

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie des Procédés

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science et Technologie

Filière : Industrie Pétrochimique

Spécialité : Génie Raffinage

Présenté par :

Hadjaidji Abdelhalim et El bar Djafer

Thème

Etude des problèmes de corrosion des fonds des bacs de stockage.

Soutenu publiquement le :

Devant le jury composé de :

M^r TABCHOUCHE Ahmed MCB (UKM Ouargla) Président

M^r OUAR ADEL MCB (UKM Ouargla) Examineur

M^{me} GHIABA Zineb Professeur (UKM Ouargla) Encadreur

Année universitaire : 2023/2024

Dédicace

Je dédie ce travail :

à

Mes parents

Pour tous leurs sacrifices et leur soutien

Leurs encouragements et leur amour ont été la raison de mon succès.

Nous demandons à Dieu leur santé, leur bien-être et leur longue vie.

J'espère que ce rapport sera le meilleur cadeau que je puisse leur offrir

Et à

Mes sœurs et frères

Pour leur volonté d'entendre mes frustrations et mes sources

pression

Je leur souhaite du bonheur et du succès dans leur vie.

à

Tous ceux que j'aime et ils m'aiment.

J'espère qu'ils trouveront dans cette œuvre l'expression de mes sentiments les plus profonds

Affectueux.

Remerciements

En confession,

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements

À tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement

Réussite et développement de la thèse de fin d'études

Un travail modeste. Sincères remerciements au Professeur Ghaiba Zeinab

Pour la qualité de son enseignement, ses conseils et son intérêt indéniable

Qu'il apporte à tous les étudiants.

Je tiens à remercier tous les collaborateurs de Sonatrach (UTBS, CIS et GPL2)

Pour leur patience, leurs conseils, leur suivi et leur intérêt

Qu'ils ont apporté à mon travail. Il est impossible de tout citer

Asmaa, nos sincères remerciements à tous

De près ou de loin, ils ont offert leurs conseils et leurs compétences

Produire cette thèse. Enfin, je n'oserais pas oublier

Je tiens à remercier tous les membres du corps professoral de l'université

Kasidi Merbah Ouargla pour l'excellent travail

Qu'il met en œuvre pour créer des conditions pour nous

Le plus approprié pour

Faites une demande

Nos études

Résumé

L'industrie pétrolière, notamment la production pétrolière et gazière, est confrontée à un problème majeur : la corrosion interne et externe des réservoirs de stockage en acier.

Il existe aujourd'hui différents traitements pour la protection contre la corrosion, comme la protection cathodique, les traitements de surface ou encore la modification de l'environnement corrosif par ajout d'inhibiteurs de corrosion. Dans cette étude, nous avons étudié les défauts de corrosion qui apparaissent dans les plaques des cuves de stockage de pétrole brut de la zone CIS (UTBS. GPL2) à Sonatrach, et nous proposons également des solutions optimales pour ces défauts en respectant la norme API.

mots clés : corrosion, bacs de stockage, mesure d'épaisseur, dégradation, Pétrole

ملخص :

تواجه صناعة النفط، وخاصة إنتاج النفط والغاز، مشكلة كبيرة: التآكل الداخلي والخارجي لصهاريج تخزين الصلب.

في الوقت الحاضر، هناك معالجات مختلفة للحماية من التآكل، مثل الحماية الكاثودية، والمعالجات السطحية أو حتى تعديل البيئة المسببة للتآكل عن طريق إضافة مثبطات التآكل. قمنا في هذه الدراسة بدراسة عيوب التآكل التي تظهر في صفائح صهاريج تخزين النفط الخام بمنطقة (UTBS . GPL2) CIS بسوناطراك، كما نقترح الحلول الأمثل لهذه العيوب من خلال احترام معيار API.

الكلمات المفتاحية: التآكل، صهاريج التخزين، قياس السمك، التحلل، الزيت.

Abstract :

The oil industry, especially oil and gas production, is facing a major problem: internal and external corrosion of steel storage tanks.

There are today different treatments for protection against corrosion, such as cathode protection, surface treatments or the modification of the corrosive environment by the addition of corrosional inhibitors. In this study, we have studied the corrosion defects that appear in the plates of crude oil storage tanks in the CIS zone (UTBS. GPL2) at Sonatrach, and we also offer optimal solutions for these defects in compliance with the API standard.

Key words: corrosion, storage tanks, thickness measurement, degradation, Oil

Liste des tableaux

Tableau 1 Corrosion électrochimique :.....	10
Tableau 2 Détermination de la criticité.....	28
Tableau 3 Caractéristiques techniques T-101 A.....	33
Tableau 4 Tableau des mesures d'épaisseurs T-101 A	34
Tableau 5 Données du bac T-001A.....	35
Tableau 6 Tableau des zones critiques détectées lors de l'inspection	41
Tableau 7 Résultat des mesures d'épaisseur nominale par UTM des tôles de fond.....	42

Liste des figures

Figure 1	Corrosion uniforme	4
Figure 2	Corrosion par piqûres (piqûre)	5
Figure 3	Corrosion intergranulaire	5
Figure 4	Corrosion galvanique	6
Figure 5	Corrosion par crevasses.....	6
Figure 6	Corrosion érosive	7
Figure 7	Corrosion par micro-organismes (MIC).....	7
Figure 8	Corrosion chimique.....	8
Figure 9	Corrosion biochimique.....	8
Figure 10	Corrosion accompagnée d'érosion	9
Figure 11	Corrosion électrochimique	9
Figure 12	Prévention par une forme adaptée des pièces	12
Figure 13	Prévention par le choix du matériau	13
Figure 14	Prévention par le choix du matériau	14
Figure 15	Prévention par le choix du matériau	15
Figure 16	Prévention par le choix du matériau	15
Figure 17	Bac du stockage	17
Figure 18	Réservoirs et composants	18
Figure 19	Détermination de la criticité d'un réservoir	25
Figure 20	Détermination des probabilités de défaillance	26
Figure 21	BAC DU STOCKAGE T-001 AND T-101A	35
Figure 22	L'appareil MFL	37
Figure 23	Périphérique UTM	38

Liste des abréviations

- CIS : Centre d'Industrie de Sud
- UTBS : Unité de Traitement de Brut Sud
- HMD : Hassi Messaoud
- SCC : Corrosion sous contrainte
- MIC : Microbiologically Influenced Corrosion
- ESP : Équipement Sous Pression
- BSR : Bactéries Sulfate-Réductrices
- RBI : Risk-Based Inspection
- HEH : Haoud El Hamra
- GPL : Gaz de pétrole liquéfié
- SH/DP : Surface Handling / Drilling and Production
- MFL : Magnetic Flux Leakage
- ASTM : American Society for Testing and Materials
- UTM : Ultrasonic Thickness Measurement Device

Sommaire

Dédicace	I
Remerciements	II
Résumé	III
Liste des figures.....	V
Liste des abréviations	VI
Sommaire.....	VII
Introduction générale.....	1
Partie1 : Etude bibliographique	2
Chapiter1 : Notions de corrosion des métaux.....	3
I.1. Introduction :.....	4
I.2. Définition de la corrosion :	4
I.3. Les différentes formes de la corrosion :.....	4
I.4. Les différents types de la corrosion :	7
I.5. La protection des métaux contre la corrosion :.....	12
Chapitre II : Stockage des produits pétroliers :	16
II.1. Introduction :.....	17
II.2. Présentation des réservoirs de stockage : équipements et accessoires des bacs :	17
II.3. Défaillance de structure du réservoir et de ses accessoires :	22
II.4. Dégradation des assises :	23
II.5. Fissuration :.....	24
II.6. Combinaison de mécanismes de dégradation et autres influences :	24
II.7. Inspection basée sur la criticité (RBI) :	24
Partie 2 : Expérimental.....	30
Chapitre III	31
III.1. Présentation de l'institution d'accueil :.....	31
III.2. Rapport d'inspection bac de stockage a toit fixe 10 -T-101A :.....	33
.III.3 Rapport d'inspection bac de stockage à toit fixe T-001A :.....	34

III.4. Appareils d'occasion	35
Chapitre IV : Résultats et discussion	39
IV.1. Résultats Bac 10-T-101 A :	40
IV.2. Résultats Bac T-001 :	40
IV.3. Les interprétations et la Résultats :	42
Conclusion générale	45
Références	46

Introduction générale

La corrosion des métaux regroupe une variété de phénomènes liés à l'environnement dans lequel elle se produit. Ces phénomènes dépendent d'un grand nombre de facteurs, qui n'interviennent pas individuellement mais ont une relation plus ou moins complexe entre eux (propriété et structure du matériau, environnement et ses propriétés chimiques, température, etc.).[1]

Il existe de nombreuses manières de lutter contre la corrosion et elles doivent être adaptées à chaque situation. La prévention passive reste la meilleure solution pour éviter la corrosion sur les installations métalliques.[2]

Le moyen le plus courant d'empêcher la corrosion du métal ou de retarder la corrosion consiste à appliquer un revêtement imperméable sur sa surface. Si le revêtement offre une parfaite barrière protectrice au métal dans un environnement corrosif, ni l'oxygène ni l'eau ne peuvent atteindre sa surface, empêchant ainsi la corrosion. Le rôle du revêtement est donc de restreindre le flux de ces produits (oxygène, eau) en créant une barrière physique.

Malheureusement, la plupart des revêtements, comme la peinture, ne constituent pas une barrière parfaite contre la corrosion et ne parviennent donc pas à protéger le métal en raison de défauts ou de la diffusion d'oxygène et d'eau à travers eux. Pour toutes ces raisons, d'autres méthodes de protection des métaux sont nécessaires, comme les inhibiteurs de corrosion, la protection anodique et la protection cathodique.

Dans cette étude, nous allons aborder les problèmes rencontrés dans les bacs de stockage des hydrocarbures (tôles et viroles) dans la région CIS (UTBS) de l'entreprise SONATRACH, située dans la wilaya d'Ouargla (HMD). Pour cela, nous mesurerons les épaisseurs des tôles affectées par la corrosion et tenterons de trouver des solutions optimales.

