



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES



MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCÉDES

Option: GENIE DES PROCÉDES DES MATERIAUX

Par

Nom et Prénom : **HAMCHERIF Abdel Kader**
BOUNOUA Moghtet

*ETUDE DES PROBLEMES DE CORROSION DE L'ECHANGEUR E504 DANS LA
SECTION DE DECARBONATATION DU COMPLEXE GL1/Z.*

Soutenu le 2019 devant le jury composé de :

Président :	S. BENDENIA	Professeur	Université de Mostaganem
Examineur :	H. DIB-MERAD	MCB	Université de Mostaganem
Rapporteur :	C. BENDENIA	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2018/2019

REMERCIEMENTS

En premier lieu, Nous remercions Dieu tout puissant qui nous a donné la force de mener à terme ce travail.

Nous remercions sincèrement Notre encadreur Mme C. BENDENIA, Maitre de conférences à l'Université de Mostaganem, de nous avoir encadrés et dirigés.

Un grand remerciement tout particulier à Mme S. BENDENIA, Professeur à l'Université de Mostaganem d'avoir accepté de présider notre jury.

Nos vifs remerciements s'adressent également Mme H. DIB, Maitre de conférences à l'Université de Mostaganem, d'avoir fait l'honneur d'examiner notre travail.

Le travail présenté dans cette thèse a été effectué au niveau du complexe GP1/Z, Nous exprimons nos profonds gratitudeux aux personnels du complexe de nous avoir accepté et de nous apporter de l'aide.

Beaucoup de personnes ont contribué à la réalisation de ce travail, par leur amabilité leur soutien, leurs encouragements, leur disponibilité et leur aide, que ces personnes nous pardonnent...

Merci à Nos amis(es) qui nous ont soutenues depuis toujours...

Nos sincères remerciements iront à tous ceux que Nous n'ont pas cités et qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin, nos plus grand merci pour notre grand dieu tout puissant.

Dédicaces

Je tiens tout d'abord à remercier dieu car c'est grâce à lui que j'ai pu arriver à terminer ce travail.

Je dédie ce présent mémoire en signe de reconnaissance et de respect aux être les plus chers en mon cœur qui ont grandement contribué à mon éducation et instruction.

À mes très chers parents avec tout mon amour et ma reconnaissance la plus profonde.

À tous mes amis qui m'ont aidé de près et de loin.

À tous ceux qui me sont chers.

HAMCHERIF Abdelkader

BOUNOUA MOGHÉTET

Sommaire

Introduction général	1
Chapitre I : description du complexe GL1/Z	
introduction	2
I.1 presentation du complexe gl1/z	2
I.1.1.organisation du complexe GL1/Z	3
I.I.2. Description du complexe GL1/Z	4
I.1.2.1. zone d'utilité	4
I.1.2.2. zone de process	6
1.1.2.3.zone de stockage	14
1.1.2.4.zones de pompage	15
Chapitre II : les échangeurs de chaleur et le phénomène de corrosion	
Introduction	16
II.1. Description de la section décarbonatation	16
II.1.1. Le rôle de la section de décarbonatation	16
II.1.2. Caractéristiques de la réaction chimique	17
II.1.3. Procédé d'absorption du CO₂	17
II.1.4. Régénération de la solution MEA	18
II.2. les echangeurs de chaleur et le phenomene de corrosion	19
II.2.1. Généralités sur les échangeurs de chaleur	19
II.2.2. Modes de transfert de chaleur	20
II.2.3. Description et rôle de l'échangeur E504	20
II.3. Notions sur le phenomene de corrosion	22
II.3.1 Définition	22

II.3.2 La prevision de corrosion	22
II.3.3. Aspect économique de la corrosion	22
II.3.4. Forme de corrosion	23
II.3.5. Différents types de corrosion et leurs prévention	24
II.3.6. L'effet des facteurs sur la Vitesse de corrosion	29
II.4. Conclusion	31

Chapitre III . Les causes de la corrosion et proposition des solutions

III-1 Problématique	32
III.2. Les causes de mauvais transfert de chaleur du refroidisseur E504	33
III.3. Analyse des causes	33
III.4 .Analyse les effets de bouchage sur les performances thermiques d'un	37
III .5.Dégradation de la surface externe des tubes d'échangeur	38
III.6.Les fuites et la corrosion sur les tubes et la boite de distribution d'échangeur	41
les conséquences des problèmes	43
interprétation des résultats	45
les solutions	46

Introduction

Le commerce international du gaz naturel est en plein développement. Ces dernières années, l'Algérie y joue un rôle actif puisque son économie est basée essentiellement sur l'exportation des hydrocarbures, dont le GNL représente une grande partie.

L'Algérie dispose, en effet de réserves importantes estimés à 3000 milliards de mètres cubes (quatrième place mondiale après la RUSSIE, l'IRAN et les USA).

Le processus de liquéfaction de gaz naturel débute de la section de décarbonatation et termine à la section cryogénique, ou le gaz est liquéfié et envoyé vers le stockage. La quantité de gaz liquéfié est par fois inférieure que celle qu'on veut produire, ce manque de production est dû principalement aux problèmes apparaissant dans les différentes sections de l'unité.

Parmi les problèmes vécus au niveau des unités de liquéfaction du gaz naturel (GL1Z), nous avons les problèmes de l'endommagement de l'échangeur **E504**, Ce dernier permet de régler la température finale de la MEA pauvre qui vient d'être régénérée à 38°C, celle-ci passe côté calandre tandis que l'eau de mer de caractère corrosif est envoyé côté tube.

Notre travail consiste à déterminer les principaux problèmes de fonctionnement rencontrés par les utilisateurs d'échangeur de chaleur **E504**.

Notre mémoire s'articule selon l'ordre suivant :

- Chapitre I : Description du complexe GL1/Z.
- Chapitre II : Les échangeurs de chaleur et le phénomène de corrosion
- Chapitre III: La problématique, nous étudions les causes possibles qui peuvent mener à l'apparition le problème de corrosion pour pouvoir dégager les solutions les plus appropriées.

Une conclusion et les recommandations de ce travail achèveront ce mémoire.

CHAPITRE I

Description du complexe GL1/Z.

INTRODUCTION

Le commerce international du gaz naturel est en plein développement. Ces dernières années, l'Algérie y joue un rôle actif puisque son économie est basée essentiellement sur l'exportation des hydrocarbures, dont le GNL représente une grande partie.

L'Algérie dispose, en effet de réserves importantes estimés à 3000 milliards de mètres cubes (quatrième place mondiale après la RUSSIE, l'IRAN et les USA).

La réserve du gaz de la zone de Hassi R'mel est considérable. Une partie de ce gaz, qui est extraite, soit 70 %, est transportée vers la zone industrielle d'Arzew, où se situent les deux complexes GL1/Z et GL2/Z, qui forment le plus grand ensemble de liquéfaction connu sur la côte méditerranéenne.

I.1. PRESENTATION DU COMPLEXE GL1/Z

Le complexe industriel de GNL GL1/Z constitue l'une des plus importantes réalisations industrielles de la chaîne de transformation des hydrocarbures, exploitée par la société SONATRACH en Algérie. Il est situé au nord de Bethioua, à 7 Km de la ville d'Arzew, il couvre une superficie de 72 hectares, et se compose de plusieurs zones.

La liquéfaction du gaz naturel, industrie induite par l'émergence du marché mondial du gaz, fait partie de cette branche d'activité. L'appareil de production de GNL est composé de trois complexes dénommés par codification : **GL1/Z**, **GL2/Z**, et le futur **GL3/Z**. Leur implantation fait partie du pôle industriel pétrochimique et gazier de la région, l'une des plus importante concentration industrielle du pays.

Comme toute création industrielle d'envergure, le complexe GL1/Z a franchi des étapes qui sont autant d'événements marquants de son histoire récente.

CHAPITRE I

Le 16 juin 1973, le défunt président Houari Boumediene pose la première pierre pour la construction de l'usine. En charge du projet, et pour le compte de SONATRACH, la société américaine BECHTEL, engage les travaux de réalisation le 20 février 1978. Cinq années après, le complexe entre en production et les premières livraisons de GNL sont effectuées à destination des Etats Unis.

I.1.1. Organisation du complexe

Le complexe GL1/Z se divise en deux sous directions :

- Sous direction de l'exploitation qui englobe :
 - Département de production.
 - Département de maintenance.
 - Département des approvisionnements.
- Sous direction du personnel, et qui se compose de :
 - Département des ressources humaines.
 - Département des moyens généraux.
 - Département du personnel.

Les départements liés avec les directions dites des structures de contrôle sont :

- Département technique (T).
- Département finances (F).
- Département sécurité (I).
- Département travaux neufs (W).

CHAPITRE I

I.1.2. Description du complexe GL1/Z

Le complexe GL1/Z dispose d'une capacité de production de 7,8 Millions de tonnes par an de GNL et se compose de 6 trains de liquéfaction identiques conçus chacun pour un fonctionnement autonome.

Le complexe GL1/Z est constitué de quatre zones :

- Zone d'utilités.
- Zone de process.
- Zone de stockage.
- Zone de pompage.

I.1.2.1 Zone d'utilités

Cette zone fournit d'une manière continue, toutes les utilités nécessaires pour le démarrage et le fonctionnement des trains de liquéfaction :

- Production de vapeur.
- Production d'eau distillée
- Production d'électricité.
- Production d'air instrument et d'azote.

a- Production de vapeur

- Vapeur haute pression HP

Les vapeurs HP sont utilisées pour l'entraînement des turbines des compresseurs, Elles sont produites par les chaudières process qui sont au nombre de 17, chacune d'une capacité de 136t/h de vapeurs à 62 bars et 442 °C, par 06 chaudières de 400t/h et trois chaudières de 91t/h.

CHAPITRE I

- Vapeur basse pression BP :

Elle est obtenue après détente par des vannes PV et désurchauffée par des vannes TV pour obtenir successivement 16,5, 10,3 et 3,45 bars utilisées pour l'entraînement des turbo-pompes MEA, turbo-pompes d'huile et fuel gaz, des éjecteurs pour la création du vide au niveau des condenseurs à surface, épurateur MEA et rebouilleurs, ainsi qu'une chaudière de 51t/h à 27 bars.

b- Production d'électricité :

La production d'électricité est assurée par trois (03) alternateurs entraînés par des turbines à vapeurs. Les turbo-alternateurs fournissent l'énergie de 18 MW par générateur en plus d'un branchement Sonelgaz.

c- Production de l'eau distillée (Unités de dessalement) :

L'eau distillée est utilisée essentiellement pour générer de la vapeur ou comme réfrigérant dans les échangeurs et les condenseurs sensibles à la corrosion (CCW).

La production d'eau distillée est assurée par six dessaleurs dont cinq utilisent le procédé MSF et un la compression de vapeur.

d- Production d'air instrument et d'azote

- Production d'air comprimé :

L'air instrument est utilisé pour l'alimentation des instruments de contrôle et les machines de régulation pneumatique. L'air de service est utilisé pour le nettoyage. Une fois comprimé, l'air instrument subit un séchage préalable pour éviter la corrosion des organes d'instrumentation. Le besoin du complexe est 4600 m³/h. Cet air comprimé est assuré par un ensemble de cinq (5) compresseurs centrifuges avec une pression de refoulement de 10 bars.

- Production d'azote :

L'azote est utilisé sous forme de vapeur pour purger les circuits et pour certaines opérations de liquéfaction. Il est obtenu sous forme gaz ou liquide dans l'unité d'azote à partir du fractionnement de l'air, Il est liquéfié et stocké sous forme liquide.

