



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد ابن باديس - مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و



التكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

N° d'ordre : M2.... / GP/2022

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADIMIQUE

Filière : Génie des Procédés

Option : Génie Chimique

Thème

*Etude comparative de l'échangeur E504 de la section de
décarbonatation par la solution de MEA du complexe GNL1/Z*

Présenté par :

- Ahmed Baich Khadidja**
- Kaddour Drizi Leila**

Soutenue le 20/06/ 2022 devant le jury composé de :

Présidente :	MENAD Karima	M.C.A	Université de Mostaganem
Examinatrice :	SOLTANE Khadidja	M.A.A	Université de Mostaganem
Encadrante :	BELHOUARI Houria	M.A.A	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2021/2022

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant de nous donné la force et la patience pour réaliser ce travail.

En second lieu, Nous tenons à remercier notre encadrante M^{me}Houria BELHOUARI pour ses conseils et son aide durant toute la période du notre stage.

Nous remercions les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer le présent travail :
M^{me}K.MENAD d'avoir accepté de présider le jury de notre mémoire ainsi que pour ses enseignements durant notre étude universitaire.

M^{me}K.SOLTANE d'avoir accepté de faire partie de ce jury afin d'examiner notre travail.

Enfin, Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DEDICACES

A nos chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A toute nos familles, mes amis et mes professeurs pour leur soutien tout au longde nos parcours universitaire.

A toute personne qui nous'a aidé et encouragé pour progresser et réussir durant toute cette période.

A notre encadrante pour son suivi de notre mémoire et aux agents de l'industrie pour leur rapport en informations.

Leila et Khadidja

Résumé

Notre mémoire consiste à traiter l'un des problèmes majeurs des unités de liquéfaction de gaz naturel dans la section de décarbonatation,

L'échangeur EDM/MEA à pour but de refroidir la solution amine à fin qu'elle ait la même valeur de température à celle du gaz naturel pour éviter le problème de moussage qui engendre l'augmentation de la teneur en CO₂ ainsi que la perturbation des niveaux dans la section, cet échangeur rencontre plusieurs problèmes à cause de la composition de l'eau de mer ainsi que la concentration de la MEA qui avec le temps provoquent la corrosion des tubes, le bouchage et dépôts de tartre ainsi que l'encrassement de l'échangeur, cela va réduire son rendement puisque l'échange thermique sera faible, la température de sortie de la MEA sera élevé et sera perdue à travers les tubes percés par l'érosion et le débit d'eau de mer sera réduit à cause de faible passage. Donc pour y remédier à ces problèmes, il faut une bonne maintenance de l'équipement ainsi que le respect des normes des paramètres design du procédé lors de la mise en marche du train de liquéfaction.

Liste des abréviations

CO₂ : Dioxyde de Carbone

EDM : Eau De Mer.

FV: Flow Valve.

GLN1/Z : Complexe de Gaz Naturel Liquéfié d'Arzew numéro 1.

GN : Gaz Naturel.

GNL : Gaz Naturel Liquéfié.

MCR : Multi Composants Réfrigérants.

MEA : Mono Ethanol Amine.

PPM : Partie Par Million.

PV: Pressure Valve

Liste des unités

$^{\circ}\text{C}$: Degré Celsius .

Bar : Bar.

DA : Dinar Algérien.

g/mole : gramme par une mole.

kg/h : kilogrammes par heure.

W : watt

m/s : mètre par seconde.

m² .K.W⁻¹ : mètres carré fois Kelvin par Watt.

m³ : mètre cube.

m³ /h : mètre cube par heure.

mm : millimètre.

mm/an : millimètres par année

Nm³ : Normale mètres cube

Liste des tableaux

Tableau I.1: Compositions du gaz naturel	3
Tableau I.2: Composition du produit GNL.....	6
Tableau I.3: Composition du MCR	8
Tableau IV.1 : L'historique de l'échangeur E-504... ..	26
Tableau IV.2 : Les résultats d'analyse du dépôt	29
Tableau IV.3: Les paramètres de service de l'échangeur E-504 (design).....	32
Tableau IV.4 : Paramètres de l'échangeur E-504 (après la conversion)	33
Tableau IV.5 : Calcul des Paramètres de l'échangeur E-504 (design).....	39
Tableau IV.6: Les paramètres de service de l'échangeur E-504 (2019).....	40
Tableau IV.7 : Calcul des Paramètres de l'échangeur E-504 (2019)	40
Tableau IV.8 : Les Paramètres de service de l'échangeur E-504 (actuel)	41
Tableau IV.9 : Calcul des Paramètres de l'échangeur E-504 (actuel).....	41

Liste des figures

Figure I.1: Diagramme du procès	10
Figure II.1 : Absorbeur et Régénérateur	12
Figure II.2: Schéma de section de décarbonatation.....	14
Figure III.1: Echangeur tubulaire... ..	18
Figure III.2: Echangeur à plaque.....	18
Figure III.3 : Un aérorégrigérant.....	18
Figure IV.1 : La position de l'échangeur de chaleur E-504 dans la section de décarbonatation... ..	25
Figure IV.2 : Le bouchage du faisceau tubulaire de l'échangeur E-504.....	27
Figure IV.3: Les tartes formées sur la boite de distribution	28
Figure IV.4 : Effet de la MEA sur la surface des tubes.....	30
Figure IV .5: Echangeur de chaleur a contre courant	31

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I :(Présentation du complexe GNL1/Z)

• I.1. Introduction	2
• I.2. Section de traitement	3
• I.3. Section séparation.....	5
• I.4. Section liquéfaction... ..	5
• I.5. Cycle de réfrigération.....	7
• I.6. Section fractionnement.....	8
• I.7. Zone de stockage et chargement.....	9
• I.8. Utilités.....	9

Chapitre II: (Description de la section de décarbonatation)

• II.1. Introduction.....	11
• II.2. La Section de décarbonatation.....	11
• II.3. Installation D'élimination Du CO ₂ à la MEA.....	13

Chapitre III: (Les échangeurs de chaleur et le phénomène de bouchage)

- **III.1.**Introduction... 15
- **III.2.** Les types de l'échangeur 15
- **III.3.** Le problème de bouchage de l'échangeur 19
- **III.4.** Effets de l'encrassement sur les performances thermique d'un échangeur de chaleur..... 22
- **III.5.**Conclusion..... 23

Chapitre IV: (étude des problèmes de l'échangeur E-504)

- **IV.1.**Introduction 24
- **IV.2.** Description et le rôle de l'échangeur E-504... 24
- **IV.3.** Les causes de mauvais transfert de chaleur du refroidisseur E-504.....27
- **IV.4.** Le phénomène de bouchage de l'échangeur E-504..... 27
- **IV.5.**Interprétation des résultats 30
- **IV.6.**Problématique 31
- **IV.7** Calcul Thermique..... 32
- **IV.8** Interpretation des résultats 42

• **IV.9.Recommandations..... 43**

Conclusion Générale..... 44

Référence bibliographique

Annexes

Introduction générale

Introduction générale

L'énergie occupe une place prépondérante dans la vie de l'être humain. Les sciences et les progrès techniques ont permis à l'homme de découvrir de nouvelles ressources énergétiques, surtout avec l'augmentation de la population dans le monde ce qui implique une augmentation de consommation d'énergie importante et une plus grande production de divers sources d'énergie.

Face au pétrole, son concurrent sur les marchés des combustibles, mais souvent son associé dans les gisements d'hydrocarbures et au cours de leur exploitation, le gaz est apparu comme une forme d'énergie difficile à mettre en œuvre, tout particulièrement en raison du poids des investissements et des coûts de transport jusqu'au consommateur.

L'intérêt croissant pour le gaz naturel vient du fait que celui-ci est choisi pour sa souplesse d'utilisation, sa propreté et en fin l'abondance relative des ressources.

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.

Parmi les problèmes vécus au niveau des unités de liquéfaction du gaz naturel (GL1/Z), nous avons le problème de bouchage de l'échangeur E.504. Ce dernier permet de régler la température finale de la MEA pauvre qui vient d'être régénérée à 38°C, c'est à dire la refroidir, la MEA pauvre à 15 % passant côté calandre et l'eau de mer passant du côté tubes [1].

Notre travail consiste à déterminer les principaux problèmes rencontrés dans l'échangeur E-504 MEA/EDM, Et Notre mémoire s'articule selon l'ordre suivant :

- Chapitre I : Présentation du complexe GL1/Z ;
- Chapitre II : Description de la section de décarbonatation
- Chapitre III : Les échangeurs de chaleur et le phénomène de bouchage
- Chapitre IV : Etude des problèmes rencontrés dans l'échangeur MEA/EDM de L'échangeur E-504

Chapitre 1 :

(Présentation du
complexe $\mathbb{C} \cong \mathbb{R}[i]$)

I-1 Introduction

Le complexe GL1/Z a pour mission essentielle le traitement et la liquéfaction du gaz naturel en provenance de Hassi R'mel, pour faciliter son transport sous forme liquide. Il dispose pour cela de six trains de liquéfaction identiques d'une capacité journalière de 8870 m³ de GNL.

Le complexe GNL1/Z se situe dans la zone industrielle d'Arzew à 8 Km environ de la ville d'Arzew et à 1 Km de la ville de Béthioua. Il s'étend sur une superficie de 76 Hectars dont 56 Hectars occupés par les installations.[1]

I-1.1. Caractéristiques

- Pose de la 1^{ère} Pierre : 16 Juin 1973
- Realization : BECHTEL (USA)
- Début de la production : Février 1978
- Capacité de traitement : 10.5 milliards de m³ de GN
- Capacité de stockage : 300 000 m³ de GNL
- Capacité de chargement : 10 000 m³ de GNL/h
- Procédé de liquéfaction : APCI (Air products and chemicals incorporated)
- Lancement du projet rénovation : janvier 1993 [1]

I-1.2. Description général du complexe

L'usine a été conçue pour produire 53,03 millions de thermies pcs par jour. Le procédé de liquéfaction utilisé fait l'objet d'un brevet d'air products and chemicals incorporated (APCI) à refroidissement mixte propane / MCR. Le principe consiste à abaisser l'enthalpie du gaz par réfrigération au moyen de réfrigérants dont le point d'ébullition est supérieur à celui du gaz à refroidir. Le complexe comprend trois zones distinctes, la zone principale est la zone du procédé qui est alimentée par les utilités nécessaires de la zone utilité. Enfin la zone de stockage et de chargement pour l'expédition du produit fini.

