République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Kasdi Merbah Ouargla
Institut de technologie
Département : Génie appliqué

Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de licence professionnelle
Filière : Hygiène Sécurité Industriel

Spécialité : Hygiène Sécurité Environnement

Thème :

Effets de la corrosion sur les installations gaziers et leurs méthodes de protections. Cas de SH /HASSI R'MEL.

Réalisé par les étudiants:

SLIMANI Ammar. GHEDIER BRAHIM Noureddiene.

Encadrés par : Mme KABDI Soumia

Co- encadreur : Mr Yacine BELMAZOUZI

Composition du jury :

Président: Mr ABDELBARI Abes (Maitre-assistant) UKM Ouargla

Rapporteur: Mme KABDI SOUMIA (Maitre-assistante B) UKM Ouargla.

Examinateurs: Mr IDRIS Rezki

Année universitaire 2016-2017

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Kasdi Merbah Ouargla
Institut de technologie
Département : Génie appliqué

Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de licence professionnelle
Filière : Hygiène Sécurité Industriel

Spécialité : Hygiène Sécurité Environnement

Thème :

Effets de la corrosion sur les installations gaziers et leurs méthodes de protections. Cas de SH /HASSI R'MEL.

Réalisé par les étudiants:

SLIMANI Ammar. GHEDIER BRAHIM Noureddiene.

Encadrés par : Mme KABDI Soumia

Co- encadreur : Mr Yacine BELMAZOUZI

Composition du jury :

Président: Mr ABDELBARI Abes (Maitre-assistant) UKM Ouargla

Rapporteur: Mme KABDI SOUMIA (Maitre-assistante B) UKM Ouargla.

Examinateurs: Mr IDRIS Rezki

Année universitaire 2016-2017

Dédicaces

Je dédié ce modeste travail :

- *A mes très chers parents*
- *A mes chers frères*
- *A mes adorables sœurs*
- *A toute ma famille Ghedier et tous mes amis sans exception.*
- *En fin, je remercie mon binôme SLIMANI AMMAR qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.*

Ghedier BRAHIM Noureddiene

Dédicaces

Je dédié ce modeste travail :

- *A ma mère qui ont tant sacrifié pour moi : « ton souvenir reste à jamais gravé dans ma mémoire »*
- *A toute ma famille et tous mes amis sans exception.*
- *A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin et qui me connais*
- *En fin, je remercie mon binôme Ghedier BRAHIM Noureddiene qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.*

SLIMANI AMMAR

Remerciements

- La réalisation de ce mémoire a été possible aux concours de plusieurs personnes à qui nous voudrons témoigner toute nos reconnaissance mais d'abord à ALLAH le tout puissant.

- Nous voudrions tout d'abord adresser toute ma gratitude à l'encadreur de ce mémoire *Mme KABDI SOUMIA* et le Co-encadreur Mr *Yacine BELMAZOUZI* ses patience, ses disponibilité, et surtout, qui ont contribué à alimenter nos réflexion.

- Notre vifs remerciements a les travailleurs du l'entreprise SH-Hassi R'mel surtout Mr BAN KADDOUR Zouhir, Mr KELAIAIA Moussa.

- Nous désirions aussi remercier les enseignants de l'institut de technologie.

- Nous voudrions exprimer notre reconnaissance envers les amis les collègues qui nous ont aparté leur support moral et intellectuel tout au long notre démarche.

Merci à tous.

Résumé

La corrosion sous toutes ses formes constitue un enjeu majeur pour nos civilisations industrielles pour plusieurs raisons. Son impact économique, la maîtrise des processus de dégradation des matériaux permet de réduire significativement les coûts d'entretien des installations. Donc, les effets directes ou indirectes de la corrosion peuvent impacter durablement notre environnement et notre santé et sécurité des travailleurs. Pour cela, la résistance des installations à la corrosion est devenue un impératif pour le développement de la plupart des technologies nouvelles.

L'un de ces méthodes qui ont ululées dans l'industrie de traitement de gaz brute SH-Hassi R'mel où on a effectué notre travail c'est l'utilisation des inhibiteurs de corrosion (**CHIMAC 1038, CHIMAC 1367/A, CRO80143, CORTRON CK981-DZ**) pour les installations de traitement et les revêtements (**CHARTEK 7, BELZONA 1121**) pour protégé de capacités du stockage(les sphères) et en faine la méthode cathodique à courant imposé pour les conduites enterrées.

Mot clés: Corrosion, protection des installations industrielles, inhibiteurs, méthode cathodique

abstract

The corrosion under all its forms is a major issue for our industrial civilizations for several reasons. Its economic impact, the mastery of the process of degradation of materials allows to significantly reduce the costs of maintenance of the facilities. Therefore, the Effects Direct or indirect result of the corrosion can impact and sustain our environment and our health and safety of workers. For this, the resistance of the facilities to the corrosion is become an imperative for the development of most of the new technologies.

One of these methods which have ululées in the industry for the treatment of raw gas SH-Hassi R'mel where it has conducted our work is the use of corrosion inhibitors (CHIMAC 1038, CHIMAC 1367/A, CRO80143, Cortron CK981-DZ) for the processing facilities and coatings (CHARTEK 7, Belzona 1121) for protected capacity of storage(the spheres) and faine the cathodic method to current imposed for the buried pipes.

Key words: corrosion, protection of industrial installations, inhibitors, cathodic method

Sommaire

Dédicaces v

Dédicaces vi

Remerciements vii

Résumé viii

Liste des figures xi

Liste des abréviations xii

Introduction générale 1

Chapitre I :Généralité sur la corrosion 1

I Introduction 2

I-1 Définition de la corrosion 2

I-2 Réaction de la corrosion 2

I-3 Origine et classification de la corrosion 2

I-4 Les différents types de la corrosion 3

I-4-1 Généralisée 3

I-4-2 Localisée 3

I-5 Les facteurs de la corrosion 5

I-5-1 La corrosion par les eaux 5

I-5-2 La corrosion atmosphérique 5

I-5-3 La corrosion par les sols 5

I-6 La corrosion rencontrée dans les installations pétrolières 5

I-6-1 Corrosion par CO2 « Sweet corrosion » 5

I-6-2 Corrosion par les composés sulfurés « Sour corrosion » 5

I-7 La lutte contre la corrosion 6

I-7-1 La protection électrochimique. 6

I-7-2 Protection par revêtements 8

I-7-2-1 Revêtements métalliques 8

I-7-2-2 revêtements non métalliques 8

I-7-3 Protection par des inhibiteurs 8

I-7-4 Protection par une forme adaptée des pièces 9

I-7-4-1 Zones humides 9

I-7-4-2 Contraintes 10

I-7-4-3 Ecoulement des fluides 10
I-7-5 Prévention par le choix du matériau 10
I-8 Les effets de la corrosion 10
Chapitre II :La corrosion des installations gaziers Etude de cas SH-Hassi R'mel 12
Introduction 12
II-1 Présentation de HASSI R'MEL 12
II-1-1 Situation géographique 12
II-1-2 Les différents zone de HR 12
II-1-3 Présentation de la division sécurité 13
II-2 La corrosion des installations de production du gaz et leur inspection 15
II-2-1 La corrosion des installations de production du gaz 15
II-3 Inspection et détection de la corrosion 17
II-3-1Les différents types d'inspection 17
II-4 Les méthodes de protection contre la corrosion 21
II-4-1 La méthode cathodique 21
II-4-2 La protection par l'injection des inhibiteur de corrosion 24
II-4-3 La protection des sphères avec Les revêtements anticorrosion 26
Conclusion générale. 29
Bibliographies 30

Liste des figures

Figure 1 : corrosion uniforme et corrosion localisée d'un métal 5

Figure 2 : Les différents types de corrosion localisée 6

Figure 3 : Principe de la protection cathodique par des anodes sacrificielles 9

Figure 4 : Principe de la protection cathodique par courant imposé 9

Figure 5 : Vidange incomplète (a), et complète (b) du récipient 11

Figure 6: Diminution du risque de corrosion d'un coude. Risque plus élevé pour (a) que pour (b) 12

Figure 7 : représentation géographique du champ HASSI R'mel 15

Figure 8 : schéma des défirent installations de traitement de gaz au niveau de Hassi R'mel.. 16