CHAPITRE I

I.1.2.2 . Zone de process :

Cette zone est constituée de six unités de liquéfaction appelées trains, identiques, tant dans leur design que dans leur fonctionnement. En effet, vues de près, les caractéristiques et les configurations, issues d'un même engineering industriel, explique leur autonomie de fonctionnement pour la liquéfaction du gaz naturel. Chaque train de liquéfaction est composé de huit sections et d'un circuit de refroidissement à savoir :

- Section de décarbonatation (élimination du CO₂).
- Section de déshydratation (élimination de H₂O).
- Section de démercurisation (élimination du Hg).
- Section de refroidissement.
- Section de séparation et tour de lavage.
- Section de fractionnement.
- Section de refroidissement au propane.
- Circuit de refroidissement mixte.
- Section de liquéfaction.

Avant d'entamer la description du procédé de liquéfaction, il est utile de connaître la composition du gaz naturel.(voir le tableau I.1)

CHAPITRE I

Tableau I.1 : Composition chimique du gaz naturel.

Composants	Pourcentage molaire	Variation estimée (%)
N₂	5,80	± 0,20
He	0,19	± 0,02
CO₂	0,21	± 0,03
C₁	83,00	± 0,30
C₂	7,10	± 0,15
C₃	2,25	± 0,10
iC₄	0,40	± 0,07
nC₄	0,40	± 0,08
iC₅	0,12	± 0,03
nC₅	0,15	± 0,04
C₆₊	0,18	± 0,05
TOTAL	100	

a- Section de décarbonatation :

Le principe d'élimination du gaz carbonique est mis en œuvre par un procédé d'absorption à haute pression (42 bars) et basse température (38 °C). L'absorption du gaz carbonique se fait à contre courant par une solution aqueuse de mono éthanol amine (MEA) diluée à 15%.

Le gaz naturel dépourvu du CO₂ quitte la tête de l'absorbeur pour être envoyé vers la section de déshydratation.

La solution riche en CO₂ quitte le fond de l'absorbeur pour subir une régénération dans une colonne à basse pression et à haute température.(voir les figures I.2.a, I.2.b)

CHAPITRE I

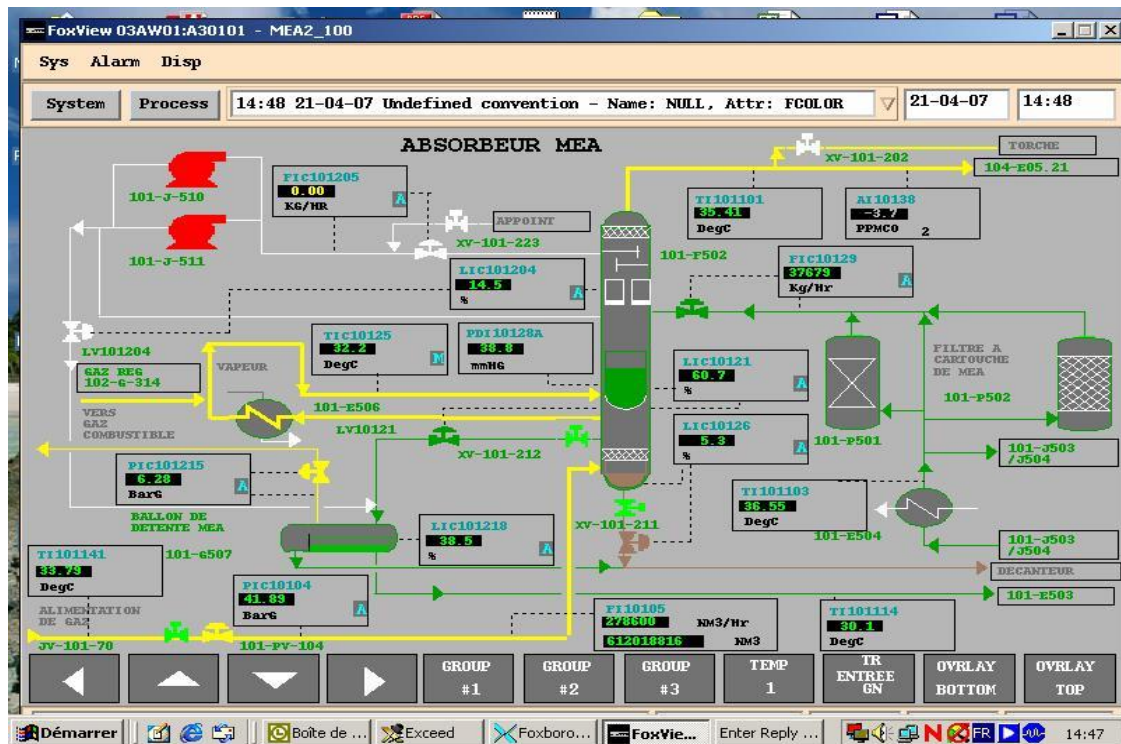


Figure I.1: Schéma de la section d'absorption.

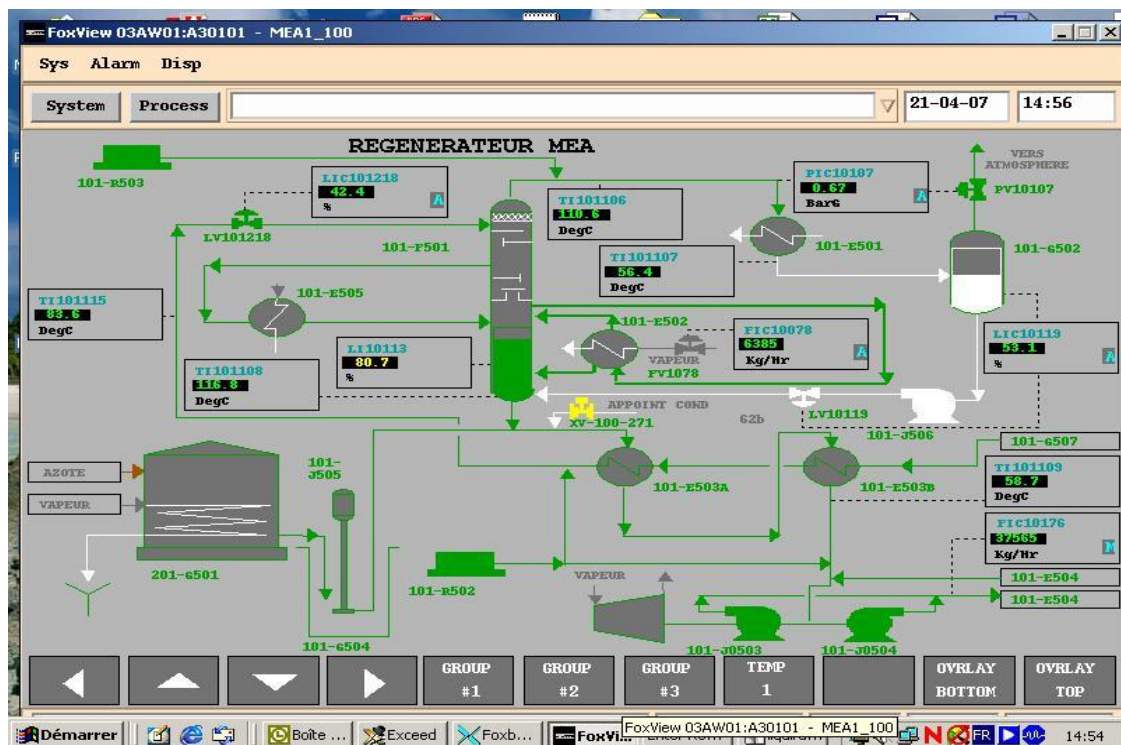


Figure I.2: Schéma de la section de régénération.

CHAPITRE I

b- Section de déshydratation :

Un pré-refroidissement dans l'échangeur à propane **E-521** jusqu'à **21 °C** permet de condenser 65% de l'eau contenue dans le gaz. Cette eau est retenue dans le ballon séparateur **G-787**. Le gaz chargé d'humidité passe ensuite à travers deux sécheurs à tamis moléculaires (**R-310** et **R-311**) qui travaillent en alternance pendant un cycle de 12 heures. Alors que l'un est en service l'autre est en régénération. Le GN sort avec une concentration en eau **inférieure à 1 ppm**. L'élimination est basée sur la fixation des molécules d'eau contenues dans le GN par le phénomène d'adsorption.

Le gaz déshydraté est ensuite filtré dans deux filtres **P-312 A** et **B** pour éliminer les particules solides entraînées.

c- Régénération des sécheurs :

Après 12 heures de service, le sécheur est soumis à une opération de régénération par un gaz réchauffé à une température de 295 °C. Il pénètre par le fond du sécheur en entraînant avec lui toute l'eau contenue dans les tamis à la sortie du sécheur. Le gaz de régénération pénètre dans un refroidisseur, alors que l'eau est condensée, séparée puis dirigée vers la décantation, tandis que le gaz est renvoyé vers le réseau fuel gaz, la torche ou vers l'absorbeur. Le sécheur est refroidi par un gaz à une température de 21 °C pour être prêt au service.(voir la figure I.3)

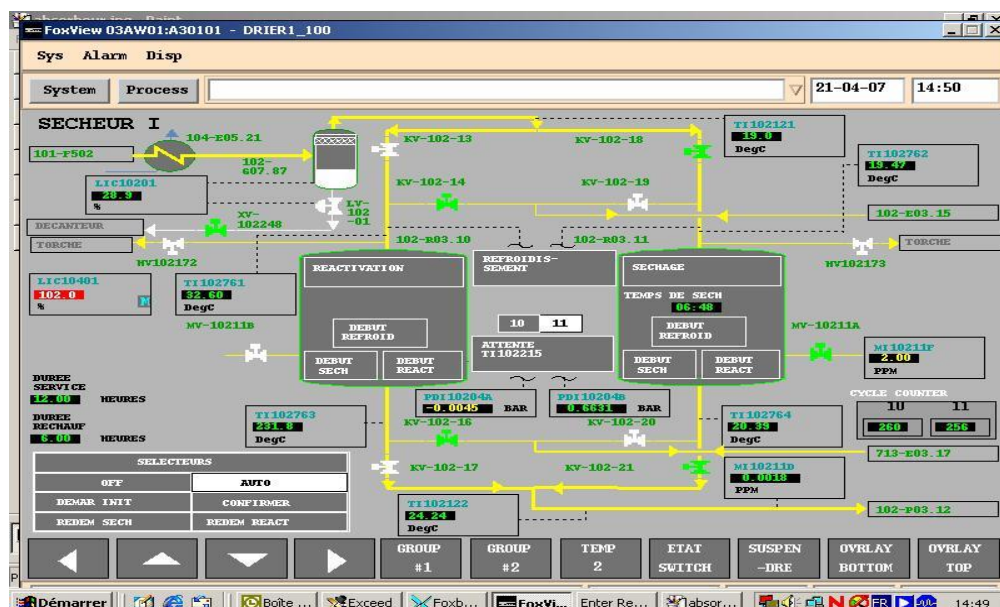


Figure I.3: Schéma de la section de déshydratation.