Le gaz alimentant l'usine de liquéfaction vient des champs de Hassi R'mel après avoir subi un prétraitement, passe par un ensemble de procédés de purification des contaminants existants pour éviter l'obstruction des lignes par ces derniers dans les sections cryogéniques .[2]

Puis ce dernier est liquéfié, stocké ensuite expédié par méthanier.

Le tableau suivant montre la nature de la charge alimentant l'usine :

Tableau I-1. Composition du gaz naturel:[2]

Composants	valeurs (%)	Variations estimées (%)
Azote (N ₂)	5,8	± 0,20
Hélium (He)	0,19	± 0,02
CO ₂	0,21	± 0,03
Méthane (CH ₄)	83	± 0,30
Ethane (C ₂ H ₆)	7,1	± 0,15
Propane (C ₃ H ₈)	2,25	± 0,10
i butane (C ₄ H ₁₀)	0,40	± 0,07
n Butane (C ₄ H ₁₀)	0,60	± 0,08
i C ₅ H ₁₂	0,12	± 0,03
n C ₅ H ₁₂	0,15	± 0,04
C ₆ H ₁₄	0,18	± 0,05

*- le mercure est présent dans le gaz naturel mais avec des quantités de l'ordre de nano gramme par Nm³.

L'usine de liquéfaction se compose de six unités parallèles et indépendantes appelées trains.

Chaque train de procès comprend les sections suivantes :

I-2. Section de traitement

Dans cette section, trois opérations sont réalisées :

- Décarbonatation.
- Déshydratation.
- Démercurisation.

I-2.1. Décarbonatation

L'élimination de l'anhydride carbonique (CO₂) du gaz naturel est nécessaire afin d'éviter sa congélation et le bouchage dans la partie froide du train. Ceci peut entraîner l'arrêt du train pour le dégivrage des circuits.

Cette section consiste à piéger le CO₂ par une méthode d'absorption à contre courant avec une solution de MEA où la concentration du CO₂ est réduite à moins de 90 PPM dans le gaz. La colonne d'absorption est équipée d'une section d'épuration en bas de colonne pour l'élimination des hydrocarbures lourds et les impuretés. La solution de MEA riche en CO₂ passe ensuite dans une colonne de régénération pour être réutilisée de nouveau dans le circuit [3]

I-2.2. Déshydratation

L'élimination du H₂O s'effectue par le passage du gaz d'alimentation saturé et débarrasser de son CO₂ par un refroidisseur à propane E 521 jusqu'à 21° C, ensuite dans le séparateur des sécheurs G 787 qui permet de condenser une grande partie de l'eau contenue dans le gaz. Après être refroidit une grande quantité d'eau est éliminée par condensation, deux sécheurs à tamis moléculaire R-310 ou R-311 sont prévus pour l'élimination des vapeurs d'eau et réduire l'humidité à une concentration inférieure à 1 PPM.

Les sécheurs travaillent en intermittence quand l'un est en séchage le deuxième est en régénération. . [3]

I-2.3. Démercurisation

Les traces de mercure contenues dans le gaz d'alimentation sont piégées dans les parties froides du train. Les gouttelettes de mercure ainsi formées attaquent les métaux une fois ceux-ci réchauffés. Pour éviter ces détériorations un démercuriseur R-312 à base de charbon actif imprégné de soufre a été installé en amont de la tour de lavage.

La teneur en mercure est réduite à 0.01µg/Nm³ dans le gaz qui est ensuite filtré dans l'un des deux filtres à poussières P13 A&B afin d'éviter l'entraînement des solides dans les circuits en aval [3]

I-3. Section séparation

Après avoir enduré une série d'opérations de traitement, le GN est refroidit à l'aide de propane de stage moyenne et basse pression pour condenser les hydrocarbures lourds. Le gaz d'alimentation entre dans la tour de lavage ou une distillation est prévue pour éliminer les hydrocarbures lourds du gaz d'entrée qui peuvent boucher les lignes froides en aval.

Le gaz de tête appelé gaz naturel traité (GNT) quitte la tour de lavage où il sera acheminé vers la liquéfaction.

La phase liquide récupérée est renvoyée dans l'unité de fractionnement.

Le rôle de cette section est de :

-Récupérer les composants lourds du GN d'alimentation, lesquels seront utilisés dans le fractionnement, pour ajuster les compositions des fluides réfrigérants (MCR et propane) dans leurs boucles respectives [1].

I-4. Section liquéfaction

L'élément principal de cette section est l'échangeur E520 de type bobine à serpentins enroulés. Il est conçu de façon à optimiser la surface d'échange évaluée à 140.000 ft². L'échangeur cryogénique comprend six faisceaux de tubes qui accueillent le MCR vapeur, le MCR liquide et le GNT (deux faisceaux pour chaque fluide).

La conception de E520 permet d'optimiser la quantité de frigories cédée par les réfrigérants pour s'auto refroidir et assurer le refroidissement du GNT.

En effet l'effluent MCR liquide traverse la partie chaude du E520 pour être d'étendue à 40 barset - 110° C à ce niveau le GNT est refroidi jusqu'à - 120° C.

Tandis que l'effluent MCR vapeur se condense dans la partie chaude, et arrive à la limite de la partie froide pour subir une détente à la sortie sa température est égale à - 158°C

Le liquide obtenu après chaque détente est distribué sous forme de douche pour homogénéiser le transfert de chaleur.

A la limite de la partie froide le GNT quitte le E520 à $T = -148^{\circ}\text{C}$ et 25 bar effectifs puis subit une détente isenthalpique qui fait baisser sa température jusqu'à $T = -158^{\circ}\text{C}$ et 0.3 bar effectif. Après une seconde détente dans le ballon déazoteur G783, le liquide est envoyé vers la conduite d'alimentation des bacs par deux pompes J1020 & J1030.

Les vapeurs de flash riches en N_2 , cédant leurs frigories dans l'échangeur E530 ou une quantité de GNT qui a by passée l'échangeur principal est liquéfiée par contact avec les vapeurs froides, pour être ensuite aspirés par le compresseur fuel gaz.

Le tableau **I-2**. Met en évidence les pourcentages molaires minimaux et maximaux de la composition du GNL,

Tableau I-2. Composition du produit GNL [1]

Composants	Minimum (%)	Maximum (%)
Azote (N_2)	0,60	1,40
Méthane (CH_4)	84	92,50
Ethane (C_2H_6)	6	8,50
Propane (C_3H_8)	2,20	3
Isobutane (ISO C_4H_{10})	0,30	0,50
Butane (C_4H_{10})	0,30	0,70
Pentane (C_5H_{12})	0,00	0,02

I-5. Cycle de réfrigération

I-5.1. Boucle propane

La boucle propane comprend trois étages de compression. Après avoir été comprimé, le propane est refoulé par le troisième étage du compresseur (K.110), refroidi dans un échangeur à eau de mer (E.513) jusqu'à 43°C puis condensé dans le (E.514 A et B) à eau de mer jusqu'à 37°C. Il est enfin récupéré dans le ballon (G786). L'accumulateur alimente le ballon séparateur haute pression (G791) et l'échangeur à propane E.521.

Le propane liquide haute pression subit des détentes successives dans trois ballons de séparation (G.791), (G790) et (G.785) fonctionnant respectivement à haute, moyenne et basse pression. Les vapeurs obtenues à l'issue de chaque flash, sont aspirés à la pression correspondante.

Le propane moyenne pression alimente le condenseur de tête de la tour de lavage (E.523) (Utilisé lors du démarrage des trains), les deux refroidisseurs à l'entrée de la tour de lavage (E522) et (E524) et l'échangeur à propane de la boucle MCR, (E525AetB). [3]

I-5.2. Boucle MCR

La boucle MCR comprend deux étages de compression, un refroidissement à l'eau de mer après chaque refoulement et une séparation avant chaque aspiration de compresseur. Les vapeurs MCR sont aspirées par le compresseur premier étage (MCR I) puis sont refroidies jusqu'à 38°C dans un échangeur de chaleur à eau de mer pour être ensuite séparées dans le ballon séparateur premier étage. Le compresseur deuxième étage (MCR II) aspire les vapeurs du séparateur premier étage et les refoule vers l'échangeur de chaleur à eau de mer à une température de 32°C.

Après refroidissement, le MCR est amené à sa température de rosée soit -37°C à la sortie des deux batteries d'échangeurs au propane.

Le MCR partiellement liquéfié, est aspiré dans le ballon (G.780) pour alimenter les échangeurs (E.520), (E540) et (E724). La composition du MCR est indiquée dans le tableau suivant, ce mélange provient des appoints de l'unité de fractionnement et du ballon déazoteur, il est introduit dans le circuit au niveau du ballon d'aspiration premier étage. [3]

Tableau I-3. Composition du MCR [1]

Composition du MCR	Pourcentage Molaire
N ₂	4 %
C ₁	42 %
C ₂	52 %
C ₃	4 %

I-6. Section fractionnement

Cette section a pour but de séparer les hydrocarbures issus du fond de la tour de lavage pour les besoins de l'alimentation interne des diverses sections du complexe. Elle est basée sur une distillation en cascade constituée de:

- Déméthanisation.
- Dééthanisation.
- Dépropanisation.
- Débutanisation.

Le résidu de la tour de lavage passe successivement par quatre colonnes pour produire respectivement le méthane, éthane, propane, butane et de la gazoline. Le méthane, l'éthane et le propane liquides sont envoyés respectivement par les pompes vers le ballon accumulateur pour assurer l'appoint du réfrigérant mixte MCR, l'alimentation de la boucle propane, le recyclage des C₃ et C₄ et la réinjection au niveau de l'échangeur principal (E.520). Le liquide sortant du fond du débutaniseur riche en C₅⁺ est envoyé vers le ballon de stockage de gazoline.[3]

I-7. Zone de stockage et chargement

I-7.1. Stockage

La zone de stockage du GNL se situe au bord de la mer facilitant le chargement des méthaniers. On y trouve trois bac d'une capacité de 100.000 m³ de GNL chacun, dix motopompes installées dans cette zone pour diverses fonctions dont deux pompes pour la circulation du GNL, cinq pour le chargement et trois pour le transfert du GNL et deux soufflantes de reprise des boil-off à partir des méthaniers.

Le GNL est stocké à une température de -162°C et sous une pression de 1.03bar.

