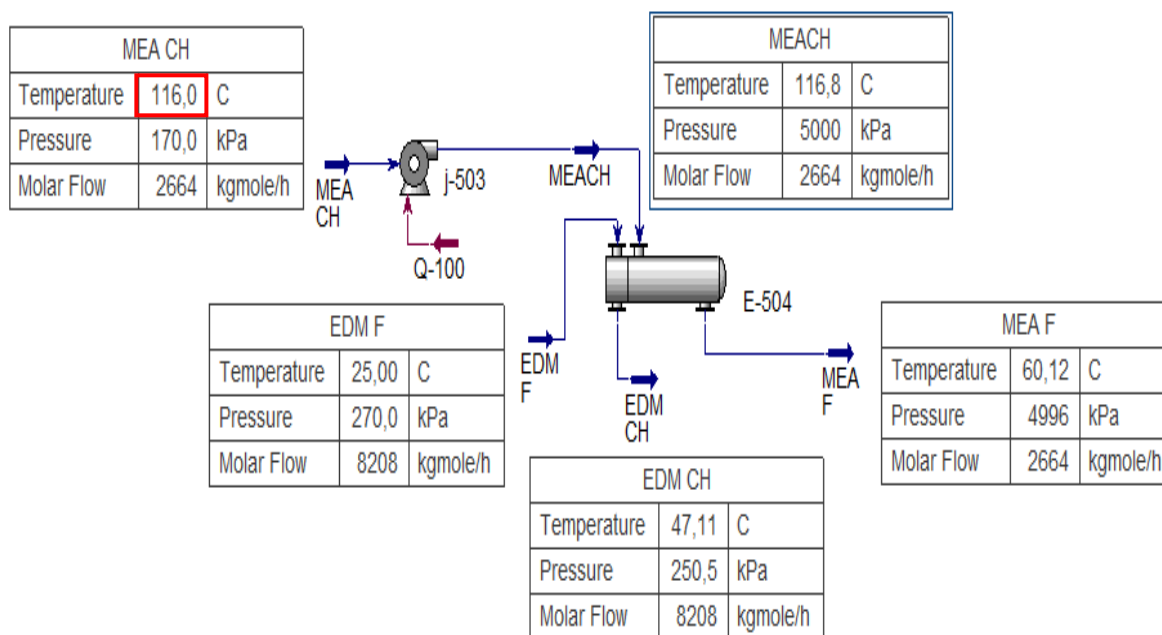


Figure 25: Simulation en cas de démarrage d'accident

Dans ce cas de démarrage d'accident les paramètres se changent et ce changement des conditions opératoires va conduire au dysfonctionnement de plusieurs équipements.

La solution MEA sors du F-501 à une température 116°C, c'est température trop élevée et passe vers la pompe directement sans refroidissement par échange thermique avec la solution froide (pauvre) ce qui nous pose des problèmes de cavitation de la pompe j-503.

III. 8. Les analyses de MEA (pauvre) qui circuit dans l'échangeur E-504

Parmi les analyses qu'ils utilisent au niveau de laboratoire de complexe, il y a les analyses de produits riches ou pauvres en MEA et cela dans le but est suivre la concentration de MEA pauvre (la sortie de l'échangeur) et de savoir s'il y a une perte de concentration de MEA qui entre 12% à 15% dans le cas actuel

III. 8.1. Principe

Cette analyse est basée sur le titrage alcalimétrique par l'intermédiaire de deux indicateurs colorés (phénol phtaléine et indicateur mixte). Cette méthode est simple et directe.

❖ **Mode Opérateur**

A l'aide de l'acide sulfurique (H₂SO₄) ou de l'acide chlorhydrique (HCl) 1N, on dose à pH 8,5 (virage de la phénolphtaléine) les hydroxydes et la moitié des carbonates

A l'aide de l'indicateur mixte a pH 4,5 (virage de l'indicateur) la deuxième moitié des carbonates est dosée

III. 8.2. Préparation des solutions

- H₂SO₄ : prendre 28ml de H₂SO₄ de densité 1,83 et pureté (96-98) % que l'on diluera ensuite dans 1000 cc d'eau
- Phénolphtaléine
- Indicateur mixte
- Solution standard à 10% de CO₂ : Dissoudre 2,275g de KHCO₂ dans 100 ml de MEA à 15% (1ml de cette solution correspondra à 0,1g de CO₂)
- La solution standard de CO₂ sera confectionnée de façon suivante :

Tableau 5: la solution standard de CO₂

Fiole	Volume de standard	G/100 de CO₂
1	0	0
2	10ml	1
3	20ml	2
4	30ml	3
5	40ml	4
6	50ml	5

III. 8.3. Mode opératoire

- Pipeter 5ml d'échantillon, ajouter 20ml d'eau distillée et 3 gouttes de phénolphtaléine puis titrer jusqu'au virage à pH 8,5
- Ajouter 03 gouttes d'indicateur mixte et continuer le titrage jusqu'au virage à pH 4,5

III. 8.4. Calculs

$$\%CO_2 = 0.75 M - (P + b)$$

- P = nombre de ml d'acide 1N coulés pour le virage à pH 8,5
- M = nombre de ml d'acide 1N coulés pour le virage à pH 4,5
- B = le (M-P) du blanc est égale à 0,75 pour une MEA à 15%

$$\%MEA = M \times 6,25$$

III. 8.5. Repère d'échantillonnage
MEA riche T200

Tableau 6: Rapport d'analyses de MEA

Date	MEA	CO ₂	CO ₂ /MEA	Densité	Moussage	couleur
05/02/2024	11,50	1,02	0,12	1,014	+250	L/J
06/02/2024	11,50	0,66	0,08	1,014	+250	L/J
07/02/2024	11,25	0,88	0,11	1,012	210	L/J
11/02/2024	11,88	0,88	0,10	1,015	+250	L/J
12/02/2024	11,25	1,02	0,13	1,012	+250	L/J
13/02/2024	11,88	1,09	0,13	1,018	+250	L/J
14/02/2024	14,38	1,23	0,12	1,018	+250	L/J
18/02/2024	11,88	1,23	0,15	1,012	+250	L/J
19/02/2024	9,38	0,88	0,13	1,018	+250	L/J
20/02/2024	13,13	1,79	0,19	1,015	240	L/J

Après avoir vu quelques analyses effectuées lors de différentes dates, On a remarqué une variation conséquente de la concentration de MEA.