CHAPITRE I

d- Section de démercurisation :

La dernière étape de traitement est l'élimination du mercure. Elle consiste à piéger le mercure contenu dans le gaz pour éviter la corrosion des équipements en aluminium comme le cas de l'échangeur principal de la section de liquéfaction. L'adsorbant utilisé est le charbon à base de soufre, et passe ensuite à travers deux filtres. Le GNT sortant de cette section avec une teneur de mercure inférieure à 7 nano gramme par Nm³ est envoyé vers la section de refroidissement.

e- Section de refroidissement :

Le GNT arrive à la section de séparation à une température de 21 °C et une pression effective de 40 bars où il doit subir un refroidissement par deux échangeurs au propane, le premier pour ramener la température du gaz à -1 °C, le second à -26 °C, qui est la température de fonctionnement de la tour de lavage.

f- Section de séparation (tour de lavage) :

La section de séparation a pour objectif de séparer le GNT en composants lourds et composants légers.

Le gaz refroidi subit une séparation (flash) dans la tour de lavage **F-711** au niveau du 9^{ème} plateau. La phase vapeur riche en méthane et éthane s'élève à travers huit plateaux supérieurs de la colonne ; les vapeurs de tête subissent une condensation dans l'échangeur à propane jusqu'à une température de -40 °C où les vapeurs sont partiellement condensées pour être séparées dans le ballon de flash. Le liquide est refoulé vers la tour de lavage comme un reflux et les vapeurs de tête s'écoulent vers la section de liquéfaction ; le liquide de fond de la tour de lavage passe par un rebouilleur partiel au butane **E-713 (70 °C)**, le butane est chauffé dans un échangeur à vapeur d'eau **E-717 (117 °C)**, puis s'écoule vers la section de fractionnement.

g- Section de fractionnement :

Cette section a pour but de fractionner le produit de fond de la tour de lavage afin d'alimenter le circuit de réfrigération et d'appoint dans les différentes sections du process. Cette section est constituée de quatre colonnes de distillation. (Chaque colonne a un rebouilleur, un condenseur et un ballon de reflux).

CHAPITRE I

▪ Déméthanisation :

Les composés légers (C_1 et des traces de C_2) sont séparés des hydrocarbures lourds et passent vers le haut de la colonne à contre courant par rapport à un débit de reflux continu qui s'écoule vers le fond.

Les vapeurs de tête sont partiellement condensées dans un condenseur sous l'effet d'un réfrigérant puis séparées dans un ballon de reflux. Les vapeurs non condensées constituent un appoint dans le circuit MCR.

▪ Dééthanisation :

Le produit de fond du déméthaniseur est fractionné à son tour dans le dééthaniseur, afin de produire de l'éthane comme produit de tête. L'éthane obtenu sert comme appoint au réfrigérant mixte (MCR), à la tour de lavage et pour le contrôle de qualité de GNL, en particulier, l'amélioration de son pouvoir calorifique. Le produit de fond sert à alimenter la colonne de dépropanisation.

▪ Dépropanisation :

La section de dépropanisation a pour but de produire du propane afin de répondre aux besoins respectifs du circuit de réfrigération au propane, de l'appoint de la tour de lavage et du contrôle de qualité du GNL. Les produits de fond sont dirigés comme alimentation vers la colonne du débutaniseur.

▪ Débutanisation :

Le flux d'hydrocarbures pénètre dans la colonne de débutanisation où le butane s'élève vers le sommet ou peut être utilisé comme appoint dans le réseau de gaz combustible ou alors envoyé vers le ballon de reflux de la tour de lavage. Les $C_5 +$ s'écoulent vers le fond où ils sont refroidis, puis envoyés vers le stockage dans une sphère de gazoline.

CHAPITRE I

- Boucle propane :

La boucle propane comprend trois étages de compression. Le propane est refoulé par le troisième étage du compresseur K-110, refroidi dans un échangeur à eau de mer jusqu'à 43 °C, et condensé dans un échangeur à 37 °C.

Enfin, il sera accumulé dans un ballon qui alimente le ballon séparateur **HP-791** et l'échangeur de propane **E-521**. Le propane liquide subit des détente successives dans trois ballons de séparation **G-791**, **G-790** et **G-785** respectivement à haute, moyenne et à basse pression. Les vapeurs obtenues après chaque flash sont aspirées par le corps du compresseur, à la pression correspondante. Le propane à moyenne pression alimente le condenseur de tête de la tour de lavage **E-523**, le premier échangeur **E-522** et le **E-525 A** et **B**.

- 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. Les vapeurs MCR sont aspirées par un compresseur de basse pression et refroidies jusqu'à 38 °C dans l'échangeur à eau de mer pour être séparées dans le ballon séparateur de basse pression.

Le compresseur de haute pression aspire les vapeurs du ballon de haute pression et les refoule vers un échangeur à eau de mer où sa température de sortie est de 32 °C.

Après ce refroidissement, le MCR est amené à sa température de rosée -37 °C à la sortie de deux batteries d'échangeurs propane. Le MCR partiellement liquéfié, est séparé dans un ballon de haute pression pour alimenter les condenseurs de tête du déméthaniseur, de la tour de lavage et l'échangeur principal.(voir le tableau I.2)

CHAPITRE I

Tableau I.2 : Composition chimique du réfrigérant Multi-Composant MCR.

Composants	Pourcentage molaire
N ₂	3
CH ₄	40
C ₂ H ₆	54
C ₃ H ₈	3

h- Section de liquéfaction :

La liquéfaction du GN est réalisée dans l'échangeur principal au moyen d'un réfrigérant mixte MCR. Le gaz naturel d'alimentation quitte le séparateur de la tour de lavage avec une pression effective de 39 bars et une température de -34 °C pour pénétrer dans l'échangeur principal. Il reçoit un appoint d'éthane, propane et butane afin d'assurer les contrôles de la qualité du GNL à produire.

Le gaz est subdivisé en deux flux dont le plus important (90 %) pénètre par le fond de l'échangeur à l'intérieur d'un faisceau de tubes, où il circule en flux parallèle avec le MCR (vapeur et liquide).

Le flux MCR liquide est détendu dans la partie médiane par une vanne de détente Joule-Thomson et redescend sous forme de douche dans la calandre pour refroidir les faisceaux MCR (liquide et vapeur) et le faisceau GN.

Le flux MCR vapeur traverse lui aussi l'échangeur principal de bas en haut pour être détendu en tête et redescend côté calandre. Les deux flux se mélangent en bas de l'échangeur afin d'être aspirés et ainsi le cycle est reproduit.

CHAPITRE I

Le GNT traverse l'échangeur principal en passant par des zones de plus en plus froides. Le GNL produit sort à l'état liquide à une température de $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ et une pression effective de 25 bars; il pénètre alors dans le déazoteur en passant par une vanne de détente qui permet de réduire sa pression effective à 0,3 bar et sa température à $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Le deuxième flux de gaz d'alimentation (**10%**) quitte la colonne de séparation pour passer dans un échangeur de gaz et de rejet où il est totalement condensé par la vapeur issue du ballon de flash d'azote. Il quitte alors l'échangeur à **$-159\text{ }^{\circ}\text{C}$** afin de rejoindre le flux de GNL produit par l'échangeur principal.

Le gaz de réfrigération issu de l'échangeur de gaz et de rejet est envoyé vers le réseau de gaz combustible ou vers le réseau de torche. Le GNL produit s'écoule du ballon de flash d'azote et il est refoulé vers trois réservoirs de stockage de GNL par des pompes spécialement adaptées.(voir le tableau I.3)

Tableau I.3 : Composition chimique du GNL.

Composants	Pourcentage molaire
N_2	0,60
CH_4	84,0
C_2H_6	6,00
C_3H_8	2,20
iC_4H_{10}	0,30
nC_4H_{10}	0,30
C_5H_{12} (+)	0,00

I.1.2.3. Zone de stockage :

Cette zone comprend trois bacs aériens de GNL d'une capacité de 100.000 m^3 stocké sous une pression de 1,03 bar et à une température de $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$.

CHAPITRE I

I.1.2.4. Zone de pompage :

Cette zone contient une station de pompage de **GNL** d'une capacité de 10000 m³/h et deux quais d'expédition avec dix bras de chargement pour méthaniers de 50.000 m³ à 125.000 m³.(voir la figure I.6)

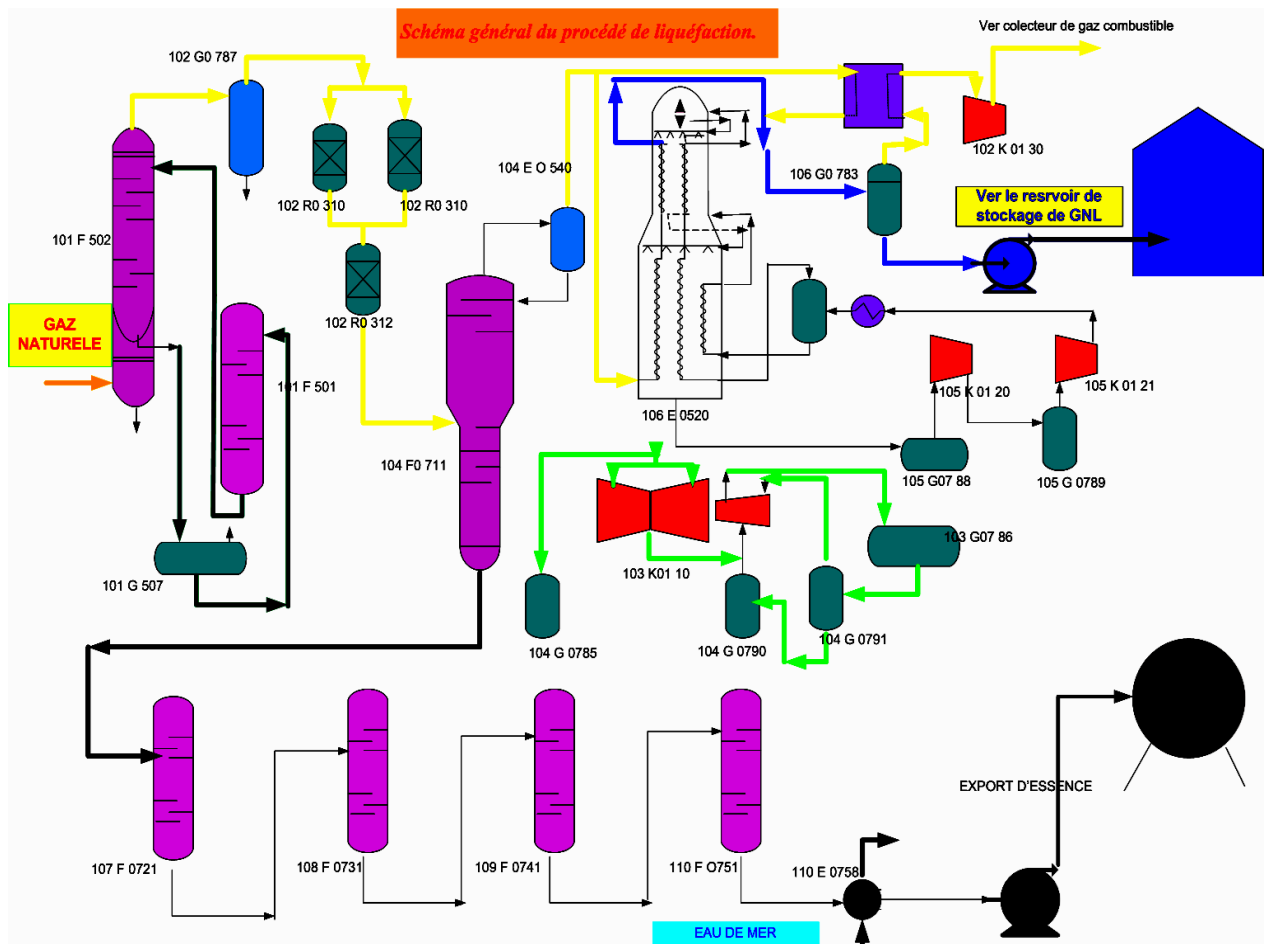


Figure I.3: Schéma général du procédé de liquéfaction du GN.