L'alimentation se fait par la partie inférieure du réservoir pour éviter le phénomène de roll-over (différence de densité). [3]

I-7.2. Le chargement

Le chargement du GNL se fait à partir de deux quais et cela par refoulement à travers un collecteur commun jusqu'aux quatre bras de chargement installés sur le quai, et sont articulés pour permettre le raccordement aux brides du navire avec une certaine liberté de mouvement. Un cinquième bras est destiné à la collecte des vapeurs du méthanier lors de la mise en froid et du chargement ; ces vapeurs sont acheminées soit vers la torche du terminal, soit vers le système du gaz combustible. [3]

I-8. Utilités

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

Au niveau de cette zone on rencontre essentiellement :

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

• Gaz naturel d'alimentation

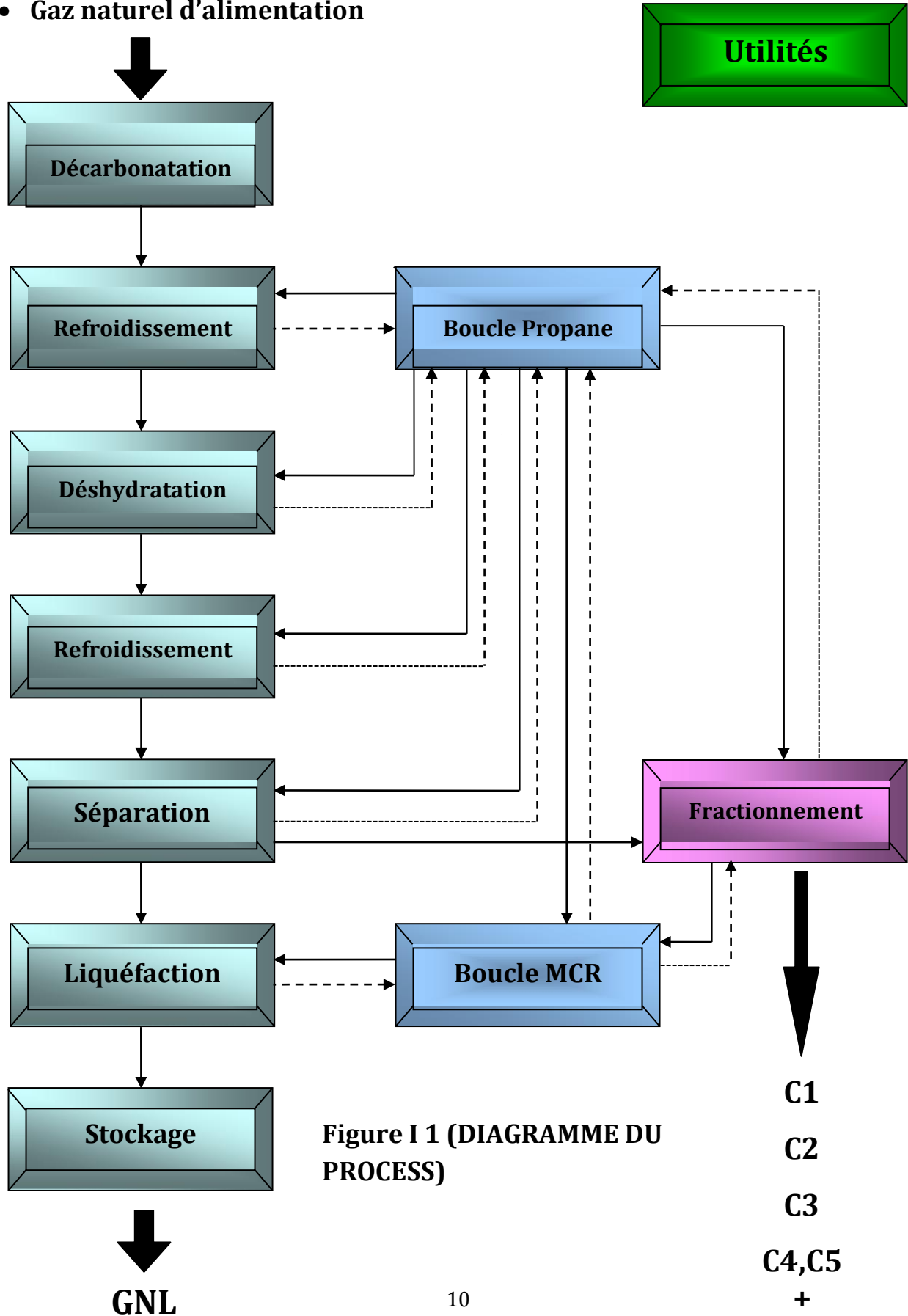


Figure I 1 (DIAGRAMME DU PROCESS)

Chapitre II :

(Description de la section de
décarbonatation)

II.1. Introduction

L'unité de décarbonatation est l'une des unités de traitements du gaz naturel conçue pour l'élimination d'une grande partie du gaz carbonique «CO₂» contenu dans le gaz d'alimentation et dont la concentration doit être réduite à 90 ppm pour éviter la formation de glace carbonique dans les sections froides de l'installation (bouchage des tubes des échangeurs cryogéniques). L'absorption consiste en un transfert de matière entre une phase gazeuse et une phase liquide; cette dernière étant constituée d'un corps pur ou d'un mélange de plusieurs substances (SOLVANT). Par ailleurs; on admet que la phase gazeuse est formée uniquement par deux composants : ce lui qui est en transfert ou soluté, et le gaz porteur inerte ou diluant. La récupération souvent nécessaire de la substance qui s'est dissoute dans le liquide est appelée « DESORPTION ». Ce phénomène se réalise en mettant en contact le contenant le soluté et le solvant pendant tout le temps nécessaire au transfert ; c'est à-dire jusqu'à ce que l'équilibre de concentration entre les deux phases soit atteint. L'absorption consiste à laver un mélange gazeux par un liquide ; dans le but de dissoudre l'un des constituant gazeux dans le liquide ; elle est utilisée pour la purification des gaz (LAVAGE) ; ou pour la séparation des mélanges gazeux. [4]

LA SECTION DE DECARBONATATION

Il existe dans chaque un des six trains de process une section d'élimination de CO₂ à la MEA. C'est la première unité de traitement par la quelle passe le gaz d'alimentation à son entrée dans le process.

Cette épuration se fait dans le but d'éviter le colmatage du système par la solidification du CO₂ dans les sections froides situées en aval du procédé de liquéfaction. Le principe d'élimination du gaz carbonique à une teneur maximale de 90 ppm est mis en œuvre par un procédé d'absorption conduit dans une colonne d'absorption F-502 à 27 plateaux à haute pression (42 bars) et basse température (38°C). [4]

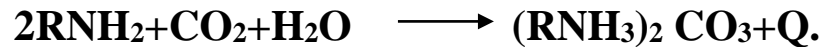


Figure II.1 Absorbeur et Régénérateur

II.3. Installation d'élimination du CO₂ à la MEA

II.3.1 Principe

Le gaz carbonique est éliminé du gaz naturel selon le procédé d'absorption. La réaction chimique principale mise en jeu lors de la décarbonatation d'un gaz ne contenant que le CO₂ à l'aide d'une solution de M.E.A est :



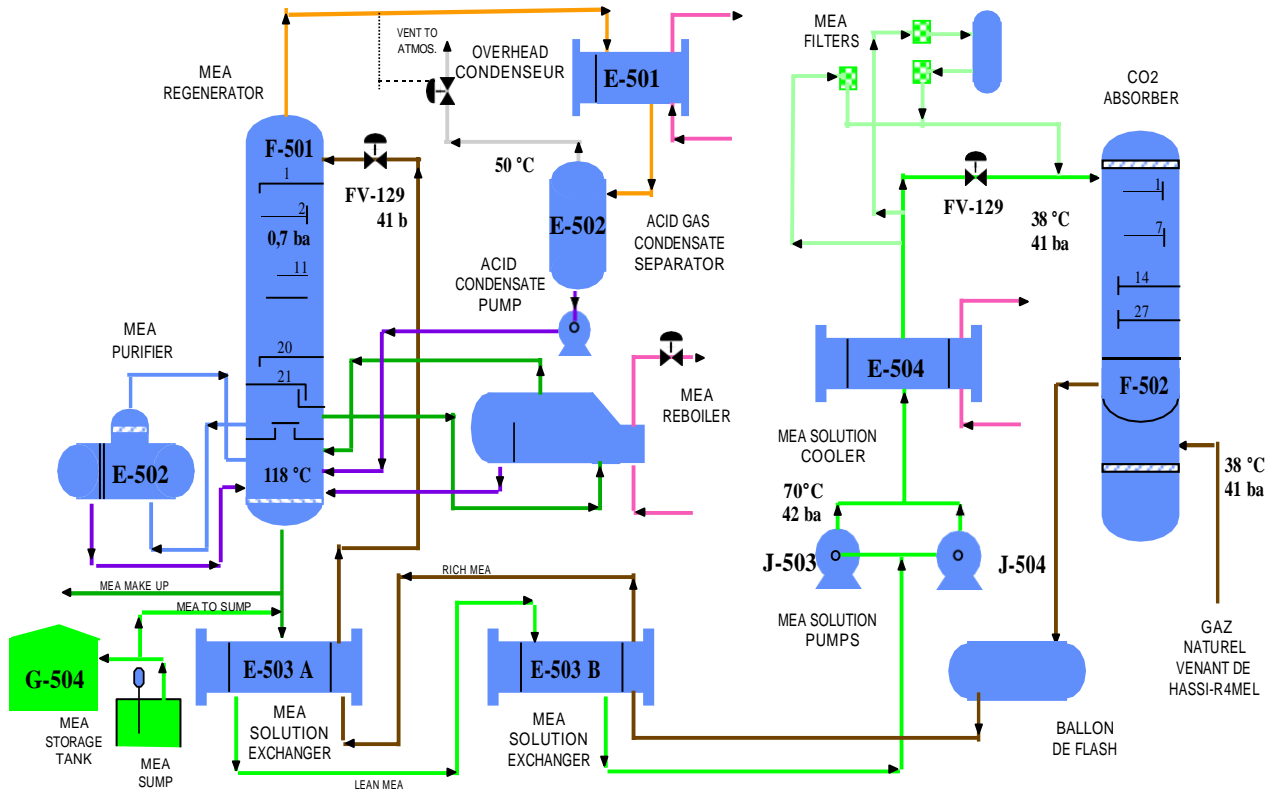
Où R dans les composés chimiques représente le Radical OH-CH₂-CH₂.