Conclusion

En étudiant le fonctionnement de la section de décarbonatation ainsi que la conception de la zone étudiée, par simulation, nous n'avons constaté aucune anomalie ni dysfonctionnement. En pratique il existe certains problèmes auxquels il faut palier. De ce fait, il serait primordial, de modifier ces conditions anormales, avant qu'elles puissent être en contact avec la pompe. Nous proposons, suite à ce chapitre, une étude sur l'emplacement de l'échangeur E-504, qui est actuellement en aval de la pompe. Nous allons démontrer, que des modifications simples au niveau des installations, peuvent créer une atmosphère idéale pour un fonctionnement optimal.

Chapitre IV :
La solution proposée et
recommandations

INTRODUCTION

Avant de penser à trouver des solutions aux problèmes rencontrés dans l'industrie, on est besoin d'abord de prévenir contre ces problèmes, c'est l'outil la plus importante ce qui permet de réduire les conséquences des dysfonctionnements des équipements et assurer la continuité des divers procédés industriels.

Le but de ce chapitre est d'arriver à des solutions appropriées aux problèmes qui surviennent au niveau de la section de décarbonatation, premièrement nous étudierons les conséquences de la haute pression de la MEA refoulé par la pompe J-503 vers l'échangeur E-504 pour minimiser l'érosion de ses tubes ainsi que la corrosion de sa tête flottante et proposer des solutions adaptées avec les données opératoires actuelles d'autre part nous étudierons le problème de cavitation de la pompe causé par la haute température de la MEA , en proposant des solutions adaptées avec les données opératoires actuelles

Dans notre cas nous avons analysé les données disponibles afin de déterminer les causes principales de ce dysfonctionnement en proposant des solutions adéquates, nous utiliserons la simulation par Hysys dont le but de résoudre le problème de l'érosion de l'échangeur E-504 et en même temps protéger la pompe J-503 de la cavitation.

IV. 1. La résolution du problème par simulation

Le problème de l'érosion des tubes de l'échangeur E-504 est une conséquence des conditions opératoires non adéquates aux caractéristiques de l'échangeur tubulaire utilisé. Dont l'objectif d'éviter le réordonnance de ce problème .il serait obligé de modifier ces paramètres afin qu'elles soient conformes notre but est de trouver le moyen .et aussi nous essayerons de faire quelques changements sur les installations en inversant l'installation de la pompe avec l'échangeur.

Cette solution va permettre au fluide MEA d'entrer à l'échangeur E-504 avec une pression appropriée en évitant les problèmes de l'érosion et l'encrassement, ainsi que la pompe va s'alimenter par un fluide MEA d'une température adéquate.

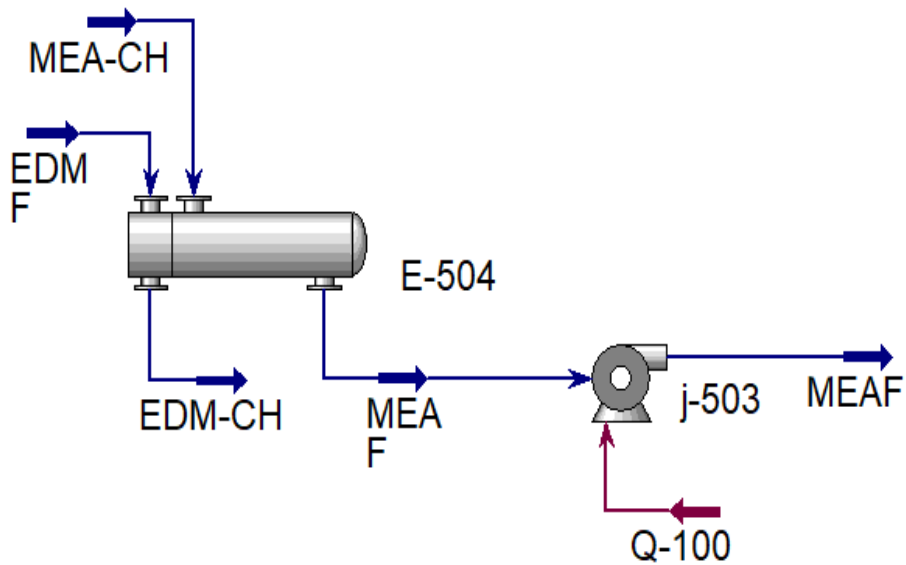


Figure 26: Nouvelle conception proposé

IV. 2. Fonctionnement de la nouvelle conception : cas design et actuel

Pour valider la simulation dans les conditions actuelles, nous commençons par présenter d'abord le cas design puis le cas réel pour notre nouvelle conception.

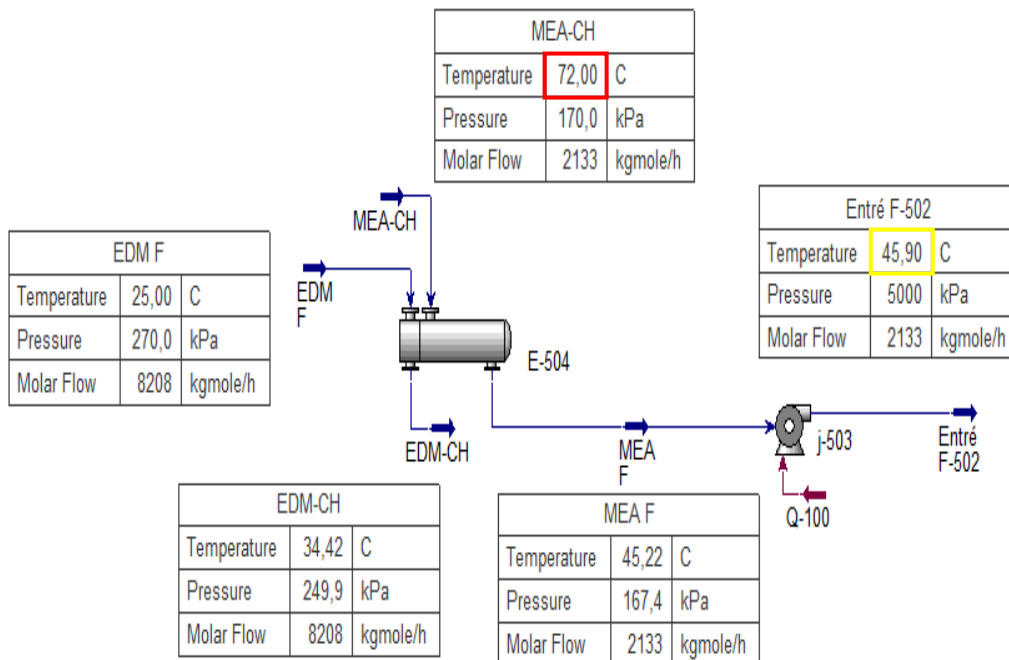


Figure 27: simulation de la nouvelle conception pendant le fonctionnement avec les conditions design