Chapitre II

LES ECHANGEURS DE CHALEUR ET LE PHENOMENE DE CORROSION

Introduction

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. 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.

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 de 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.

II.1. Description de la section décarbonatation :

II.1.1. Le rôle de la section de décarbonatation

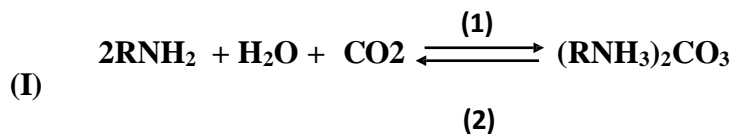
Cette épuration se fait dans le but d'éviter le colmatage du système par la solidification du CO₂ dans les sections froides situées en aval du procédé de liquéfaction. Le principe d'élimination du gaz carbonique à une teneur maximale de 90 ppm est mis en œuvre par un procédé d'absorption conduit dans une colonne d'absorption à 27 plateaux à haute pression (42 bars) et basse température (38 °C) [3].

CHAPITRE II

II.1.2. Caractéristiques de la réaction chimique

Le gaz carbonique est extrait du gaz naturel par lavage de celui-ci à contre courant dans une colonne par une solution aqueuse à 15 à 20% de MEA.

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



R: C₂H₄OH.

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).

II.1.3. Procédé d'absorption du CO₂

Le gaz naturel d'alimentation pénètre dans l'unité avec une pression contrôlée à 42 bars. Le gaz et tout d'abord admis dans une section de séparation rapide située au fond de l'absorbeur section dans laquelle les liquides sont entraînés puis séparés du débit du gaz d'alimentation. Après séparation, le liquide est envoyé vers le système de décantation des hydrocarbures, tandis que le gaz est acheminé vers le haut de l'absorbeur par le préchauffeur.

Le gaz naturel pénètre dans l'absorbeur à 38 °C et circule vers le haut à travers 27 plateaux à clapets, circule à contre courant par rapport à une solution aqueuse de Monoéthanolamine (MEA) à 15% qui s'écoule vers le bas de la colonne. Cette solution de MEA pauvre en CO₂, pénètre elle aussi dans l'absorbeur à 38 °C et une pression légèrement supérieur à 42 bars, et son débit est régulé à 54.000 Kg/h[3].

II.1.4. Régénération de la solution MEA:

De grandes quantités de chaleur sont nécessaires à la régénération de la solution riche, cette chaleur sert à :

- Chauffer la solution à une température suffisante pour permettre la désorption des Gaz acides.
- Générer des vapeurs d'extraction pour produire une solution ayant une teneur en gaz Acide suffisamment basse.

La solution de MEA riche quitte l'absorbeur par le fond avec une température de 43°C, elle subit une détente rapide de 42 à 8 bars au niveau du ballon de détente, elle est ensuite chauffée jusqu'à 93°C par échange thermique avec les liquides résiduels du régénérateur dans les échangeurs **A** et **B**. Puis par la vanne de détente, la pression est réduite à 0,7 bar, enfin entre dans le régénérateur par le haut, cette alimentation assure le reflux du régénérateur.

La solution riche passe en cascade dans les 21 plateaux à clapets du régénérateur pour être recueillie sous forme de solution de MEA pauvre au fond de ce dernier.

Après son passage sur le déversoir, la solution coule vers la section inférieure du régénérateur où la température est maintenue à 118°C par le rebouilleur avec de la vapeur d'eau d'une pression effective de 3,45 bars et une température de 148°C.

La vapeur présente au sommet du régénérateur qui se compose principalement de CO₂ et de vapeur d'eau, quitte la colonne à 107°C puis elle est refroidie à l'eau de mer jusqu'à 50°C dans le condenseur de tête, la vapeur ainsi condensée s'accumule dans le ballon gaz acide, où la partie vapeur constituée essentiellement de CO₂ est rejetée vers l'atmosphère. La phase liquide est envoyée vers le fond du régénérateur par la pompe. La solution de MEA pauvre passe du côté calandre des échangeurs **A** et **B** où sa température est réduite à 70°C, puis par l'une des pompes où sa pression augmente jusqu'à 42 bars. En exploitation normale la turbo pompe est en service tandis que la moto pompe est réglée à démarrer automatiquement en cas de chute de pression de la solution pauvre, puis elle passe par un échangeur à eau de mer pour amener sa température à 38°C. C'est la température d'entrée dans l'absorbeur.(voir la figure II.1)

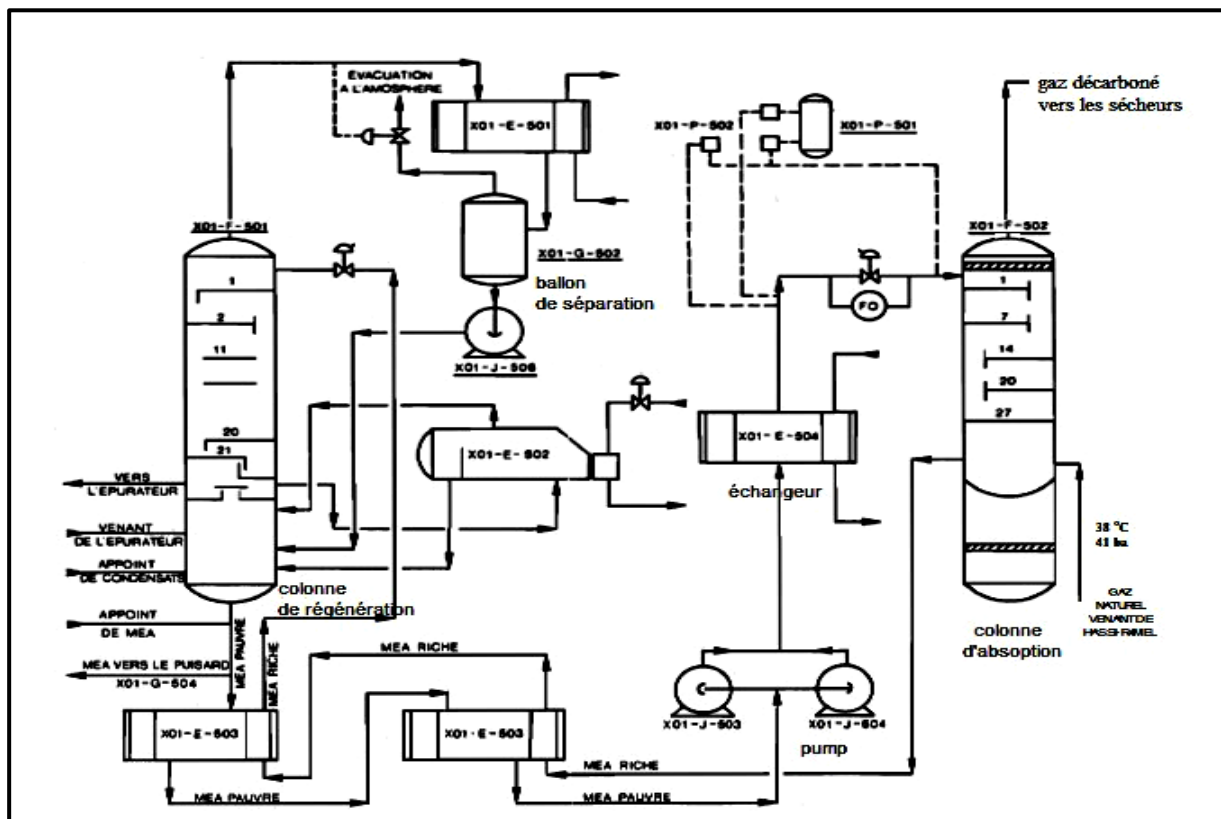


Figure II.1: Schéma de la section de décarbonatation.

II.2. LES ECHANGEURS DE CHALEUR ET LE PHENOMENE DE CORROSION

II.2.1. Généralités sur les échangeurs de chaleur

Dans l'industrie, on doit très souvent réaliser un transfert de chaleur entre un fluide chaud et un fluide froid qui ne doivent pas être mis en contact. Cette opération est généralement effectuée dans des appareils où les deux fluides circulent de part et d'autre des parois solides. Ces appareils sont appelés échangeurs de chaleur.

Un échangeur de chaleur est un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre, sans les mélanger. Le flux thermique traverse la surface d'échange qui sépare les fluides. La plupart du temps, on utilise cette méthode pour refroidir ou réchauffer un liquide ou un gaz qu'il est impossible ou difficile de refroidir ou de chauffer directement.

CHAPITRE II

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 à 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 puis cédée à l'autre fluide par convection le long de l'autre face.

II.2.2. Modes de transfert de chaleur

- **À Co-courant** (on dit aussi : échangeur anti- méthodique) : les deux fluides sont disposés parallèlement et vont dans le même sens. Dans un échangeur anti- méthodique la température de sortie du fluide froid est nécessairement moins élevée que la température de sortie du fluide chaud.
- **À contre courant** (on dit aussi : échangeur méthodique) : idem, mais les courants vont dans des sens opposés. Dans un échangeur méthodique, par différence avec un échangeur anti- méthodique la température de sortie du fluide froid peut être plus élevée que la température de sortie du fluide chaud.
- **À courant croisé** : les deux fluides sont positionnés perpendiculairement.
- **À tête d'épingle** : un des deux fluides fait un demi- tour dans un conduit plus large, que le deuxième fluide traverse. Cette configuration est comparable à un échangeur à courant parallèle sur la moitié de la longueur, et pour l'autre moitié à un échangeur à contre courant.
- **A contact direct ou à mélange** : les deux fluides peuvent être mis en contact comme c'est le cas dans les tours de refroidissement, des buses projetant de l'eau chaude sont disposées sur les parois intérieures de la tour, l'air extérieur admis par le bas s'échauffe et du fait de son changement de densité monte de bas en haut, permettant ainsi de refroidir l'eau.

II.2.3. Description et rôle de l'échangeur E504

La MEA pauvre sortant du fond de la colonne de régénération **F-501**, à une température de 116 °C, passe à travers les échangeurs intermédiaires MEA riche/MEA pauvre (**E503Aet B**), où la température est diminuée à 68 °C. Pour des raisons de transfert de

CHAPITRE II

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.

L'échangeur E.504 est un échangeur tubulaire (faisceaux calandres) placés horizontalement, la solution MEA pauvre à 15% passant coté calandre et l'eau de mer passant coté tubes (voir la figureII.2) , leurs caractéristiques sont comme suit :

a) les tubes :

- Nuance : 70-30 CuNi.
- Nombre de tube 410 tubes.
- Diamètre extérieur 3/4 in BWG12.
- Longueur 6,096 m.
- Nombre de passe 02.

b) la calandre : (en acier de carbone).

- Diamètre extérieur 63,5 cm
- Couvercle de la calandre avec tête flottante.
- Nombre de passe 01.

c) boîte de distribution : (en acier de carbone).



Figure II.2: L'échangeur de chaleur E504 dans la section décarbonation.