Au cours du processus d'absorption, ces réactions réversibles se déroulent dans le sens direct, elles sont exothermiques et leur évolution dans ce sens est favorisée par la température basse et la haute pression. [4]

II.3.2 Régénération d'amine

Principe : on ne peut parler de la décarbonatation du gaz naturel sans traiter le procédé de régénération de l'absorbant ; le procédé de désorption est l'inverse de l'absorption comme dans le cas de la chimisorption, il comprend également deux étapes :

- La première est chimique assure la décomposition généralement thermique des substances formées lors de l'absorption.
- La seconde purement physique, a pour rôle de séparer les constituants absorbés par évaporation. Les réactions chimiques principales intervenant dans le processus de la désorption du CO₂ sont les mêmes que celles de l'absorption mais évoluent en sens inverse.[4]



Etébli par AO/PP/GLIZ le 1/10/99 aprés rénovation

Figure II.1 : schéma de section de décarbonatation [1]

Chapitre III :

(Les échangeurs de
chaleur et les problèmes
de bouchage)

III.1 Introduction:

L'échangeur de chaleur est un équipement qui permet d'assurer un transfert de chaleur d'un fluide chaud à un fluide froid sans contact direct entre les deux fluides. Le même fluide peut conserver son état physique (liquide ou gazeux) ou se présenter successivement sous les deux phases : c'est le cas des condenseurs, évaporateurs, bouilleurs, ou des tours de refroidissement [5]

En principe, pour les échangeurs les plus courants dans l'industrie, les deux fluides s'écoulent dans des espaces séparés par une paroi ou cloison à faible inertie thermique au travers de laquelle les échanges se font par conduction. En effet, la chaleur que l'un des fluides cède à la paroi par convection le long de la surface de contact est transférée par conduction et, est cède à l'autre fluide par convection le long de l'autre face.

De par leurs différentes applications, les caractéristiques des échangeurs se situent dans une gamme très étendue en encombrement, en puissance échangée, en pression et en température. Les exigences de fonctionnement, les différentes normes imposées par le législateur pour la conception de tels appareils, les technologies ainsi que les matériaux utilisés sont inévitablement variés et difficilement comparables.

Il devient donc difficile d'établir une classification rigoureuse sans faire le choix incontestablement restrictif d'un critère. Le plus souvent, les échangeurs de chaleur sont classifiés selon la configuration d'écoulement des fluides considérés et selon leur type de construction

III.2.les types d'échangeurs :

Les principaux types d'échangeurs de chaleur rencontrés sont les suivants :

- les échangeurs tubulaires ;
- les échangeurs à plaques ;

Compte-tenu des diverses applications dans lesquelles interviennent les échangeurs de chaleur et de leurs développements actuels, nous n'avons pas ici, la prétention de fournir une liste exhaustive des différentes configurations existantes. [7]

III.2.1 Les échangeurs tubulaires:

Les échangeurs tubulaires représentent encore près de la moitié des échangeurs certain nombre d'avantages : en particulier ils sont faciles à fabriquer, relativement bon marché, de thermiques vendus en France et en Europe [5]. Ils présentent une maintenance aisée et surtout ils peuvent être utilisés à des pressions élevées et à de fortes températures. Leur robustesse et leur fiabilité contre balancent leur encombrement. On distingue, le plus souvent :

- les échangeurs monotubes pour lesquels le tube est placé dans un réservoir ;
- les échangeurs coaxiaux pour lesquels les tubes sont le plus souvent cintrés ;
- les échangeurs multitubulaires :
 - a) les échangeurs à tubes ailettes qui permettent d'améliorer le coefficient d'échange : lorsque l'un des fluides transitant dans l'échangeur s'avère moins bon caloporteur que l'autre, l'utilisation d'ailettes autour des tubes ou dans les tubes s'impose pour que la résistance thermique globale ne soit pas entièrement due au fluide ayant le plus petit coefficient d'échange thermique.
 - b) les échangeurs à tubes et calandre où la calandre est une enveloppe métallique cylindrique entourant un faisceau de tubes : ils possèdent une boîte de distribution c'est à dire un dispositif qui distribue ou recueille le fluide aux extrémités des tubes. Ils peuvent être à boîte fixe, à boîte flottante, ou à tubes en U avec une boîte à chaque extrémité de l'échangeur. Les tubes peuvent être supportés par des chicanes [7]

III.2.2 Les échangeurs à plaques:

De création plus récente que les échangeurs tubulaires, les échangeurs à plaques ont subi depuis leur création, il y a environ 60 ans, des améliorations substantielles. Ils sont formés par l'empilement d'un ensemble de plaques métalliques embouties, au travers desquelles s'effectue le transfert de chaleur entre deux fluides. S'ils ne peuvent pas toujours être utilisés pour les températures élevées et les fortes pressions, les échangeurs à plaques bénéficient d'avantages tenant notamment à leur meilleur rendement et à leur capacité. Plusieurs technologies sont en concurrence. La principale, et la plus ancienne, est celle des échangeurs à plaques avec joints. Un joint par plaque assure l'étanchéité de l'échangeur ainsi que la répartition des fluides dans les canaux formés par deux plaques. Ces échangeurs ne peuvent être utilisés que pour des pressions maximales de 30 bars et des températures maximales de 200 degrés Celsius.

- c) D'autres technologies plus récentes permettent de remédier aux inconvénients de l'existence de joints, comme les échangeurs à plaques soudées sont adaptés à l'utilisation de fluides encrassant corrosifs, chauds, sous pression, présentant des débits très différents de part et d'autre de la surface d'échange.
- d) Il existe d'autres échangeurs à plaques dont la diffusion est moins importante tels que les échangeurs à spirales et les échangeurs à plaques brasées. Les échangeurs à plaques brasées sont formés de plaques embouties, mais sans joints, qui forment ainsi un appareil compact et résistant à hautes pressions. Les échangeurs à spirales sont constitués de deux rubans de tôle gaufrée, enroulés et maintenus parallèles et où la circulation du fluide est de type monocanal à courants parallèles ou croisés.[7]



Figure III.1 : Echangeur tubulaire



Figure III.2 : Echangeur à plaque

III.2.3 Autres types d'échangeurs:

Un aéroréfrigérant : est un cas particulier des échangeurs de chaleur. Il est composé d'une surface d'échange et d'un moyen de ventilation. C'est un dispositif permettant d'étendre de l'énergie thermique d'un fluide interne vers l'air extérieur.[7]



Figure III.3 : Un aéroréfrigérant

III.3.le problème de bouchage de l'échangeur

III.3.1.Problème de l'encrassement

L'encrassement, qui, sous sa forme la plus générale, peut être défini comme le dépôt de matériaux ou de substances indésirables sur une paroi, affecte une grande variété d'opérations industrielles. Dans le cas des échangeurs, la présence d'un fort gradient thermique près de cette paroi rend beaucoup plus complexes les mécanismes d'encrassement par rapport au cas isotherme rencontré, par exemple, lors de l'utilisation des membranes ou des filtres.

Ce problème, souvent inévitable dans les installations industrielles, produit deux types d'effets, on observe généralement :

- une augmentation des pertes de charge par frottement sur les parois puis une réduction de la section de passage du fluide dans l'appareil, pouvant aller jusqu'au bouchage partiel ou total de l'échangeur. Dans ce cas, on utilise le terme « **colmatage** » ;
- une dégradation des échanges de chaleur car l'encrassement crée une résistance thermique additionnelle entre les fluides chaud et froid.

L'encrassement se répercute sur la rentabilité des installations par des coûts principalement liés aux pertes de production, à la surconsommation d'énergie et aux frais de nettoyage et de maintenance, et dans une moindre mesure aux surdimensionnements et aux ajouts d'équipements de nettoyage

Il est possible de classer l'encrassement selon le mécanisme qui contrôle la vitesse de dépôt, selon les conditions d'utilisation de l'échangeur ou selon le mécanisme dominant, même s'il ne contrôle pas la vitesse de dépôt. Nous adopterons, comme la plupart des auteurs [8], cette dernière méthode de classification. Six types différents peuvent être définis :

- encrassement des particulaires ;
- corrosion ;
- entartrage ;
- encrassement biologique ;
- encrassement par réaction chimique ;

II.3.1.1 L'encrassement des particulaires

Il s'agit du dépôt puis de l'accumulation, sur les surfaces d'échange, des particules transportées par l'écoulement de fluides industriels tels que :

- l'eau des chaudières contenant des produits de corrosion ;
- l'eau des tours de refroidissement ;
- Les écoulements fluide chargés de particules tels les résidus solides de combustion, ou les poussières résultant de l'incinération de déchets ménagers.

Toutefois, les types d'encrassement les plus fréquemment rencontrés dans l'industrie sont l'encrassement particulaire et l'entartrage [9]

III.3.1.2 La corrosion

L'encrassement par corrosion est le résultat d'une réaction chimique ou électrochimique entre la surface de transfert de chaleur et le fluide en écoulement [10] Les produits qui se forment et s'accumulent sur la surface créent l'encrassement. Il s'agit là d'un mécanisme de corrosion. Lorsque l'encrassement est dû à des produits de corrosion générés

l'encrassement correspondant est de type particulaire. Il existe différents types de corrosion:

- la corrosion uniforme caractérisée par une perte d'épaisseur régulière mais dont la vitesse n'est pas forcément proportionnelle au temps ;
- la corrosion par piqûres où l'attaque est limitée à des zones de très petites surfaces
- la corrosion fissurant à l'échelle microscopique intergranulaire ou transgranulaire ;

- la corrosion sélective où seul un élément d'un alliage subit une attaque sélective ;

III.3.1.3 L'entartrage

L'entartrage d'une surface d'échange est généralement associé à la production d'un solide cristallin à partir d'une solution liquide [11] Il dépend aux fortement de la composition des eaux industrielles. L'entartrage se matérialise par une formation d'incrustations adhérentes et dures sur les surfaces d'échanges généralement métalliques. Pour qu'il y ait entartrage, deux conditions doivent être remplies :

- la limite de solubilité du sel contenu dans l'eau doit être dépassée ;
- la vitesse de dépôt doit être suffisamment rapide.

III.3.1.4 L'encrassement biologique

L'encrassement biologique est dû au développement de micro-organismes qui créent un film encrassant au contact de la surface d'échange [12] Il peut être causé par trois grands types de micro-organismes :

- les bactéries dont le développement est dû à un apport nutritif de type hydrocarbures ;
- les algues dont le développement est dû à la présence d'énergie solaire avec photosynthèse ;
- les champignons dont le développement est dû aux changements des conditions ambiantes telles que l'humidité, la température ou le pH.