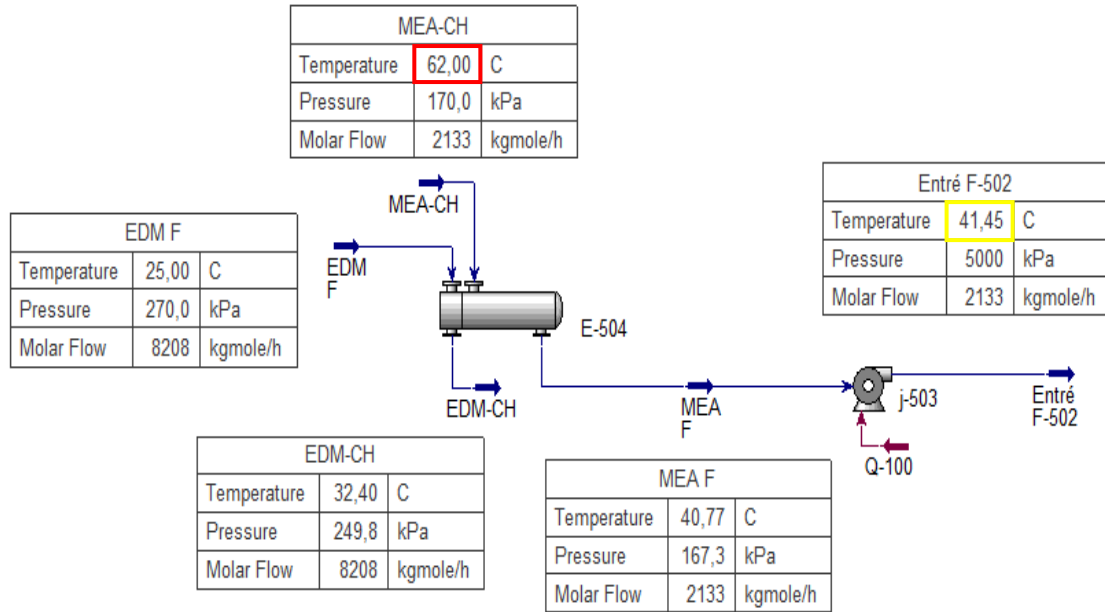


Figure 28: simulation de la nouvelle conception pendant le fonctionnement avec les conditions actuelles

Après avoir modifié le circuit des canalisations entre l'échangeur et la pompe, nous avons constaté que cette modification n'a pas affecté le bon fonctionnement de la section de décarbonatation que ce soit dans le cas design ou le cas actuel.

Il est important de noter que la nouvelle conception a entraîné des changements significatifs dans les paramètres d'alimentation de l'échangeur et de la pompe circuit de tuyauterie par reversement entre l'échangeur et la pompe, Concernant l'échangeur, sa pression initiale de 63 bars est devenue 1;7 bars sans d'autant influencer ses performances. Quant à la pompe, la température de la MEA à l'entrée a été réduite à environ 40°C, une température adéquate pour un fonctionnement normal.

IV. 3. Fonctionnement de la nouvelle conception : cas de démarrage accidentel

Dans cette partie, nous allons simuler la partie étudiée en utilisant la nouvelle conception lorsque nous serons confrontés à un accident au démarrage, cela nous permettra d'observer l'impact des nouveaux paramètres opératoires sur le fonctionnement de l'échangeur.

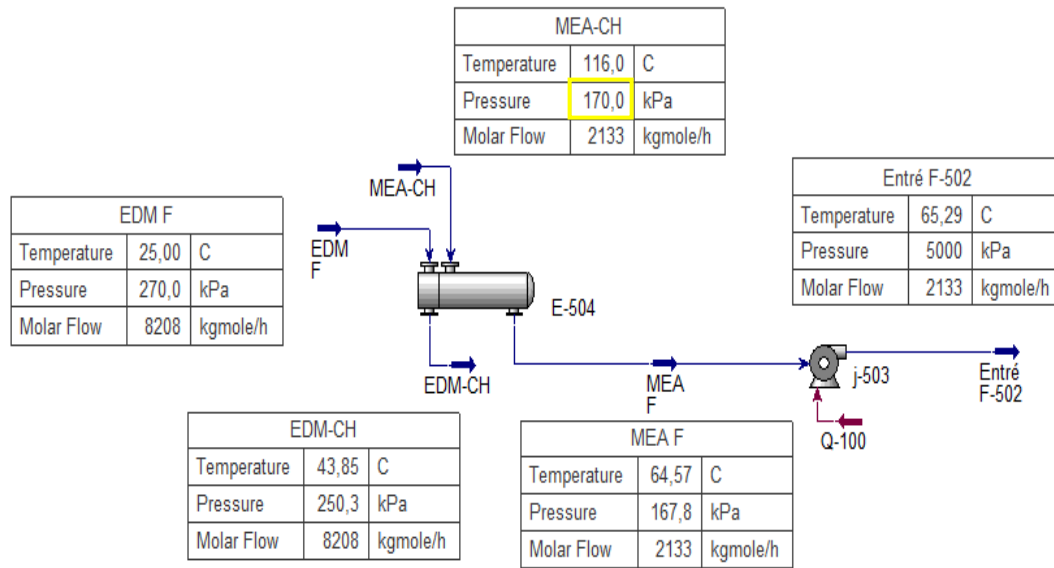


Figure 29: simulation de la nouvelle conception au démarrage d'accident

La nouvelle modification consiste à refroidir la solution MEA en utilisant l'échangeur E-504 avant qu'elle ne soit aspirée par la pompe J-503, la solution MEA va entrer à l'échangeur avec une pression appropriée d'environ 1.7 bars, lors d'un démarrage accidentel. cela diffère de la méthode précédente où la MEA était aspirée par la pompe afin d'augmenter la pression jusqu'à 62 bars puis entre directement à l'échangeur, ce qui est soupçonné d'être la principale cause de l'érosion et l'encrassement des tubes de l'échangeurs et aussi le problème de corrosion de la tête flottante de l'échangeur.

Conclusion

Nous concluons que notre solution proposée est compatible au fonctionnement normal de la section et elle s'adapte même en cas de démarrage accidentel, cela devrait certainement résoudre le problème de l'érosion et l'encrassement qui se produisaient constamment dans l'échangeur E-504. de plus cette conception proposée garantit de protéger la pompe contre le phénomène de cavitation grâce aux nouvelles conditions opérationnelles modérés.