II.3. NOTIONS SUR LE PHENOMENE DE CORROSION

II.3.1 Définition

Dans le langage courant la corrosion est généralement synonyme d'un phénomène réactionnel entre le fer et l'air humide provoquant la formation d'une couche de rouille non compacte.

La corrosion est l'attaque destructive d'un métal par réaction chimique ou électrochimique avec son environnement (milieu ambiant) et la perte des qualités spécifiques du matériau qui en résulte. La détérioration par des moyens physiques est appelée selon les cas : érosion, usure, grippage...etc

II.3.2 La prevision de corrosion

La prévision de la corrosion est difficile à faire car les phénomènes de la corrosion sont tributaires de paramètres dont il est toujours malaisé de définir l'incidence exacte. L'apparition ou non de phénomène de corrosion dépend de la nature des matériaux métalliques utilisés (mise en forme, état structural), de la nature des effluents transportés et des conditions de service.

La prévision de la corrosion d'une installation donnée s'appuiera donc sur les trois éléments suivants :

- Analyse des effluents.
- Prise en compte des conditions de service (temps d'arrêt, pression, température, débit, régime d'écoulement).
- Essais de laboratoire

II.3.3. Aspect économique de la corrosion

- atteintes aux fonctions des équipements très chers ;
- Surdimensionnement des pièces ;
- Coût des pièces à remplacer et les réparations à effectuer ;
- Contamination du produit par des agents de corrosion ;
- Arrêt de production. [6]

II.3.4. Forme de corrosion

Les différentes formes de corrosion ne sont pas toujours indépendantes les uns des autres. Certaines peuvent se développer de façon simultanée. Les deux grandes formes sont :

II.3.4.1. Corrosion chimique

Cette forme de corrosion se définit comme l'attaque par réaction chimique, il y a formation d'une couche de produit de corrosion à travers la surface du métal (corrosion sèche), voir la figure II.3. La forme générale de la réaction est :

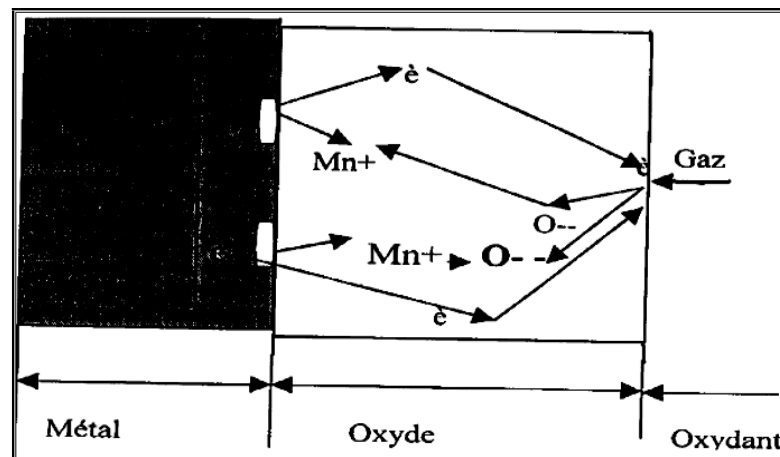


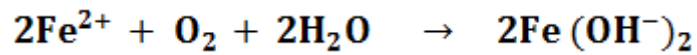
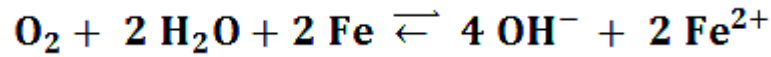
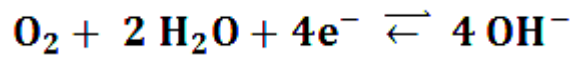
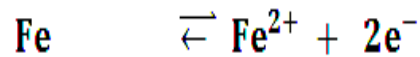
Figure II.3. Corrosion chimique.

II.3.4.2. Corrosion électrochimique

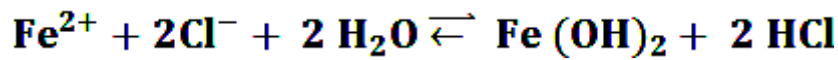
Avec présence d'électrolyte, cette forme de corrosion fait appel à la notion de pile électrique, ce qui implique des échanges de charges électriques et de matière.

Trois cas sont envisageables pour la corrosion électrochimique :

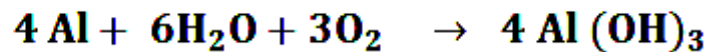
- Les électrons cédés sont captés par l'oxygène dissous ; On parlera de **corrosion par l'oxygène**.



Les électrons sont captés par les cations H^{+} : on parlera de **corrosion acide** :



- Les électrons sont captés par un métal plus "noble" ; On parlera de **corrosion galvanique** :



II.3.5. Différents types de corrosion et leurs prévention

II.2.5.1. Corrosion généralisée ou uniforme :

C'est la forme la plus commune caractérisée par une réaction chimique ou électrochimique qui se produit uniformément sur toute la surface considérée (voir la figure II.4). [5]

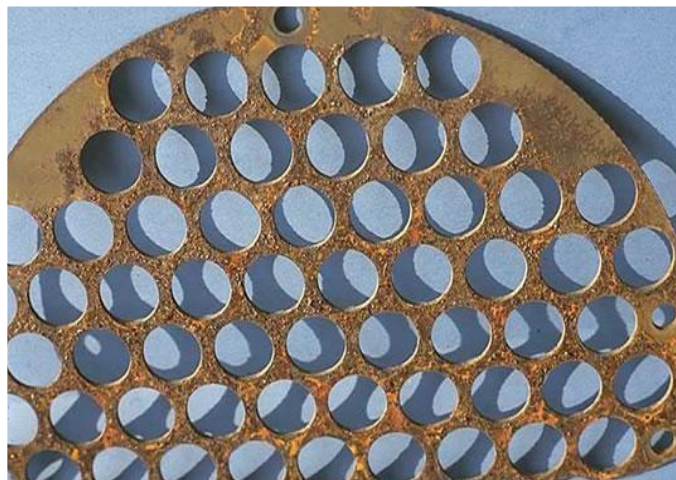


Figure II.4: La corrosion uniforme d'un chicane en acier.

Preventions

- Faire des inspections régulières permettant d'éviter des catastrophes.
- Prévoir une surépaisseur de corrosion dès la conception de l'appareil.
- Utilisation des revêtements (peinture, plaquage, etc....), des inhibiteurs ou protection cathodique.[6]

II.3.5.1 Corrosion galvanique ou de contact

Cette forme de corrosion se produit entre deux métaux différents en présence d'un liquide conducteur (électrolytique). Le métal le moins noble du point de vue électrochimique est attaqué (voir la figure II.5)

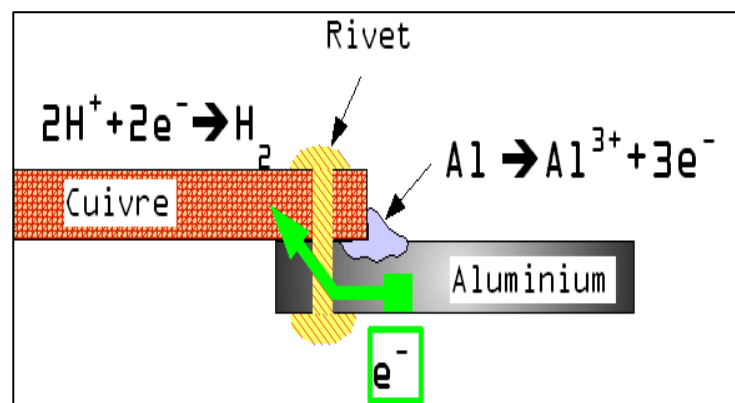


Figure II.5: La corrosion galvanique.

Prévention:

- Revêtir le matériau d'un dépôt isolant (peinture par exemple) pour l'empêcher d'alimenter la corrosion du métal le moins noble.
- Revêtir les deux métaux du même dépôt.
- Revêtir le métal le plus noble d'un revêtement dont le potentiel est compatible avec celui du métal le moins noble (utiliser par exemple l'acier zinc pour assembler les plaques d'Aluminium).
- En évitant le contact direct de deux métaux différents à l'aide d'un joint isolant.[6]

II.3.5.2. Corrosion par piqûres

La corrosion par piqûres affecte les métaux et les alliages passifs tels que les aciers inoxydables ou les alliages légers. Elle est considérée comme « la maladie de la passivation », elle s'initie en des points de faiblesse de la couche passive. Cette forme de corrosion est particulièrement insidieuse. L'attaque se limite à des piqûres très localisées et pouvant progresser très rapidement en profondeur, alors que le reste de la surface reste saine.

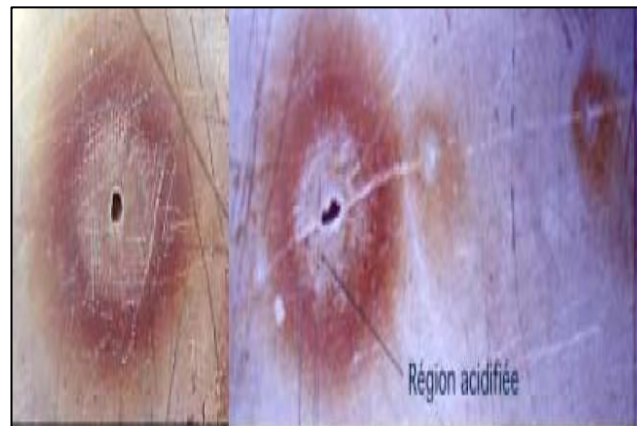


Figure II.6: La corrosion par piqûres.

Prévention

- L'accroissement de la teneur en molybdène des aciers inoxydables est une prévention spécifique.
- Augmenter la vitesse de circulation des fluides.
- Affiner l'état de surface. [6]

II.3.5.3. Corrosion par crevasse :

Ce type de corrosion est généralement associé à la présence de petit volume de solution stagnante dans les trous, sous les dépôts, à l'interface des brides et joints (voir la figure II.7)



Figure II.7: La Corrosion caverneuse d'un acier allié sous un joint.

Prévention

- Refermer les crevasses lorsque c'est possible par soudage.
- Concevoir des récipients facilement nettoyables et lavable de façon à empêcher tout dépôt de se former ou bien inspecter et enlever les dépôts régulièrement. [6]

II.3.5.4. Corrosion inter- granulaire

Lors de la cristallisation des métaux, les atomes d'impuretés constituent les joints de grain. Ces joints sont chimiquement plus actifs que le reste du matériau et ce corrode facilement en milieu corrosif. Ce type de corrosion est lié à la précipitation de carbure de chrome le long des joints du métal. Pour qu'elle se produise trois conditions doivent être remplies : au moins 0,035 % de carbone, une sensibilisation par un maintien à une température de 400 à 800 °C, un milieu extérieur acide avec un pouvoir oxydant compris entre deux limites bien définies.



Figure II.8: La Corrosion inter-granulaire.