En fait, notre étude se compose de deux chapitres :

- Le premier chapitre est divisé en deux parties : une étude bibliographique sur les notions de corrosion des métaux, et une présentation sur le stockage des produits pétroliers.
- Le deuxième chapitre est divisé en deux parties : présentation de l'établissement d'accueil (avec présentation des cuves de stockage) et résultats et discussion

Partie1 : Etude bibliographique

Chapiter1 : Notions de corrosion des métaux

I.1. Introduction :

Comme tous les matériaux de construction, l'acier a tendance à subir une détérioration de surface lorsqu'il est exposé à des environnements corrosifs tels que le sol, l'air et les environnements marins. La corrosion est la détérioration des matériaux par interaction physique et chimique avec l'environnement, entraînant des modifications des propriétés du métal, souvent accompagnées d'une dégradation fonctionnelle de ce dernier (modifications de ses propriétés mécaniques, électriques, etc.). Les mécanismes impliqués sont divers et conduisent à différentes formes de corrosion.[3]

I.2. Définition de la corrosion :

Par définition, la corrosion est un phénomène naturel qui entraîne une modification destructrice des métaux des pipelines de transport de pétrole, des équipements des champs pétrolifères, des unités de traitement du gaz et des raffineries, des vannes, des réservoirs et autres équipements spéciaux du processus de production, à la suite d'une réaction électrochimique ou chimique entre le métal et le principal environnement qui l'entoure, qui se traduit par une modification des propriétés des métaux et leur affaiblissement.[4]

I.3. Les différentes formes de la corrosion :

La corrosion peut se manifester sous différentes formes, chacune ayant des caractéristiques spécifiques et des impacts variés sur les matériaux. Voici une description des principales formes de corrosion :

I.3.1. Corrosion uniforme :

- Description : La corrosion uniforme se caractérise par une attaque corrosive qui se produit de manière homogène sur toute la surface du matériau.
- Impact : Entraîne une perte uniforme de matière et est relativement facile à prévoir et à contrôler.
- Exemple : Oxydation uniforme de l'acier exposé à l'air humide.[5]



Figure 1 Corrosion uniforme

I.3.2. Corrosion par piqûres (piqûre) :

- Description : Cette forme de corrosion se manifeste par la formation de petits trous ou "piqûres" localisés sur la surface du matériau.
- Impact : Peut provoquer des défaillances rapides car les piqûres peuvent pénétrer profondément dans le matériau, même si la perte de masse totale est faible.
- Exemple : Piqûres sur l'acier inoxydable en présence de chlorures.[5]



Figure 2 Corrosion par piqûres (piqûre)

I.3.3. Corrosion intergranulaire :

- Description : Se produit le long des joints de grains dans les matériaux métalliques, affaiblissant les liaisons entre les grains.
- Impact : Peut entraîner une perte de résistance mécanique et provoquer des fissures.
- Exemple : Corrosion intergranulaire dans les aciers inoxydables mal soudés ou mal traités thermiquement.[5]



Figure 3 Corrosion intergranulaire

I.3.4. Corrosion galvanique :

- Description : Se produit lorsqu'il y a un contact entre deux métaux différents en présence d'un électrolyte, ce qui crée une cellule galvanique.
- Impact : Le métal moins noble (anode) corrodera plus rapidement que s'il était isolé, tandis que le métal plus noble (cathode) sera protégé.

- Exemple : Corrosion d'un boulon en acier lorsqu'il est couplé à une plaque en cuivre dans un environnement humide.[5]

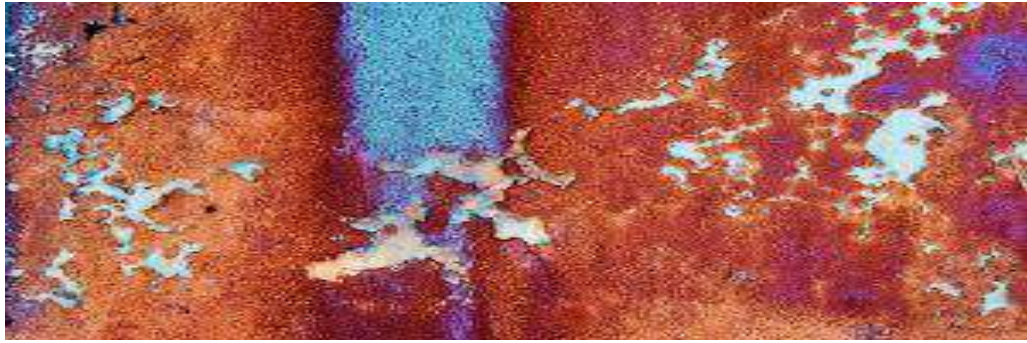


Figure 4 Corrosion galvanique

I.3.5. Corrosion par crevasses :

- Description : Survient dans des zones confinées ou sous des dépôts où l'accès à l'oxygène est limité, créant des conditions favorables à la corrosion localisée.
- Impact : Peut entraîner des défaillances locales rapides et sévères.
- Exemple : Corrosion sous les joints de boulons ou sous les dépôts marins sur les coques des navires.[5]

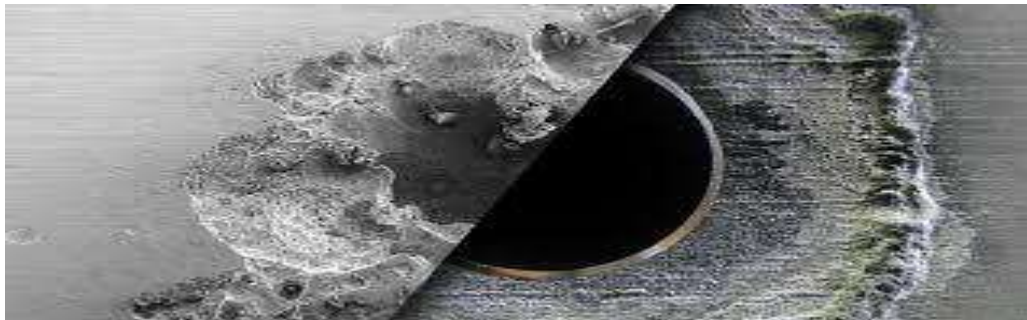


Figure 5 Corrosion par crevasses

I.3.6. Corrosion sous contrainte (SCC) :

- Description : Résulte de la combinaison de contraintes mécaniques et d'un environnement corrosif, provoquant des fissures dans le matériau.
- Impact : Peut conduire à une rupture catastrophique et soudaine sans préavis.
- Exemple : Fissures dans les alliages d'aluminium utilisés dans l'industrie aéronautique en présence de chlorures.[5]

I.3.7. Corrosion érosive :

- Description : Combine l'action de l'écoulement de liquide ou de gaz à haute vitesse avec l'effet corrosif, entraînant une usure accélérée du matériau.
- Impact : Provoque une détérioration rapide des surfaces exposées à des flux rapides.
- Exemple : Corrosion érosive dans les tuyauteries de transport de fluides abrasifs.[6]



Figure 6 Corrosion érosive

I.3.8. Corrosion par micro-organismes (MIC) :

- Description : Résulte de l'activité de micro-organismes qui peuvent produire des sous-produits corrosifs.
- Impact : Peut entraîner des formes complexes de corrosion et est souvent difficile à détecter et à contrôler.
- Exemple : Corrosion bactérienne dans les pipelines de pétrole et de gaz.

Chaque forme de corrosion nécessite des méthodes spécifiques de détection, de prévention et de traitement pour minimiser les dommages et prolonger la durée de vie des matériaux et des structures.[6]



Figure 7 Corrosion par micro-organismes (MIC)

I.4. Les différents types de la corrosion :

Les phénomènes de corrosion peuvent se développer suivant différents processus : corrosions chimique, électrochimique, biologique et corrosion accompagnée d'érosion.

I.4.1. Corrosion chimique :

La corrosion chimique est le résultat d'une réaction hétérogène entre la phase solide, le métal et la phase gazeuse ou liquide. La dégradation chimique de l'eau est très difficile à mesurer car elle s'accompagne souvent d'une dégradation électrique. La seconde se produit lorsqu'il existe une différence de métal ou de réactif. La présence d'hétérogénéité détermine la formation de la batterie et le courant électrique circule entre l'anode et les cathodes, qui sont les régions où l'anode est affectée.[7]



Figure 8 Corrosion chimique

La corrosion biochimique fait référence à une attaque directe ou indirecte par des bactéries. Cela peut former des composés tels que le dioxyde de carbone, le dioxyde de soufre ou des acides organiques qui attaquent le métal. Certaines bactéries, comme le « *Desulfovibrio Desulfuricans* », réduisent le sulfate en soufre et du sulfure de fer peut se former. Les attaques bactériennes sont particulièrement fréquentes dans les canalisations souterraines.[8]

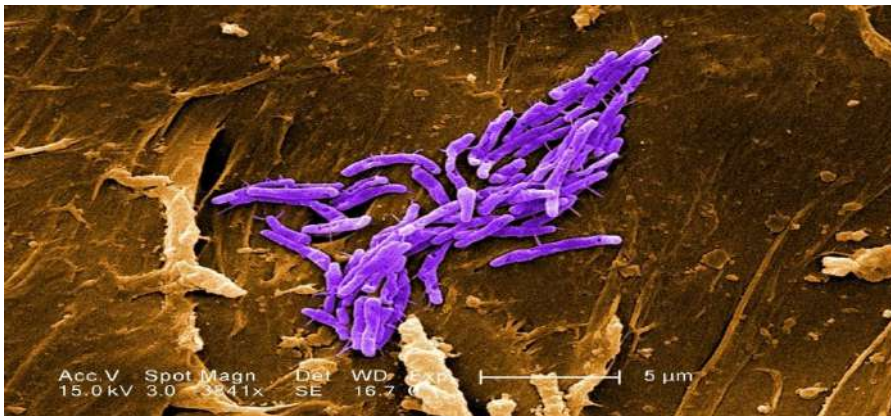


Figure 9 Corrosion biochimique

I.4.2. Corrosion accompagnée d'érosion :

La présence de produits de corrosion et de corrosion sur les surfaces en acier a souvent pour effet de ralentir le processus de corrosion. Si cette couche est retirée d'une zone donnée par le mouvement du milieu environnant ou des nombreuses zones dans lesquelles elle est présente, la dégradation est accélérée ; Nous disons qu'il y a une dégradation et une érosion.[9]

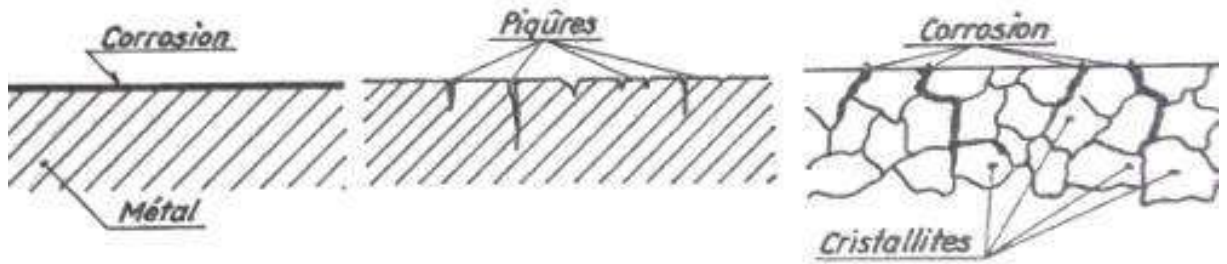


Figure 10 Corrosion accompagnée d'érosion

I.4.3. Corrosion électrochimique :

C'est une réaction électrique entre la surface du matériau et l'électrolyte liquide. Cette réaction s'accompagne de la formation de la batterie, qui est le centre du courant électrique. La corrosion de l'aluminium par l'acide sulfurique est ce type de corrosion.