Figure9 : corrosion localisé au niveau d'in ballon de stabilisation 19

Figure10 : les ruiles de corrosion au niveau d'une vanne 19

Figure 11 : corrosion uniforme..... 19

Figure12 : corrosion par piqûre 19

Figure 13 : percement a cause de corrosion d'une conduit enterré..... 20

Figure 14 : le control visuel d'un coude 23

Figure 15 : la mesure d'épaisseur par l'appareil ultrason..... 23

Figure 16 : les produits de Contrôle par ressuage 23

Figure 17 : poste de stérage..... 25

Figure 18 : Equipements de protection cathodique à courant imposé..... 26

Figure 19 :La mesure du potentiel à l'aide d'un multimètre..... 26

Figure 20 : électrodes de référence 26

Figure 21 : L'installation d'injection du l'inhibiteur de corrosion..... 29

Figure 22 : sphère avec l'ancien revêtement 30

Figure 23 : l'application des revêtements couleur gris BELZONA 1121, couleur rouge CHARTEK 7 31

Figure 24 : l'application de la peinture 31

Liste des abréviations

PC: Protection Cathodique

PA: Protection anodique

NACE: National Association of Corrosion Engineers

MPP : Module Processing Plant

CSTF : Centre de Stockage et de Transport des Fluides

CTH : Centre de Traitement d'Huile

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfie

HP : Haute Pression

Introduction générale

Introduction générale

Phénomène naturel complexe, la corrosion n'est pas seulement une source de gaspillage de matière primaires et d'énergies, en plus des conséquences sur la fiabilité des appareillages elle peut aussi provoquer des accidents aux conséquences graves et contribuer à la pollution de l'environnement et même à la sécurité des personnes utilisatrices elle provoque des pertes en vie humaine puisqu'elle est susceptible d'entrainer des problèmes de santé (pollution, contamination,…) ; elle touche de nombreux domaines et spécifiquement le domaine de l'industrie.

L'industrie pétrolière comme tout les domaines ont soufré du problème de corrosion, ce mal peut revêtir des formes variées allant d'une simple corrosion uniforme à des aspects plus complexes et plus dangereuse.

Au cours de cette étude nous sommes intéressés spécialement à la corrosion dans les installations de production du gaz brute à DP Hassi R'mel et les méthodes d'inspections ainsi que la protection des installations que ce soit les installations aérienne ou enterrée. Donc **Comment la corrosion des installations industrielles pose des problèmes?**

Pour répondre à cette problématique il faut répondre aux questions suivantes.

Peut-on résoudre le problème de corrosion ? Quels sont les moyens de protection contre ce genre des problèmes ?

Pour réaliser l'objectif de ce travail qui est de résoudre le problème de la corrosion industrielle.

Le présent mémoire comporte deux chapitres. Dans le premier chapitre, généralités sur la corrosion (définition, leur origine et classifications, les différents types, les facteurs de corrosion) après la corrosion les industries pétroliers avec les méthodes de protection enfin les effets de la corrosion.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons l'entreprise de SH-HassiR'mel où a été réalisé notre travail après les différentes types de la corrosion des installations de production du gaz et leur inspection, en suit les Inspection et détection de la corrosion et enfin les méthodes de protections suivit par cette entreprise.

Chapitre I :Généralité sur la corrosion

I Introduction

La corrosion est un grand problème mondiale touche tous les secteurs particulièrement dans l'industrie pétrolière, dans ce chapitre on peut présenter quelques notions principaux sur la corrosion, ces types, ces formes et les facteurs qui dues de cette problème ainsi que les méthodes de protections contre la corrosion.

I-1 Définition de la corrosion

Le terme corrosion du latin « corrodère » signifiant : ronger, attaquer. *Selon**la norme ISO 8044***interactions physico-chimiques entre un métal et son milieu environnant entraînant des modifications dans les propriétés du métal et pouvant conduire à une dégradation significative de la fonction du métal, du milieu environnant ou du système technique dont ils font partie[01,02]

I-2 Réaction de la corrosion

La corrosion des métaux est due à une réaction d'oxydoréduction irréversible entre lemétal et un agent oxydant contenu dans l'environnement. L'oxydation du métal implique laréduction de l'agent oxydant selon la réaction :

Métal + agent oxydant → métal oxydé + agent réducteur

Toute réaction d'oxydoréduction se compose de deux réactions partielles : la réaction partielle d'oxydation ou réaction partielle anodique, et la réaction partielle de réduction ou réaction partielle cathodique:

Exemple.

- $Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e$ anodique
- $2H^{+} + 2^{e} \longrightarrow H_2$ cathodique

- $Fe + 2H^{+} \longrightarrow Fe^{2+} + H_2$ réaction globale [04]

I-3 Origine et classification de la corrosion

Le comportement à la corrosion d'un matériau dépend d'une multitude de paramètres :

- Composition chimique et microstructure du métal.

- Composition chimique de l'environnement.
- Paramètres physique (Température, Convection, Irradiation, etc...)
- Sollicitations mécanique (contraintes, chocs, frottements, etc...)

I-4 Les différents types de la corrosion

La corrosion peut être soit :

I-4-1 Généralisée : la réaction de corrosion sur toute la surface du matériau qui joue le rôle à la fois d'anode et de cathode et en l'appelle corrosion uniforme.

I-4-2 Localisée : dans le cas où la réaction de corrosion se déroule à un lieu spécifiquement anodique d'un matériau. En pratique, ce type de corrosion provint d'une hétérogénéité du matériau ou de l'environnement (figure 1).[04]

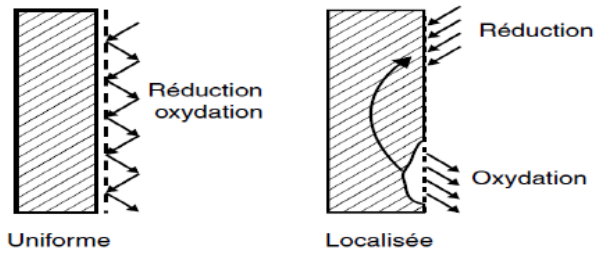

Figure 1: corrosion uniforme et corrosion localisée d'un métal [05]

Ainsi les chercheurs ont subdivisé ce type de corrosion en huit catégories les plus courants en pratique [03] :

- **Corrosion galvanique** : voir (figure I.4.1).
- **Corrosion caverneuse :**voir (figure I.4.2)
- **Corrosion par piqûres :**voir (figure I.4.3),
- **Corrosion sélective :**voir (figure I.4.4).
- **Corrosion intergranulaire :**voir (figure I.4.5).
- **Corrosion-érosion :**voir (figure I.4.6).
- **Corrosion sous contrainte :**voir (figure I.4.7).
- **Corrosion fatigue :**voir (figure I.4.8).