Dans certains cas extrêmes, il peut même être caractérisé par l'apparition de coquillages.

III.3.1.5. L'encrassement par réaction chimique

L'encrassement par réaction chimique est dû à la présence d'une réaction chimique au voisinage d'une surface d'échange [13] Les produits solides ainsi formés s'y déposent. Il s'agit le plus souvent d'une réaction de polymérisation qui implique la formation d'un dépôt de haut poids moléculaire. Les vitesses de telles réactions chimiques dépendent fortement de la température, de la pression, de la concentration et de la présence d'éléments catalyseurs. Toutefois, la vitesse globale du mécanisme de dépôt dépend aussi de la dynamique des phénomènes de surface et de transfert.

III.4 Effets de l'encrassement sur les performances thermiques d'un échangeur de chaleur

Phénoménologiquement, l'encrassement est un problème transitoire de chaleur et de masse qui nécessite l'action simultanée de plusieurs processus complexes.

Epstein [7] a décomposé les mécanismes d'encrassement selon 4 événements séquentiels :

L'initiation comme étant le temps nécessaire avant la formation du dépôt sur

- Une surface propre. Il faut signaler que, dans la grande majorité des études expérimentales traitant de l'encrassement particulaire sur des tubes d'échangeurs la phase d'initiation du processus d'encrassement n'est pas détectée.
- L'adhésion des particules sous l'effet des forces de Van der Waals, des forces Electrostatiques ou capillaires.
- Le réentraînement des particules déposées dû aux forces de cisaillement s'exerçant sur le dépôt, à l'érosion ou à l'écaillage.
- Le vieillissement du dépôt caractérisé par un changement de texture.

Les valeurs des résistances d'encrassement sont très variables car elles dépendent du type d'échangeur utilisé, de la nature des fluides et de la structure des écoulements. Cependant, l'expérience montre qu'au fil du temps elles atteignent presque toujours une valeur asymptotique, ce qui est déjà rassurant. [7]

III.5 Conclusion

L'absorption du CO₂ par la MEA est influencée par :

- La variation de la concentration du MEA et son débit ;
- La variation du débit du GN ;
- La température d'entrée du GN et celle de la solution de MEA. Dans cette partie, on se limitera à l'application des différents modes de transfert de chaleur au design des échangeurs de chaleur.

Chapitre IV :

(Étude des problèmes de

L'échangeur E-504)

IV.1 Introduction:

Parmi les équipements de transferts de chaleur, le refroidisseur à eau de mer de la solution de MEA pauvre (E-504) occupe une place importante dans la section décarbonatation.

Au début des années 90, SONATRACH a entamé une vaste opération de Rénovation. L'objectif était une bonne maintenance et une exploitation moderne. Le complexe GNL1/Z a renouvelé plusieurs équipements qui assurent la bonne marche du procédé. Après la rénovation en 1996, une augmentation en matière de production est enregistrée sur la totalité des trains. Le refroidisseur à eau de mer de la solution de MEA pauvre (E-504) a fonctionné correctement Jusqu'au mois de novembre 2002 où il a été enregistré une augmentation de la température de la solution de MEA à la sortie de cet échangeur pour atteindre parfois 50°C. [13]

IV.2 Description et le rôle de l'échangeur E-504

Le E.504 est un échangeur tubulaire (faisceaux calandres) placés horizontalement, la solution MEA pauvre à 15% passant côté calandre et l'eau de mer passant côté tubes, leurs caractéristiques sont comme suit :

IV2.1. Les tubes:[annexe 1]

- Nuance: 70-30 Cu.Ni
- Nombre de tube 410 tubes;
- Diamètre extérieur 3/4 in BWG2;
- Longueur 6096 mm;
- Nombre de passe 02.

IV 2.2. La calandre: (en acier de carbone) [annexe 1]

- Diamètre extérieur 76 in;
- Couvercle de la calandre avec tête flottante;
- Nombre de passe 01

La MEA pauvre sortant du fond de la colonne de régénération X01-F-501, à une température de 116°C, passe à travers les échangeurs intermédiaires MEA riche/MEA pauvre (X01-E503 A et B), où la température est diminuée à 68°C. Pour des raisons de transfert de masse dans l'absorbeur, la solution MEA pauvre à 15% est refroidie à l'eau de mer dans le refroidisseur E-504 jusqu'à la température de contact de la colonne d'absorption à 38 °C.[13]

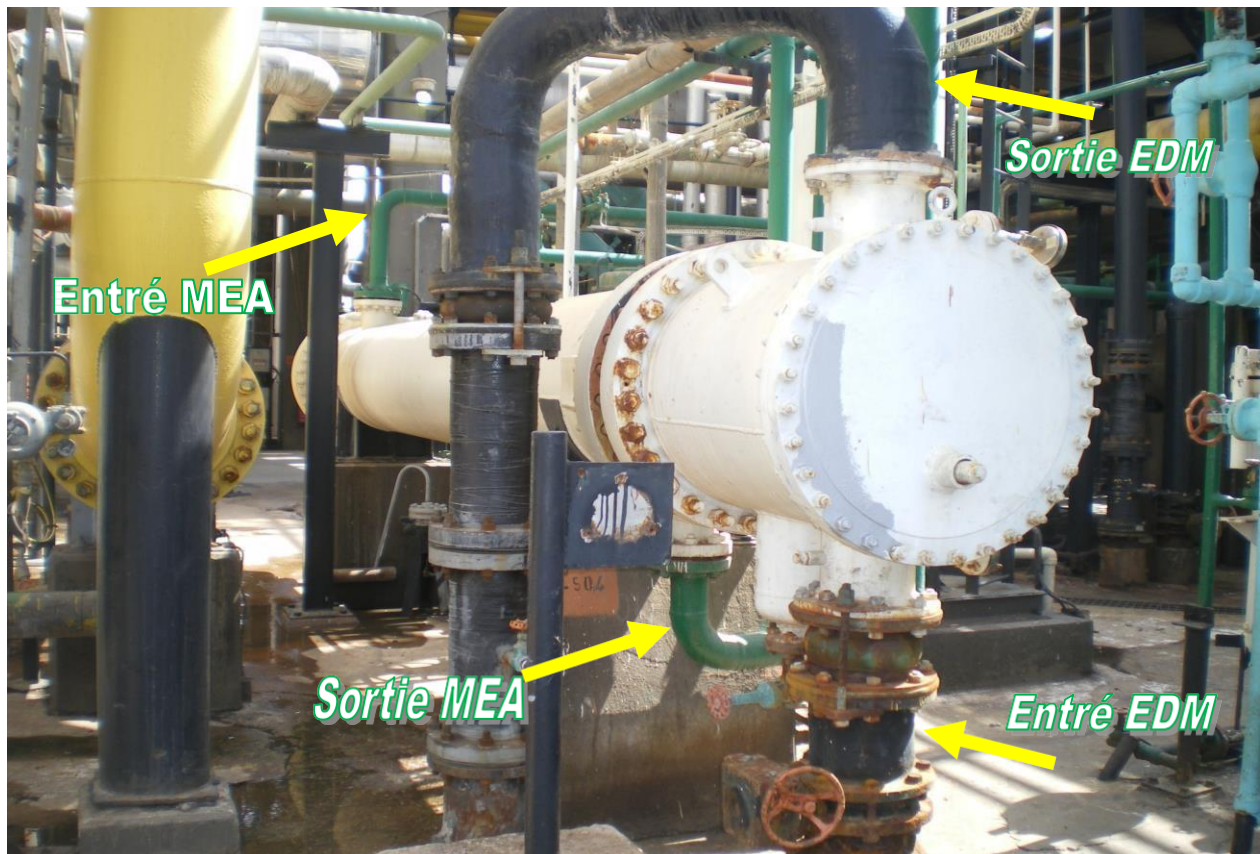


Figure IV.1 La position de l'échangeur de chaleur E-504 dans la section de décarbonatation. [5]

IV.3. Historique de l'échangeur E-504

Le Tableau IV.1 représente l'historique de l'échangeur E-504 de 1998 Jusqu'à 2008

Tableau IV.1 : Historique de l'échangeur E-504 [3]

Date	Anomalie
03/08/1998	tubes légèrement obtures. cratère de corrosion au niveau de la tête flottante.
28/06/1999	Crevasses au niveau du tampon et de la boîte de distribution de profondeur.
15/08/1999	Dépôt de tartre important dans la boîte à eau ainsi que sur les plaques tubulaire
30/01/2000	- Dégradation de la peinture coté calandre et couvercle de la tête flottante. - Corrosion des boulons de fixation, ligne sortie EDM
22/05/2000	- Boîte entrée/sortie EDM : Grillage colmaté par les débris de déchet marin à 80%. - Anode sacrificielle consommé.
24/06/2000	-Boîte entrée/sortie EDM : Grillage colmaté par les débris de déchet marins à 70%. - Anodes sacrificielles sont usées à 90%. - Plaque tubulaire colmaté.
07/03/2001	- La paroi de la boîte est couverte d'une solution gélatineuse (mélange eau de mer et solution MEA). - Faisceau tubulaire : est complètement corrodé.
04/07/2001	La bride pleine de la boîte de distribution présente des cratères de corrosion avec perte de métal.
28/07/2002	- Usure avancée des anodes sacrificielles. - Détérioration du revêtement interne de la boîte.
20/11/2002	-La température de sortie de MEA est élevée. -Boîte de distribution eau de mer : la paroi de la boîte est couverte d'une solution gélatineuse (mélange eau de mer et la solution de MEA). - Faisceau tubulaire est corrodé.
02/06/2003	une consommation excessive de MEA du train 400 et après des analyses de l'eau de mer du refroidisseur au laboratoire qui a confirmé la présence du MEA.
04/08/2003	Bouchage important des tubes par les dépôts.
24/04/2004	Plaque tubulaire : dépôt de calcaire et de coquillage sur la plaque.
24/08/2005	- Colmatage partiel du faisceau tubulaire. - Endommagement de deux manchons de la boîte. - Présence des traces de corrosion.
20/06/2006	-Présence d'un dépôt important de la boue. -Présence d'un arrachement de métal sur la tête flottante.
28/10/2008	La ligne d'entrée eau de mer de 8 "WC-X0050-1993 est complètement corrodée et présente des fuites d'EDM

IV.3. Les causes du mauvais transfert de chaleur du refroidisseur E-504

Le mauvais transfert de chaleur du refroidisseur E-504 a été causé par

- :1- Un débit d'eau de mer insuffisant de refroidissement.
- 2- Un encrassement de la boîte de distribution de l'eau de mer.
- 3- Un encrassement de la paroi interne.

