الجمهـوريـــة الجزائـريـــة الديمقـراطيـــة الشـعبيـــة
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التـــعلـيـــم العـــالـــي والبـحـــث العـلمـــي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
جامعة وهران 2 محمد بن أ حمد
Universitéd'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

L'INSPECTION DES BACS DE STOCKAGE DES HYDROCARBURES

Présenté et soutenu publiquement par :
CHERFAOUI ASMAA

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Talbi Zahera	Pr.	IMSI	**Président**
Mme Lounis Zoubida	Pr.	IMSI	**Encadrant**
Mekkakia Mokhtaria	MCA	IMSI	**Examinateur**
Laid Zoubir	Ing.	SONATRACH	**Représentant Partenaire Socio-économique**

Année : 2025 – 2026

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu, le Tout-Puissant, pour m'avoir donné la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mes parents pour leur soutien constant, leurs encouragements et leur confiance tout au long de mon parcours.

J'adresse mes chaleureux remerciements à mon oncle **Marouane Cherfaoui** pour son aide précieuse, son soutien et ses encouragements tout au long de cette période.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrante Mme **Lounis Zoubida** pour son accompagnement, sa disponibilité et la qualité de ses conseils tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Mes sincères remerciements s'adressent aussi à l'ensemble du personnel de **SONATRACH,** et plus particulièrement à Monsieur **Laid Zoubir**, de la Région Transport Ouest, pour leur accueil, leur encadrement et les informations précieuses qu'ils m'ont apportées durant mon stage.

Je remercie les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

DÉDICACE

Je dédie ce travail

À ma maman –

Qui a semé en moi la douceur, arrosé ma force et veillé chaque nuit sur ma confiance.

Ma première école, mon premier amour.

Tout ce que je suis, je te le dois.

À mon papa –

Qui a construit ma sagesse brique par brique, murmuré ses conseils à mon oreille et tenu ma main sans jamais la lâcher.

Mon modèle de courage et de silence.

Merci d'avoir cru en moi, même quand je doutais.

À ma grand-mère –

Pour toutes ces après-midi passées à m'écouter parler de mes cours, sans jamais se lasser.

Ton soutien a été ma lumière.

À mes frères –

Mes gardiens, mes complices, mes racines et mes ailes.

À Fatima –

Ma sœur de cœur. Son soutien, son écoute et sa motivation m'ont portée plus haut.

À Leila –

Trésor d'amitié. Sa lumière discrète mais fidèle a éclairé mes silences.

À Houda –

Ma complice de toujours. Cinq ans de cours, de rires, de fatigue et de fierté partagée.

À Yacou –

Mon ancre dans la tempête, mon phare dans le brouillard.

Merci d'être cette force calme qui ne se raconte pas.