L'électricité fissible implique des réactions chimiques et une conduction électrique (circulation d'un tuyau). Cette corrosion nécessite la présence d'agents réducteurs (H₂O, O₂, H₂...), sans quoi la corrosion des métaux ne peut pas se produire. Dégradation chimique des matériaux soumis à des réactions d'oxydo-réduction, notamment :

- L'oxydation du fer est appelée réaction « anodique ».
- Les réactions d'oxydo-réduction sont dites « cathodiques ».[10]

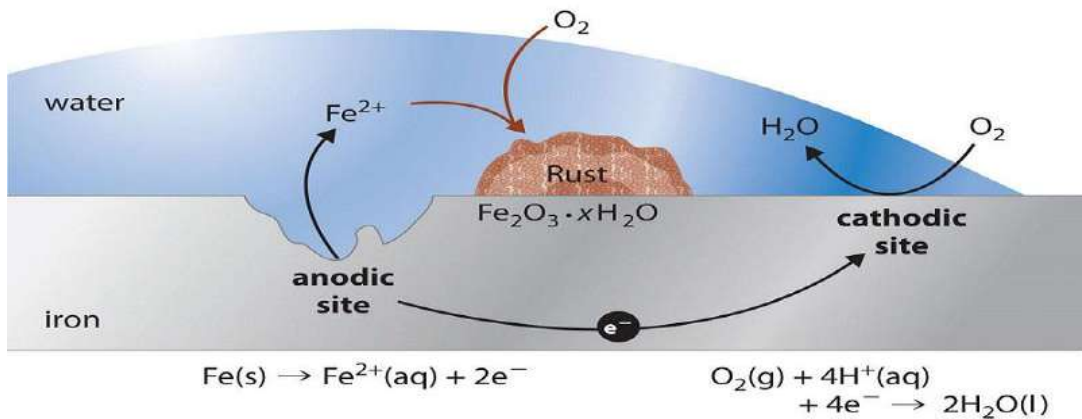


Figure 11 Corrosion électrochimique

Les facteurs de corrosion sont causés par une multitude de facteurs et peuvent être divisés en quatre catégories principales :

Tableau 1 Corrosion électrochimique :

Facteur dependant du temps	Facteur definisset les conditions	Facteur metallurgiques	Facturs de milieu corrosif
- Vseillissement - Tensions mécaniques - Modification des revrtements protecteurs	- Etat de surface - Forme des pieces - Procedes d'assemblage	-Composition de l'alliage -Procedes d'elaboration -Impuretes -Traitment thermique	-Concentratin du reactif -Teneur en oxygene -PH dumilieu -Temperature -pression

Effet de l'acidité :

La présence d'acide dans l'environnement augmente la gravité de ces dernières attaques. Il s'agit de l'acier. On peut trouver l'abondance et l'abondance dans le pétrole et ses dérivés acides, les plus courants : [11]

- L'acide chlorhydrique est produit par hydrolyse du chlorure à haute température (120-120-).180°C). Il est situé dans la colonne de distillation et le condenseur. En même temps Lest utilisé pour traiter les puits.
- L'acide sulfurique est largement utilisé dans de nombreuses applications telles que : alkylaton et polymérisation.
- Acide naphtéinique : ce sont des phrases complètes qui ne contiennent pas de verbes directs. La faille est en haut de la tour, mais au niveau de l'huile, provoquant une hydrolyse des chlorures Sodium une température où ce n'est pas le cas. Le Na Cl représente 80 % de la salinité du pétrole, donc la quantité de HCl produite ne change pas. N'est pas requis. Les acides provoquent de graves problèmes de corrosion dans les systèmes de chauffage production, transport et stockage d'hydrocarbures, de gaz acides : CO2 etH2S.[11]

La salinité :

La teneur en sel de l'eau du réservoir d'huile est très élevée (plus de 3 à 4). Fois l'eau de mer). La majeure partie du chlorure de sodium à elle seule représente 80 tonnes85% du sel total, et parfois il peut même dépasser la norme. Les chlorures sont des ions forts qui

provoquent souvent une corrosion locale ont été retrouvés dans des résultats liés aux effets complémentaires, d'une part, leur concentration Le sel provoque une acidification de l'environnement et nuit à l'environnement. Conduites d'eau. Un élément important dans la dégradation du chlorure est la teneur en oxygène. À l'intérieure l'absence d'oxygène, la dégradation de l'eau chlorée peut même être très faibles exigences en matière d'eau plate sont satisfaites. Effet de la concentration de Na Cl sur la corrosion des métaux dans l'eau saturée oxygène à température ambiante. Le taux de décomposition augmente rapidement La concentration en atteint 3% puis diminue. Fende moins que mesuré dans l'eau distillée lorsque la saturation est atteinte (260 g/l) et Selon Tostmann , s'explique par la réduction des électrons. La salinité peut être nocive pour de nombreux produits pétroliers. Ouvrir Après cela, la première opération de la cible est effectuée après l'extraction du pétrole élimine le plus de sel possible, mais malheureusement pas tout.[12]

Effet de la température :

En général, l'augmentation de la température accélère le processus de décomposition. Car il réduit la zone de sécurité du métal et accélère la cinétique de réaction transports. Cependant, l'importance de leurs effets varie en fonction de la dégradation de l'environnement emplacements d'équipements.[12]

Effet du pH :

La facilité de corrosion dépend du pH fort de l'électrolyte. La concentration de protons dans la solution augmente l'intensité de la réaction, qui change réactions chimiques d'équilibre et réactions électrochimiques. Le diagramme d'équilibre potentiel-pH connu sous le nom de Pour Baix montre ce qui suit : Un métal d'une capacité diacides ou bases peut le faire, en particulier dans les solutions aqueuses rétablit, apaise et même maintient la température thermodynamique (état immunitaire), Dans un environnement acide, les métaux rouillent en traversant l'environnement. CO₂, H₂SO₄, HCl , H₂S, etc. Présence de produits chimiques tels que acides gras. Lorsque le pH se situe dans la plage acide (pH= 4), en plus de réduire l'oxygène (milieu respiratoire), la production d'hydrogène en devient également une réactions cathodiques supplémentaires. Le film d'oxyde de fer se dissout et la pression disparaît La corruption augmente. Dans la région du pH moyen, c'est-à-dire entre 4 et 10, la vitesse de corrosion est presque Dépôts permanents solides et insolubles d'oxyde de fer recouvrant la surface Acier. Il est constamment mis à jour par le processus de dégradation. Si le pH est élevé (pH > 10,5), le taux de corrosion est fortement réduit. Film protecteur d'oxyde de fer Le agit comme un métal de surface qui se

dissout uniquement à un pH élevé, en fonction de la valeur du pH convertit les métaux en espèces anioniques telles que HFeO_2 . [13]

I.5. La protection des métaux contre la corrosion :

La lutte contre la corruption devrait commencer dès la phase de planification. À l'intérieur Autrement dit, la corruption doit être combattue dès le début du projet. Jusqu'à la fin de. Il s'agit de garantir une certaine période de temps. En plus La solution approuvée doit être conforme aux exigences de protection milieu naturel et devrait permettre le traitement ou l'élimination de diverses substances pièces sont prêtes à l'emploi. La lutte contre la corruption comprend les mesures suivantes :

I.5.1. Prévention par une forme adaptée des pièces :

Nous pouvons réduire les risques de dommages en façonnant correctement les objets. La forme de quelque chose peut changer radicalement votre vie. [14]

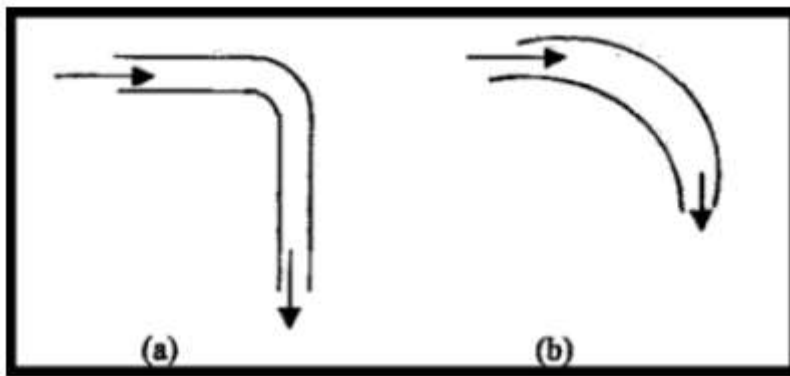


Figure 12 Prévention par une forme adaptée des pièces

I.5.2. Prévention par le choix du matériau :

Effets négatifs sur la sélection des matériaux et fonctions. Aucun fer ni aucun acier n'a de résistance est définitivement corrompu, mais des éléments anti-corruption sont connus dans le document certains environnements difficiles. Le comportement corrompu n'est qu'une dimension parmi tant d'autres Bien que cela se transforme souvent en décision dans le choix des matériaux anti-corruption. Le est une ressource système centrale et non un périphérique autonome. [14]

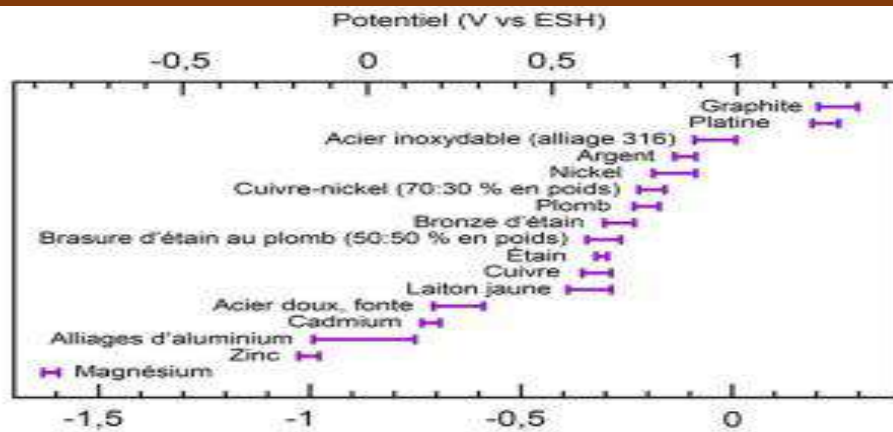


Figure 13 Prévention par le choix du matériau

I.5.3. Protection par revêtements :

Les métaux peuvent être protégés de la corrosion en les enduisant d'agents anticorrosion. Il existe de nombreux types de peinture qui peuvent être utilisés, notamment :

- Peinture acrylique : Utilisée dans de nombreuses applications industrielles et commerciales, elle résiste à la corrosion et peut protéger les métaux des intempéries.[15]
- Peinture polyuréthane : Elle présente une résistance et une durabilité élevées, résiste à la corrosion et peut être utilisée dans des environnements difficiles.
- Revêtement époxy : Offre une excellente protection contre la corrosion et peut être utilisé dans diverses applications telles que les industries marine, pétrolière et gazière.[15]
- Plaque chromée : Elle donne une petite quantité de chrome à la surface du métal, le rendant plus résistant à la corrosion et lui donnant un bel éclat.[15]

C'est l'un des moyens les plus courants de protéger le métal de la corrosion avec de la peinture. La bonne peinture peut être sélectionnée en fonction du type de métal et de l'environnement auquel elle est exposée.[15]

I.5.4. Protection par revêtements métalliques :

Le stockage en métal est souvent utilisé pour la protection du métal dégâts climatiques. En fonction de leur comportement de dégradation vis-à-vis du substrat, nous pouvons : distinguer deux types de métaux :

- Ils sont plus nobles que le substrat cathodique.
- Ces nobles ne sont pas en dessous du substrat anodique.

Le chrome, le nickel ou le cuivre sont de meilleurs revêtements que l'acier métaux autres que le zinc, le cadmium ou l'aluminium. Quoi qu'il en soit, c'est à cause de sa nature Barrière entre les métaux de base et l'environnement corrosif. D'un autre côté, les différences sont également clairement visibles. Par exemple des pores. Un ton de base trop fin endommagera le substrat rouleaux d'anodes. Le revêtement est beaucoup plus fin que le support et est donc exempt de défauts. En revanche, si le revêtement est plus adapté que le support, la situation est inversée Pendant que le substrat cathodique est protégé, des débris se forment au niveau de l'anode et sont détruits. À l'intérieur Il convient de noter que dans un autre, l'intervalle de temps est proportionnel à sa taille.[16]

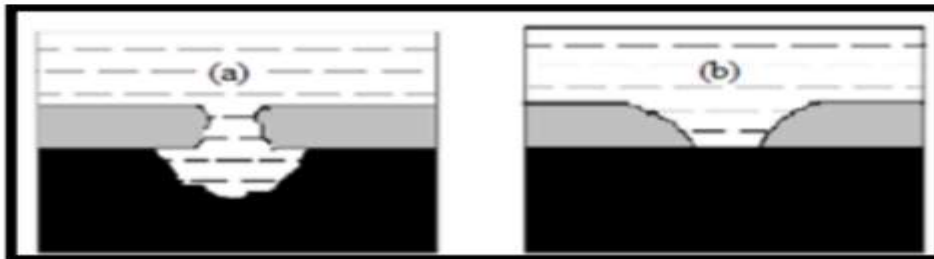


Figure 14 Prévention par le choix du matériau

➤ **Protection par revêtements organiques :**

Ils forment une barrière plus ou moins impénétrable entre le métal et l'environnement et se répartissent en trois groupes :

- Revêtements en bitumes,
- Revêtements polymériques,
- Peintures et vernis.