IV. 4. Proposition de modification de l'échangeur

Après avoir simulé virtuellement notre solution en modifiant l'emplacement de l'échangeur E-504 et de la pompe J-503, certaines conditions opératoires ont changé. En particulier, la pression à laquelle était soumis l'échangeur, initialement de 63 bars, est passée à 1,7 bar dans la nouvelle conception, soit une différence notable de 61 bars. Suite à cette constatation, nous proposons de faire modifier le type d'échangeur E-504 (AES) en fonction des nouvelles conditions issues de notre solution.

IV. 4.1. Description de l'échangeur E-504

L'échangeur E-504 est reconnu pour sa capacité à supporter la haute pression de la pompe J-503 en raison de son design AES (**Figure 30**) avec une tête flottante. Ce type d'échangeur est réputé pour son efficacité dans des conditions de fonctionnement sous haute pression. [10]

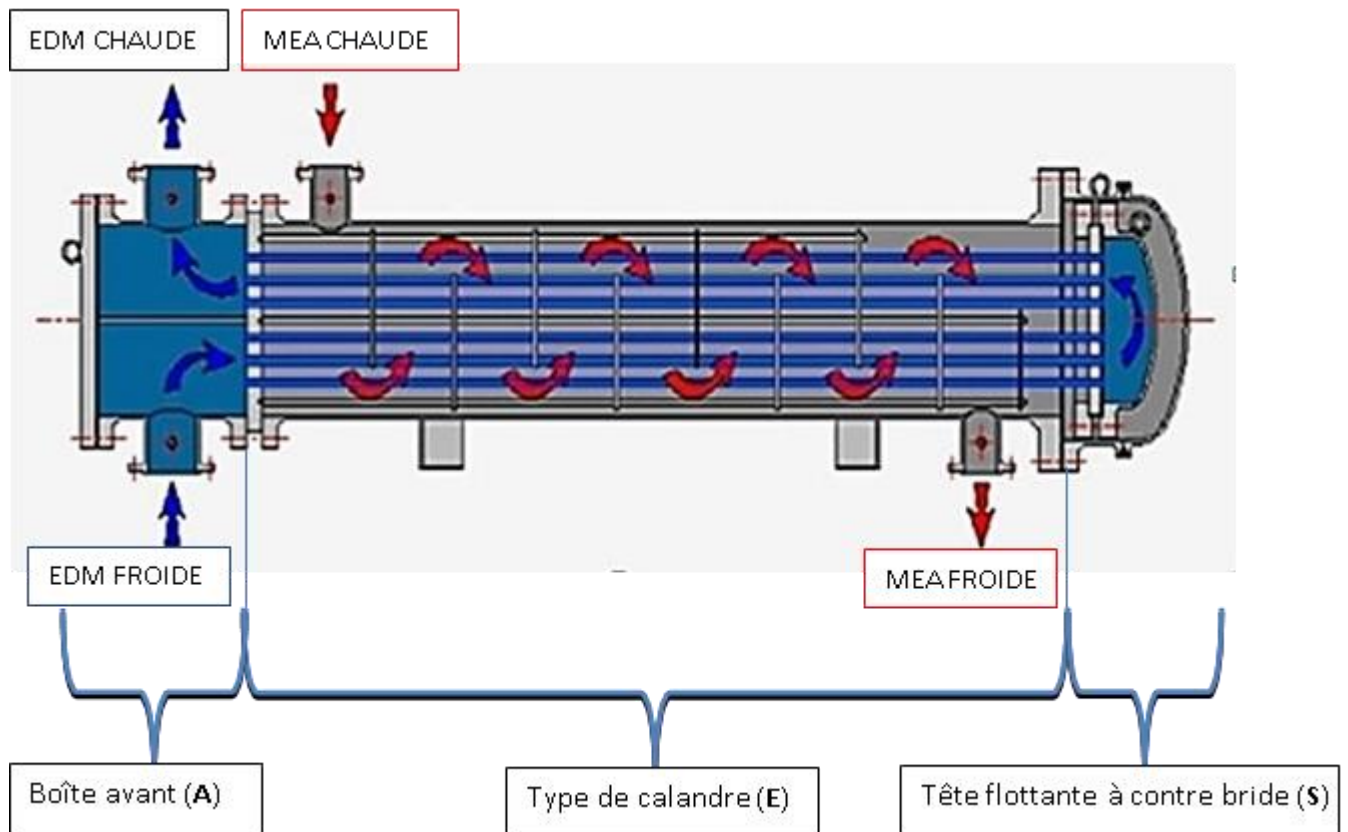
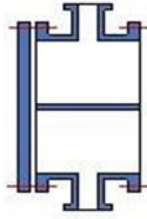


Figure 30: Echangeur 1-2 passe, tête flottante type AES

Les symboles AES caractérisent le type de l'échangeur et donnent son domaine privilégié d'utilisation.

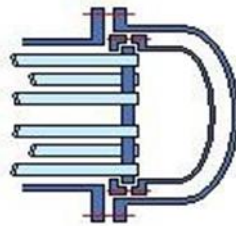
- ❖ **Type A :** C'est la boîte située à l'extrémité avant de l'échangeur, elle est équipée d'un couvercle amovible qui facilite l'inspection des tubes sans nécessiter le démontage des tuyauteries. Ce modèle est spécialement conçu pour les liquides contaminés et demande un entretien régulier.



- ❖ **Type E** : La calandre à un seul passage est le type de calandre le plus répandu. Le fluide circule dans l'espace annulaire en une seule passe, car la calandre ne comporte qu'un seul passage côté calandre.



- ❖ **Type S** : Équipée d'une tête flottante et d'un système de support, cette configuration ne permet pas d'effectuer d'extraction sans démontage. Conçue pour des applications à haute pression, elle limite le nombre de débits de dérivation.

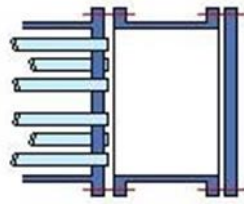


IV. 4.2. Modification de l'échangeur E-504

Après avoir analysé le type d'échangeur actuel et le rôle de ses composants clés désignés par AES, il a été observé que la tête flottante de l'échangeur, qui assurait sa protection contre la haute pression, peut être remplacée par une autre boîte suite à des ajustements des conditions de fonctionnement.

Dans cette optique, une proposition de modification de l'échangeur E-504 a été formulée pour s'adapter aux nouvelles conditions sans compromettre son efficacité. Le changement envisagé concerne le remplacement de la boîte arrière « S » de l'échangeur, conçue pour les hautes pressions, par un dispositif « L » plus adapté aux basses pressions.