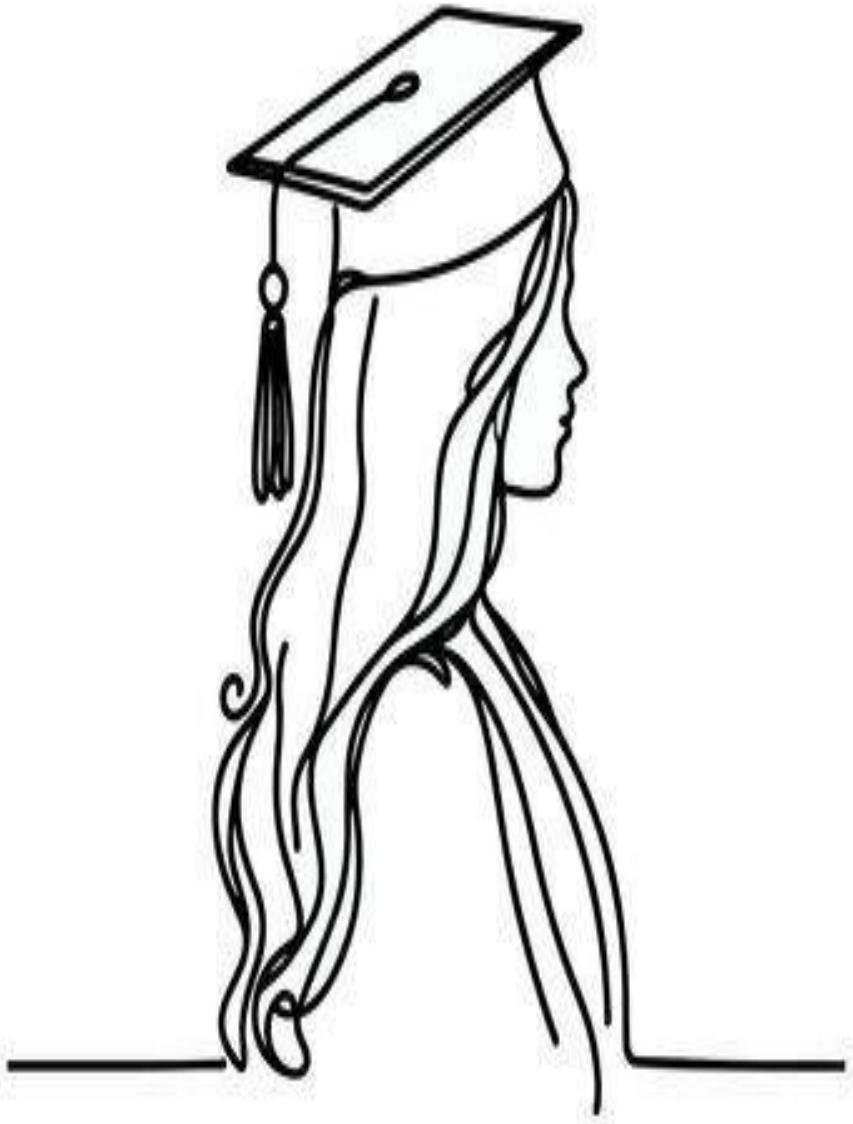
À Hadjer et Marwa –

Pour votre gentillesse et votre bonne humeur.

Vous n'êtes pas à la fin de ce mémoire.

Vous êtes tout au long.

Que chaque page tournée soit un hommage à vous.



RÉSUMÉ

Ce mémoire examine les généralités relatives aux bacs de stockage d'hydrocarbures, analyse leurs mécanismes de dégradation ainsi que les risques correspondants, détaille les méthodes d'inspection et de prévention, présente l'organisation de SONATRACH et de sa Région Transport Ouest, puis décrit l'inspection sur site des bacs 807 et 808, laquelle révèle plusieurs anomalies, permettant ainsi d'émettre des recommandations visant à garantir la sécurité des installations.

Mots-clés : Bac de stockage, hydrocarbures, inspection, risques, SONATRACH.

ABSTRACT

This thesis examines the general aspects of hydrocarbon storage tanks, analyzes their degradation mechanisms as well as the corresponding risks, details the inspection and prevention methods, presents the organization of SONATRACH and its Western Transport Region, and then describes the on-site inspection of tanks 807 and 808, which reveals several anomalies, thereby making it possible to issue recommendations aimed at ensuring the safety of the facilities.

Keywords : Storage tank, hydrocarbons, inspection, risks, SONATRACH.

الملخص

تهدف هذه المذكرة إلى دراسة الجوانب الأساسية المتعلقة بخزانات تخزين المواد الهيدروكربونية، من خلال استعراض خصائصها وتحليل آليات تدهورها والمخاطر التي قد تؤثر على سلامتها. كما تتناول مختلف تقنيات الفحص والصيانة الوقائية المعتمدة للحد من هذه المخاطر. إضافةً إلى ذلك، تقدم لمحة عن التنظيم الهيكلي لشركة سوناطراك ومنطقة النقل الغربي التابعة لها، قبل عرض نتائج الفحص الميداني للخزانين 807 و808. وقد مكّن هذا الفحص من الكشف عن عدد من الاختلالات، مما أسهم في وضع مجموعة من التوصيات الهادفة إلى تحسين مستوى السلامة وضمان موثوقية واستدامة المنشآت.