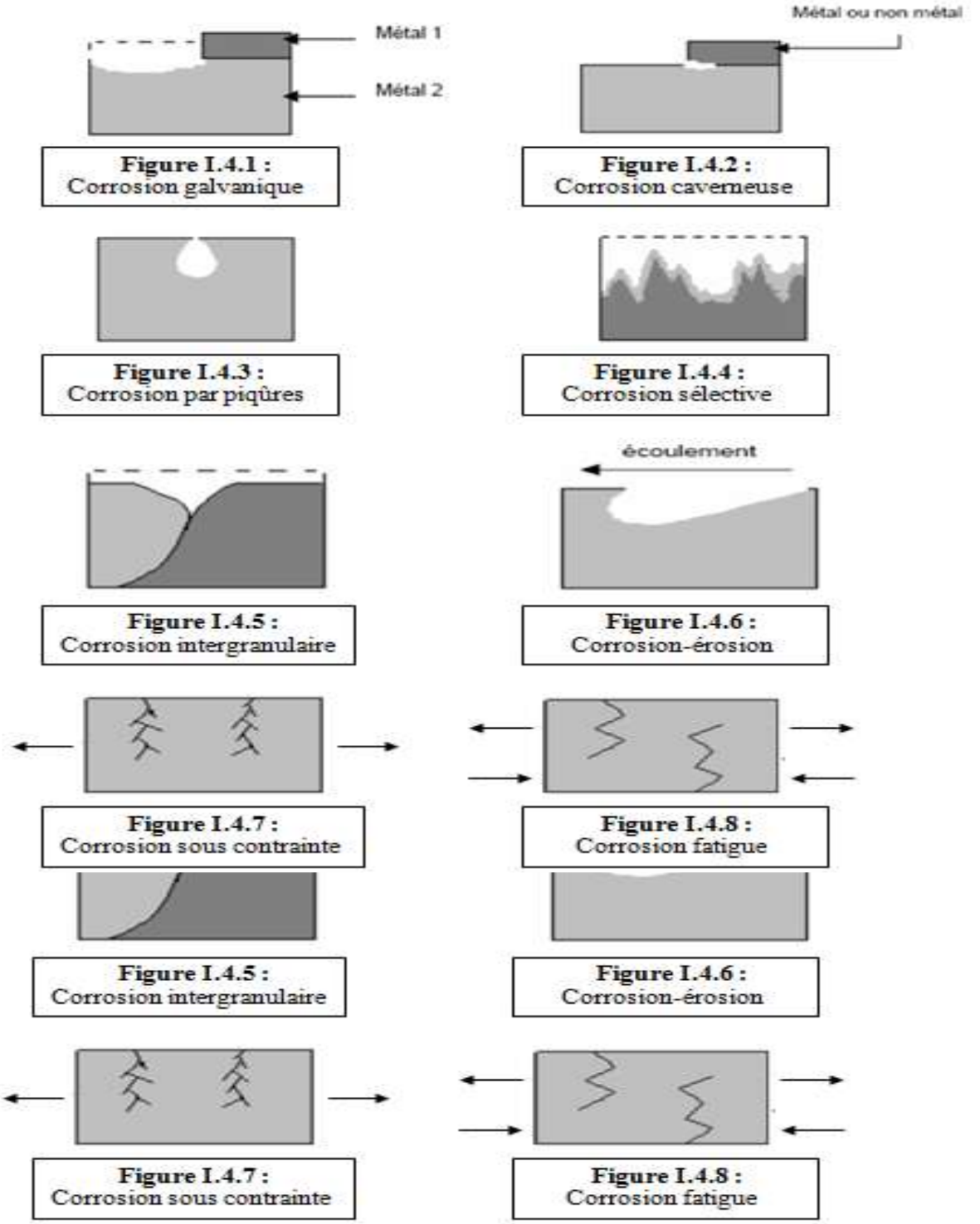

Figure 2 : Les différents types de corrosion localisée [04]

I-5 Les facteurs de la corrosion

I-5-1 La corrosion par les eaux

La détermination de la nature de l'eau en contact avec les métaux peut être très utiles car :
Les eaux agressives, son peu minéralisées ; elles sont donc plus corrosives que les eaux incrustantes, elles ne favorisent pas la formation d'un dépôt protecteur.

I-5-2 La corrosion atmosphérique

L'atmosphère devient corrosive dès que le taux d'humidité de l'air est supérieur à 30%.
La corrosion dépend également beaucoup de l'agressivité locale atmosphère rurale, industrielle ou marine.

I-5-3 La corrosion par les sols

Les sols sont loin d'être des milieux homogènes, ils présentent en effet d'un site à l'autre des caractéristiques très variées. [07]

I-6 La corrosion rencontrée dans les installations pétrolières

Les problèmes les plus importants posés par la corrosion dans les puits et conduites en acier au carbone sont causés par des substances chimiques conduisant à une acidification de l'eau contenue dans le brut ou le gaz naturel. Cette corrosion apparait quand l'eau contenue dans le brut ou le gaz naturel entre en contact avec la paroi métallique pendant un temps suffisant pour pouvoirs amorcé une corrosion localisée, et ça quelque soit la teneur en eau de l'effluent. Les facteurs conférant à l'eau une agressivité sont :

I-6-1 Corrosion par CO2 « Sweet corrosion »

On a constaté qu'en dépit de l'absence d'oxygène dans les puits de condensation de gaz naturel, la surface des installations en acier est souvent fortement attaquée par les composés corrosifs des fluides (eau et CO2)

I-6-2 Corrosion par les composés sulfurés « Sour corrosion »

Le principal agent corrosif dans l'industrie du pétrole est l'hydrogène sulfuré qui provient à la fois du brut, mais aussi principalement de la décomposition thermique des composés soufrés.

I-7 La lutte contre la corrosion

La lutte contre la corrosion doit être une préoccupation constante, depuis la conception des équipements jusqu'a leur entretien quotidien. Si les moyens à mettre en œuvre sont variés et dépendent en grande partie des situations d'utilisations particulières, le but recherché est d'enrayer la dégradation des équipements pour augmenter leur durée de vie. Les différents moyens de lutte contre la corrosion sont:

- La protection électrochimique
- Protection par revêtements
- Protection par des inhibiteurs
- Prévention par une forme adaptée des pièces
- Prévention par le choix du matériau

I-7-1 La protection électrochimique.

La corrosion électrochimique est le résultat du passage d'un courant entre une anode et une cathode. Ainsi, pour stopper la corrosion, il faut agir sur la pile formée. Dans ce sens, deux types de protections électrochimiques peuvent être envisagées : une **protection anodique** ou une **protection cathodique**. [10]

I-7-1-1 La protection cathodique (PC)

La protection cathodique est la technique qui permet de conserver dans son intégrité la surface extérieure des structures en acier enterrées ou immergées, en s'opposant au processus électrochimique d'attaque du métal par le milieu ambiant. Les canalisations en acier constituent le champ d'application principal de cette protection. Les réseaux en acier, même anciens et dégradés, peuvent bénéficier de cette technique dans des conditions économiques admissibles.

Elle est fait soit par **anode sacrificielle** soit par **courant imposé**

- **anodes sacrificielles**

Le métal à protéger est couplé à un métal moins noble c'est à dire plus électronégatif (magnésium, aluminium, zinc). Celui-ci devient alors l'anode et la structure à protéger la cathode du système. L'anode se corrode alors et il faut la remplacer périodiquement.

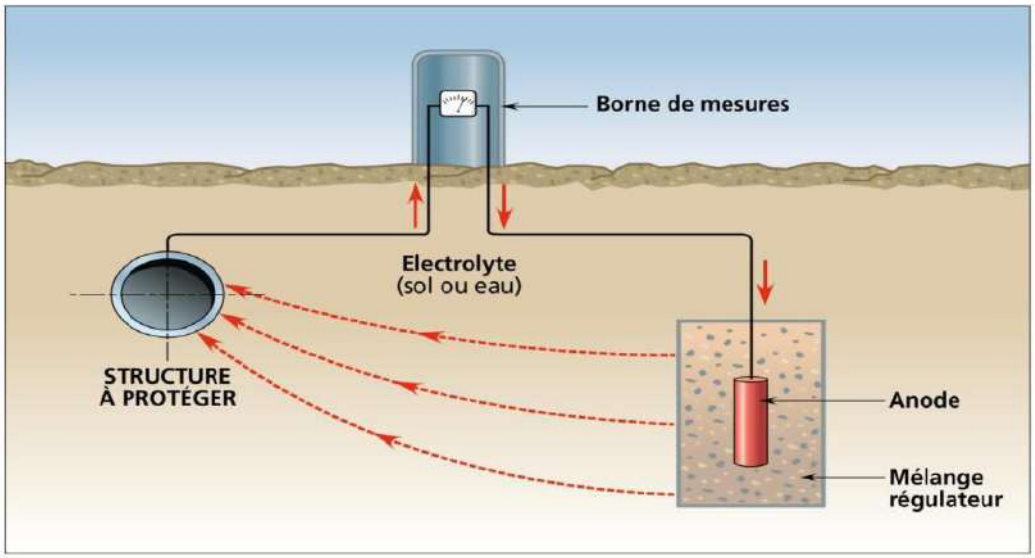

Figure 03 : Principe de la protection cathodique par des anodes sacrificielles [06]

- **Courant imposé**

Utilisant un générateur de courant continu branché entre l'ouvrage à protéger (cathode) et une ou des anodes auxiliaires (appelées déversoirs de courant) utilisant tout matériau conducteur d'électricité (de préférence inattaquable)