- ❖ **Type L** : est une conception à tubes rigides, équipée d'une boîte avec un couvercle amovible nécessitant un nettoyage régulier. Ce modèle est compatible avec la boîte d'extrémité « A » [10]



Cette modification, une fois validée par simulation, permettra de changer uniquement une partie de l'échangeur tout en préservant sa rentabilité. Cela évitera un investissement conséquent lié au redimensionnement et à l'installation d'un nouvel équipement. La **figure 31** présente la nouvelle conception de l'échangeur E-504 type « **AEL** ».

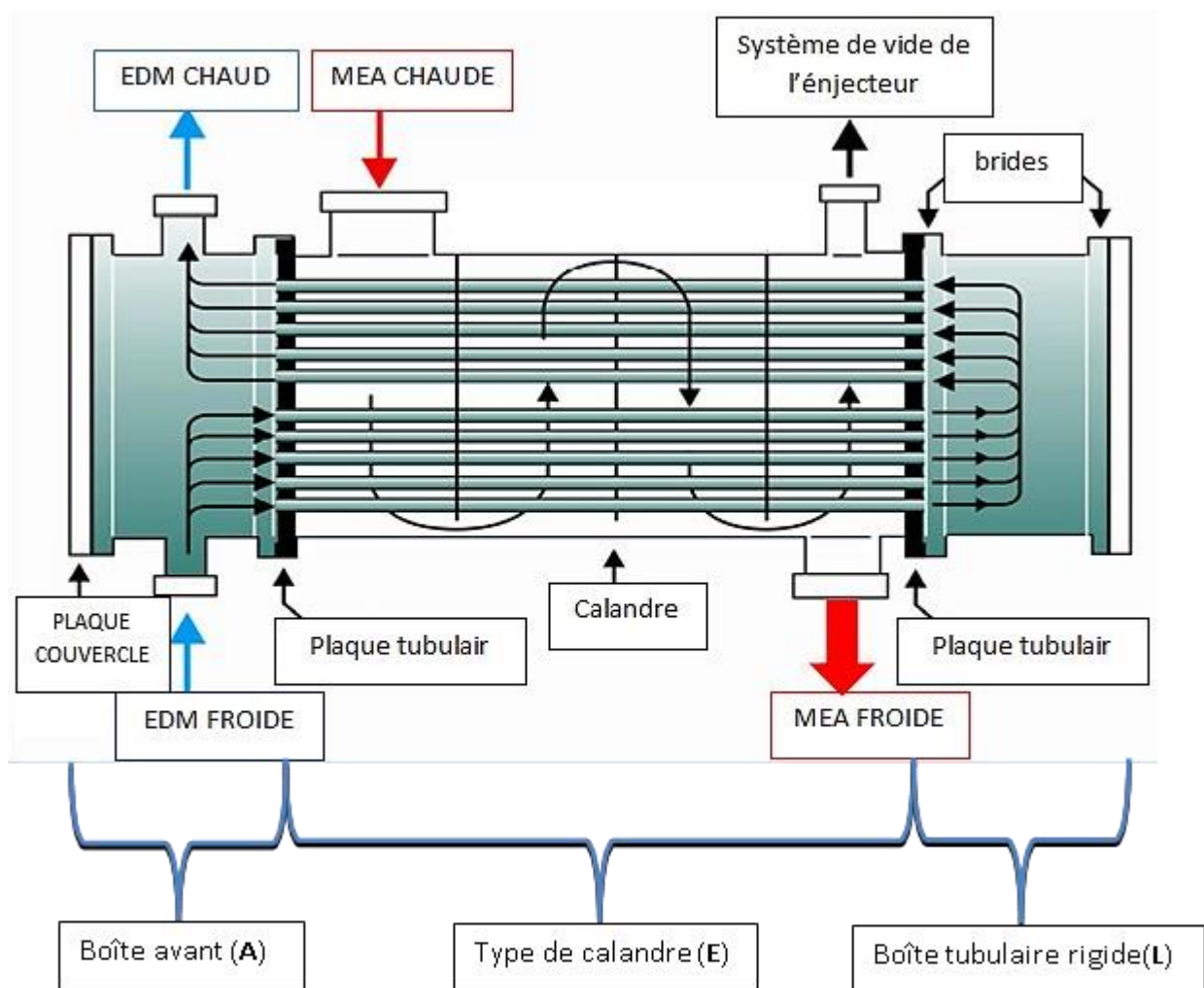


Figure 31: Echangeur 1-2 passe, type AEL

IV. 4.3. Simulation de la nouvelle conception avec l'échangeur AEL

La **figure 32** présente la simulation de la partie étudiée avec le nouvel échangeur AEL proposé au lieu de l'ancien échangeur type AES.

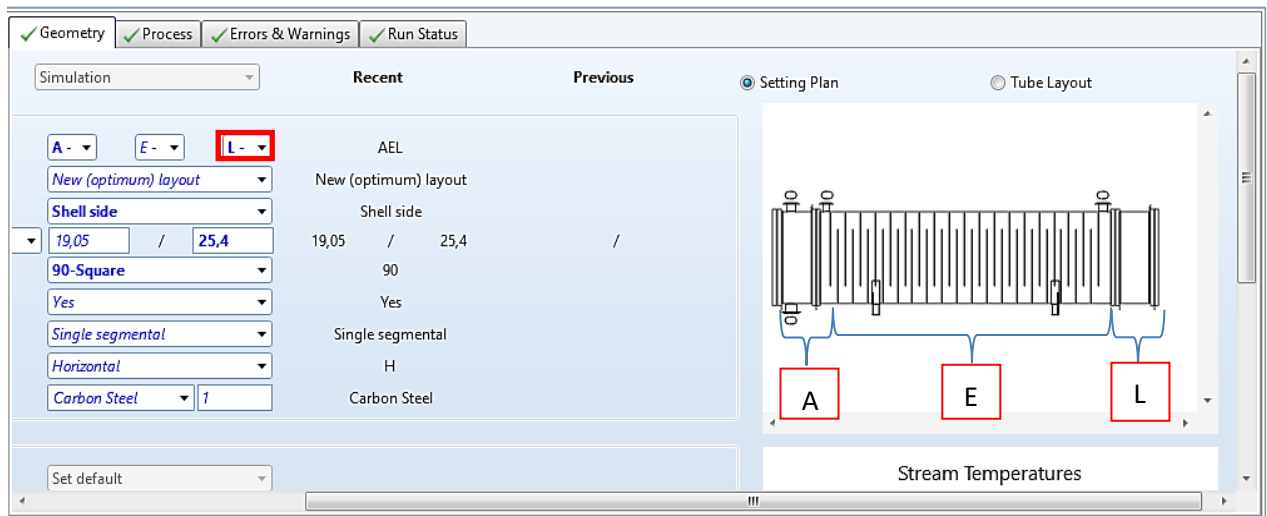
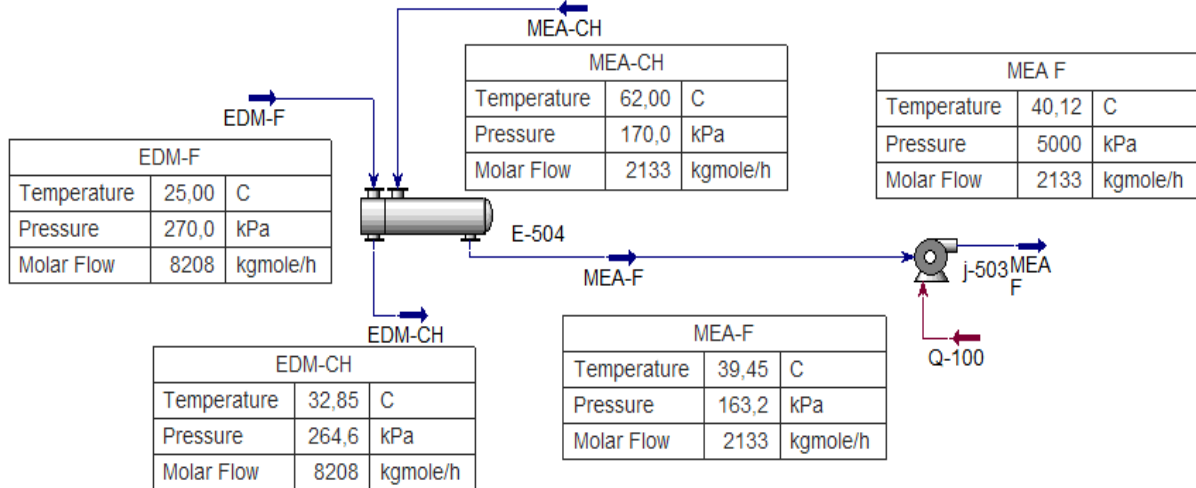