الكلمات المفتاحية: خزانات التخزين، المواد الهيدروكربونية، الفحص، المخاطر، سوناطراك.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements……I

Dédicace……II

Résumé……IV

Abstract……IV

الملخص……IV

Liste des figures……XI

Liste des tableaux……XIV

Abréviations……XV

Introduction générale……1

Chapitre 1 : Généralités sur les bacs de stockage

1.0 Introduction……2
1.1 Généralités sur les bacs de stockage……2
1.1.1 Définition générale d'un bac de stockage d'hydrocarbures……3
1.1.2 Son rôle dans l'industrie pétrolière……3
1.1.3 Importance stratégique du stockage……4
1.1.4 But du stockage……5
1.2 Types de bacs de stockage……5
1.2.1 Réservoirs à toit fixe……5
1.2.2 Réservoirs à toit flottant ……6
1.2.2.1 Réservoirs à toit flottant externe……8
1.2.2.2 Réservoirs à toit flottant interne……8
1.3 Composants principaux d'un bac……9
1.3.1 La robe……9
1.3.2 La virole……10
1.3.3 Le fond……10
1.3.4 L'assise……11
1.3.5 Le toit……11
1.3.6 La ceinture……11
1.3.7 La cuvette de rétention……12

1.4 Accessoires des bacs de stockage……..…..12
1.4.1 Accessoires de lutte contre la surpression……..……12
1.4.1.1 Les évents…….....……12
1.4.1.2 Les soupapes…….…….13
1.4.2 Accessoires de lutte contre l'incendie……..……..13
1.4.2.1 La couronne de mousse…….…13
1.4.2.2 La couronne d'eau de refroidissement……14
1.4.2.3 Cuvette de rétention……...…….15
1.4.3 Accessoires de mesure de niveau……...……15
1.4.4 Accessoires de visite et nettoyage……..16
1.4.5 Accessoires de réchauffage……..…….17
1.4.6 Accessoires de sécurité……...……...17
1.4.6.1 Détecteur infrarouge de flamme…….17
1.4.6.2 Détecteurs de température de type thermostatique ou thermo vélocimétrique……..…….18
1.4.6.3 Mise à la terre des réservoirs……..18
1.4.6.4 Regard d'évacuation……...……19
1.4.7 Accessoires de protection contre la corrosion……..…….....19
1.5 Classification des réservoirs…….20
1.5.1 Classification selon la pression……..20
1.5.2 Classification selon la nature du toit……..20
1.5.3 Classification selon la capacité……..20
1.5.3.1 Réservoirs de stockage……...20
1.5.3.2 Réservoirs d'exploitation……..……..21
1.6 Risques liés aux bacs de stockage……..……...21
1.6.1 Incendie…….21
1.6.2 Explosion (UVCE)……...…….21
1.6.2.1 Conditions d'explosion……..21
1.6.3 Flash Fire (feu éclair)…….22
1.6.4 Pool Fire (feu de nappe)…….22
1.6.5 Dispersion de nuage inflammable……...……..23
1.6.6 BLEVE……..……....23
1.6.6.1 Trois conditions sont nécessaires pour qu'il y ait un BLEVE…….23
1.6.6.2 Les effets peuvent être quantifiés……...……24
1.6.7 Boil-over……...……24
1.6.8 Effets domino……25
1.6.9 Jet fire (jet de feu)……..……25

1.7 Causes et conséquences des risques (Tableau synthétique)……..…26
1.8 Conclusion……...27

Chapitre 2 : Mécanismes de dégradation et analyse des risques des bacs de stockage

2.0 Introduction……..…28
2.1 Mécanismes de dégradation des bacs de stockage……....28
2.1.1 La corrosion……..……28
2.1.2 La corrosion externe……..29
2.1.3 La corrosion interne……...30
2.1.4 La fissuration……...……..31
2.1.5 Déformation…….....32
2.1.6 Tassement……32
2.2 Causes des dégradations……...34
2.2.1 Amincissement du métal……...34
2.2.2 Imperfections de soudure…….…34
2.2.3 Rupture fragile……..35
2.2.4 Conditions d'exploitation…….…35
2.3 Conséquences des dégradations……...……35
2.3.1 Perte d'épaisseur……...……..35
2.3.2 Zones localement amincies……...35
2.3.3 Piqûres de corrosion (pitting)…….....36
2.3.4 Fuites……36
2.3.5 Défaillance des soudures……...36
2.3.6 Rupture fragile……..37
2.3.7 Non-conformité du réservoir……37
2.3.8 Nécessité de réparation……..37
2.3.9 Renforcement de l'inspection……...…..…37
2.4 L'impact des dégradations et des défaillances……...37
2.4.1 Exploitation……...38
2.4.2 Environnemental……...38
2.4.3 Financement……..38
2.5 Conclusion……...39