IV.4. Le phénomène de bouchage de l'échangeur E-504

Le bouchage de l'un des quatre trous des plaques à orifice installées à la sortie de la ligne d'eau de mer du refroidisseur E-504 fait réduire le débit d'écoulement à travers les tubes.

Toutefois, la température de la solution MEA pauvre à la sortie du refroidisseur E-504 n'atteint le seuil alarmant qu'après l'encrassement des parois internes des tubes.

Le fonctionnement de cet échangeur avec un débit d'eau de mer insuffisant, favorise l'augmentation de la température de la MEA pauvre pour diminuer l'encrassement des tubes de l'échangeur.



Figure IV.2 Le bouchage du faisceau tubulaire de l'échangeur E-504

IV.4.1 Encrassement de la boîte de distribution de l'eau de mer

Nous avons remarqué après l'ouverture de l'échangeur pour l'inspection que :

- Dépôt de tartre important dans la boîte de l'eau de mer ainsi que sur les plaques tubulaire.
- Peinture dans un état dégradé.

Mutation de la température de la MEA pauvre au moins d'encrassement des tubes de l'échangeur.

- Dégradation de la surface externe des tubes



Figure IV.3: Les tartes formées sur la boîte de distribution

IV.4.2. Encrassement de la paroi interne des tubes

L'eau de mer contient des particules solides et organiques qui peuvent altérer l'état des équipements, elle subit certains traitements avant son utilisation dans les unités notamment :

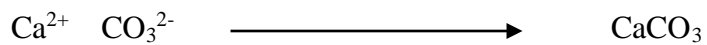
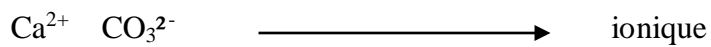
Les résultats d'analyse du dépôt des faisceaux tubulaires de l'échangeur E-504, données par le laboratoire du complexe du GNL mettent en évidence la présence d'une quantité importante de sels de calcium, de magnésium et d'une quantité moins importante de cuivre, de nickel et de fer.

Tableau IV.2 : Les résultats d'analyse du dépôt

	Calcium	Magnesium	cuiivre	Fer	Nickel
masse (kg)	49,22	30,88	3,99	0,89	1,94

Les résultats des analyses de la masse des composants du dépôt montrent que le dépôt est carbonaté, formé de 50% de carbonate de calcium.

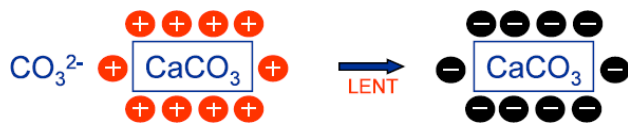
- Mécanisme de formation du tartre



- Adsorption des ions Ca^{2+} sur CaCO_3



- Début de précipitation



IV.4.3 Analyse de la paroi externe du faisceau des tubes

La paroi extérieure des tubes de l'échangeur est en contact avec un fluide corrosif (MEA), nous avons observé que la surface des tubes est sévèrement corrodée.

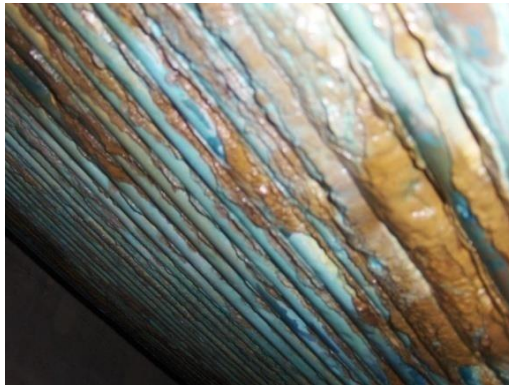


Figure IV.4 : Effet de la MEA sur la surface des tubes

D'après une expérience faite sur des échantillons des tubes en cupronickel (Cu, Ni), il a été démontré que la solution MEA est responsable de la corrosion des tubes. La vitesse de corrosion augmente avec l'augmentation de la concentration de la solution de MEA.

IV.5 Interprétation des résultats

Les différents constats enregistrés au niveau des tubes de l'échangeur E-504 lors des ouvertures de ces équipements ont révélé que la paroi interne est colmatée par des dépôts de tartre, la cause principale de ces tartres est le débit de l'eau de mer faible et la température de sortie de la solution MEA.

Un autre phénomène a été relevé : la présence de corrosion sur la surface des tubes de l'échangeur, cette dernière peut être provoquée par la concentration élevée du MEA. La corrosion est la cause principale de la détérioration du surface externes des tubes et par la suite la fissuration et le perçage des tubes.

L'érosion contribue aussi au perçage des tubes, en effet la solution de MEA entré du cotécalandre avec une grande pression et vitesse de circulation, qui provoque l'érosion de la surface des tubes.

IV.6 Problématique

Parmi les équipements de transferts de chaleur, le refroidisseur à eau de mer de la solution de MEA pauvre (E-504) occupe une place importante dans la section de décarbonatation, Au début des années 90, SONATRACH a entamé une vaste opération de rénovation. L'objectif était une bonne maintenance et une exploitation moderne. Le complexe GNL1/Z a renouvelé plusieurs équipements qui assurent la bonne marche du procédé. Après la rénovation en 1996, une augmentation en matière de production est enregistrée sur la totalité des trains. Le refroidisseur à eau de mer de la solution de MEA pauvre (E-504) a fonctionné correctement Jusqu'au mois de novembre 2002 ou il a été enregistré une augmentation de la température de la solution de MEA à la sortie de cet échangeur pour atteindre parfois 50°C. Suite aux différents problèmes rencontrés au niveau du refroidisseur de la solution de MEA pauvre, un mauvais de transfert de chaleur à été enregistré.

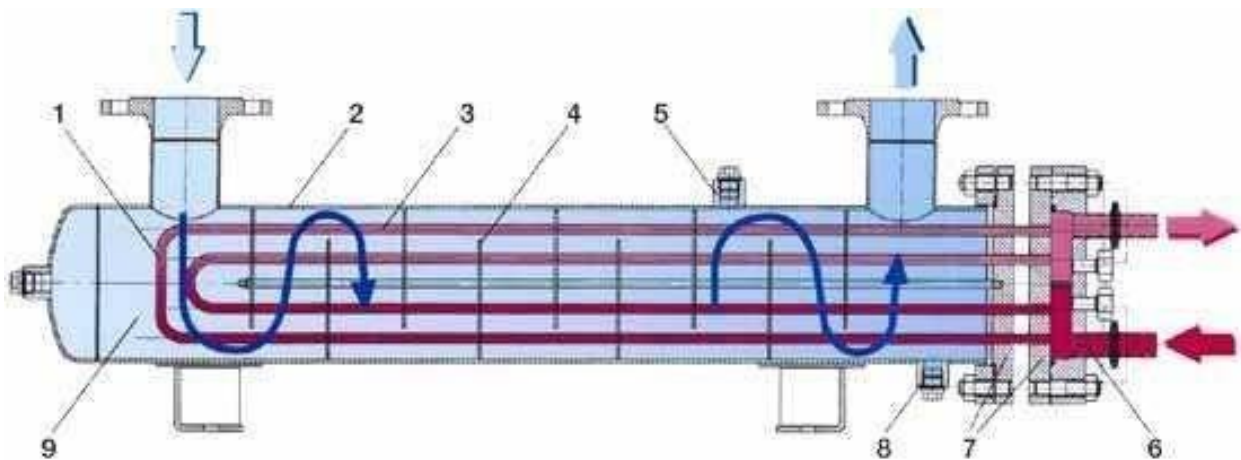


Figure IV .5: Echangeur de chaleur a contre courant

Avec

1. Faisceau tubulaire
2. Enveloppe (calandre)
3. Intérieur tube 4. Chicane
5. Raccord évent
6. Intérieur boîte à eau
7. Plaque tubulaire
8. Raccord vidange
9. Intérieur enveloppe

IV.7 Calcul thermique

La méthode de KERN [15] est très utilisée pour le calcul des échangeurs thermiques du fait de sa simplicité et la rapidité de sa mise en œuvre. Elle donne des résultats satisfaisants dans la plupart des cas. Elle exige, cependant, une spécification préliminaire du type d'échangeur incluant la suggestion d'une géométrie interne. Cette étape préliminaire peut être conduite en prenant un coefficient global d'échange typique pour les deux fluides mis en contact dans la bibliographie, Et notre échangeur à faisceaux tubulaire de contre courant (liquide_ liquide)

Tableau IV.3 : Paramètres de service de l'échangeur E-504 (design) [annexe1]

Fluide	Coté calandre (chaude) (MEA pauvre)	Coté tube (froide) (Eau de Mer)
Débit (Lb/h)	121175	326000
Température (°F)	T entrée= 162 T sortie=100	T entrée=75 T sortie=98
Pression (psia)	755	50

O 'na utiliser ces formules pour convertir les unités et facilité les

$$\text{calculés } T (^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}(T (^{\circ}\text{F}) - 32)$$

$$1 \text{ Bar} = 14.50377 \text{ Psia}$$

$$1 \text{ Lb/h} = 0.45359237 \text{ Kg/h}$$

Tableau IV.4: Les paramètres d'échangeur (après la conversion)

Fluide	Coté calandre (chaude) (MEA pauvre)	Coté tube (froide) (Eau de Mer)
Débit (Kg/h)	54964.05	147871.12
Température ($^{\circ}\text{C}$)	T entrée= 72.22 T sortie=37.77	T entrée=23.88 T sortie=36.66
Pression (Bar)	52.05	3.44

IV.7.1. Quantité de chaleur

La quantité de chaleur (notée : Q) est la chaleur nécessaire pour porter la température d'un corps de la température T_1 à T_2 (en K ou en $^{\circ}\text{C}$). C'est aussi l'énergie nécessaire pour effectuer un changement d'état (exemple : passage de l'état liquide à l'état gazeux).

Note: il peut y avoir un changement d'état avec variation de température.

Q est calculé par utilisation de l'équation

$$Q = Gc.Cp. (Te - Ts) \quad (IV.1)$$

Avec

Q : Quantité de chaleur des fluides (KW).