I.5.5. Protection par inhibiteurs :

Ce sont des choses qui sont destructrices et limitantes lorsqu'elles sont trop peu ajoutées à l'environnement. Puissance du fer. Il est possible de distinguer :

- **Inhibiteurs d'adsorption :** Ceux-ci comprennent des inhibiteurs d'imagerie qui s'adsorbent à la surface et forment un film protecteur. Ce sont des composés organiques de type monoamine ou polyamine.
- **Toxicité contrôle les décharges cathodiques :** Certains éléments tels que les ions arsenic, bismuth et antimoine sont libérés lentement hydrogène et peut parfois être utile pour arrêter la corrosion.
- **Résistance à l'oxygène :** Éliminer les solutions contenant de l'oxygène dissous (sulfite de sodium, hydrazine)

- **Inhibiteurs d'oxydation** : Il s'agit des chromates, des nitrites, des sels de fer, etc. Ceux-ci glorifient le Seigneur peut être endommagé dans la zone de passivation. Le phosphate a besoin d'oxygène démonté pour des raisons pratiques.

I.5.6. Protection électrochimique (cathodique) :

La protection cathodique consiste à fixer un potentiel suffisamment faible sur le métal pour maintenir le taux de corruption à un faible niveau. Cette méthode est largement utilisée dans la pratique.[17]

Pour protéger les métaux lourds tels que les canalisations souterraines En réalité, deux choses sont possibles :

- Protection La protection cathodique est démontrée par le courant utilisant un générateur externe au système Le matériel/la solution fournira une alimentation directe sous forme de solution L'« enlèvera » un composant anodique appelé écluse pour pénétrer dans le métal pour le protéger. Faites-ente cathodique.
- Protection cathodique via anode sacrificielle ou anode galvanique liée au métal Les fers électriques et autres sont bien meilleurs en termes de capacités des réponses sont terminées. Ce métal très fin va se dissoudre et s'oxyder dans l'environnement. Aérations dans le sol protègent la structure.[17]

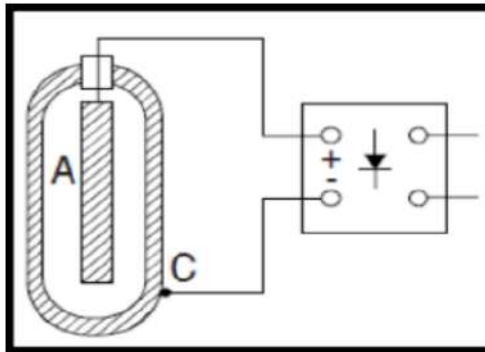


Figure 15 Prévention par le choix du matériau

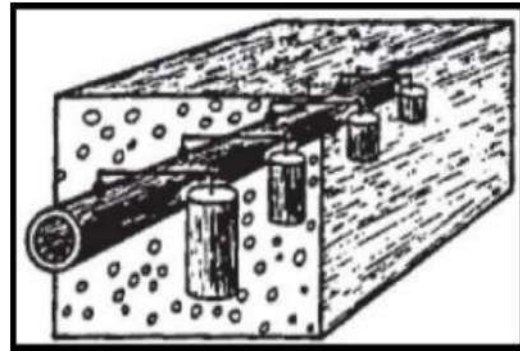


Figure 16 Prévention par le choix du matériau

Chapitre II : Stockage des produits pétroliers :

II.1. Introduction :

Le stockage du pétrole et du gaz implique la suspension temporaire de certaines quantités pétrole ou gaz en capacité de stockage appelé conduites ou réservoirs sous pression dépend du maintien ou non du produit sous pression. La principale caractéristique de l'industrie pétrolière est l'utilisation de pétrole de fort tonnage. Hydrocarbures basiques. Il doit être sous forme liquide ou gazeuse Système pour une grande capacité de stockage. Ce processus augmentera à mesure que les tâches seront accomplies Nouvelle réglementation prévoyant la création de fonds et trimestriels est utilisé par chaque pays pour se protéger contre d'éventuelles famines. Aérations dans le sol protègent la structure.[18]

II.2. Présentation des réservoirs de stockage : équipements et accessoires des bacs :

II.2.1. Définition :

Le réservoir est un réservoir cylindrique et vertical destiné au stockage des hydrocarbures.



Figure 17 Bac du stockage

II.2.2. Equipements des bacs :

- **La robe** : Il s'agit d'une paroi verticale en papier, courbée selon le diamètre de la cuve.
- **La virole** : Il s'agit d'une bague constituée de feuilles de métal dont la succession donne la robe.
- **La cuvette** : C'est une unité construite autour d'un bac ou d'une liste de matériaux. Lest conçu pour collecter le contenu d'un bac ou localiser le bac en cas d'accident.
- **Fond** : La partie inférieure du réservoir, également en acier.
- **L'assise** : C'est sur cette base que repose le fonds.
- **Toit** : Ceci est une section La partie supérieure du réservoir est en tôle d'acier. Il peut être fixe ou flottant.[19]

II.2.3. Réservoirs et composants :

Les réservoirs métalliques verticaux sont classés en 3 types :

- Réservoirs à toit fixe
- Réservoirs à toit flottant
- Réservoirs à toit fixe et écran flottant.[20]

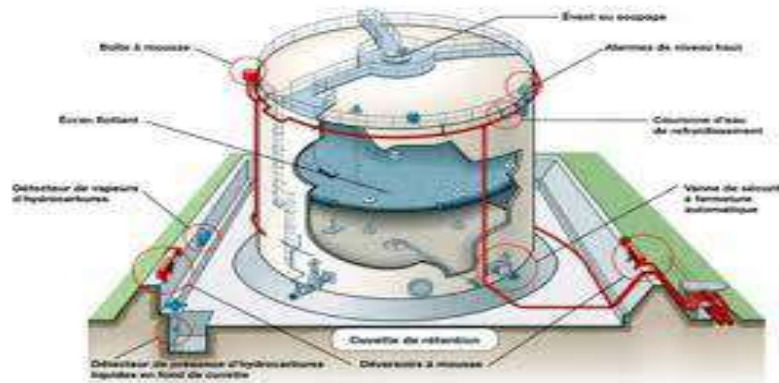


Figure 18 Réservoirs et composants

II.2.4. Accessoires des bacs :

➤ Accessoires de lutte contre la surpression :

- **Les événements** : Une ouverture permanente dans ce domaine La partie supérieure du réservoir est destinée au transfert de l'excédent d'huile hydrocarbures lors du chauffage.
- **Les soupapes** : ce sont des dispositifs automatiques qui permettent de s'échapper L'huile dépasse la pression du gaz à l'intérieur du réservoir ont atteint la limite ou la valeur maximale. Cette vitesse est appelée réglages de pression.[21]

➤ Accessoires de lutte contre l'incendie :

- **Couronne en mousse** : extincteur à hydrocarbures (jaune-orange).
- **Dessus de refroidissement par eau** : refroidissement du bac (bleu ou rouge).
- **Cuvette de rétention** : confine la lutte contre l'incendie au périmètre Maximum.

➤ Accessoires de mesure de niveau de produits :

Pour certaines cuves (réservoirs de stockage de fioul et de bitume), équipements appelé les paramètres du niveau défini. Ils vous permettent de lire immédiatement règle complétée a ajusté la combinaison, la valeur du niveau de produit dans le réservoir grâce à l'index progressif de la loi achevée.[22]

➤ Accessoires de visite et nettoyage :

Cela comprend les regards, les gardes, les échelles et les échelles.

➤ **Accessoires de réchauffage :**

Il dispose d'un système de chauffage au fioul (serpentin liner). dans le cadre du fonds). Stockage du bitume hors système de chauffage, soit La disposait également d'un réservoir de stockage (isolation thermique).[23]

II.2.5. Matériaux :

Le matériau du réservoir est généralement de l'acier au carbone, de l'acier. L'acier inoxydable ou plusieurs matériaux peuvent être utilisés pour fabriquer le même produit médicaments. La sélection du matériel est basée sur les limites uniques de chaque application. Les propriétés mécaniques de l'Acier qui doivent être prises en compte sont définies dans la réglementation. Violations du code de construction ou de réparation.[24]

II.2.6. Dossier de suivi individuel :

Chaque ressource doit faire l'objet d'un dossier séquentiel. Le contenu de ce fichier comprend, à notre connaissance, les éléments suivants :

- Type et spécifications : (dimensions, volume, isolé ou non, bobine de chauffage, etc.).
- Date de construction et code du bâtiment utilisés.
- Plan de construction (conçu plus tard pour l'ancien entrepôt).Liste des produits consécutifs stockés dans la cuve
- Matériaux de construction, y compris les fondations
- Existence d'un revêtement interne
- Date du premier test hydraulique
- Liste des produits successivement stockés dans le réservoir
- Dates, types d'inspections et résultats
- Dates et résultats des mesures effectuées sur le réservoir
- Tous les travaux de réparation et modifications et les codes utilisés
- Incidents éventuels
- Dossier du chauffe-eau s'il existe (souvent suivi en tant qu'ESP à part entière).[3]

❖ **Mécanismes de dégradation et de défaillance :**

Les principaux types de dommages et de pannes de stockage sont :

- La corrosion.
- Les affaissements et problèmes associés.