Chapitre 3 : Inspection et prévention des risques

3.0 Introduction……..…40
3.1 Objectif de l'inspection……..…...40

3.2 Types d'inspection des installations de stockage……..…40
3.2.1 Visite de routine……....40
3.2.2 Inspection externe……41
3.2.2.1 Échelles et escaliers……....41
3.2.2.2 Plateformes et passerelles……..……42
3.2.2.3 Fondation du réservoir……42
3.2.2.4 Projection des plaques annulaires…….……...42
3.2.2.5 Boulons d'ancrage……..42
3.2.2.6 Connexion de mise à la terre……...43
3.2.2.7 Revêtement protecteur……...43
3.2.2.8 Coque du réservoir……43
3.2.2.9 Toit du réservoir……43
3.2.3 Requalification périodique…….....44
3.3 Techniques d'inspection……...…44
3.3.1 Contrôle visuel (VT)……45
3.3.2 Contrôle par ultrasons (UT)……...45
3.3.3 Flux de fuite magnétique (MFL)……46
3.3.4 Ressuage (PT)……...47
3.3.5 Magnétoscopie (MT)…….…47
3.3.6 Radiographie (RT)……48
3.3.7 Boîte à vide (VB)……...49
3.3.8 Activités complémentaires……....49
3.3.8.1 Inspection du revêtement (Coating)……....49
3.3.8.2 Surveillance de la protection cathodique……..…..49
3.4 Conditions de sécurité……..50
3.5 Recommandations générales d'inspection……....50
3.6 Intervalle d'inspection des installations de stockage……51
3.6.1 Une inspection périodique…….....52
3.6.2 Une inspection externe……..52
3.6.3 Une requalification périodique…….….52
3.7 Conclusion……..……..…...52

Chapitre 4 : Présentation de l'entreprise SONATRACH

4.0 Introduction……..53
4.1 Présentation de la SONATRACH……53
4.2 Organigramme de SONATRACH……....54

4.3 Présentation de l'activité Transport par Canalisation (TRC) ……....54
4.4 Organigramme de la TRC…….....55
4.5 Les missions de l'activité TRC……..55
4.6 Présentation de la Région Transport Ouest (RTO) ……..……....57
4.7 Organigramme de la RTO…….....58
4.8 Les activités de la RTO…….58
4.9 Département HSE…….....59
4.10 Le service prévention…….59
4.11 Le service intervention……...60
4.12 Le service santé-environnement…….....60
4.13 Le service contrôle réglementaire et conformité des installations (CRCI) ……....61
4.14 Conclusion……..……61

Chapitre 5 : Inspection des bacs de stockage des hydrocarbures – Cas pratique des bacs 807 et 808

5.0 Introduction……..……62
5.1 Rapport d'inspection périodique……..……62
5.1.1 Pourquoi cette inspection ?.....62
5.2 Présentation des bacs inspectés……....62
5.2.1 Bac 807……..62
5.2.2 Bac 808……..63
5.3 Méthodologie employée……...63
5.4 AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) ……63
5.4.1 Fonctions principales…….…….…..63
5.4.2 Grille de criticité utilisée……..……64
5.4.3 Tableau AMDEC détaillé……..……64
5.4.4 Synthèse des niveaux de criticité…….69
5.5 Inspection du bac 807…….……...69
5.5.1 Fiche d'inspection 1 (bac 807) …….……...69
5.5.2 Résultats de l'inspection – Bac 807……..…….82
5.5.2.1 Anomalies constatées (par niveau de criticité) ……...82
5.5.2.2 Aspects favorables…….84
5.5.2.3 Évaluation générale……..……..84
5.6 Inspection du bac 808…….……..88
5.6.1 Fiche d'inspection 2 (bac 808) …….……..88
5.6.2 Résultats de l'inspection – Bac 808……..101

5.6.2.1 Anomalies constatées (par niveau de criticité) ……..101
5.6.2.2 Aspects favorables……..101
5.6.2.3 Évaluation générale……..……102
5.7 Recommandations issues de l'inspection périodique……..105
5.7.1 Pour le bac 807……....105
5.7.2 Pour le bac 808……....106
5.7.3 Communs aux deux bacs……106
5.8 Analyse comparative des deux bacs (Tableau synthétique) ……..….106
5.9 Synthèse et perspectives……..……...107
5.9.1 Bac 807……..….107
5.9.2 Bac 808……..……..…….107
5.10 Conclusion du chapitre……109