G : Débit massique circulant à l'intérieur des tubes (kg/ h).

C_p : Chaleur spécifique de fluide froid (kj/kg°C).

T_1 : Température d'entrée côté tube (°c).

T_2 : Température de sortie côté tube (°c).

C : chaude

F : froide

T_{ce} : Température de fluide chaude entrée

T_{fe} : Température de fluide froide entrée

IV.8.1.1 Pour fluide chaude(MEA)

$$Q = G_c \cdot C_{pc} \cdot (T_{ce} - T_{cs})$$

$$= 54964.05 \cdot 4 \cdot (72.22 - 37.77)$$

$$\text{avec } C_p(\text{MEA}) = 4 \text{ KJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} [1]$$

$$= 7574046.09 / 3600$$

$Q = 2103.90 \text{ KW}$

IV.8.1.2 Fluide froide(EDM) :

$$Q = G_f \cdot C_{pf} \cdot (T_{sf} - T_{ef})$$

$$= 147871,12 \cdot 1,88 \cdot (36,66 - 23,88)$$

$$\text{avec : } C_p(\text{EDM}) = 1,88 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} [1]$$

$$= 3552810,678 / 3600$$

$$Q = 986,892 \text{ KW}$$

IV.7.2 Calcul de l'écart logarithmique moyen de température (ΔT_{LM}) :

La différence de température moyenne logarithmique “ (ΔT_{LM}) est une moyennel logarithmique de la différence de température entre les alimentations chaude et froide à chaque extrémité de l'échangeur de chaleur. Plus la ΔT_{LM} est grande, plus la chaleur transférée n'est importante.

L'écart de température ΔT_{LM}

est déterminé par utilisation de l'équation

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{2,3 \log \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (\text{IV.2})$$

Avec

$$\Delta T_1 = T_{cs} - T_{fe}$$

$$= (37,77 - 23,88)$$

$$\Delta T_1 = 13,89^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{ce} - T_{fs}$$

$$= (72.22 - 36.66)$$

$$\Delta T_2 = 35,56^\circ\text{C}$$

$$\Delta TLM = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{2.3 \log \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$= \frac{13.89 - 35.56}{2.3 \log \frac{13.89}{35.56}}$$

$$\Delta TLM = 23.08^\circ\text{C}$$

IV.7.3 Le coefficient de transfert thermique

Est un flux thermique au travers d'une surface d'échange. Il sert à calculer l'intensité de l'énergie échangée par unité de surface et unité de temps selon la différence de température de part et d'autre de la surface d'échange. C'est un terme important dans l'équation d'un transfert thermique et permet d'indiquer la facilité avec laquelle l'énergie thermique passe au travers de la surface d'échange.

$$Q = K.F. \Delta TLM$$

(IV.3)

On obtient :

$$K = \frac{Q}{F.\Delta TLM}$$

(IV.4)

Avec :

K : Coefficient d'échanges thermique (KW /m²°C)

Q: Quantité de chaleur (KW)

F : la surface des tubes (m²)

ΔTLM : L'écart logarithmique moyen de température (°C)

$$K = \frac{2103.90}{0.038926 * 23.08} \quad \text{Avec: } F=0.038926 \text{ m}^2 \text{ [1]}$$

$$K = 2341.7 \text{ KW/m}^2 \cdot \text{°C}$$

IV.7.5 Efficacité d'échangeur à contre courant:

L'efficacité, est la mesure de la puissance d'un échangeur par rapport à ce qu'il pourrait transmettre s'il était à contre-courants et infiniment grand. Du point de vue économique, un échangeur est souvent dimensionné pour avoir une efficacité comprise entre 0,5 et 0,8

D'abord on calcule la chaleur spécifique pour choisir l'équation et puis on calcule l'efficacité

On 'a

Pour :

$$E = \frac{T_{ce} - T_{cs}}{T_{ce} - T_{fe}} \quad (IV.5)$$

$$C_{min} = C_c$$

$$E = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}} \quad (IV.6)$$

$$C_{min} = C_f$$

On a

$$C_f = G_f \cdot C_{pf}$$

$$= \frac{147871.12}{3600} \cdot 1.88$$

$$C_f = 77.22 \text{ KW/}^\circ\text{C}$$



C_{max}

$$C_c = G_c \cdot C_{pc}$$

$$= \frac{54964.05}{3600} \cdot 4$$

$$C_c = 61.07 \text{ KW/}^\circ\text{C}$$



C_{min}

Alors on applique cette relation

$$E = \frac{T_{ce} - T_{cs}}{T_{ce} - T_{fe}}$$

(IV.5)

$$= \frac{72.22 - 37.77}{72.22 - 23.88}$$

$$E = 0.71 = 71\%$$

Avec

$$Z = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (IV.7)$$

$$= \frac{61.07}{77.22}$$

$$Z = 0.79$$

Tableau IV.5 :Calcul des Paramètres de l'échangeur E-504 (design)

Partie calcule	Unité	Fluide chaude (MEA)	Fluide froide(EDM)
Quantité de chaleur(Q)	KW	2103,90	986,892
ΔTLM	°C	23.08	
Coefficient d'échange (K)	KW/m ² . °C	2341.7	
Chaleur Spécifique (C)	KW/°C	61.07	77.22
Efficacités (E)	%	71	
Le rapport (Z)	/	0.79	

Tableau IV.6: Paramètres de service de l'échangeur E-504 (2019) [1]

Fluide	Coté calandre (chaude) (MEA pauvre)	Coté tube (froide) (Eau de Mer)
Débit (kg /h)	42780	95579
Température (°C)	T entrée= 72.9 T sortie=47	T entrée=25 T sortie=38
Pression (bar)	63	3.5

On utilise les équations suivantes :{(IV.1), (IV.2), (IV.4), (IV.5), (IV.6), (IV.7)}

Tableau IV.7 : Calcul des paramètres de l'échangeur E-504 (2019)

Partie calcule	Unité	Fluide chaude (MEA)	Fluide froide(EDM)
Quantité de chaleur(Q)	KW	1231.11	648.87
ΔTLM	°C	27.98	
Coefficient d'échange (K)	KW/m ² . °C	1130.34	
Chaleur Spécifique (C)	KW/°C	45.53	49.91
Efficacités (E)	%	53	
Le rapport (Z)	/	0.95	

Tableau .IV.8 : Les paramètres de l'échangeur E-504 actuel (2022) [annexe2]

Fluide	Coté calandre (chaude) (MEA pauvre)	Coté tube (froide) (Eau de Mer)
Débit (kg /h)	48318	103079.6
Température (°C)	T entrée= 64.4 T sortie=36.8	T entrée=22 T sortie=38
Pression (bar)	55	1.7

On utilise les équations suivantes :{(IV.1), (IV.2), (IV.4), (IV.5), (IV.6), (IV.7)}

Tableau IV.9 : Calcul des paramètres de l'échangeur E-504 actuel (2022)

Partie calcule	Unité	Fluide chaude (MEA)	Fluide froide(EDM)
Quantité de chaleur(Q)	KW	1481.75	861.29
ΔTLM	°C	20.06	
Coefficient d'échange (K)	KW/m ² . °C	1897.6	
Chaleur Spécifique (C)	KW/°C	53.68	53.83
Efficacités (E)	%	65	
Le rapport (Z)	/	0.99	

IV.8 Interprétation des résultats

Les différents constats enregistrés au niveau des tubes de l'échangeur E-504 lors de l'ouverture de cet équipement ont révélé que la paroi interne est colmatée par des dépôts de tartre, la cause principale de ces tartres est le débit de l'eau de mer.

Le phénomène de corrosion sur la surface des tubes de l'échangeur est provoquée par la concentration élevée du MEA, la corrosion est la cause principale de la détérioration du surface externes du tubes et par la suite la fissuration et le perçage du tube

Le rendement thermique de l'appareil baisse et Faiblement de débit d'eau de mer utilisé pour le refroidissement de la MEA.

L'entraînement de la MEA (à forte dose), cette dernière influe négativement sur l'état du métal en augmentant sa vitesse de corrosion

La grande différence de pression entre la solution de la MEA et l'EDM favorisent la pénétration des tubes de l'échangeur à l'intérieur

La différence de température de l'entrée à cause de changement de climat.

L'efficacité de l'échangeur diminue en 2019 à cause des problèmes de bouchage qu'on a vu mais après le réglage (nettoyage avec une solution à 5% d'acide sulfamique, obtenu par le mélange de l'acide avec des condensats.) (Voir [l'annexe 3]) donc l'efficacité actuellement était augmenté

Conclusion générale

Conclusion Générale

Notre passage au complexe GNL1/Z, nous a permis d'étudier les phénomènes de bouchage de l'échangeur E-504 EDM/MEA de la section de décarbonatation. Les principales causes d'un mauvais transfert de chaleur du refroidisseur E-504 sont dues aux :

- 1- Débit d'eau de mer insuffisant de refroidissement
- 2- Encrassement de la boîte de distribution de l'eau de mer.
- 3- Encrassement de la paroi interne
- 4- Dégradation de la surface externe des tubes

Du fait d'un encrassement important, les performances de ces réfrigérants s'en trouvent régulièrement fortement affectées.

La section de décarbonatation dépendant de cette échangeur et par suite pénalisée du fait du mauvais fonctionnement de ces appareils.

Les solutions de ces problèmes sont :

- ❖ Une diminution de production ;
- ❖ L'abaissement le rendement thermique de l'appareil ;
- ❖ Arrêt les installations ;
- ❖ Impact écologique sur l'environnement, déversement de la MEA vers les égouts et la mer.

Alors, vue l'importance du problème, il est à noter qu'il faut prendre en charge cette préoccupation qui risque de s'aggraver dans le futur car il s'avère que ce phénomène d'encrassement est évolutif sur le refroidisseur E-504, de ce fait nous prévoyons

Recommendations

Recommandations

L'échangeur de chaleur E.504 à un rôle très important dans le procédé de traitement de gaz, Pour résoudre les problèmes qui ont été cités, certaines recommandations ont été proposées comme :

- ✓ Installer un débitmètre d'hypochlorite de sodium sur la ligne d'injection
Le niveau d'eau dans le réservoir d'aspiration de la pompe à eau de mer principale.
- ✓ Déboucher mécaniquement les tubes totalement obturés (actuellement), par la méthode hydro-blaste à l'aide jet cleaner
- ✓ Nettoyage chimique des faisceaux de tubes sous inspection

Afin d'empêcher l'obturation totale des tubes de cet échangeur avec des tartres, on recommande ce qui suite

- ✓ Respecter les fréquences de vidange des encrassements de piège à moules
- ✓ Procéder au lessivage chimique des faisceaux tubulaires dans le cas où l'inspection révèle un bouchage partiel des tubes par le tartre.
- ✓ Injecter dans le circuit de refroidissement de l'eau de mer des inhibiteurs antitartres pour retarder la formation des tartres.
- ✓ Respecter la dose de la MEA pour éviter la dégradation des surfaces extérieures des tubes.