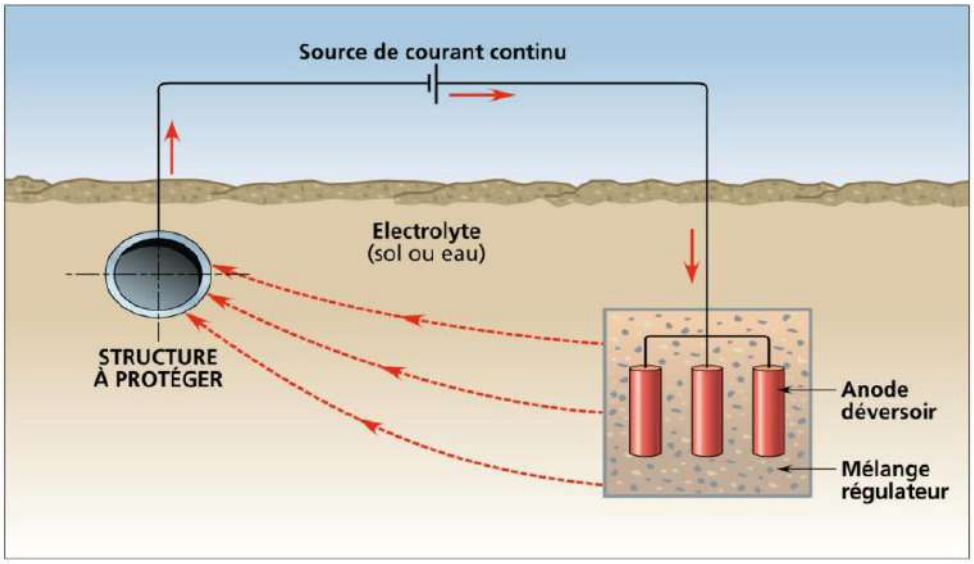

Figure 04 : Principe de la protection cathodique par courant imposé [06]

I-7-1-2 La protection anodique (PA)

Qui est plus récente, repose quant à elle sur l'aptitude à la passivation du matériau dans le milieu considéré.

I-7-2 Protection par revêtements

La technique la plus évidente pour protéger un métal contre la corrosion est de le recouvrir d'un revêtement protecteur. On distingue dans cette catégorie deux techniques : **les revêtements métalliques** et **les revêtements non-métalliques**. [10]

I-7-2-1 Revêtements métalliques

Les revêtements métalliques sont couramment employés pour protéger l'acier contre la corrosion atmosphérique. Selon leur comportement à la corrosion par rapport au substrat on distingue deux types de revêtements métalliques :

- ceux plus nobles que le substrat cathodique,
- ceux moins nobles que le substrat anodique

I-7-2-2 revêtements non métalliques

Ils forment une barrière plus ou moins imperméable entre le substrat métallique et le milieu, et on les classes en trois familles :

- Revêtements en bitumes (utilisés souvent pour les structures enterrées).
- Revêtements polymériques (thermoplastes, caoutchoucs, thermodurcissables).
- Peintures et vernis (en plus de protéger ils assurent une fonction décorative). [10]

I-7-2-3 Choix des revêtements

Il convient de choisir des revêtements compatibles avec leur situation :

- une adhérence parfaite et pérenne sur la structure,
- un pH du milieu rendu alcalin.

Dans les règles de sécurité en France, pour les canalisations de produits pétroliers liquides (arrêté du 21 avril 1989), de gaz combustible (arrêtés du 11 mai 1970 et du 13 juillet 2000) ou d'autres fluides du type produits chimiques (arrêté du 6 décembre 1982), la protection cathodique est réalisée systématiquement en supplément d'un revêtement organique. Par ailleurs, les canalisations d'eau potable, d'irrigation ou d'alimentation d'enneigement artificiel sont de plus en plus protégées avec cette technique. [08]

I-7-3 Protection par des inhibiteurs

Selon la National Association of Corrosion Engineers (NACE), Un inhibiteur de corrosion est une substance chimique qui, ajoutée à faible concentration au milieu corrosif, ralentit ou stoppe le processus de corrosion d'un métal placé au contact de ce milieu. [09]

I-7-3-1 Utilisations industrielles des inhibiteurs

Les inhibiteurs ont plusieurs domaines traditionnels d'application :

-Le traitement des eaux (eaux sanitaires, eaux de procédés industriels, etc.).

-L'industrie du pétrole : forage, extraction, raffinage, stockage et transport.

-L'industrie des peintures sur métaux où les inhibiteurs sont des additifs assurant la protection anticorrosion des métaux.[10]

I-7-3-2 Classification des inhibiteurs

On peut classer les inhibiteurs de différentes façons :

- Par domaine d'application (la formulation des produits : inhibiteurs organiques ou minéraux),
- Par les mécanismes d'action électrochimique (ou réaction partielle), (inhibiteurs cathodiques, anodiques ou mixtes),
- Les mécanismes d'interface et principes d'action (mécanisme réactionnel), (adsorption et/ou formation d'un film, élimination de l'agent corrosif, etc.) [11]

I-7-4 Protection par une forme adaptée des pièces

En donnant une forme adaptée aux objets, on peut diminuer les risques de corrosion car la forme d'un objet peut influencer sa durée de vie de façon déterminante. Les exemples suivants illustrent ces propos.

I-7-4-1 Zones humides

En industrie chimique, il faut assurer une vidange complète des récipients pendant la phase de non exploitation. La diminution du risque de corrosion à l'intérieur d'un réacteur chimique, pendant les temps morts, est schématisée par une vidange incomplète (a), favorisant la corrosion et une vidange complète (b), diminuant le risque de corrosion.

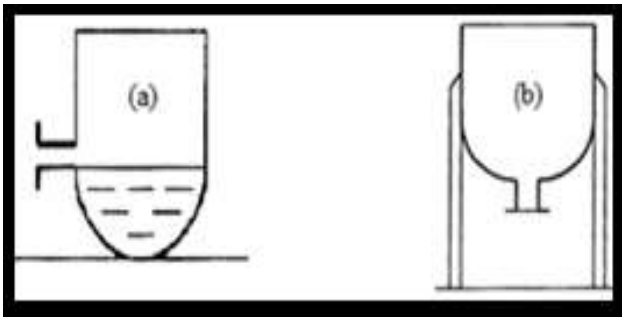

Figure 5 : Vidange incomplète (a), et complète (b) du récipient

I-7-4-2 Contraintes

La distribution des contraintes dans une pièce influence sa sensibilité à la corrosion sous contrainte. Une forme arrondie au voisinage de la tête d'un boulon évite la concentration des contraintes. L'usinage introduit souvent des contraintes résiduelles dans les pièces, un traitement thermique adéquat permet alors de les réduire, indépendamment de la forme.

I-7-4-3 Ecoulement des fluides

Une conception judicieuse de l'écoulement des fluides réduit le risque de corrosion par cavitation. Il faut éviter les changements brusques de direction. Le rayon du coude d'une conduite doit être supérieur à 3 fois son diamètre

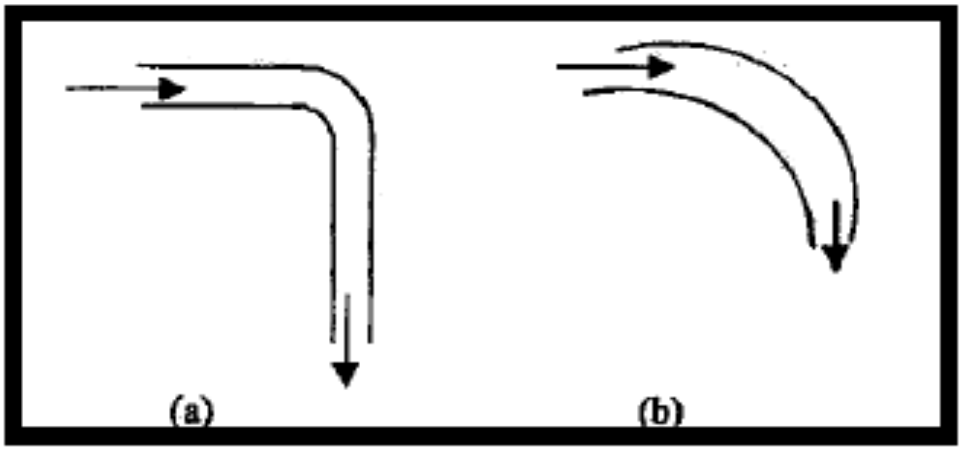

Figure 6: Diminution du risque de corrosion d'un coude. Risque plus élevé pour (a) que pour (b)

I-7-5 Prévention par le choix du matériau

Le choix du matériau doit principalement tenir en compte de l'influence défavorable et des conditions de fonctionnement. Il n'existe pas de métaux ou alliages qui ont une résistance absolue à la corrosion, mais on connaît uniquement des matériaux résistant à la corrosion dans certains milieux agressifs. Le comportement à la corrosion n'est qu'un critère parmi d'autres dans le choix des matériaux, bien qu'il s'avère souvent déterminant. La résistance à la corrosion est une propriété du système métal-milieu et non du métal seul. [03]

I-8 Les effets de la corrosion

La corrosion est la cause principale des différents phénomènes dangereux qui représentent par la reconstruction des installations :

Les effets directs ou indirects de la corrosion sont résumés ci-après :

- les incendies, les explosions qui induite des dommages aux les installations et aux êtres humaines.
- la pollution des nappes d'eaux à cause des percements des conduites du transport de produit chimique dangereux.