Figure 32: Simulation de la nouvelle conception avec l'échangeur AEL

Il est à noter que la température à la sortie de l'échangeur AEL est dans l'intervalle de 37-40°C qui correspond parfaitement au bon fonctionnement de la colonne F-502.

Lors du démarrage accidentel, la température de sortie de l'échangeur AEL est de l'ordre de 60°C; une température en dessous de la température limite de la pompe J-503. La **figure 33** démontre ces conditions de démarrage.

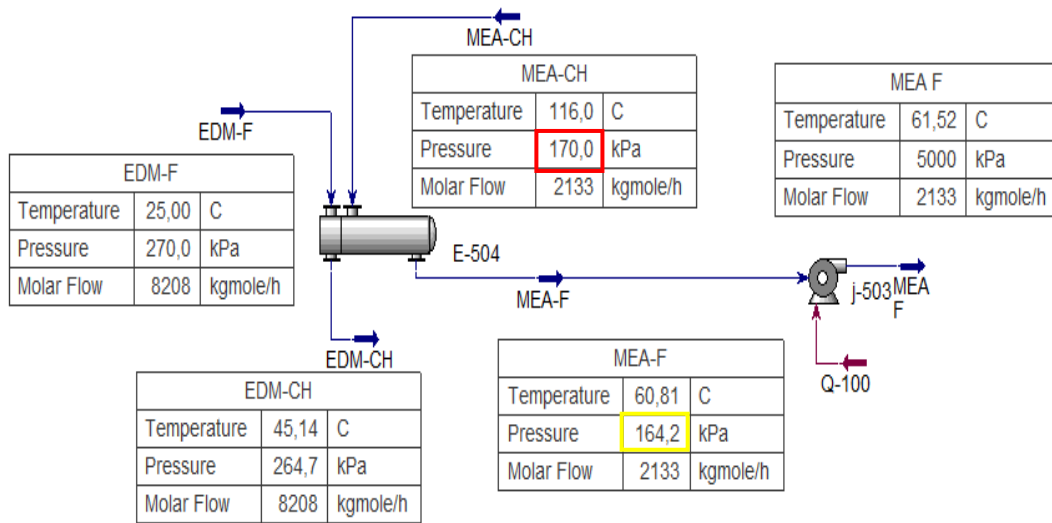


Figure 33: simulation de la nouvelle conception avec le nouvel échangeur AEL en démarrage d'accident

Conclusion

Dans cette dernière section, la simulation a démontré que la nouvelle conception proposée pour la partie étudiée a abouti à un concept avec des conditions plus modérées. Cela a conduit à la modification du type de l'échangeur E-504 de la catégorie **AES**, conçu pour les hautes pressions, à la catégorie **AEL** plus adaptée aux pressions modérées. Ce changement, jugé approprié pour notre nouvelle conception, permet d'éviter le redimensionnement d'un nouvel échangeur et un investissement coûteux difficile à rentabiliser.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

La section de décarbonatation occupe une place privilégiée dans chaque unité de traitement du gaz naturel, elle est constituée d'un groupe d'équipements et d'outils qui assurent le bon déroulement du procédé. Elle rencontre néanmoins des problèmes fréquents entraînant des arrêts accidentels inopinés.

Notre étude s'est concentrée sur l'analyse d'un problème de l'érosion au sein de la section de décarbonatation du complexe GL1, L'échangeur E-504, en proie à des pannes depuis plusieurs années, est à l'origine de ces arrêts récurrents.

L'investigation menée a permis d'identifier les points suivants :

- L'échangeur E-504 subit les conséquences de la haute pression du fluide provenant de la pompe J-503 et montre des signes d'érosion et de corrosion ainsi que l'encrassement on MEA.
- Lors des démarrages accidentels, qui surviennent au niveau de l'unité la pompe MEA se désamorce en raison de fortes vibrations et du phénomène de cavitation
Après avoir observé ces constatations, nous avons procédé à une étude des causes en simulant les conditions opératoires.

Cette analyse nous a permis de détecter des anomalies et nous sommes en mesure de proposer des solutions pour y remédier :

- La cavitation se produit uniquement lors de démarrages accidentels. Cela est causé par la température élevée de la solution MEA aspirée par la pompe. Ce problème est directement lié à un système de régulation entre la colonne d'absorption et les échangeurs E-503 A et B, situés en amont de la pompe, qui génèrent un fluide bi-phasique altérant son fonctionnement.
- Nous avons mis en place une nouvelle conception qui permet un changement virtuel des positions de la pompe J-503 et de l'échangeur E-504, cette modification des canalisations a créé des conditions modérées et a abouti à un nouveau concept.
- D'après la simulation de notre nouvelle conception, les différentes installations fonctionnent de manière optimale lors du démarrage normal et en cas de démarrage accidentel. Cela démontre les avantages de cette nouvelle approche.
- En déplaçant l'échangeur E-504 en amont de la pompe, la pression de la solution MEA circulant dans ses tubes a été considérablement réduite. Cela devrait créer des

conditions plus favorables pour son bon fonctionnement et contribuer à éviter les problèmes d'érosion.