Prévention

- Abaissement de la teneur en carbone pour diminuer le taux de carbure de Chrome
- Stabilisation de l'acier par des éléments ayant une affinité pour le carbone que le chrome.
- Préparation d'un alliage homogène et cela est obtenu avec des traitements thermiques à 1100 °C suivi d'une trempe rapide. [6]

II.3.5.5. Corrosion / érosion

La corrosion / érosion apparaît souvent aux endroits de forte turbulence tel que coudes, rétrécissements de tubes et les pompes. La destruction des couches protectrices n'est pas homogène sur les surfaces métalliques ce qui crée des surfaces actives et passives (voir la figure II.9)

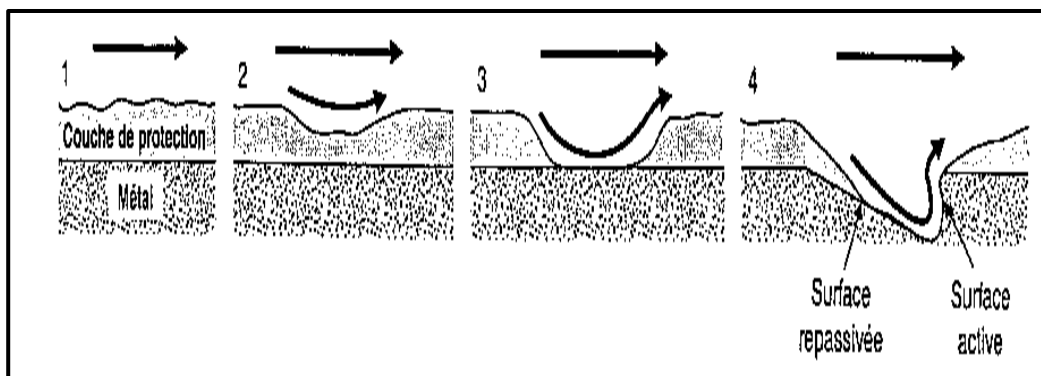


Figure II.9: La Corrosion par érosion.

Prévention

- Choix d'un matériau plus résistant.
- Dessin de l'installation : qui assure un écoulement favorable des fluides.
- Contrôle de la teneur d'oxygène et l'abaissement de la température.
- Filtration des particules solides et addition d'inhibiteurs.
- Utiliser un revêtement protecteur. [6]

CHAPITRE II

II.3.6. L'effet des facteurs sur la Vitesse de corrosion

Dans la pratique la vitesse de corrosion varie selon plusieurs facteurs tels que : la teneur en oxygène dissous, valeur du PH, vitesse de l'écoulement, concentration en sel, température du milieu, etc.

II.3.6.1. Le pH

Dans les milieux très acides c'est-à-dire, la vitesse de corrosion augmente très rapidement, avec un pH compris entre 4.5 et 8.5 la vitesse de corrosion est pratiquement indépendante de ce dernier. Ce n'est que dans les milieux très alcalins (à partir d'un pH de 8.5 jusqu'à 12) que la vitesse de corrosion diminue considérablement d'autant plus que le pH augmente (voir la figure II.10).

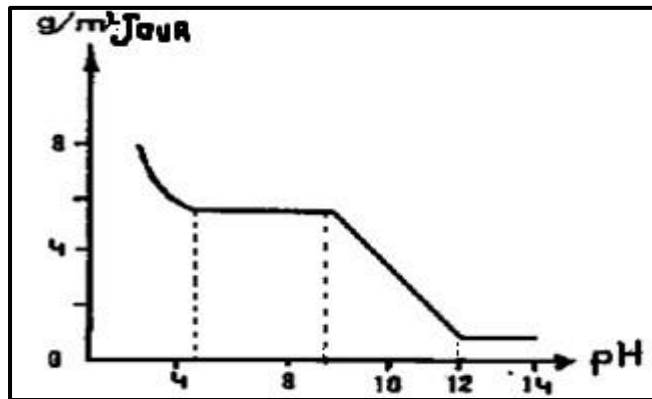


Figure II.10: Influence du pH sur la vitesse de corrosion.

II.3.6.2. la teneur en sel

Les sels dissous dans l'eau affectent le taux de corrosion en augmentant la conductivité de l'eau. Ceci contribue aux saumures de gisement de pétrole et aux fluides de complétion. Les fluides contenant le sel de chlorure de 3% en poids sont plus corrosifs que les fluides de haute salinité.

II.3.6.3. La vitesse de circulation (l'écoulement)

En principe dans l'eau agitée, la vitesse de corrosion augmente jusqu'à la formation des couches protectrices diminuent le taux de corrosion. Si de telles sortes, que des états de surface hétérogènes se forment et une corrosion localisée ou bien une corrosion par érosion peuvent apparaître.

CHAPITRE II

II.3.6.4. L'oxygène

L'augmentation de la concentration en oxygène accroît la vitesse de la corrosion jusqu'à un point critique qui représente la saturation, au-delà de ce point le taux de corrosion décroît du à la polarisation du métal (voir la figure II.11)

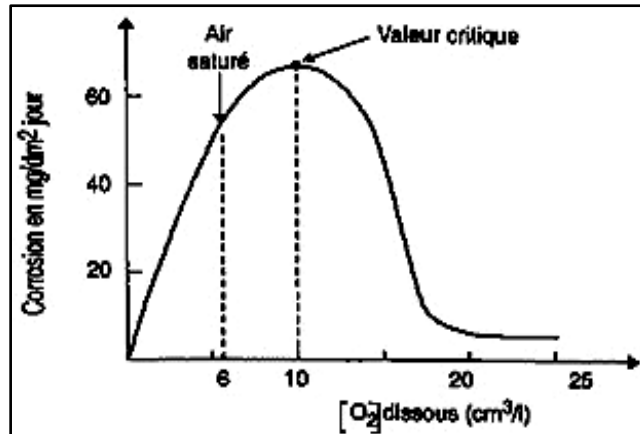


Figure II.11. Influence de O₂ dissous sur la vitesse de corrosion.

II.3.6.5. La température

Dans le cas des acides, la vitesse de corrosion est une fonction exponentielle de la température. Dans l'eau pour des concentrations en oxygène connues, la vitesse de corrosion double approximativement pour chaque augmentation de 30°C de la température. Néanmoins, la solubilité de O₂ diminue avec une forte élévation de la température et l'effet de corrosion est amorti sous cet effet (voir la figure II.12).

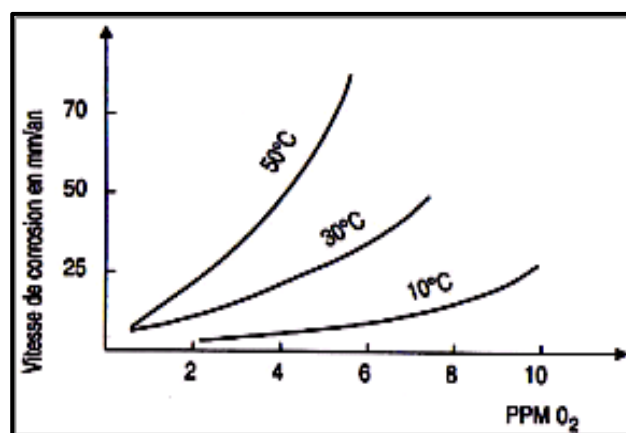


Figure II.12. L'effet de la concentration de O₂ dissous sur la corrosion à différente température.

II.4. CONCLUSION

Après avoir donné une notion sur la nature de la corrosion et son influence sur le métal, on peut déduire les principaux facteurs qui favorisent ce phénomène :

- La présence d'un liquide corrosif au contact des parois du métal.
- Les paramètres physiques tels que : la vitesse d'écoulement des fluides, leur teneur solide en suspensions et la température du milieu.
- Nature du métal et ses conditions d'emplois.
- Absence d'entretien rigoureux des équipements.

Chapitre III :

Les causes de la corrosion et proposition des solutions

III-1 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 GL1/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. Suite aux différents problèmes rencontrés au niveau du refroidisseur de la solution de MEA pauvre, un mauvais de transfert de chaleur à été enregistré.(voir le tableau III.1 et III.2)

Tableau III .1. Paramètres de service de l'échangeur E.504 (design).

	MEA (coté calandre)	EDM (coté tube)
Température entrée (°C)	72,2	25
Température sortie (°C)	37,7	38,4
Débit (Kg.h ⁻¹)	54964	147871
pression entrée (bar)	63	3,5

La perte de charge à travers les tubes de l'échangeur est de 0,689 bar.

Tableau III.2. Paramètres de service de l'échangeur E.504 (actuels).

	MEA (coté calandre)	EDM (coté tube)
Température entrée (°C)	72,9	25
Température sortie (°C)	47	38
Débit (Kg/h)	42780	103079,6
pression entrée	63	3,5

La perte de charge à travers les tubes de l'échangeur est de 0,35bar

III.2. Les causes de mauvais transfert de chaleur du refroidisseur E504

Le mauvais de transfert de chaleur du refroidisseur E.504 due 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.

III.3. Analyse des causes

Le débit d'eau de mer de refroidisseur de la solution MEA dans le **tableau .2** Précédant a été calculé selon les paramètres de fonctionnement actuel.

La perte de charge à travers les tubes de l'échangeur E504 de l'ordre de 0,35 bar est considérée basse, comparée avec le design 0,68 bar.(voir le tableau III.3)

CHAPITRE III

Tableau III.3. représente le résumé des paramètres d'eau de mer a travers les tubes E504

Désignation	Unite	
La perte de charge (design)	bar	0,689
La perte de charge (actuelle)	bar	0,35
débit massique EDM (design)	kg/h	147871
débit massique EDM (actuelle)	kg/h	103080

Les résultats obtenus ont montré que le débit d'eau de mer à travers les tubes du refroidisseur E-504 est de l'ordre de 103080 kg/h est insuffisant, comparé à celui du design qui est de l'ordre de 147 871 kg/h.

Un faible débit de l'eau de mer de refroidissement dû à :

-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.

Le fonctionnement de cet échangeur avec un débit d'eau de mer insuffisant, favorise l'augmentation de la température de la MEA.

-Présence des dépôts sur la paroi intérieure des tubes d'échangeur 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 :

1) **Dégrillage** : Cette opération permet de protéger la station de traitement contre l'arrivée intempestive de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans des différents tubes de l'installation ou de détériorer des coups en pompe.

Le dégrillage retient des matières volumineuses chargées par l'eau de mer Cette opération est assurée par des grilles fixes ; qui doivent être nettoyées périodiquement. Ainsi l'eau de mer est filtrée et aspirée à partir d'un bassin de rétention puis refoulée vers l'utilisation grâce aux six (6) pompes d'eau de mer.

2) **Electro chloration** : L'unité d'électrochloration installée lors de la rénovation à pour objet la production de chlore destiné à désinfecter les micro-organismes qui sont responsables de bouchages de tuyauteries et de corrosions de type bactérien, son principe est basé sur l'électrolyse de l'eau de mer ; avec production de chlore ou d'hypochlorite de sodium et injection dans le bassin d'eau de mer.

CHAPITRE III

3) **Constituants chimiques de l'eau de mer** : L'analyse chimique de l'eau de mer effectuée au GL1/Z à donné une composition chimique moyenne présentée dans le tableau, ci- dessous. (voir le tableau III.4)

Tableau III .4. l'analyse chimique de l'eau de mer.

Constituants	Teneur en ppm
Chlorure (Cl^-)	18980
Sulfate (So_4^{-2})	2646
Bicarbonate (Hco_3)	13970
Fluorure (F^-)	64.80
Bromure (Br^-)	1.3
Sodium (Na^+)	10556.1
Magnésium (Mg_2^+)	1272
Calcium (Ca^{+2})	400.1
Potassium (K^+)	380
Strontium (Sr^+)	

Cependant, cette analyse exécutée selon un protocole classique, ne révèle pas les impuretés chimiques et biochimiques que peut contenir cette eau.