Chapitre II :

La corrosion des installations gaziers Etude de cas SH-Hassi R’mel

Introduction

L'industrie de traitement de gaz brut comme toutes les industries a soufré au phénomène de corrosion qui génère chaque année des nombreux dégâts pour les installations, les travailleurs et la pollution de l'environnement.

Dans cette partie de mémoire on va voir la corrosion des installations de production du gaz brut au niveau de SH-HR, les types et les méthodes d'inspection, et enfin les méthodes qui sont appliqués par l'entreprise afin de combattre cette phénomène et pour protégé leurs installations.

II-1 Présentation de HASSI R'MEL

II-1-1 Situation géographique

Hassi R' Mel est située à 525 km au sud d'Alger entre la ville de Ghardaïa et Laghouat et a une altitude de 760m environ (figure 7). Ce champ s'étend sur 70KM du nord au sud et 50KM de l'Est à l'Ouest, c'est un gisement de gaz brut riche en condensât et un anneau d'huile sur la périphérie est. Le climat est caractérisé par une faible pluviométrie (140 mm/An).

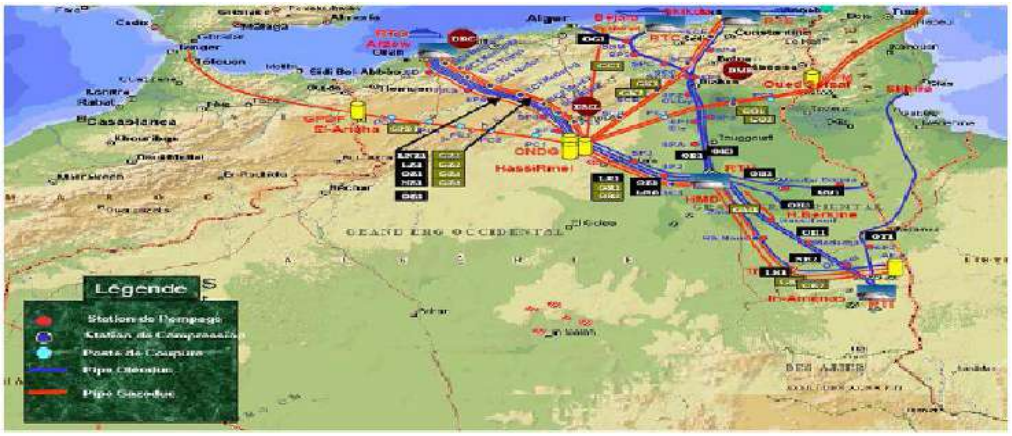

Figure 7 : représentation géographique du champ HASSI R'mel

II-1-2 Les différents zone de HR

La Direction Régionale de HASSI R'MEL est l'une des dix régions qui constituent actuellement la Division Production de l'activité Amont.

Elle dispose de différente zone d'activité, permettant d'assurer la production, le stockage et l'expédition des hydrocarbures, dont principalement trois zones de production (Nord, Centre et Sud) intercalées par deux stations :

La zone centre :

Elle comporte :

MPP0, MPP1, MPP4, phase B

CSTF, SRGA, BOOSTING

La zone Nord :

elle comporte :

MPP3, SCRN

La zone Sud :

elle comporte :

MPP2, CTG, SCRS, CTH – Sud

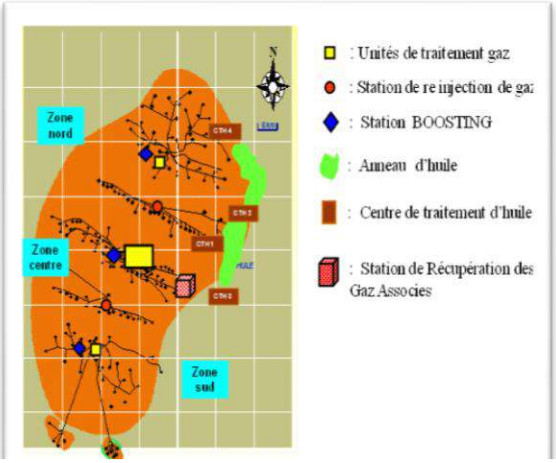

Figure 8 : schéma des défirent installation de traitement du gaz au niveau de Hassi R'mel

II-1-3 Présentation de la division sécurité

Dans la gestion des entreprises, la sécurité industrielle, consiste de façon générale à garantir la sécurité des personnes, des biens également la pérennité de l'entreprise. Dans les entreprises dont les activités présentent des dangers et donc des risques technologiques avérés, la sécurité industrielle se focalise sur le principe de prévention contre ces risques et sur leur maitrise ;La mission de la division sécurité se résume en quatre taches essentielles :

a -Prévention :

Comme dit le proverbe « mieux vaut prévenir que guérir », et la tache de la sécurité dans ce domaine est :

- Assurer le suivi des travaux dans des conditions de sécurité optimale.
- Participer à l'étude et aux modifications concernant les Installations.
- Etablir des audits de sécurité des Installations.
- Rédiger des consignes de sécurité générales et particulières.
- Participer à la politique globale de prévention, la commission Hygiène et sécurité et les différentes compagnes de prévention.
- Travailler en collaboration avec les médecins du travail.
- S'assurer de l'application des divers contrôles et inspections réglementaires des équipements.
- Elaborer et étudier les statistiques d'accidents du travail.

Participer à la gestion des risques à l'alimentation des conditions de travail

b-Intervention :

La compétence d'un service de sécurité se mesure à la rapidité d'intervention et le savoir-faire sur le terrain ; l'intervention du service sur le terrain consiste en les taches suivantes:

- intervenir en cas d'incendie ou explosion
- Assister les travaux dangereux en y apportant la couverture de sécurité nécessaire.
- Assurer l'entretien préventif des systèmes de protection et des équipements et matériels anti-incendie.
- Assurer l'entraînement du personnel aux exercices d'intervention « Vulgarisation de la lutte anti-incendie »
- Assurer l'entretien préventif des systèmes de protection et matériels anti-incendie.
- Etablir, actualiser et appliquer les plans d'interventions de la direction régionale et autres.
- Assurer la disponibilité et la fiabilité du système de protection anti-incendie (test périodique).
- Faire appliquer les consignes générales et particulières de sécurité.

c-Surveillance :

Celle faisant partie des prérogatives des agents de sécurité. Elle consiste en ces quelques points :

- Assurer les contrôles des accès des unités de production
- L'entretien des équipements anti-incendie des bases de vie et complexe administratif
- Coordonner les mouvements et véhicules lors des situations d'urgence
- Constituer une force d'intervention rapide grâce au casernement de ses effectifs
- Assurer l'interface avec les entités externes.

d- Environnement :

A pour missions principales :

- Identification des exigences réglementaires applicables : Devant une règlementation HSE qui évolue rapidement et devient toujours plus contraignante, une identification des textes réglementaires applicable au champ de Hassi R'mel a été réalisée par domaine d'activité.