- Grâce aux conditions modérées résultant de notre nouvelle proposition, nous avons pu proposer une modification de l'échangeur E-504, passant du type AES actuel au type AEL. La catégorie AEL est plus adaptée aux nouvelles conditions et plus facile à entretenir.
- D'après la simulation effectuée sur la partie étudiée avec le nouvel échangeur, son fonctionnement est optimal et il répond parfaitement aux conditions générées par la nouvelle conception.

Enfin, on pense que notre contribution a révélé les raisons de l'érosion des tubes de l'échangeur E-504 qui a perturbé le fonctionnement de la section de décarbonatation pendant longtemps. Notre nouvelle conception, bien qu'elle soit simple, offre des réponses claires à ce problème et propose une solution économique et durable

Bibliographie

- [1] <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/industrie-du-gaz-naturel>
- [2] <https://lelementarium.fr/focus/gaz-naturel/>
- [3] www.newfortresseenergy.com
- [4] Document interne liquéfaction du gaz naturel complexe GL1/Z, département production, service : fabrication, le 06/05/2024, écrit par Mr Chougrani.
- [5] Manuel opératoire de procédé « section de traitement » volume I, GL1/Z, 1981.
- [6] Formation d'ingénieur, module11 : décarbonatation, GL1/Z, volume26.
- [7] **Manuel opératoire** demain tendance des équipements dynamiques/statiques, Département mécanique, GL1/Z.
- [8] <https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/chauffage-et-climatisation/echangeur-thermique-fonctionnements-types-et-efficacite>
- [9] <https://www.labbe-France.fr/echangeur-de-chaaleur/echangeur-tubulaire/>
- [10] [TEMA Shell & Tube HeatExchanger Standard \(pronpz.ru\)](https://www.pronpz.ru/).
- [11] : cours de Modélisation et optimisation des procédés réalisés par Dr.Remlaoui Ahmed université Belhadj Bouchai Ain témouchent, génie des procédés des matériaux.

Annexe

Datasheet échangeur E-504/AES (Sonatrach)

EXCHANGER DATA SHEET

L & H CASE (1)

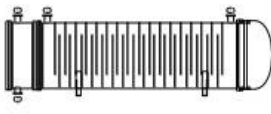
CUSTOMER	SONATRACH		MANUFACTURER	L & H	
PLANT LOCATION	ARZEL		REQUISITION NO.		
SERVICE OF UNIT	MCA-SOLN COOLER		ITEM NO.	X01E-05.04	
SIZE	TYPE	IMORZI INERT. CONNECTED IN	PARALLEL	SERIES	
EFF SURF. PER SHELL	SQ FT; SHELLS PER UNIT		EFF SURF PER UNIT	SQ FT	

PERFORMANCE OF ONE UNIT		UNITS REQ'D			
		SHELL SIDE		TUBE SIDE	
FLUID CIRCULATED	LEAN SOLN		C.W.		
TOTAL FLUID ENTERING	121175	LB/HR	326000	LB/HR	
	IN	OUT	IN	OUT	
VAPOR	LB/HR	LB/HR	LB/HR	LB/HR	
LIQUID	121175	LB/HR	121175	LB/HR	
STEAM	LB/HR	LB/HR	LB/HR	LB/HR	
WATER	LB/HR	LB/HR	326000	LB/HR	
NONCONDENSABLES	LB/HR	LB/HR	LB/HR	LB/HR	
GRAVITY: LIO. DEG-API: SG @ 60 F	1.000	1.000			
MOL WT: VAPOR	PL @ 7	61.5	62.14		
MOL WT: NONCONDENSABLES					
VISCOSITY: LIQUID, CP	0.6 @ 162 F	1.05 @ 160 F	0	0	
HEAT: LATENT, BTU/LB	0.96	0.94	0.96	0.96	
THERM COND: VAP LIO	0.34 @ 162 F	0.27 @ 160 F	0	0	
TEMPERATURE	162 F	100 F	75 F	75 F	
OPERATING PRESSURE	755 PSIG	PSIG	50 PSIG	PSIG	
VELOCITY	FPS	FPS	FPS	FPS	
NO. PASSES					
PRESSURE DROP	ALLOW. 10	PSI; CALC	PSI	ALLOW. 10	PSI; CALC
FOULING RESISTANCE (MIN.)	0.00		0.00		
HEAT EXCHANGED	7.2	MILL BTU/HR	MID (WTD) CORR		
TRANSFER RATE: SERVICE		CLEAN			

CONSTRUCTION									
PRESSURE, PSIG		DESIGN		TEST		DESIGN		TEST	
DESIGN TEMPERATURE, DEG F									
NO. TUBES	OD	IN.; MIN. THK.	IN.	NOZZLES	NO	SHELL SIDE	NO	TUBE SIDE	NO
LENGTH		FT; PITCH	IN. @	INLET		RATING & PRACT		INLET	
SHELL DIAM	IN. @	WAS BURNED FROM PLATE	IN.	OUTLET				OUTLET	
TRANSVERSE BAFFLE TYPE		SPACING	IN.	ORNT					
PERCENT CUT		(VERT) (HORIZ) (45 DEG)		BR-W					
LONG BAFFLE TYPE		IMPINGEMENT BAFFLE (YES) (NO)		TEMP CORR					
MATERIALS: (MARK SR AND PERCENT XRT)									
ITEM		MATL	SPECIFICATION	DEL P					
TUBES									
SHELL						SLIP-ON NOZZLE FLANGES ALLOWED (YES) (NO)			
SHELL COVER (REM) (INTEG)						SLIP-ON END FLANGES ALLOWED (YES) (NO)			
CHANNEL						CORROSION ALLOW: SHELL SIDE IN.; TUBE SIDE IN.			
CHAN COVER (REM) (INTEG)						GASKETS: SHELL			
FLOATING HEAD COVER						CHANNEL			
TUBE SHEETS						FLOATING HEAD COVER			
BAFFLES AND SUPPORT PLATES									
BOLTING: SHELL COVER						TEST RING REQUIRED (YES) (NO)			
CHANNEL						SPARE GASKETS REQUIRED (YES) (NO)			
FLOATING HEAD						STACKING			
CHANNEL COVER						INSULATION THICKNESS			
TEMA CLASS ASME CODE REQUIREMENTS									