- Dysfonctionnement Panne du réservoir et de ses équipements.
- Dégradations liées au fonctionnement cyclique
- Dégradation des assises
- La fissuration

Comme la possibilité de combiner cette méthode de dégradation[3]

❖ **La corrosion :**

La corrosion représente l'un des principaux modes de dégradation des réservoirs de stockage. Elle peut être d'origine électrochimique ou bactérienne et affecter tous les composants du réservoir, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. De plus, la corrosion peut se présenter sous forme localisée ou généralisée. Une corrosion généralisée, associée à la corrosion par piqûres, peut survenir à l'intérieur ou à l'extérieur du réservoir. Alors que des perforations isolées peuvent entraîner de petites fuites, la concentration d'un grand nombre de piqûres ou d'une zone de corrosion localisée peut provoquer une fuite majeure.[25]

➤ **La corrosion interne peut résulter de :**

- La présence de substances nocives ou nocives dans les produits stockés, parfois en combinaison avec d'autres conditions. Par exemple, un réservoir corrodé peut endommager l'intérieur du toit et les parois du réservoir en raison de la présence de composés soufrés et de vapeur d'eau.[26]
- Fuite et accumulation d'eau dans le réservoir due à l'aération du réservoir due à la température et à l'accumulation de vapeur d'eau, à la présence d'eau dans les produits stockés, ou à la pénétration d'eau de pluie à travers les tuiles flottantes de la toiture.[26]
- Mauvaise qualité du matériel de soudage.[26]

➤ **La corrosion externe peut résulter de :**

- Inconvénients du niveau supérieur du réservoir : la saleté de la couche supérieure de la fondation, telle que l'argile, la pierre, la cendre ou d'autres matériaux pointus, peut provoquer une augmentation de la concentration en oxygène sous le réservoir. Les petites surfaces de contact entre le sol et la saleté forment l'anode, tandis que le reste en bas forme la cathode et provoque la corrosion. Ponctualité aux lieux de rencontre.[26]
- Infiltration due à un mauvais contact interfacial et/ou infiltration d'eau de pluie due à la capillarité de la plaque latérale et du siège du réservoir.[26]

- Collecte des eaux de pluie au niveau marginal, collecte des coins sur viroles ou plaques.
 - Nettoyer les bords métalliques, en particulier là où l'eau et la saleté s'accumulent
 - La qualité du matériau d'apport de soudure sur la plaque annuelle et la plaque de fond est insuffisante.
 - La température du produit stocké peut augmenter le taux de corrosion sous l'isolation.
 - L'agressivité des conditions ambiantes, qu'il s'agisse d'atmosphères agricoles, industrielles, maritimes ou tropicales, est fonction de plusieurs facteurs tels que l'humidité relative, la concentration en chlorures ou en polluants chimiques (notamment le SO₂), la température, le vent, la pluie, etc.
 - Parmi les mécanismes de corrosion généraux et les facteurs aggravants, on peut noter ce qui suit :
 - Les réservoirs de stockage de produits chauffés sont généralement de type convexe (cone up). La corrosion interne des tôles périphériques du fond est accélérée par rapport aux réservoirs concaves (cone down) en raison, d'une part, de la température et, d'autre part, de la moindre efficacité de drainage de l'eau éventuellement présente au fond du réservoir.[26]
 - La corrosion galvanique, résultant de la connexion entre des métaux différents en présence d'humidité, est un problème auquel il convient de prêter attention, en particulier au niveau des systèmes de mise à la terre, des dispositifs de purge ou d'échantillonnage.[26]
- **Les différents types de corrosion :**

Les différents types de corrosion affectant les réservoirs de stockage peuvent être d'origine électrochimique, nécessitant la présence d'eau liquide en contact avec la paroi de l'acier. Une espèce "oxydante" est indispensable pour alimenter les piles de corrosion : soit l'ion H⁺, conduisant à une corrosion "acide" (prédominante à des pH bas), soit l'oxygène dissous dans l'eau. Cela inclut aussi bien la corrosion à l'intérieur des réservoirs par l'eau liquide qui peut s'accumuler et entrer en contact avec l'acier, que la corrosion de leur paroi externe exposée à l'air (corrosion atmosphérique résultant de l'humidité adsorbée sur l'acier et des précipitations) ou aux sols (corrosion due à l'humidité présente dans tous les types de sols).[27]

La corrosion dite "bactérienne", souvent rencontrée sous forme de cratères, est causée par une augmentation locale de la corrosivité dans des zones où des colonies de bactéries sulfate-réductrices (BSR) trouvent des conditions favorables à leur développement : absence totale d'oxygène dissous (bactéries anaérobies), présence de sources de carbone (hydrocarbures et autres composés organiques), présence d'ions sulfates qu'elles réduisent en sulfure, généralement sous forme de H₂S (qui provoque ensuite la corrosion en raison de son caractère acide en présence d'eau), pH et température modérés.[27]

Les points clés de la corrosion bactérienne sont :

- Des taux de corrosion plus élevés que les mécanismes de corrosion "normaux".
- Des niveaux élevés de réparation.

Les principales options préventives pour prévenir la corrosion bactérienne comprennent :

- Le drainage régulier de l'eau accumulée au fond du réservoir.
- L'application d'un revêtement interne lors de l'arrêt du réservoir.

En cas de besoin, des mesures curatives peuvent inclure l'utilisation de bactéricides, sous réserve de respecter les précautions d'usage de ces produits.[27]

II.3. Défaillance de structure du réservoir et de ses accessoires :

Les principaux échecs sont les suivants :

- Le flambage des réservoirs de stockage avec des écrans internes en raison d'un support inadéquat, du vide, ou d'un blocage au niveau de la jonction.
- Le flambage du toit flottant en raison d'un support insuffisant par les supports et/ou d'un blocage au niveau de la jonction du toit.
- La perte de flottabilité de l'écran interne ou du toit flottant en raison de la présence de produit sur l'écran ou le toit, ou dans les flotteurs des toits flottants.
- Le blocage du drain articulé.
- Le déraillement de l'échelle sur les réservoirs à toit flottant.
- Le blocage de l'écran interne ou du toit flottant.
- Le rainurage de la robe par un écran interne ou un toit flottant.
- Le flambage de la robe.[3]

- Le manque de verticalité des montants de support du cadre.[3]

Le flambage de la robe :

Se manifeste par la formation d'une ou de quelques vagues sur un côté de l'enveloppe (celui exposé au vent). Ce genre de flambement peut être provoqué par :

- Des vitesses de vent exceptionnellement élevées (cyclones, ouragans).
- La réduction de l'épaisseur de la paroi en raison de la corrosion.
- Des affaissements de sol.
- La présence de zones aplaties sur la paroi du réservoir.
- La diminution de la section transversale des anneaux raidisseurs à cause de la corrosion.
- La perte d'intégrité due aux fissures dans les soudures des anneaux raidisseurs.

La combinaison de deux ou plusieurs de ces facteurs augmente le risque de flambement de la paroi. Ce mode de défaillance se produit principalement dans les viroles minces supérieures du réservoir. L'ajout d'un raidisseur supplémentaire peut résoudre le problème de flambement. Ce type de flambement est généralement observé dans les réservoirs à toits flottants de grand diamètre et ceux présentant des problèmes de rotondité.[3]

Le flambement des parois des réservoirs à toit fixe peut-être causé par une défaillance des soupapes de dépression sur le toit ou par des obstructions des événements.[3]

II.4. Dégradation des assises :

Les principales causes de détérioration des fondations sont les suivantes :

- Le tassement des fondations.
- L'érosion.
- La dégradation du béton due à divers facteurs : calcination, attaque par l'eau souterraine, gel, attaques chimiques et végétation non contrôlée.[3]

Les fissures résultant de la dégradation du béton peuvent permettre à l'eau de s'infiltrer, favorisant ainsi la corrosion de la tôle annulaire et éventuellement du fond.[3]

De plus, selon que la dégradation des fondations soit uniforme ou non, des phénomènes similaires à ceux causés par les tassements mentionnés précédemment peuvent se produire, à savoir :

- Inclinaison du réservoir.

- Tassements différentiels.
- Déformation du fond en raison des contraintes générées.[3]

II.5. Fissuration :

Des fissures peuvent apparaître en fonction de la nature des matériaux et de la métallurgie du réservoir. Elles se manifestent principalement dans les zones soumises à des contraintes élevées.[28]

II.6. Combinaison de mécanismes de dégradation et autres influences :

La corrosion interne et externe, combinée à un tassement excessif, constitue l'une des principales causes de fuite des fonds de réservoir.

L'interface entre la structure du réservoir et la fondation, ainsi que la conception et la construction de cette dernière, sont des facteurs cruciaux.

L'association des contraintes cycliques avec des tassements irréguliers ou excessifs peut également provoquer des fuites dans les réservoirs.[3]

II.6.1. Rôle du stockage :

Le stockage des ressources énergétiques est crucial non seulement pour compenser les fluctuations d'approvisionnement causées par divers aléas lors de la production, du transport et du raffinage, ainsi que par les variations de la consommation, souvent influencées par les conditions météorologiques. Il revêt également une importance stratégique pour garantir un minimum d'autonomie énergétique au pays consommateur.[3]

Le stockage doit être assuré à différentes étapes du parcours du pétrole, depuis le puits de production jusqu'aux lieux de consommation. Les principaux dépôts pétroliers se trouvent essentiellement sur les sites de production du pétrole brut, aux extrémités des oléoducs, dans les terminaux de chargement et de déchargement du pétrole, et à proximité des raffineries. Ces stockages comprennent le pétrole brut, les charges, les coupes intermédiaires et les produits finis avant expédition.[3]

II.7. Inspection basée sur la criticité (RBI) :**II.7.1. Définition :**

L'inspection basée sur le risque (RBI) est une approche où les équipements sont sélectionnés pour inspection en fonction des risques qu'ils présentent, plutôt que selon un intervalle de temps fixe prédéterminer. En d'autres termes, c'est un outil de priorisation et de planification, principalement utilisé dans les industries pétrolière et gazière, qui aide à identifier les éléments les plus prioritaires, c'est-à-dire ceux présentant un risque élevé.[3]

II.7.2. Principe de la méthode proposée :

Le principe de cette méthode repose sur les étapes suivantes :

- Évaluer la criticité d'un réservoir de stockage en combinant la probabilité de défaillance et la gravité de celle-ci.
- Définir le plan d'inspection en tenant compte de la criticité, du facteur de confiance et de la durée de vie résiduelle estimée. Ce plan inclut la nature, la localisation, l'étendue et la périodicité des actions d'inspection.[29]

II.7.3. Détermination de la criticité d'un réservoir :

Étant donné que la probabilité (vraisemblance d'une défaillance due à la dégradation) et la gravité (impact sur l'environnement, la santé et la sécurité) varient selon la section du réservoir examinée, l'analyse de la criticité est réalisée pour chacune des trois parties du réservoir (fond et fondations, virole, toit). La criticité globale du réservoir est déterminée par la criticité maximale parmi ces trois sections.[3]

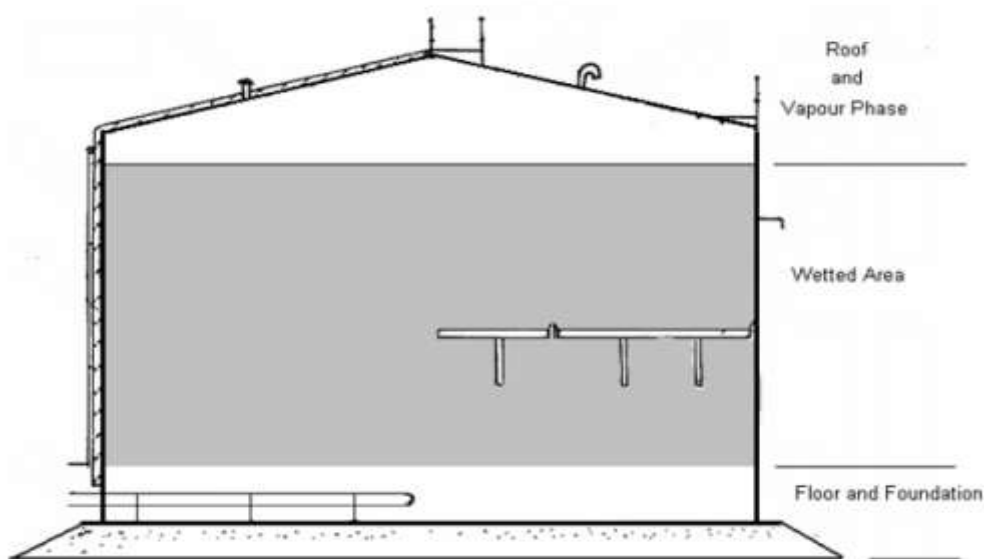


Figure 19 Détermination de la criticité d'un réservoir

II.7.4. Détermination des probabilités de défaillance :

D'une manière générale, cinq facteurs principaux sont à considérer pour déterminer la probabilité de défaillance :