Références

bibliographiques

[1] Département technique du complexe, étude de l'augmentation cyclique de CO₂ au niveau de la section de décarbonatation, 2009/2010.

[2] SONATRACH , " Faites connaissance avec les hydrocarbures" Algérie, 3^{ème} édition, 1993

[3] : Manuel Opérateur Process, volume 4, Décembre 1977.

[4] Formation d'ingénieur, module 11: décarbonatation, volume 26, 1994.

[5] Afghan et Schlunder 1974, Ozisik 1980, Sacadura 1993

[5] Finkbeiner et al 1993.

[7] N, Epstein; Thinking about heat transfer fouling: a 5x5 matrix, Heat Transfer Engineering, 4 (1), p 43-56, 1983

[8] C. Duffau , J.M. Grillot, Navarro, J. M., Vidil, R., L'encrassement dans les échangeurs: description, prévention, remèdes, GRETh Technique et Documentation, Diffusion Lavoisier, 1991

[9] Epstein 1983.

[10] Laque et Copson 1963

[11] Rodier 1971

[12]Duffau et al 1991.

[13]Lund et Sandhu 1981.

[14] Département technique GNL1/Z, stat sheet, process, historique des échangeurs,2008

[15] Livre raffinage et génie chimique, P.WUITNIER

Annexes

EXCHANGER DATA SHEET

L&H CASE(1)

CUSTOMER SONATRACH		MANUFACTURER	
PLANT LOCATION ARZEL		REQUISITION NO.	
SERVICE OF UNIT MEA-SOLN. COOLER		ITEM NO. X01E-05.04	
SIZE	TYPE (HORIZ) (VERT) CONNECTED IN	PARALLEL	SERIES
EFF SURF. PER SHELL	50 FT. SHELLS PER UNIT	EFF SURF. PER UNIT	50 FT

	PERFORMANCE OF ONE UNIT				UNITS REQ'D			
	SHELL SIDE		TUBE SIDE		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	326000 LB/HR				
NONCONDENSABLES	LB/HR	LB/HR	LB/HR	LB/HR				
GRAVITY: LIQ. DEG-API; SG @ 60 F	1.000	1.000						
MOL-WT.-VAPOR PL @ T	61.5	62.4						
MOL WT: NONCONDENSABLES								
VISCOSITY: LIQUID, CP	0.6 @ 162 F	1.05 @ 100 F						
HEAT: LATENT, BTU. SP. BTU. LB. DEG F	0.96	0.94	0.96	0.96				
THERM COND: BTU-FT. LB. DEG F. VAP LIQ	0.34 @ 162 F	0.32 @ 100 F						
TEMPERATURE	162 F	100 F	75 F	98 F				
OPERATING PRESSURE	755 PSIG		50 PSIG					
VELOCITY	FPS	FPS	FPS	FPS				
NO. PASSES								
PRESSURE DROP	ALLOW. 10 PSI; CALC	PSI	ALLOW. 10 PSI; CALC	PSI				
FOULING RESISTANCE (MIN.)	0.02		0.02					
HEAT EXCHANGED	7.2 MMBTU/HR							
TRANSFER RATE: SERVICE								

CONSTRUCTION

PRESSURE, PSIG		DESIGN	TEST	DESIGN	TEST
DESIGN TEMPERATURE, DEG F					
NO. TUBES	OD	IN.; MIN. THK.	IN.	NOZZLES	NO. SHELL SIDE TUBING RATING & FACING
LENGTH		FT; PITCH	IN. (□) (○)	INLET	
SHELL DIAM	IN. ID	MAX BURDLE PLAM ALLOW.	IN.	OUTLET	
TRANSVERSE BAFFLE TYPE		SPACING	IN.	VENT	
PERCENT CUT		(VERT) (HORIZ) (45 DEG)		DRAIN	
LONG BAFFLE TYPE		IMPINGEMENT BAFFLE (YES) (NO)		TEMP CORR	
MATERIALS: (MARK SR AND PERCENT XR)					
ITEM	MAT'L	SPECIFICATION	DESIGN TEMP DEG F	CHEM CLEAN	
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

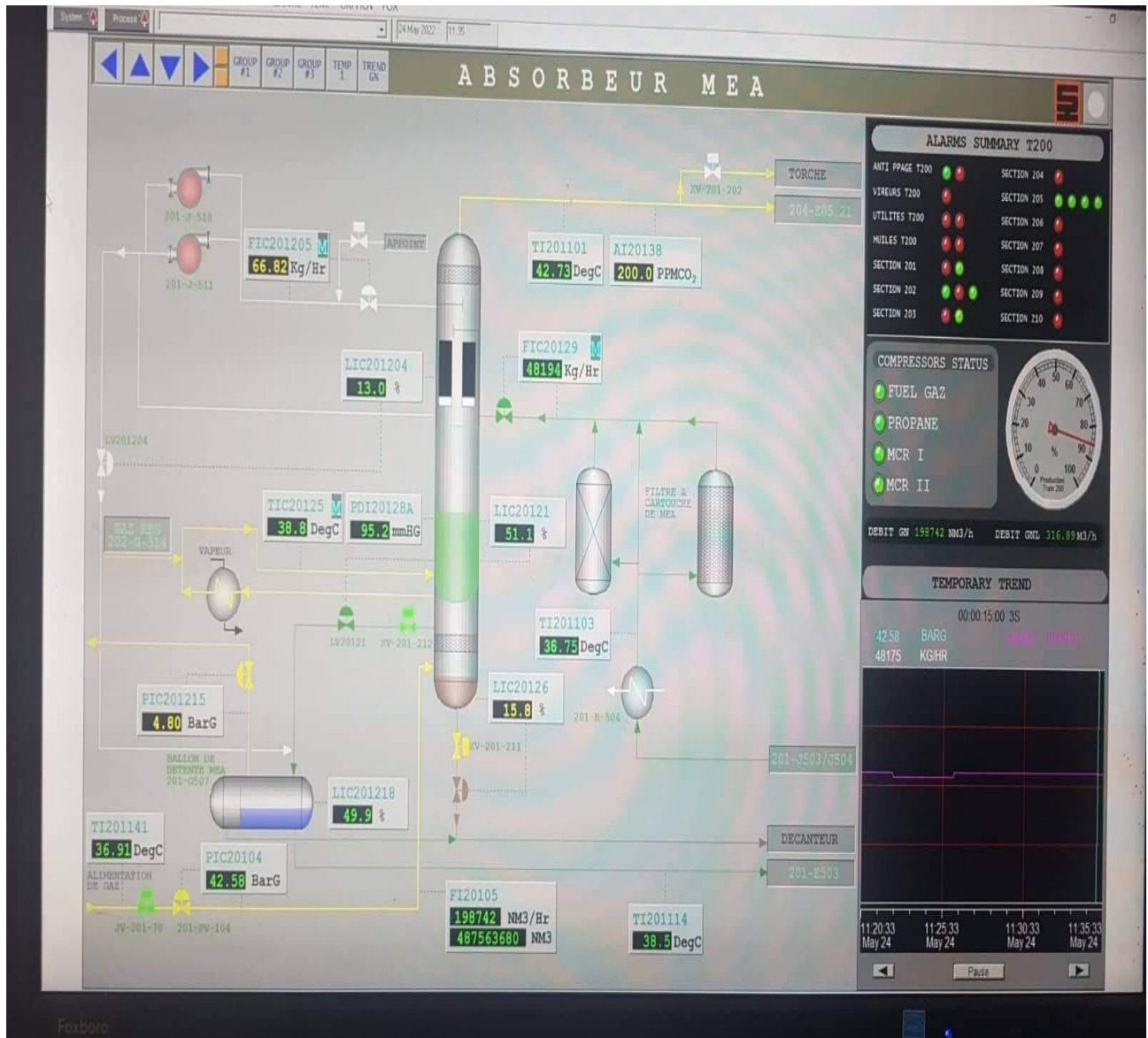
ASME CODE REQUIREMENTS

WEIGHTS PER SHELL: SHIPPING	LB; FULL OF WATER	LB; BUNDLE	LB
-----------------------------	-------------------	------------	----

Remarks: (1) Flows and Duty are the same for both cases



NO	DATE	REVISIONS	JOB NO	DRWG. NO.	REV.
0	3/11/71	FOR QUALITY AUDIT	11504	1-B-6	0



Annexe 2

Procédure de nettoyage chimique

Cette procédure est élaborée pour le nettoyage chimique des tubes du refroidisseur de la solution MEA E-504, pour l'élimination du tartre produit.

-L'installation étudiée pour le nettoyage chimique se compose de :

- ✓ Une citerne d'une capacité 2000 litres.
- ✓ Une pompe centrifuge
- ✓ Un système de mesure de pH.

- La solution de nettoyage est une solution à 5% d'acide sulfamique, obtenu par le mélange de l'acide avec des condensats.

-La quantité d'acide sulfamique nécessaire est de 500 Kg.

-La quantité d'inhibiteur de corrosion RODINE 141M nécessaire est de 22,5 Kg.

-La quantité de soude caustique NaOH est de la moitié de la masse d'acide résiduelle.

Préparation et circulation de la solution

- Connecter le flexible de refoulement de la pompe acide au niveau de la connexion.
- Remplir le bac 80% avec de condensat.
- Ajouter 100 Kg acide sulfamique.
- Ajouter 4,5 Kg d'inhibiteur de corrosion.
- Démarrer la pompe acide.
- Arrêter la pompe acide lorsque le niveau chute dans le bac.
- Répéter l'opération 5 fois, jusqu'à ce que la ligne déborde au niveau de la prise d'impulsion.
- Fermer les événements et disposée la ligne de retour vers le bac.
- Démarrer la pompe et faire circuler la solution.
- Faire des analyses de la solution en circulation toute les 30 minutes.
- Arrêter la circulation lorsque la concentration d'acide se stabilise.
- Vidanger le système et rincé avec des condensats.

[Annexe 3]