FORM NO. BIL E-15B 11/64

DataSheet échangeurE-504/AES(HysisPlus)

4	Item No.:		Your Reference:																	
5	Date:	Rev No.:	Job No.:																	
6	Size : 1904,4	6096	m	rr	Type: A -	E -	S -	Horizontal	Connected in: 1	parallel	1	series								
7	Surf/unit(eff.)				Shells/unit				Surf/shell(eff.)											
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT																			
9	Fluid allocation				Shell Side				Tube Side											
10	Fluid name				MEA CH>MEA F				EDM F>EDM CH											
11	Fluid quantity		kg/h	/	Mass flow rate multiplier		54964	/	1	147871		/	1							
12	Vapor (In/Out)																			
13	Liquid																			
14	Noncondensable																			
15	Vapor mass fraction				0				0											
16	Temperature (In/Out)		°C		72		45		25		35									
17	Bubble / Dew point																			
18	Density Vapor/Liquid																			
19	Viscosity																			
20	Molecular wt, Vap																			
21	Molecular wt, NC																			
22	Specific heat																			
23	Thermal conductivity																			
24	Latent heat																			
25	Pressure (abs)		bar		1,7		1,583		2,7		2,573									
26	Velocity (Mean/Max)																			
27	Pressure drop, allow./calc.		kPa		18				50											
28	Fouling resistance (min)		m ² -K/W		0				0											
29	Heat exchanged		kW								MTD (corrected)									
30	Transfer rate, Service				Dirty				Clean											
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL											Sketch								
32					Shell Side				Tube Side											
33	Design/Vacuum/test pressure		kPa		300		/		300		/									
34	Design temperature/MDMT		°C		110		/		70		/									
35	Number passes per shell								2											
36	Corrosion allowance		mm		3,18				3,18											
37	Connections		In		1		/		/		/									
38	Size/Rating		Out		1		/		/		/									
39			Intermediate		/		/		/		/									
40	Tube #: 410		OD: 19,05		mm		Tks. 2,11		mm		Length: 60		mm		Pitch: 25		mm		Tube pattern: 30-Tria	
41	Tube type: Plain		Insert: None		Fin#:		Material: Carbon Steel		1											
42	Shell Carbon St		1		ID 1904,4		OD 1930,4		mm		Shell cover									
43	Channel or bonnet Carbon Steel		1		Channel cover															
44	Tubesheet-stationary Carbon Stee		1		Set		0		Tubesheet-floating											
45	Floating head cover				Impingement protection None															
46	Baffle-cross Carbon Stee		1		Type Single segmental		Cut(%d)		Spacing: c/c 152		mm									
47	Baffle-long Seal Type				Inlet				mm											
48	Supports-tube U-bend		Type																	
49	Bypass seal				Tube-tubesheet joint				Expanded only (2 grooves)(App.A '1')											
50	Expansion joint				Type															
51	RhoV2-Inlet nozzle				Bundle entrance				Bundle exit											
52	Gaskets - Shell side Flat metal jacket		82		Tube side Flat metal jacket		82													
53	Floating head																			
54	Code requirements ASME Code Sec VIII Div 1		TEMA class R - refinery service																	
55	Weight/Shell				Filled with water				Bundle											
56	Remarks																			

Data Sheet nouvelle échangeur E-504 / AEL (Hysis Plus)

Heat exchanger specification sheet																	
1	Company:																
2	Location:																
3	Service of Unit:				Our Reference:												
4	Item No.:				Your Reference:												
5	Date:			Rev No.:		Job No.:											
6	Size :	625	5850	m	nr	Type:	A -	E -	L -	Horizontal	Connected in:	1	parallel	1	series		
7	Surf/unit(eff.)					Shells/unit					Surf/shell(eff.)						
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT																
9	Fluid allocation					Shell Side					Tube Side						
10	Fluid name					MEA-CH->MEA-F					EDM-F->EDM-CH						
11	Fluid quantity		kg/h	/	Mass flow rate multiplier	54964 / 1					147871 / 1						
12	Vapor (In/Out)																
13	Liquid																
14	Noncondensable																
15	Vapor mass fraction					0					0						
16	Temperature (In/Out)		°C		72					43							
17	Bubble / Dew point																
18	Density Vapor/Liquid																
19	Viscosity																
20	Molecular wt. Vap																
21	Molecular wt. NC																
22	Specific heat																
23	Thermal conductivity																
24	Latent heat																
25	Pressure (abs)		bar		1,7					1,583							
26	Velocity (Mean/Max)																
27	Pressure drop, allow./calc.		kPa		18					50							
28	Fouling resistance (min)		m ² -K/W		0,00036					0,00108							
29	Heat exchanged		kW		/					Heat exchanged multiplier 1							
30	Transfer rate, Service					Dirty					Clean						
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL										Sketch						
32						Shell Side					Tube Side						
33	Design/Vacuum/test pressure		kPa		300 / /					300 / /							
34	Design temperature/MDMT		°C / °C		110 / /					70 / /							
35	Number passes per shell					1					1						
36	Corrosion allowance		mm		3,18					3,18							
37	Connections		In		1 / -					1 / -							
38	Size/Rating		Out		1 / -					1 / -							
39			Intermediate		1 / -					1 / -							
40	Tube #:	500	OD:	19,05	mm	Tks:	2	11	mm	Length:	581	mm	Pitch:	25	mm	Tube pattern:	30-Tria
41	Tube type:	Plain		Insert:	None		Fin#:			Material:	Carbon Steel		1				
42	Shell	Carbon Ste		ID	625	mm	OD	645	mm	Shell cover							
43	Channel or bonnet	Carbon Steel		1	Channel cover												
44	Tubesheet-stationary	Carbon Stee		1	Set	0	Tubesheet-floating										
45	Floating head cover					Impingement protection					None						
46	Baffle-cross	Carbon Stee		1	Type	Single segmental		Cut(%d)	Spacing: c/c		270	mm					
47	Baffle-long	Seal Type					Inlet		316,48	mm							
48	Supports-tube	U-bend		Type													
49	Bypass seal	Tube-tubesheet joint					Expanded only (2 grooves)(App.A 'I')										
50	Expansion joint					Type											
51	RhoV2-Inlet nozzle	Bundle entrance					Bundle exit										
52	Gaskets - Shell side	0		Tube side					Flat metal jacket		82						
53	Floating head																
54	Code requirements	ASME Code Sec VIII Div 1		TEMA class	R - refinery service												
55	Weight/Shell	Filled with water					Bundle										
56	Remarks																
57																	