- Type de dommage
- Inspection
- Conception
- État

- Produit stocké

Le taux de probabilité d'apparition d'un mode de défaillance spécifique pour un composant de réservoir est évalué en examinant les mesures prises ou les caractéristiques existantes qui influencent ce mode de défaillance. Ces facteurs varient en fonction de la section du réservoir concernée. Les principaux facteurs sont regroupés dans le tableau suivant :

	Fond du réservoir	Virole du réservoir	Toit du réservoir
Protection cathodique (existence, type, efficacité)	X		
Revêtement interne	X	X	X
Revêtement externe	X	X	X
Température de stockage du produit	X	X	X
Corrosivité du produit	X	X	X
Type de fond (cône up, cône down, plat)	X		
Corrosivité des vapeurs pour les toits fixes			X
Efficacité du drainage pour les toits flottants			X
Présence de serpentin de chauffage	X	X	
Type de fondation	X	X	
Contact avec de l'eau souterraine	X		
Efficacité du drainage du réservoir	X		
Méthodes d'inspection hors service utilisées lors de la précédente inspection	X	X	X
Méthodes d'inspections en service utilisées	X	X	X
Fréquence des inspections en service	X	X	X
Corrosion sous isolation		X	X

Figure 20 Détermination des probabilités de défaillance

Chaque facteur est accompagné d'une valeur ou "note" indiquant son impact sur la probabilité d'apparition de la défaillance induite. Ces notes peuvent être pondérées pour chaque facteur, afin de représenter leur importance relative par rapport à la probabilité de survenue du mécanisme de défaillance.[30]

II.7.5. Détermination des conséquences de défaillances :

Les conséquences d'une défaillance sont évaluées en fonction de leur gravité pour chaque partie du réservoir, en tenant compte du mode de défaillance et des mesures de réduction des risques comme les cuvettes de rétention, la détection d'hydrocarbures et la détection de fuites. Ces évaluations concernent les domaines suivants :

- La sécurité
- La santé
- L'environnement

Les pertes financières peuvent également être prises en compte dans l'évaluation de la gravité.

Les principaux facteurs de conséquence à considérer, le cas échéant, sont :

- Le mode de défaillance (ex. petite fuite, fuite importante du fond, rupture fragile de la paroi).
- Le type et le volume du produit.
- L'impact sur la sécurité publique et la santé.
- L'efficacité des systèmes de détection et la rapidité de détection des fuites.
- Les caractéristiques particulières de construction du réservoir (ex. double fond, double paroi).
- L'étanchéité du sol (ex. dalle en béton, liner étanche sous le réservoir).
- Les capacités de retenue (étanchéité de la cuvette, capacité de rétention).
- Les caractéristiques et la vulnérabilité des zones environnementales sensibles à proximité, telles que les eaux de surface, les eaux souterraines et les nappes phréatiques.
- La mobilité du produit dans l'environnement (hydrogéologie du sol, perméabilité et pénétration du produit, viscosité du produit).
- L'impact sur le public.
- Le coût de la contamination et de la remédiation.
- Le coût de nettoyage du réservoir et des réparations.
- Le coût lié à la perte d'utilisation.

La détermination du niveau de gravité des conséquences des défaillances sur la sécurité se basera sur les principes décrits dans les référentiels mentionnés en remarque préliminaire.[31]

II.7.6. Détermination de la criticité :

La criticité d'une section du réservoir est déterminée par l'association des probabilités et des conséquences d'une défaillance. Habituellement, cette association est représentée sous forme matricielle.[32]

Tableau 2 Détermination de la criticité

probabilite	Houte	B	H	E	E
	Moyenne	B	M	H	E
	Basse	N	B	M	H
	Negligeable	N	N	B	M
		Negligeable	Basse	Moyenne	Houte
Gravite					

Avec : **N**= Criticité négligeable **E** = Criticité élevée **B**= Criticité basse **H**= Criticité haute
M = Criticité moyenne

➤ **Remarques sur la criticité :**

La criticité :

- Représente l'ensemble des facteurs énumérés précédemment, notamment l'état connu ou estimé du réservoir et son évolution en tenant compte des modes de défaillance retenus.
- Détermine le plan d'inspection à mettre en œuvre en fonction de la durée de vie prévue.
- Peut être déterminée à un moment donné ou estimée à long terme.
- Peut être révisée en fonction des retours d'expérience accumulés.
- Doit être régulièrement révisée sur la base des inspections effectuées (inspection en service et visites de routine).[33]

II.7.7. Durée de vie résiduelle :

L'évaluation de la dégradation d'un équipement ou d'un composant est cruciale pour planifier efficacement les inspections. L'analyse de la dégradation repose principalement sur les composants liés à l'intégrité, tels que la corrosion des éléments métalliques ou les mesures de tassement du réservoir. En ce qui concerne la corrosion, l'analyse utilise principalement la vitesse de dégradation et l'épaisseur de retrait (ou surépaisseur pour la dégradation/corrosion) pour garantir que le réservoir ne soit pas remis en service avec une épaisseur inappropriée. La vitesse de dégradation peut être déterminée directement à partir de :

- L'historique des mesures d'épaisseur sur le réservoir concerné.
- L'historique des mesures d'épaisseur sur un réservoir témoin.
- L'efficacité des mesures de protection contre la corrosion (revêtement interne, liner, protection cathodique, etc.).
- Des valeurs tirées de la littérature lorsque les mesures ne sont pas disponibles.

Sauf justification particulière (modifications des conditions d'exploitation et/ou renforcement des mesures de protection), la valeur retenue pour la vitesse de dégradation sera la plus pénalisante des valeurs issues des historiques de mesure.

La durée de vie résiduelle est définie comme :

Durée de vie résiduelle (RL) = $(t_M - t_R)$ / vitesse de dégradation

Où :

t_M : dernière épaisseur minimale mesurée

t_R : épaisseur de retrait

L'épaisseur de retrait peut être préétablie ou déterminée à partir de calculs appropriés inclus dans les codes de conception et de réparation.[34]

II.7.8. Facteur de confiance :

Le facteur de confiance est une mesure de la robustesse de l'évaluation de la durée de vie restante. Il est influencé par divers facteurs, notamment :

- Le nombre et la qualité des inspections précédemment effectuées.
- L'intervalle entre les inspections précédentes.
- La fiabilité des données collectées lors des inspections antérieures.
- L'efficacité des méthodes d'inspection utilisées (tant dans les phases opérationnelles que hors service).
- Les résultats des inspections.
- Les actions de maintenance préventive, ainsi que la nature et l'étendue des réparations effectuées.
- Les historiques d'utilisation du réservoir.

Il est important de noter que la détermination du facteur de confiance nécessite une analyse détaillée à chaque fois qu'un nouvel intervalle d'inspection est établi. Bien que des évaluations générales puissent être initialement utiles, une analyse approfondie est requise pour chaque nouvelle planification d'inspecté. [34]

Partie 2 : Expérimental

Chapitre III

III.1. Présentation de l'institution d'accueil :

III.1.1. SONATRACH :

Depuis plus de 50 ans, SONATRACH assume pleinement son rôle de moteur de l'économie nationale. Sa mission est de valoriser les importantes réserves en hydrocarbures de l'Algérie. Ce géant de l'industrie pétrolière, également connu sous le

nom de la principale entreprise africaine, tire sa force de sa capacité à être un groupe entièrement intégré tout au long de la chaîne de valeur des hydrocarbures.

Dans l'amont, SONATRACH opère, seule ou en partenariat avec des compagnies pétrolières étrangères, des gisements parmi les plus importants du monde dans diverses régions du Sahara algérien : Hassi Messaoud, Hassi RMel, Hassi Berkine, Ourhoud, Tin Fouyé Tabankort, Rhourde Nouss, In Salah et In Amenas.[35]

III.1.2. PRÉSENTATION DE LA DIRECTION RÉGIONALE DE (UTBS) :

❖ Description générale de l'UTBS:

La société SONATRACH a achevé la construction d'une nouvelle unité de traitement de brut sur le champ de Hassi Messaoud Sud, appelée UTBS. Cette nouvelle installation vise à améliorer la qualité du brut, à renforcer la sécurité des installations et à accroître la production de brut. Cette réalisation permettra d'optimiser l'exploitation du gisement de Hassi Messaoud, compte tenu de l'importance de ses réserves, de la qualité de ses hydrocarbures et de la complexité de ses réservoirs.

L'UTBS est composée de trois unités de traitement d'huile, chacune ayant une capacité de production moyenne de 100 000 barils par jour, de quatre réservoirs de stockage d'huile stabilisée d'une capacité de 50 000 mètres cubes chacun, de quatre trains de compression de gaz de flash, ainsi que d'un réseau de collecte et d'expédition de brut, d'eau et de gaz.[36]

❖ Situation géographique :

L'unité UTBS est située à environ 7 km au sud-ouest de la ville de Hassi Messaoud. Hassi Messaoud est inclus dans la wilaya de Ouargla, dont la capitale est la ville de Ouargla, à environ 80 km au nord-ouest de Hassi Messaoud.

❖ Le rôle de l'UTBS :

L'Unité de Traitement de Brut (UTBS) fonctionne pour recevoir et traiter l'huile non stabilisée provenant de six champs satellites dans la région de Hassi-Messaoud Sud. Ensuite, elle expédie l'huile stabilisée vers le centre de stockage à Haoud El Hamra via le pipeline 24'' CIS-HEH. Le processus de traitement implique le dessalage et la stabilisation du brut provenant des satellites. Le gaz associé est utilisé comme combustible, avec l'excédent dirigé vers l'unité de production de GPL au CIS. L'eau nécessaire pour le lavage du brut est puisée à partir de deux puits d'eau d'Albien. Les eaux huileuses traitées sont dirigées soit vers l'unité d'injection d'eau à OMN77, soit vers le bassin d'évaporation en cas de besoin.

III.2. Rapport d'inspection bac de stockage a toit fixe 10 -T-101A :**III.2.1. Introduction :**

Suite à la demande du client SH/DP HMD, une visite interne et externe sur les parties visibles et accessibles a été effectuée sur le BAC de stockage a toit fixe 10-T-101 A, dont les observations et recommandations sont mentionnées dans ce présent rapport.

III.2.2. Détaille de construction :

Bac de stockage cylindrique vertical à toit fixe constitué de (06) virole en tôles d'acier soudées bout à bout.

III.2.3. Caractéristiques techniques :

Tableau 3 Caractéristiques techniques T-101 A

Type d'équipement	Bac à toit fixe
Repère de l'équipement	10-T-101A
Constructeur	TOYO KANETSU K.K.
Numéro de fabrication	/
Année et lieu de fabrication	2004
Pression	+8000/-50 mm Ag
Volume	2500 m ³
Fluide	Condensé
Hauteur	17070mm
Diamètre	14300mm
Nuance du matériau	ASTM A516 Gr. 60 /ASTM A36 Mod.2
Code de construction	API 620
Date de la dernière visite	20/10/2023 (Visite extrême)
Date du dernier barèmage	/

III.2.4. CONSTATATIONS :❖ **Inspection externe :**

- Bon de l'anneau en béton.
- Le niveau de sol dépasse la tôle marginale tout autour, qui forme une tranchée.
- La robe est bien protégée par revêtement.
- L'ensemble des viroles ne donne pas lieu à des remarques particulières, bel aspect sur les parties visibles et accessibles.