Toutefois, la température de la solution MEA pauvre à la sortie du refroidisseur E-504 n'atteint le seuil alarmant qu'après le bouchage des parois internes des tubes Nous avons remarqué après l'ouverture de l'échangeur pour l'inspection que (comme présente la figure III.1) :

- Dépôt de tartre important dans la boîte de distribution de l'eau de mer ainsi que sur la plaque tubulaire et la paroi interne des tubes.
- Peinture dans un état dégradé.

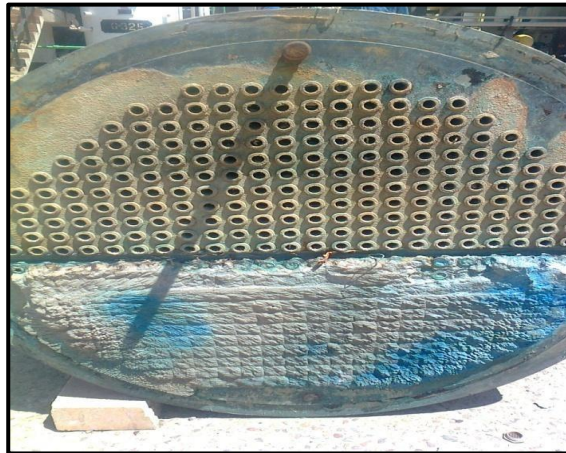


Figure III.1. dépôt la tarte formée sur les faisceaux tubulaires de l'échangeur E504.

L'entartrage d'une surface d'échange est généralement associé à la production d'un solide cristallin à partir d'une solution liquide. Il dépend donc 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.

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.(voir le tableau III.5)

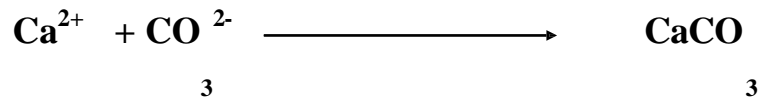
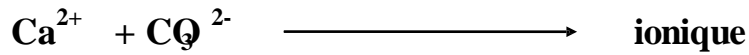
***Tableau III.5 . les Résultats des analyses des dépôts.**

Depots	Calcium	Magnésium	cuire	Fer	Nickel
Masse %	49,22	30,88	3,99	0,89	1,94

CHAPITRE III

Les résultats des analyses de la masse des composants du dépôt des faisceaux tubulaires de l'échangeur E504, montrent que le dépôt est carbonaté, formé de 50% de carbonate de calcium.

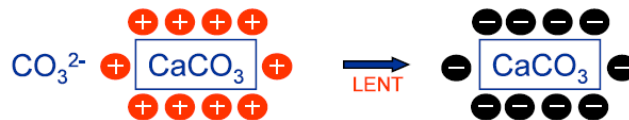
Mécanisme de formation du tartre :



a) Adsorption des ions Ca^{2+} sur CaCO_3



b) Début de précipitation



III.4 .Analyse les effets de bouchage sur les performances thermiques d'un échangeur de chaleur

Phénoménologiquement, le bouchage est un problème transitoire de chaleur et de masse qui nécessite l'action simultanée de plusieurs processus complexes. On peut décomposer les mécanismes de bouchage 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 bouchage particulière sur des tubes d'échangeur, la phase d'initiation du processus de bouchage n'est pas détectée.
- L'adhésion des particules sous l'effet des forces de Van der Waals, des forces électrostatiques 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 et une usure dudit dépôt.

III .5.Dégradation de la surface externe des tubes d'échangeur

Pour analyser le problème de dégradation de la surface externe (corrosion et fissuration) des tubes d'échangeur E504, nous avons considérés les points suivants :

III.5.1.Analyse chimique : L'analyse chimique confirme que les tubes sont en cupronickel 70-30 avec la teneur suivante :

$$\text{Cu} = 70.12\%$$

$$\text{Ni} = 29.18\%$$

$$\text{Fe} = 0.25\%$$

$$\text{Mn} = 0.44\%$$

Théoriquement les alliages de cuivre résistent bien à l'eau de mer et au MEA dépourvu d'agents agressifs

III.5.2.Examen visuel : L'analyse visuelle a révélé des tubes corrodés, et surtout au niveau la paroi externe des tubes d'échangeur E504, la corrosion des tubes par fois présente des fissurations débouchantes sans aucune restriction visible.

III.5.3.Examen microscopique : L'examen microscopique effectué sur des portions des tubes d'échangeur E504 corrodés à l'aide d'un microscope optique à balayage (Voir figure V.3), a révélé la présence de piqûres de corrosion sur la surface extérieure, ces piqûres se relient pour former des microfissures qui se transforment en fissures apparentes à l'œil nu. Nous avons aussi détecté des dépôts de corrosion au bord de la fissure principale, ces dépôts se présentent sous une forme continue dans certains endroits et discontinue en d'autre. (Voir figure III.2 et III.3)

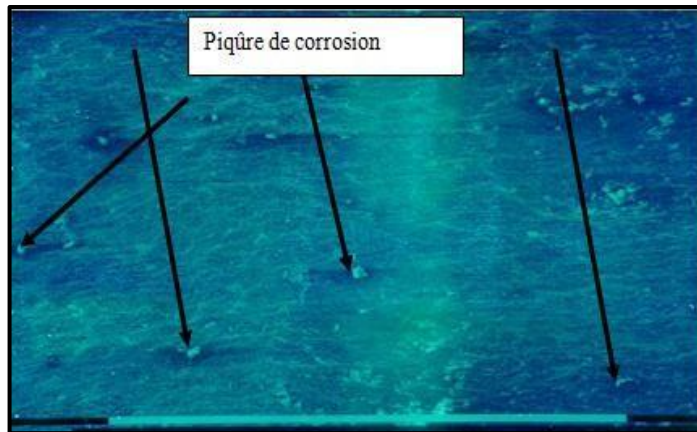


Figure III.2. photo d'examen au MEB (piqûres de corrosion).

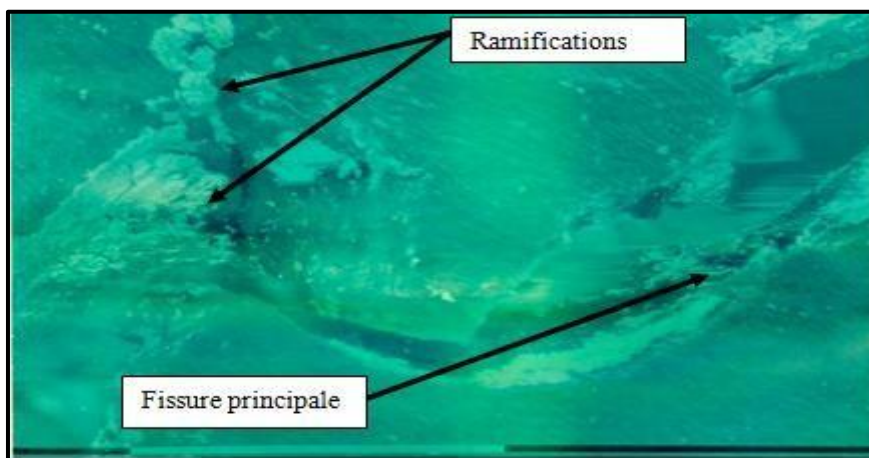


Figure III.3. photo d'examen au MEB (fissuration principale).

III.5.4. Analyse du milieu extérieur du faisceau des tube : Parmi les résultats des examens visuels et microscopiques nous avons remarqué la présence des piqûres sur La paroi extérieure des tubes de l'échangeur E504 est en contact avec un fluide corrosif (MEA), nous avons observé que la surface des tubes est sévèrement corrodée, qui confirme l'agressivité du milieu extérieur. (Voir la figure III.4)



Figure III.4. l'effet de la MEA sur la surface des tubes d'échangeur E504.

CHAPITRE III

- D'après les résultats des examens sur les tubes, montre que la solution MEA et le responsable de la corrosion la paroi externe des tubes d'échangeur E504, C'est pour cela qu'on va directement vers l'amine qui reste le seul élément agressif contenu dans le MEA, la vitesse de corrosion augmente avec l'augmentation de la concentration en MEA entraînée.(voir la figure III.6)

Tableau III.6 .représente l'influence de la concentration en MEA sur la vitesse de corrosion.

(Bockris, J. O'M. and Drazic)

% MEA	vitesse de corrosion (mm/an)	Rapport de vitesse V(MEA) /V (MEA=0) ,(mm/an)
0	0,012	1
5	0,047	4
10	0,14	11,66
20	0,21	17,5
25	0,74	61,66

- Les résultats du tableau montre que la solution de MEA n'est pas seule responsable de la corrosion, en effet la vitesse de corrosion est non nulle pour une concentration nulle de la solution de MEA, ce ci montre qu'il existe une corrosion à des faibles vitesses.D'après ce qu'on a vu maintenant, on peut dire que la présence de corrosion sur la surface des tubes de l'échangeur peut être provoquée par la concentration élevée de la 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.

III.6. Les fuites et la corrosion sur les tubes et la boîte de distribution d'échangeur

L'eau de mer est la plus corrosive des eaux de refroidissement utilisée dans les usines de traitement. Sa nature corrosive est aggravée par la présence des sels corrosifs, tel que chlorure sulfates, bromure, bicarbonates, bicarbonates, nitrates et phosphates ainsi que l'oxygène dissous (voir Tableau III.5).

L'action destructive de l'eau de mer sur un matériau est la dégradation mécanique, physique, chimique, électrochimique où biologique.

On peut expliquer le problème des fuites sur les tube d'échangeur E504 a cause de deux types de la corrosion, la première type s'appel caverneuse, cette dernière est un résultat d'une attaque électrochimique, elle peut apparaître même pour des concentrations faibles en ions Cl^- (contenant à l'eau de mer) et à température ambiante. Elle est accélérée par l'élévation de température (voir figure III.5).

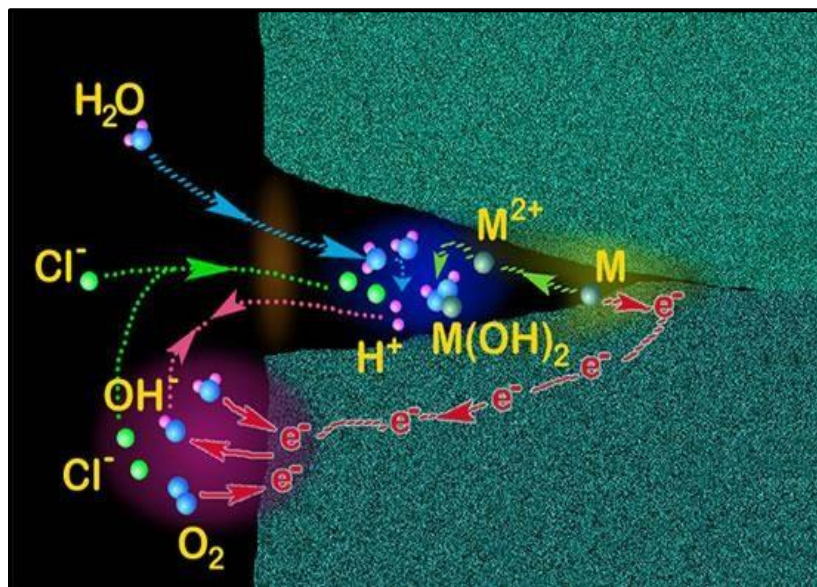


Figure III.5. la corrosion caverneuse par faible ions Cl^- .