- Identification des aspects environnementaux : Une identification de tous les aspects environnementaux associés aux activités, produits et service de la région de Hassi R'mel, a été réalisée pour pouvoir évaluer les impacts environnementaux significatifs négatifs et positifs.
- Elaboration des procédures environnementales
- Réalisation des audits internes
- Elaboration d'un programme d'inspection des sites
- Elaboration d'une banque de données environnementales incluant les fiches environnementales de chaque site

II-2 La corrosion des installations de production du gaz et leur inspection

II-2-1 La corrosion des installations de production du gaz

Les installations de production du gaz brut à HR sont divisées par deux installations : aériennes et enterrées

II-2-1-1La corrosion des installations aériennes

La présence de dioxyde de carbone dans les installations de traitement du gaz qui réagit avec l'eau par la réaction suivante :

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$$

Le résultat de cette réaction nous eut donnes H_2CO_3, qui est un composant corrosif (swett corrosion) dans leur effet d'attaquer les parois interne des équipements :

- Les équipements de surface des puits Les jonctions, les collecteurs
- les ballonne de stabilisation, les échangeurs, les colonnes de fractionnement et les tuyauteries

La corrosion galvanique et aussi présente entre deux métaux différents plongés dans un électrolyte, où il existe une différence de potentiel au niveau des point de soudures ; Le métal le moins noble joue le rôle d'anode et se corrode.

Figure 9 : corrosion localisé au niveau d'un ballon de stabilisation

Figure 10 : les ruiles de corrosion au niveau d'une vanne

Figure 11 : corrosion uniforme

Figure 12 : corrosion par piqûre

II-2-1-2 La corrosion des installations enterrées

le transport de gaz de puits jusqu'a HR et de HR a les consommateurs ce fait essentiellement par des conduites et pour éviter les effets de changement climatique en mets cette dernier en se sol mais le sol combatte les conduites à la formation d'une pile électrochimique entre le sol et la conduite sous l'effet de l'hétérogénéité du sol et aussi au croisement de deux conduites, l'une est protégée et l'autre est non protégée, ce qui engendre la formation d'une pile électrochimique par la transformation de la conduite non protégée en anode par rapport à la conduite protégée.

Figure 13 : percement à cause de corrosion d'une conduite enterré

II-3 Inspection et détection de la corrosion

L'inspection est un guide indispensable pour une maintenance efficace. Elle doit être planifiée afin de prévoir les défaillances de l'outil de production et éviter, par conséquent, les accidents ou les incidents. Le département inspection/corrosion déploie ses ingénieurs et techniciens pour les consacrer à l'inspection et le control des moyens de préventions et de lutte contre la corrosion au sein des installations d'hydrocarbures de Hassi R'mel. Son action touche toute la chaine de production et de réinjection des hydrocarbures

II-3-1Les différents types d'inspection

Dans le domaine du suivi des installations on distingue trois types d'inspection :

II-3-1-1 Inspection des équipements en service (OSI : on Stream inspection)

Sont inspection par type les installations suivantes :

- Collectes

- Jonctions et manifolds
- Installations surface, des puits de production et de réinjection
- Tronçons HP des modules

II-3-1-2 Inspections préventives et réglementaires (SDM : shut down maintenance)

a- Inspection triennales

Ce type d'inspection concerne les unités de traitement de gaz et les centres de traitement d'huile (Ballons d'admission, les séparateurs à froid, les échangeurs, les colonnes de fractionnement, les fours, les aeroréfrigérants ...etc) tous les trois ans.

b- Inspection décennales

Ce type d'inspection concerne les appareils fixes (chaque 10ans) et les appareils mobiles ou mi fixes (chaque 5 an) elles consistent en des visites intérieures et des épreuves hydrostatiques précédées par des opérations d'isolements, lavage et nettoyage)

c- Inspections biennales

Ce type d'inspection concerne les unités de régénération du glycol (Le rebouilleur, la colonne de distillation, les filtres, les échangeurs de chaleur, accumulateur de glycol ...).

Le constructeur prévoit les cycles d'inspection suivants :

1 à 1,5 ans selon le nombre d'heures cumulées pour les chaudières, 3 ans Pour les sphères de GPL, 5 ans ou 10 ans pour les bacs selon que leur capacité est inférieure ou supérieure à 10000 m^3.

II-3-1-3 Inspections curative (BSDM: Break shut maintenance)

Ce type d'inspection intéresse des interventions non programmés l'équipement concerné doit être préparé et nettoyé pour pouvoir subir différentes méthodes et techniques d'inspections.

II-3-2 Les déférentes méthodes d'inspection

Les déférentes méthodes d'inspection sont :

- ✓ **Le contrôle visuel**

Est l'inspection préliminaire dans la plus part des cas, permet de détecter: le niveau de corrosion, l'état d'éventuels revêtements anticorrosion, les déformations les défauts majeurs

- ✓ **Contrôle radiographique :**

La radiographie fait appel aux rayons (X) ou rayons (gamma), ce sont des ondes électromagnétiques analogues a celles de la lumière visible avec toutefois des longueurs d'ondes plus courtes.

Ce contrôle impliquant des risques particuliers lors des tirs sur sites industriels et du transport des sources radioactives, il est de plus en plus remplacé par les contrôles ultrason

- ✓ **Contrôle aux ultrasons :**

Le contrôle par ultrasons est un examen échographique pour la mesure d'épaisseur des matériaux. L'appareil génère une onde ultrasonore qui traverse la tôle ; le temps mis par l'onde pour rebondir sur l'autre face de la tôle permet de déduire son épaisseur.

Ces contrôles doivent donner l'épaisseur résiduelle de métal avec au moins 1 décimale et préciser l'incertitude de mesure du cas étudié. Ces mesures doivent tenir compte des anti-corrosions sur chacune des faces

- ✓ **Contrôle par ressuage :**

Cette méthode permet de détecter les cavités superficielles telles que les fissures débouchant à la surface.

Elle consiste à appliquer sur la surface à examiner un liquide coloré (le pénétrant), dont les propriétés favorisent la pénétration dans les ouvertures et fissures et petite dimension. On laisse au liquide le temps de pénétrer dans les défauts, puis on essuie et on sèche la pièce. On utilise ensuite un révélateur sec ou en suspension dans un liquide volatil. Son rôle est d'absorber le liquide retenu dans les cavités. Sur l'endroit où le révélateur est mouille, on se retrouve en présence d'un défaut.

Certains liquides d'imprégnation sont simplement colorés en rouge et l'examen de la surface se fait à la lumière du jour. D'autres sont fluorescents et nécessitent l'emploi d'une lampe à rayons ultraviolets pour l'examen de la surface.

- ✓ **Contrôle magnétique :**

On répond une poudre magnétique à la surface de la pièce qui est également magnétisée. La poudre se concentre suivant les lignes de force. S'il existe un défaut, les lignes de forces subissent des distorsions mises en évidence avec la poudre. Le contrôle magnétique ne concerne que les défauts superficiels.

- ✓ **Essai d'étanchéité :**

C'est une méthode de contrôle, utilisée pour détecter les fuites au niveau des tubes des échangeurs de chaleur les étapes de cet essai sont les suivantes :

- Isolement de l'équipement par un système brides pleines.
- Nettoyage de l'intérieur des tubes par lavage et soufflage à l'air.
- Gonflage du côté calandre de l'échangeur sous une pression de 6 à 8 Kg/cm².
- Repérage des fuites à l'aide d'une eau savonneuse.

Figure 14 : le control vénielle d'un coude

Figure 15 : la mesure d'épaisseur par l'appareil ultrason

Figure 16 : les produits de Contrôle par ressuage

II-4 Les méthodes de protection contre la corrosion

II-4-1 La méthode cathodique

La vitesse de corrosion d'un métal dans le sol est fonction du potentiel de ce matériau dans son milieu environnant. De manière générale, le principe de la protection cathodique par courant imposé consiste à abaisser le potentiel du métal enterré par rapport au sol en dessous d'un seuil dit de protection. Les potentiels de l'acier revêtu dans les sols se situent habituellement entre -440 et -860 mV par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO4plus on porte le potentiel du métal vers des valeurs négatives, plus la vitesse de corrosion diminue. Cet abaissement du potentiel vers des valeurs plus négatives est obtenu en faisant circuler dans le sol un courant continu(CC) partant d'anodes et se refermant par la surface métallique de la structure à protéger. Le courant de protection fourni à partir de systèmes à courant imposé.