- La rampe d'escalier et main courantes sont en bon état.
 - Le système d'arrosage anti-incendie est en place ; à vérifier périodiquement.
 - Système de mise à la terre en place, à vérifier la continuité.
- ❖ **Inspection du toit :**
- Bel aspect des tôles du toit, néanmoins un écaillage du revêtement par endroit au niveau de la partie EST du toit (sous la passerelle).
 - Passerelle et garde-corps sont en bon état.
- ❖ **Inspection interne :**
- Le fond du bac est en bon état apparent.
 - Les viroles inspectées à partir du fond, ne donnent pas lieu à des remarques particulières sur les parties visibles.

III.2.5. Tableau des mesures d'épaisseurs :

- Des mesures d'épaisseur par spot ont été prises à l'aide d'un ultrason (Olympus) au niveau des viroles suivant la rampe d'escalier. Les valeurs sont consignées dans le tableau ci-dessous (les épaisseurs en mm) :

Tableau 4 Tableau des mesures d'épaisseurs T-101 A

Virole 1 (depuis le sol)	16.94	16.85
Virole 2	15.77	15.26
Virole 3	14.14	14.23
Virole 4	12.95	13.22
Virole 5	11.44	12.16
Virole 6	10.17	10.21
Tôle du centre de toit	6.50/6.38	
Tôle du toit	6.59 / 6.62 / 6.27 / 7.03	

III.3. Rapport d'inspection bac de stockage à toit fixe T-001A :

III.3.1. Introduction :

Suite à la demande du client SH/DP HMD, une visite interne et externe sur les parties visibles et accessibles a été effectuée sur le BAC de stockage a toit fixe T-001 A, dont les observations et recommandations sont mentionnées dans ce présent rapport.

III.3.2. Données du bac :

Tableau 5 Données du bac T-001A

Items	Details
Identification	T-001
Code de construction	API 650
Année de Construction	2004
Capacite	2500 m ³
Nature fluide stocké	Gazoline
Type Dimension	Réservoir de stockage a toit flottant
Diamètre (mm) Hauteur (mm)	15000 / 17070
Température de Service	55°C
Pression de Service	ATM
Métal le bus Fond	ASTM A36
Epaisseur de fond (mm)	10
Épaisseur tôle marginale (mm)	10
Calorifugeage	NA
11 Revêtement (µm)	Non délivre
Nombre de tôles de Fond	27
Nombre de tôlés Marginale	10

➤ Photo de bac stockage T-001 and T-101A :



Figure 21 BAC DU STOCKAGE T-001 AND T-101A

III.4. Appareils d'occasion

III.4.1. Définition du périphérique MFL :

L'appareil de détection par flux de fuite magnétique (MFL) est une technique utilisée pour tester et inspecter l'intégrité des tuyaux et des structures en acier. Le dispositif fonctionne selon le principe de création d'un champ magnétique puissant autour du matériau à inspecter, et lorsqu'il y a un défaut, tel qu'une fissure ou une corrosion dans le matériau, une partie de ce

champ magnétique fuit à l'extérieur du matériau. L'appareil détecte ce champ magnétique de fuite et localise et mesure les défauts.[37]

Composants de l'appareil et leur fonction :

- **Aimants puissants :**

Utilisés pour créer un champ magnétique puissant dans le matériau.

- **Capteurs de détection :**

Placés à la surface du matériau, ils détectent le champ magnétique de fuite.

- **Unité de traitement des données :**

Analyse les données provenant des capteurs et localise les défauts.

Avantages de l'utilisation de l'appareil MFL :

- **Haute précision :**

Il peut détecter les petits et grands défauts avec précision.

- **Rapidité de l'inspection :**

Permet d'inspecter de grandes surfaces en peu de temps.

- **Sécurité :**

Réduit le besoin d'inspections visuelles traditionnelles qui peuvent être dangereuses dans certaines situations.

- **Efficacité :**

Peut être utilisé dans différents environnements et conditions de travail variées.[38]

❖ Applications de l'appareil MFL :

- **Industrie pétrolière et gazière :**

Pour inspecter les pipelines et assurer leur intégrité.

- **Industries pétrochimiques :**

Pour inspecter les réservoirs et les cuves en acier.

- **Industries maritimes :**

Pour inspecter les structures des navires et des plateformes marines.

- **Industries générales :**

Pour inspecter toute structure en acier nécessitant une garantie de sécurité.

- L'appareil MFL est un outil important et efficace pour garantir la sécurité des infrastructures en acier et réduire les risques de défaillance et d'effondrement.[39]



Figure 22 L'appareil MFL

III.4.2. Définition du périphérique UTM :

Le dispositif de mesure d'épaisseur par ultrasons (UTM) est un appareil qui utilise la technologie des ultrasons pour mesurer l'épaisseur des matériaux de manière non destructive. Cet appareil fonctionne en émettant des impulsions sonores à haute fréquence à travers le matériau, puis en mesurant le temps nécessaire à l'impulsion sonore pour voyager de l'émetteur à la surface opposée du matériau et revenir au récepteur. En fonction du temps mesuré et de la vitesse du son dans le matériau, l'épaisseur du matériau peut être calculée avec précision.

❖ Composants de l'appareil et leur fonction :

- Émetteur (Transducteur) : Émet des impulsions d'ondes ultrasonores dans le matériau.
- Récepteur (Destinataire) : Reçoit les impulsions réfléchies de la surface opposée du matériau.
- Unité de traitement des données : Calcule l'épaisseur du matériau en fonction du temps de trajet des impulsions et de la vitesse du son dans le matériau.
- Écran (Display) : Affiche la mesure de l'épaisseur.

❖ Avantages de l'utilisation de l'UTM :

- Mesure non destructive : Permet de mesurer l'épaisseur sans endommager ou couper le matériau.
- Haute précision : Fournit des mesures précises de l'épaisseur des matériaux.

- Polyvalence : Peut être utilisé sur une variété de matériaux, y compris les métaux, les plastiques et le verre.
 - Facilité d'utilisation : Les appareils UTM sont souvent portables et faciles à utiliser sur le terrain.
- ❖ **Applications de l'UTM :**
- Industries de l'ingénierie : Pour inspecter l'épaisseur des tuyaux, des réservoirs et des structures métalliques.
 - Industries maritimes : Pour vérifier l'épaisseur des structures des navires et d'autres parties immergées.
 - Industries pétrolières et gazières : Pour inspecter l'épaisseur des tuyaux et des équipements afin d'assurer la sécurité et l'efficacité.
 - Industries pétrochimiques : Pour surveiller la corrosion et l'usure des équipements et des réservoirs.
 - Inspection et maintenance : Utilisé pour les inspections périodiques et la maintenance pour déterminer l'usure et l'état des matériaux.



Figure 23 Périphérique UTM

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Résultats Bac 10-T-101 A :**IV.1.1. Inspection externe :**

- Bon de l'anneau en béton.
- Le niveau de sol dépasse la tôle marginale tout autour, qui forme une tranchée.
- La robe est bien protégée par revêtement.
- L'ensemble des viroles ne donne pas lieu à des remarques particulières, bel aspect sur les parties visibles et accessibles.
- La rampe d'escalier et main courantes sont en bon état.
- Le système d'arrosage anti-incendie est en place; à vérifier périodiquement.
- Système de mise à la terre en place, à vérifier la continuité.

IV.1.2. Inspection du toit :

- Bel aspect des tôles du toit, néanmoins un écaillage du revêtement par endroit au niveau de la partie EST du toit (sous la passerelle).
- Passerelle et garde-corps sont en bon état.

IV.1.3. Inspection interne :

- Le fond du bac est en bon état apparent.
- Les viroles inspectées à partir du fond, ne donnent pas lieu à des remarques particulières sur les parties visibles.

IV.2. Résultats Bac T-001 :**IV.2.1. L'inspection par MFL a donné lieu :**

- Les zones critiques détectées par l'appareil MFL << indiquées sur le tableau ci-dessous sont toutes confirmées par le mesureur d'épaisseur.
- La présence d'une sévère corrosion sur le fond inspecté est concentrée à l'extrémité avec la liaison des tôles annulaires.
- Les trous détectés visuellement sur le fond du T-001 (indiqués en Annexe A) ont été localisés et mesurés avec leur positions (X-Y) par rapport au point mobile du réservoir (voir l'annexe C)
- Les surfaces non inspectées par MFL, présentent des obstacles sous forme de compartiments internes « cités en Annexe A » ou patch réalisé à l'étape des réparations précédentes.
- 20% de tôles annulaires ont été couvertes par le scanne MFL en vue d'une présence de patch sur toute sa périphérie.

IV.2.2. Tableau des zones critiques détectées lors de l'inspection :

Tableau 6 Tableau des zones critiques détectées lors de l'inspection

Rangée	Tôle	Position X (mm)	Position Y (mm)	Pertes		Interne/ Externe	Type de perte	Technique UTM/MFL
				%	Mm			
1	3	400	2540	60	4	Interne	Piqure	MFL/UTM
		1000	2540	60	4	Interne	Piqure	MFL/UTM
	4	450	3400	70	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
		700	3800	80	2			
		1250	3400	80	2			
	5	1200	5300	70	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
	6	1450	5200	70	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
		850	5600	10	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
	7	100	3750	70	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
		950	3400	70	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
	8	700	2800	70	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
	9	150	750	70	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
10	1150	700	60	4	Interne	Piqure	MFL/UTM	
12	4280	1150	60	4	Interne	Piqure	MFL/UTM	
2	3	3350	350	70	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
3	2	1200	40	60	4	Interne	Piqure	MFL/UTM
	4	380	3850	10	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
	5	150	5400	70	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
		350	5650	70	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
	6	280	5350	60	4	Interne	Piqure	MFL/UTM
	7	1200	3400	70	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
		500	3800	70	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
		250	4150	70	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
	9	750	250	50	5	Interne	Piqure	MFL/UTM
	10	900	900	70	3	Interne	Piqure	MFL/UTM
		1000	280	60	4	Interne	Piqure	MFL/UTM
1100		100	50	5	Interne	Piqure	MFL/UTM	

IV.2.3. Résultat des mesures d'épaisseur nominale par UTM des tôles de fond

Tableau 7 Résultat des mesures d'épaisseur nominale par UTM des tôles de fond

Ranger	Tôle	1^{er} épaisseur (zones mortes) mm	2eme épaisseur mm	3eme épaisseur mm	4eme épaisseur mm	Epaisseur moyenne mm
1	1	8.86	8.88	9.24	8.84	8.25
	2	8.35	8.32	8.56	7.90	8.28
	3	8.36	8.23	8.32	7.83	8.14
	4	8.86	8.31	8.22	8.12	8.38
	5	8.43	8.19	8.36	8.53	8.38
	6	8.60	7.81	7.25	8.27	7.98
	7	8.64	8.53	7.80	6.87	7.96
	8	7.02	6.78	6.28	7.22	6.83
	9	7.86	8.26	7.58	7.95	7.91
	10	7.52	7.94	7.93	7.93	7.83
	11	8.88	8.62	8.86	8.68	8.78
	12	9.18	7.25	8.08	8.46	8.24
2	1	8.68	7.93	8.16	7.82	8.15
	2	8.38	8.65	8.34	8.84	8.55
	3	8.51	8.16	6.78	7.97	7.85
3	1	8.84	7.96	8.34	8.06	8.30
	2	8.39	8.23	8.54	8.18	8.34
	4	7.92	8.02	5.60	8.42	7.49
	5	6.46	7.97	7.23	7.64	7.33

IV.3. Les interprétations et la Résultats :

L'état du fond est souvent le facteur le plus déterminant pour évaluer la durée de vie restante du réservoir. C'est pourquoi nous avons accordé une attention particulière à son étude visuelle. Cependant, l'erreur humaine reste possible, et la présence d'autres défauts sous les dépôts ne peut être exclue.[40]

IV.3.1. Déformation :

Les déformations et les affaissements du fond peuvent entraîner divers problèmes :

- **Accumulation d'eau :** L'eau présente dans les substances stockées peut s'accumuler dans ces zones déformées, rendant le drainage inefficace. Cette accumulation d'eau peut provoquer de la corrosion dans ces zones basses.
- **Création de tensions :** Les déformations peuvent générer des tensions excessives dans le fond ou les parois latérales du réservoir, ce qui peut entraîner des fissures ou rendre ces zones plus sensibles à la corrosion.