Le second type de corrosion appel l'érosion, cette dernière contribue aussi au perçage des tubes, en effet la solution de MEA entré du coté calandre avec une grande pression et vitesse de circulation, qui provoque l'érosion de la surface destubes.

Les alliages en cupronickel sont des matériaux traditionnels dans les installations utilisent l'eau de mer ils ont un potentiel électrochimique entre (-0.21 à 0.28 volt), ce qui donne pour

CHAPITRE III

ces alliages ont une bonne conductivité thermique, électrique et une bonne résistance à la corrosion marine. Par contre celui de la boîte de distribution varie entre (-0.6 à -0.7 volt).

Les tubes de l'échangeur E504 ont une structure en cupronickel et la boîte de distribution a une structure en acier au carbone, les deux structures en contact direct avec l'eau de mer, ces dernières sont protégées cathodiquement par les anodes sacrificielles en ZINC.

Les anodes sacrificielles en zinc possèdent un potentiel de (-0.91 à -1.10 volt), le zinc est moins noble ce qui est attaqué en premier protégeant ainsi l'acier au carbone et le cupronickel.

Le temps que les anodes sacrificielles n'ont pas bien réagi ou bien consommées totalement, l'eau de mer commence à attaquer l'acier au carbone et le cupronickel (de la boîte de distribution les tubes). (voir figure III.6 et III.7)



Figure III.6. les anodes sacrificielles couverts par les dépôts.



Figure III.7. la corrosion sur la boîte de distribution d'échangeur E504.

CHAPITRE III

les conséquences des problèmes

L'endommagement de l'échangeur E504 se traduit par de nombreux problèmes et un impact sur l'arrêt des installations pour cause de maintenance. Ces arrêts fréquents entraînent un manque à gagner important pour cause de :

- Arrêt de production
 - Arrêt des installations.
 - Remplacement du matériel corrodé.
- . La perte MEA
- . Coût de la maintenance L'entretien des échangeurs E.504 est très coûteux. Le tableau ci-dessous (III.7) résume le nombre d'intervention et leur Coût.

Tableau III.7. l'entretien des échangeurs E.504 pour les six trains pendant 3ans

nombre d'intervention	heurs réalisés	Coût pièce de rechange
35	4003	962913

Coût total de maintenance de l'échangeur : 6157451 DA

- . Manque à produire du à l'arrêt de l'unité

Les arrêts impératifs et fréquents de l'unité de traitement du GN à cause des différents problèmes et particulièrement de l'échangeur E.504, engendrent un manque à produire très important.

Le tableau suivant ci- dessous montre les pertes et le nombre d'arrêt pendant trois mois ; avec une durée moyenne de cinq heurs de chaque arrêt, ce qui cause un arrêt de 40heurs en trois mois, Sachant que chaque train à une capacité de production de GNL de 8870 m³ par jour et 1m³ de GNL sa coûte 12960 DA (voir Tableau III.8)

CHAPITRE III

Tableau III.8. la perte en production

Période	Perte en production de GNL (m ³)	perte en argent (DA)
05heurs	1845	2.3910 ⁷
03mois (40heurs)	14760	1,9.10 ⁸

On peut alors dire que pendant la période de 3mois, et à cause des arrêts, l'unité perde la somme de 1,51.10⁸DA. Concernant les tubes en cupronickel, le prix de revient d'un seul tube est de 4327.55DA et comme le nombre des tubes pinochés d'échangeur E504 pour six trains est 327 donc La perte totale est évaluée à 1,45.10⁶DA.

interprétation des résultats

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

Un autre phénomène a été relevé : la présence de corrosion sur la surface des tubes de l'échangeur, Ces différents constats ont pour conséquences :

- La transmission de chaleur du métal vers le fluide qui diminue d'où le risque d'un échauffement local du métal ayant pour conséquence une baisse des caractéristiques mécaniques et qui peut être rapidement dangereux pour la durée de vie de l'appareil.
- Le rendement thermique de l'appareil baisse.
- L'entraînement des grosses particules provoquant la turbulence qui fait accentuer la vibration des tubes.
- La grande différence de pression entre la solution de la MEA et l'EDM favorisent la pénétration des tubes des échangeurs à l'intérieur.
- Faible débit d'eau de mer utilisé pour le refroidissement la MEA, ce mauvais refroidissement provoque une dilatation des tubes engendrée par l'élévation de la température.
- L'entraînement de la MEA (à forte dose), cette dernière influe négativement sur l'état du métal en augmentant sa vitesse de corrosion.

les solutions

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, il y a lieu de réaliser les actions suivantes :

- Installer les débitmètres d'hypochlorite de sodium sur les lignes d'injection au niveau des baies d'aspiration des pompes principale d'eau de mer.
- Respecter les fréquences de vidange des bouchages de piège à moules.
- Déboucher mécaniquement les tubes totalement obturés (actuellement), par la méthode hydro-blaste à l'aide jet cleaner.
- Procéder au lessivage chimique des faisceaux tubulaires dans le cas ou l'inspection révèle un bouchage partiel des tubes par le tartre.
- Faire une inspection systématique des faisceaux tubulaires de cet échangeur chaque six mois.
- Respecter les conditions d'exploitation de l'échangeur.
- Injecter dans le circuit de refroidissement de l'eau de mer des inhibiteurs contre la corrosion
- Respecter la dose de la MEA pour éviter la dégradation des surfaces extérieures des tubes.

Conclusion et recommandations

1-Conclusion

Pendant la période de stage d'une durée de un mois, notre objectif était l'étude les problèmes de l'endommagement de l'échangeur E.504 EDM/MEA de la section de décarbonatation du complexe GL1/Z.

Suite aux différents problèmes vécus au niveau du refroidisseur de la solution MEA pauvre, un mauvais de transfert de chaleur à été enregistrée.

Les résultats d'analyse des dépôts des faisceaux tubulaires de l'échangeur E.504, donnés par le laboratoire du complexe GL1/Z montrent la présence d'une grande quantité de sels de calcium et magnésium, ces dépôts formés peuvent boucher les tubes qui induit une diminution du transfert de chaleur entre l'eau de mer et la solution de MEA pauvre d'où un échauffement local du métal, ayant pour conséquence une baisse des caractéristiques mécaniques de l'échangeur.

L'analyse chimique et microscopique du métal, et l'analyse des parois interne et externe des tubes des échangeurs E504 nous a permis de conclure que La cause principale de la fissuration des tubes est due :

- Une corrosion sous contrainte due aux forces mécaniques de vibration des faisceaux tubulaires
- le MEA et le responsable de la corrosion de la paroi externe des tubes
- l'eau de mer qui reste la plus corrosive

Les résultats de ces problèmes sont :

- Une diminution de production.
- ainsi qu'une diminution du rendement thermique de l'appareil.
- Arrêt des installations.
- Impact écologique sur l'environnement, déversement de la MEA vers les égouts

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 ces problèmes sont évolutifs sur le refroidisseur E.504 de ce fait nous prévoyons les recommandations.

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, il y a lieu de réaliser les actions suivantes :

- Installer les débitmètres d'hypochlorite de sodium sur les lignes d'injection au niveau des baies d'aspiration des pompes principale d'eau de mer.
- Respecter les fréquences de vidange des bouchages de piège à moules.
- Déboucher mécaniquement les tubes totalement obturés (actuellement), par la méthode hydro-blaste à l'aide jet cleaner.
- Procéder au lessivage chimique des faisceaux tubulaires dans le cas ou l'inspection révèle un bouchage partiel des tubes par le tartre.
- Faire une inspection systématique des faisceaux tubulaires de cet échangeur chaque six mois.
- Respecter les conditions d'exploitation de l'échangeur.
- Injecter dans le circuit de refroidissement de l'eau de mer des inhibiteurs contre la corrosion
- Respecter la dose de la MEA pour éviter la dégradation des surfaces extérieures des tubes.

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : composition chimique du gaz naturel

Tableau I.2 : composition du MCR

Tableau I.3 : composition chimique du GNL

Tableau I.4 : condition de stockage du GNL

Chapitre II

Tableau II.1 : composition chimique du gaz naturel

Tableau II.2 : composition du MCR

Tableau II.3 : composition molaire du GNL

Tableau II.4 : condition de stockage du GNL

Chapitre III

Tableau III.1 : paramètre de service de l'échangeur E504 (design)

Tableau III.2: paramètre de service de l'échangeur E504 (actuels)

Tableau III.3: les différents paramètres d'eau de mer à travers les tubes E504

Tableau III.4: analyse chimique de l'eau de mer

Tableau III.5: résultats des analyses des dépôts

Tableau III.6: influence de la concentration en MEA sur la vitesse de corrosion

Tableau III.7: l'entretien des échangeurs E504 pour les six trains pendant trois ans

Tableau III.8: la perte de production

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Schéma de la section d'adsorption

Figure I.2 : Schéma de la section de régénération

Figure I.3: Schéma de la section de déshydration

Chapitre II

Figure II.1 : Schéma de la section de décarbonatation

Figure II.2 : L'échangeur de chaleur E504

Figure II.3 : Corrosion chimique

Figure II.4 : La corrosion uniforme d'un chicane en acier

Figure II.5 : La corrosion galvanique

Figure II.6 : La corrosion par piqure

Figure II.7: La corrosion caverneuse

Figure II.8 : La corrosion inter-granulaire

Figure II.9: La corrosion par érosion

Figure II.10: Influence du pH sur la vitesse de corrosion

Figure II.11: Influence de O_2 sur la vitesse de corrosion

Figure II.12: L'effet de la concentration de O_2 dissous sur la corrosion à différente température.

Chapitre III

Figure III.1 : Dépôt la tarte formée sur les faisceaux tubulaires de l'échangeur E504.

Figure III.2 : Photo d'examen au MEB (piques de corrosion)

Figure III.3 : Photo d'examen au MEB (fissuration principale)

Figure III.4 : L'effet de la MEA sur la surface des tubes d'échangeur E504

Figure III.5 : La corrosion caverneuse par faible ions Cl^-

Figure III.6 : Les anodes sacrificielles couverts par les dépôts

Figure III.7 : la corrosion sur la boîte de distribution d'échangeur E504

Bibliographie

(1) J, M, Grillot ; étude du dépôt de particules en phase gazeuse dans les canaux d'échangeurs thermiques à plaques , thèse de l'institut polytechnique de Grenoble, 1989,

(2) J, M, Grillot ; G , Icart fouling of a cylindrical probe and a finned tube bundle in diesel exhaust environment, experimental thermal and fluid science, 14, p 442 – 454 , 1977,

(3) F, Finkbeiner ; T, Gonard ; B , Filiol ; Echangeurs thermiques : Enjeux, marchés , technologie et politique d'innovation, édition européennes thermique et industries (EETI) , France , 1993,

(4) M, Goyhenetche ; Diagnostic technique et économique de l'encrassement des équipements de transfert thermique dans l'industrie française, France , 1991

(5) SONATRACH ‘ ‘ Faite connaissance avec les hydrocarbures’ ’ Algérie, 3^{ème} édition 1993 [4] : Finkbeiner, F., Gonard, T. & Filiol, B., Echangeurs thermiques: Enjeux, marchés, technologie et politique d'innovation. Editions européennes Thermique et Industries (EETI), France, 1993.

(6) : M .G.FONTANA , N.D.GREENE , corrosion Engineering-Mc Graw-Hill Book Cy Inc,
New York, London, 1967

(7) W.Z. Friend. Corrosion resistance of Metals Handbook. A.F.S .1957.