NB : la protection cathodique est une protection active et elle insuffisant uniquement si pour sa les pipelines enterrées sont protégées par une protection passive par revêtement ; les pipelines enterrées de SH-DP Hassi R'mel ont protégées pondant la construction.

II-4-1-1 Les critères de décision d'installer la protection cathodique

La décision d'installer un système de protection cathodique à courant imposé dépend de :

- L'importance de la structure
- Du type de revêtement
- La résistivité du sol et de son action corrosive
- Des influences en courant continu
- Ainsi que de critères techniques et économiques

II-4-1-2 Equipements de protection cathodique à courant imposé

a- Poste du Soutirage de courant

La protection par soutirage du courant consiste à polariser négativement la canalisation à protéger grâce à un générateur du courant habituellement appelé "Postes du soutirage", il est constitué d'un redresseur de courant relié d'une part à la canalisation à protégé et d'autre part à une prise de terre qu'on appelle le déversoir.

Figure 17 : poste de stérage

b- Déversoir

C'est une masse métallique (anode) sur laquelle se portera la polarisation positive, se corrodera car elle constitue l'anode du système. Le déversoir sera enfoui dans un puits appelé puits anodique avec une profondeur à atteindre la zone humide après des études effectués par les géologues.

c- Prises de potentiel

Elles sont destinées à contrôler le potentiel du métal de la canalisation par rapport au sol, et elles seront constituées d'un câble branché sur une plaque qui est soudée sur la canalisation puis soigneusement.

d- Gaines de protection

Sont des conduites de grand diamètre constituent une protection de la canalisation et seront placées à chaque traversée de route. La conduite est alors centrée dans la gaine à l'aide de colliers adaptés et les extrémités obturées afin d'éviter la pénétration des eaux ou de tout autre élément pouvant court circuler la gaine et la conduite.

e- Les joints isolants

Les joints isolants permettent l'isolement électrique entre deux traçons de canalisation l'un est enterré et l'autre et aérien. Ils doivent être étanches et parfaitement isolés électriquement**.**

f- Tube d'aération

Ce tube a pour but d'aérer l'espace annulaire entre la conduite et la gaine qui la couvre, afin d'éviter la présence de l'humidité, qui est par la suite peut d'éclanche la corrosion électrochimique dans l'espace annulaire.

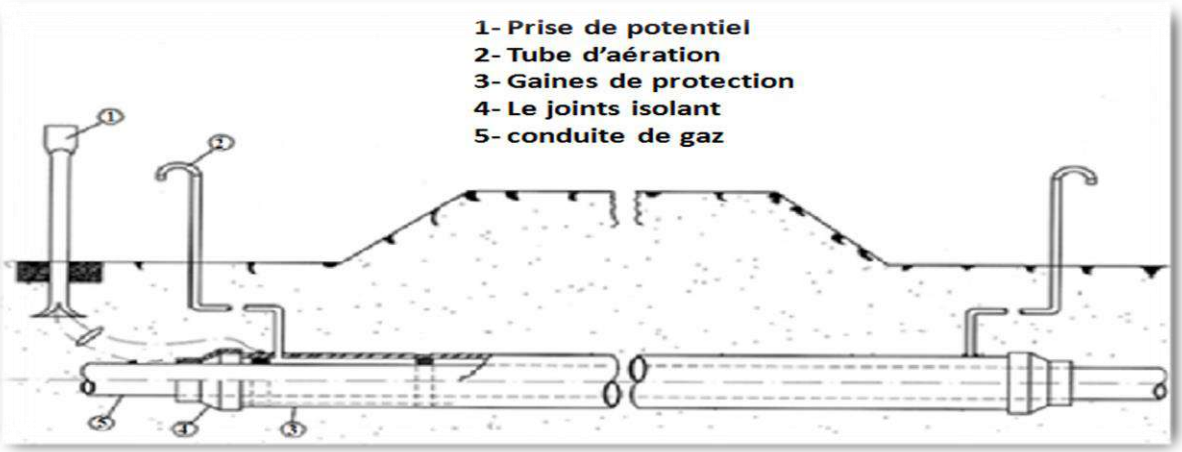

Figure 18 : Equipements de protection cathodique à courant imposé

II-4-1-3 Contrôle de la protection cathodique

Le contrôle périodique de la protection cathodique effectué par un spécialiste certifié est indispensable pour maintenir son efficacité et prévenir contre les risques de défaillance.

Le contrôle porte essentiellement sur les points suivants :

- Le fonctionnement correct et permanent de dispositifs produisant les potentiels attendus
- La mesure manuelle du potentiel du métal de la structure à l'aide d'un multimètre figure 19 et d'électrodes de référence figure 20, qui donnent directement le potentiel de la conduite par rapport au sol, ensuite en le comparant avec le seuil de protection −0.850 V. Si le potentiel mesuré est inférieur au seuil de protection cela veut dire qu'il y a une perte du courant ce qui provoque par la suite la corrosion dans cette zone, sinon la conduite est bien protégée
- Le contrôle et le suivi du débit de courant

Figure 19 : La mesure du potentiel à l'aide d'un multimètre

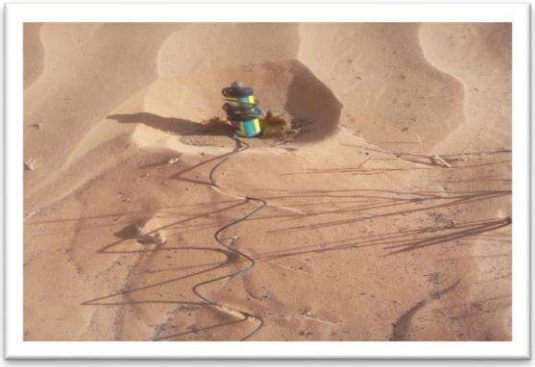

Figure 20:électrodes de référence

II-4-2 La protection par l'injection des inhibiteur de corrosion

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen à part entière de protection contre la corrosion métallique. Ils présentent l'originalité d'être le seul moyen d'intervention à partir du milieu corrosif, ce qui en fait une méthode de contrôle de la corrosion facile à mettre en œuvre et peu onéreuse, pour peu que le ou les produits utilisés soient d'un coût modéré.

II-4-2-1Fonctions essentielles d'un inhibiteur

D'une manière générale un inhibiteur doit :

Abaisser la vitesse de corrosion d'un métal, sans affecter les caractéristique physico - chimique, en particulier la résistance mécanique (par exemple : risque de fragilisation par l'hydrogène en milieu acide).

II-4-2-2Critères du choix de l'inhibiteur

D'une manière générale un inhibiteur doit :

- abaisser la vitesse de corrosion d'un métal.

- Etre stable en présence des autres constituants du milieu.

- Etre stable aux températures d'utilisation.

- Etre efficace à faible concentration.

- Etre compatible avec les normes de non-toxicité.

- Etre peu onéreux.