Lorsque le réservoir est vide, il est possible que les affaissements ne soient pas immédiatement visibles. En l'absence de produit, la plaque de fond peut ne plus toucher le sous-sol. L'annexe B de l'API 653 décrit une méthodologie pour déterminer les tassements du fond du réservoir.

- **Inspection des tôles :** En marchant sur les plaques de fond, nous avons détecté, par surcharge (avec le poids du corps), des zones critiques où les plaques ne touchent plus le sol, Il est donc recommandé de découper ces plaques dans les zones concernées pour examiner l'état de la fondation.[41]

IV.3.2. Corrosion

- La corrosion peut se manifester à la fois à l'intérieur et à l'extérieur du fond des réservoirs :
- **Corrosion externe :** Elle peut être initiée par un processus électrochimique où le sol en contact avec le fond du réservoir agit comme électrolyte. Plusieurs facteurs influencent la corrosivité du sol, notamment le pH, la résistivité, la teneur en humidité, la concentration en ions chlorure, sulfure et sulfate, la teneur en oxygène, la présence de bactéries et les courants vagabonds.

Corrosion interne : Elle est généralement causée par l'eau de décantation qui peut contenir des agents fortement corrosifs tels que des bactéries, du CO₂, une salinité élevée, des ions de chlore, de l'oxygène dissous, etc. L'absence ou la dégradation des

- **Découpage des tôles suspectes :** Découper les tôles suspectes qui ne touchent pas le sol, telles que T-001 et T-101, pour évaluer l'état de la fondation et réaliser des analyses en prélevant des échantillons du sol pour étudier son agressivité.
- **Analyse de l'agressivité des substances stockées :** Il est souhaitable de réaliser des analyses sur l'agressivité des substances stockées dans le réservoir.

Conclusion

Conclusion générale

Cette note vise à analyser le processus de corrosion des réservoirs de stockage et leurs caractéristiques chimiques, à identifier différentes formes de corrosion et à proposer des solutions.

Notre objectif est d'analyser la corrosion des réservoirs de stockage de pétrole brut sur divers sites pétroliers (CIS, UTBS et GPL2 Hassi Messaoud). La corrosion se manifeste à l'intérieur des plaques inférieures et de la première croûte dans la cuve supérieure en raison de l'attaque chimique du sulfure d'hydrogène, ainsi que sur la surface extérieure des plaques enterrées sous l'influence de sols et d'eau agressifs (infiltration d'eau, faible protection cathodique externe), ce qui entraîne des trous dans les panneaux et des fuites d'effluents.

En utilisant des méthodes d'inspection spécifiques, notamment des contrôles non destructifs par mesure de l'épaisseur par ultrasons, on peut repérer le problème de corrosion et déterminer la méthode de protection la plus adaptée et la plus efficace, qu'il s'agisse d'une protection électrochimique (interne et externe).

En se basant sur les résultats précédents, il est nécessaire que l'entreprise modifie la qualité des tôles et les remplace par des tôles à haute résistance à la corrosion. Ces tôles doivent être fabriquées à partir d'acier faiblement allié afin d'augmenter la résistance à la corrosion (ajout de si) et à la corrosion (ajout de manganèse). Cela permettra d'éviter tous les problèmes causés par les feuilles.

D'après les résultats précédents, il est nécessaire que l'entreprise modifie la qualité des panneaux et les substitue par des panneaux qui offrent une résistance à la corrosion adéquate. Il est recommandé d'utiliser un acier faiblement allié pour les plaques afin d'améliorer leur résistance à la corrosion et d'éviter tout dommage.[42]

Références

- [1] B. Anis and B. Ishak, "Impact du retour d'expérience sur la sécurité d'une installation."
- [2] M. ABDELLI and S. DEBBAGHI, "Etude de la corrosion et la protection cathodique des installations des hydrocarbures en milieu urbains," UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR, 2022.
- [3] D. KHERBICHE, "Le comportement électrochimique du métal brut dans les milieux H₂SO₄ 0, 5% et NaCl 3, 5%," Ecole Nationale Supérieure des Mines et de la Métallurgie. Amar Laskri. Annaba, 2020.
- [4] M. Duportal, "Impact de la concentration en hydrogène sur les processus de dissolution et de passivation d'un acier inoxydable austénitique," Université de La Rochelle, 2020.
- [5] H. Bentrah, "Université Mohamed Khider-Biskra."
- [6] A. S. Bah, "Évaluation multiéchelle de l'état des réseaux vieillissants de ponts routiers," Université Laval, 2022.
- [7] F. Morin-Parent, "La neurophysiologie des individus atteints du syndrome du X-fragile évaluée par la stimulation magnétique transcrânienne et les effets neurophysiologiques de la Minocycline et de la Lovastatine en traitement combiné," 2017.
- [8] J. Charafeddine, "Extraction, caractérisation et étude électrochimique de molécules actives issues de la forêt amazonienne pour la protection du zinc contre la corrosion," Université Antilles-Guyane, 2014.
- [9] B. OUAREKH and P. A. GUETTALA, "Recherche bibliographiques sur l'effet de la carbonatation sur la durabilité des bétons."
- [10] C. m. Panetier, "Etude des mécanismes de migration du césium dans le dioxyde d'uranium stœchiométrique et sur-stœchiométrique: influence du molybdène," Université de Lyon, 2019.
- [11] K. AOUISSI, A. BOUSEBA, O. BOUADAM, and S. KERFOUCHI, "LA FLUOROSE: TOXICITE ET PREVENTION."
- [12] C. BAKRI, "La place de la phytoremédiation dans les techniques de dépollution des sols de l'ancienne mine de mercure d'Azzaba (Utilisation de la Menthe Aquatique)," Ecole Nationale Supérieure des Mines et de la Métallurgie. Amar Laskri. Annaba, 2021.
- [13] S. Chakri, "Compréhension des mécanismes d'inhibition de la corrosion des armatures métalliques des bétons par des molécules d'origine biologique," Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, 2015.
- [14] S. Koudzani, "La lutte anti-corruption en République du Congo: Instruments, appropriation et mise en oeuvre (1990-2017)," 2023.
- [15] A. S. A. Adja, "Développement d'un revêtement glaciophobe permettant de réduire l'adhérence et l'accumulation de la glace sur les structures portuaires en acier," Université du Québec à Chicoutimi, 2023.
- [16] K. Aggoun, "Renforcement de la résistance à la corrosion marine du revêtement CeO₂ par dépôt calcomagnésien, calcaire et magnésien: Synthèse, caractérisations et tests de corrosion en eau de mer artificielle," Université de La Rochelle; Université Abderrahmane Mira-Bejaïa (Bejaïa, Algérie), 2020.
- [17] A. Coulibaly and M. D. Keita, "La problématique de la responsabilité sociale des entreprises au Mali: état des lieux et perspectives," Université Mouloud Mammeri, 2021.
- [18] P. Haddad, "Recherche sur l'injection de nouveaux gaz dans les stockages souterrains (RINGS)," Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2021.
- [19] T. Azzoug, "Dimensionnement et étude sismique d'un réservoir de stockage de 35000 m³," Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 2022.
- [20] M. Y. Achour and M. Daoud, "Analyse du comportement sismique d'un réservoir industriel de 8000 m³: application du code parasismique algerien," Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 2017.

- [21] R. LEBLOUB, "La conformité d'un mélange final résultant de l'utilisation d'un nouveau Blender essence à la Raffinerie de Skikda," 2020.
- [22] T. Bénard, "Influence des microorganismes sur la corrosion d'un acier non allié dans le contexte du stockage géologique profond des déchets radioactifs," 2010.
- [23] B. Lasloudji and M. A. Bellik, "Analyse de la pratique de l'audit interne dans un secteur pétrolier Cas: NAFTAL Tizi-Ouzou," Université Mouloud Mammeri, 2023.
- [24] J.-F. Guillet, "Nanotubes de carbone pour la délivrance transdermique électro-stimulée de substances biologiquement actives," Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2017.
- [25] M. L. Myers, "Chapitre 64-L'agriculture et les secteurs connexes," ed: Encyclopédie du BIT: <http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo064.htm> ..., 2019.
- [26] H. Guehdour, "Assurer une continuité visuelle entre le bâti et l'environnement en partant de l'éco-habitat collectif à tendance vernaculaire," 2020.
- [27] R. E. Blerot, "VERSION 1 Dépôt légal: D/2019/1205/06," 2019.
- [28] M. H. Taktek, "Optimisation du traitement thermomécanique de pièces d'acier fabriquées par métallurgie des poudres," 2016.
- [29] A. Delmas, "Contribution à l'estimation de la durée de vie résiduelle des systèmes en présence d'incertitudes," Université de Technologie de Compiègne, 2019.
- [30] N. Miloudi, "Analyse de la durée de vie d'un réservoir surelevé à l'aide des approches paramétrique et fiabiliste," UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI OUZOU, 2024.
- [31] K. Yasser, "Évaluation des risques d'un stockage d'hydrocarbures: Dépôt d'hydrocarbures liquides SNDP," Université Virtuelle de Tunis, 2017.
- [32] N. UAZRAOUI, "Application des Techniques de l'Intelligence Artificielle aux Problèmes de Gestion des Risques Industriels," Université de Batna 2, 2014.
- [33] W. TAYEB CHERIF and H. KHITER, "Essai d'implantation d'un système de maintenance productive totale «TPM» au sein de la Raffinerie d'Alger «Sonatrach», " 2015.
- [34] Y. Kanoun, "Prédiction intelligente des défaillances dans les réseaux de tuyauterie," Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 2023.
- [35] A. Tegar and A. Dorbane, "Le Partenariat Etranger, Option Strategique Pour Le Developpement De Sonatrach," 2022.
- [36] O. KHAZANI, "TARITEMENT ET VERIFICATION DE LA QUALITE DE LA PRODUCTION DES HYDROCARBURES ET CES DERIVEES."
- [37] F. Teghlil, A. Laouira, and T. E. Hacib, "Scanner à flux de fuite magnétique pour l'inspection des tôles ferromagnétiques," Université de Jijel, 2021.
- [38] N. Charpentier, "Recyclage de déchets électroniques: tri et réutilisation," Université Paris-Saclay, 2024.
- [39] K. ARBADJI and Y. BRAHIMI, "Les outils de contrôle interne et l'étude Mécanique des pipelines," 2015.
- [40] N. CHENNAFI, F. OULD AMROUCHE, S. REZKIOUI, and B. SLIMANI, "Influence du phénotype parodontal sur l'évolution de la maladie parodontale," 2019.
- [41] R. GUELAI and A. BRIK, "Contribution à la maintenance d'une machine industrielle «convoyeur à bande», " 2022.
- [42] B. Ahmed and K. Hafida, "Modélisation du comportement à la déformation élastique des toles de constructions automobile," 2017.