II-4-2-3 Les inhibiteurs appliqués à SH DP-HRM

- **CHIMAC 1038**
- **CHIMAC 1367/A**
- **CRO80143**
- **CORTRON CK981-DZ**

II-4-2-4 Quelque donné de sécurité des inhibiteurs qui utilisé au SH DP-HRM

	CHIMAC 1038	CHIMAC 1367/A	EC1175A	CORRTREAT 702
Identification des dangers	-Les produit est nocif par inhalation, ingestion et contact avec la peau. -Il est corrosif en solution concentrée	Le produit est corrosif en solution concentrée, il provoque de graves lésion par contacte avec la peau ou les yeux.	Nocif en cas d'ingestion. Provoque des brûlures Nocif pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes pour l'environnement aquatique.	-Nocif en cas d'ingestion. Provoque des brûlures. -Toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pourl'environnement
Premiers secours	-Eloigner la personne de la zone d'exposition, la tenir au repos et au chaud dans un endroit aété. -enlever immédiatement tout vêtement souillé ou éclaboussé. -laver abondamment à l'eau pendant au mois 15 minutes, en tenant les paupières bien ouverts -rincer la bouche avec de l'eau propre faire boire abondamment de l'eau.	-éloigner la personne de la zone d'exposition. -laver abondamment les parties contaminées à l'eau et au savon	-Pour inhalation emmener la victime à l'air frais consulté un médecin.	**Après inhalation :** A transférer immédiatement à l'air libre **Après contact cutané :** Rincer la peau immédiatement avec beaucoup d'eau **Après ingestion :** Rincer la bouche et boire beaucoup d'eau. Ne pas faire vomir.
Mesures à prendre en cas de dispersion	-Délimiter la zone contaminée jusqu'à ce que le risque de concentration dans l'air ait été éliminé. -si le produit versé a contaminé des cours d'eau ou des égouts ou encore le sol ou la végétation.	éviter la dispersion des grandes quantités de produit dans les égouts ou les court d'eau	Éviter toute projection dans les yeux, sur la peau ou sur les vêtements Stocker dans des emballages convenablement étiquetés Stocker les récipients bien fermés.	En cas d'écoulement du produit dans les canalisations d'égout, informer immédiatement les autorités compétentes. Eviter le rejet du liquide dans les eaux de surface ou dans la canalisation.
Manipulation et stockage	-Evite le contact avec les yeux et la peau -manipulation le produit à proximité de douche de secours, d'appareils respirateurs autonomes.	-Evite le contact avec les yeux et la peau -manipulation le produit à proximité de douche de secours, d'appareils respirateurs autonomes.	Lors de la manipulation de ce produit, le port de gants de sécurité à manchettes est recommandé Le choix des gants est fonction des conditions de travail et des produits chimiques manipulés.	En cas de ventilation insuffisante, porter un appareil respiratoire approprié. Conserver le récipient bien fermé dans un endroit frais bien ventilé.

Tableau 1 : quelque donné de sécurité des inhibiteurs qui utilisé au SH DP-HRM

II-4-2-5 Procéduredu traitement

Le traitement par inhibiteur de corrosion s'effectue par une injection continue au niveau du puits et station BOOSTIOG à l'aide des pompes doseuse alimentée par des panneaux solaires et calibrée pour donner la concentration optimale de l'inhibiteur. Le traitement continu est réalisé en deux étapes :

- La première consiste à réaliser un traitement choc nécessaire à la formation du film de l'inhibiteur (la période de cette étape peut atteindre 24 heures),
- La deuxième étape consiste à entretenir le film, la concentration de l'inhibiteur est réduite à une faible dose dans ce mode du traitement, et l'opérateur doit veiller au bon fonctionnement des pompes doseuses et à la disponibilité permanente de l'inhibiteur de corrosion.

Figure 21 :L'installation d'injection du l'inhibiteur de corrosion

II-4-3 La protection des sphères avec Les revêtements anticorrosion

Les sphères de stockage de GPL du CSTF sont menais d'une couche de protection contre la corrosion (figure 22) et le feu mais qui a commencé à perdre ces capacité durant le temps ; à cause de sa elle nécessite du renouvellement des revêtements.

II-4-3-1 Sélection des revêtements

Sélection en fonction de :

- le cout du revêtement
- la durabilité
- l'efficacité de réduire la vitesse de corrosion

II-4-3-2 Les revêtements qui appliqué au niveau de SH/DP-HRM

- BELZONA 1121
- CHARTEK 7

II-4-3-3 Quelques donné du sécurité pour les utilisations des revêtements

Voir à les FDS du BELZONA 1121, CHARTEK 7 (annexe)

II-4-3-4 Les étapes de traitement de surface de la sphère

- les surfaces doivent être exemptes de poucier, d'huile et de graisse.
- La Décapage : Cette opération consiste à enlever l'ancien revêtement et la mise à nu de l'acier elle est effectuée manuellement par des ouvriers, ou le revêtement est plus facile après cette opération.
- Le Sablage : Un jet d'air comprimé entraîne des granulés de sable, de granit broyé, et les projettent sur la surface métallique. Cette opération dégage de la poussière ultra fine et potentiellement nocive selon le matériau utilisé
- L'application de BELZONA 1121 : Ce composant est de base d'un système à deux composants. Mélangez avec le composant durcisseur avant utilisation. Système de réparation industriel à durée de vie étendue pour la réparation et la reconstruction de machine et d'équipement.
- L'application de CHARTEK 7 **:** Est un système de protection par revêtement époxydique intumescent de haute performance. Qui offre excellente durabilité et une protection combinée contre la corrosion el le feu.
- Application de la peinture

Figure 22 : sphère avec l'ancien revêtement

Figure 23 : l'application des revêtements couleur gris BELZONA 1121, couleur rouge CHARTEK 7

Figure 24 : l'application de la peinture

Conclusion générale.

L'objectif de ce travail de mémoire était d'étudier le phénomène de corrosion dans les installations du traitement de gaz à Hassi R'mel et leurs conséquences a la santé et la sécurité des travailleurs, ainsi que la fiabilité et la durée de vie des équipements et leur impact environnemental. En plus les méthodes qui applicables pour la lutte contre ce phénomène, que ce soit les méthodes passive ou active.

Les installations du Hassi R'mel comme tout les installations du traitement de gaz provoqué par la corrosion d'origine complexe, elle se déclenche par la présence de dioxyde de carbone CO_2 du gaz brut dans les conditions d'exploitation favorables engendrant la formation de l'acide carbonique H_2CO^3.
La société SONATACH DP-Hassi R'mel est mis en place tout un département à la direction technique spécialisé à la corrosion et l'inspection des équipements (département inspection-corrosion) et le control des méthodes de protection qui appliqué à cette équipements.

Le choix de la méthode de protection n'étant pas aisé du fait qu'aucune méthode n'est universellement applicable, le choix se fait d'une part selon le type d'installation et le milieu environnant, d'autre part, selon les considérations économiques. Pour cela les installations enterrées sont protégé par une protection cathodique comme courant imposé (soutirage de courant) et en ce qui concerne les installations aériennes ils ont ajouté les inhibiteurs de corrosion (**CORRTREAT 702, EC1175A**, **CHIMAC 1367/A**, **CHIMAC 1038**) afin de protégé les équipements de surface des puits, et les équipements de traitement. Et les équipements de stockage comme les sphères on le protège par les revêtements (**CHARTEK 7 BELZONA 1121**).

Bibliographies

[01] LANDOLT, DIETER. *"Corrosion et chimie de surface des métaus".* 2003.

[02] Abderrahmane, HABCHI. *ETUDE DE L'EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LA CORROSION DE L'ACIER XC52 EN PRESENCE DU SULFARLEM ET LEUR SEL CORRESPONDENT DANS UN MILIEU H2SO4 20%.* MEMOIR MASTER ACADEMIQUE, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2013.

[03] Kheira, GHARBI. *"Etude de corrosion et protection des équipements de production du gaz brut à HASSI R'mel".* mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2015.

[04] HICHAM, EL BACOURI. *etude de l'inhibition de corrosionde l'acier doux au carbon en mélieu acde ortophsphorotique par un antibiotique organique.* mémoire du diplome d'études séperieures approfondies, Université mohammed premier faculté des sciences ouajda.

[05] cour, MCE-200. *Dégradation des matériaux : Corrosion.* technologie des matériaux.

[06] LESUEUR, Véronique NOBEL PUJOL -. *ETUDE DU MECANISME D'ACTION DU MONOFLUOROPHOSPHATE DE SODIUME COMME INHIBITEUR DE LA CORROSION DES ARMATURES METALLIQUES DANS LE BETON.* thèse de doctora, L'UNIVERSITE PARIS 6 - UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE -, 2004.

[07] MALOU, Natacha P. *Etude de la corrosion et maintenance des installations pétrolières de Shell Sénégal;Cas du dépôt de Jetée Nord.* UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR, 2002/2003.

[08], INERIS. «Document de synthèse relatif à une barrière technique de sécurité (BTS) Protection cathodique.» 2008.

les sites internet

[09]ISO 8044, :2015(fr). *Corrosion des métaux et alliages — Termes principaux et définitions.* 2015. https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8044:ed-4:v1:fr.

[10]. *veillechimie La corrosion : un ennemi industriel redoutable.* 2017. http://veillechimie.imist.ma/index.php/produits-technologies/technologies-procedes/303-la-corrosion-un-ennemi-industriel-redoutable.

[11] Roche, Marcel. «L'ESSENTIEL SUR LA PROTECTION CATHODIQUE.» 2015. http://www.protectioncathodique.net/.