Conclusion générale……..……109

Bibliographie……..…111

LISTE DES FIGURES

Figure 1:1 Coupe simplifiée d'un bac de stockage [1] 3
Figure 1:2 Réservoir à toit fixe [3] 5
Figure 1:3 Dessin d'un bac à toit flottant [10] 6
Figure 1:4 Réservoir à toit flottant [9] 7
Figure 1:5 Réservoir à toit flottant externe [3] 8
Figure 1:6 Réservoir à toit flottant interne [3] 8
Figure 1:7 Bac à toit flottant interne [10] 9
Figure 1:8 Composants principaux d'un bac [2] 9
Figure 1:9 La robe [11] 10
Figure 1:10 Fond de réservoir [11] 10
Figure 1:11 Fond d'un bac a toit flottant 11
Figure 1:12 La ceinture de renforcement. [10] 11
Figure 1:13 Vue du bac à toit flottant : cuvette de rétention [10] 12
Figure 1:14 Les évents du bac [9] 12
Figure 1:15 Refroidissement d'un bac avec les accessoires de lutte contre l'incendie 13
Figure 1:16 Couronnes de mousse [9] 13
Figure 1:17 Un test des couronnes de mousse 14
Figure 1:18 Système d'eau de refroidissement [9] 14
Figure 1:19 Un test de la couronne de refroidissement 15
Figure 1:20 Cuvette de rétention [9] 15
Figure 1:21 Indicateur de niveau [9] 16
Figure 1:22 Trou d'homme [9] 16
Figure 1:23 Escalier et échelle [9] 17
Figure 1:24 Détecteur de flamme [9] 18
Figure 1:25 Détecteur de température [9] 18
Figure 1:26 Regard d'évacuation [9] 19
Figure 1:27 La protection des bacs contre la corrosion [2] 19
Figure 1:28 Exemple d'un incendie dans un bac de stockage [9] 21
Figure 1:29 Exemple d'un accident dû à une explosion [9] 22

Figure 1:30 Vue d'un UVCE (Buncefield, Royaume-Uni 2005) [3] 23

Figure 1:31 BLEVE de Feyzin (France1966) [3] 24

Figure 1:32 Boil-over Skikda (Algérie, 2005) [3] 24

Figure 1:33 Phénomène de boil-over [9] 25

Figure 1:34 Vue de l'accident de jet de feu de Ghislenghien (Belgique, 2004) [3] 26

Figure 2:1 Exemple de corrosion d'un bac de stockage (cas du dépôt de stockage de Sidi Rcine– Alger) [3] 28

Figure 2:2 Corrosion d'un bac de stockage 29

Figure 2:3 Les dégradations de corrosion dans les réservoirs de stockage.[10] 30

Figure 2:4 Corrosion interne du fond de réservoir. [11] 30

Figure 2:5 Fissuration.[3] 31

Figure 2:6 Déformation d'un bac à Rincon de los Sauces, 2006 à cause du vent [3] 32

Figure 2:7 Tassement dû au tremblement de terre d'Izmit, (Turquie 1999) (Partie, 2014) [3] 33

Figure 2:8 Tassement dû au tremblement de terre d'Emilia (Italie 2012) (Brunesi et al., 2015) [3] 33

Figure 2:9 Défaillances des soudures [10] 34

Figure 3:1 La méthode d'inspection visuelle. [10] 45

Figure 3:2 Mesure d'épaisseur par ultrasons. [10] 46

Figure 3:3 Appareil de contrôle par fuite de flux magnétique 46

Figure 3:4 Principe de fonctionnement de MFL. [10] 47

Figure 3:5 Principe de fonctionnement par ressuage. [10] 47

Figure 3:6 La Magnétoscopie. [10] 48

Figure 3:7 Principe de fonctionnement de la Magnétoscopie. [10] 48

Figure 4:1 Organigramme général de SONATRACH [17] 54

Figure 4:2 Carte du réseau de canalisation de l'activité Transport par Canalisation (TRC) [17] 54

Figure 4:3 Organigramme de la TRC [17] 55

Figure 4:4 Schéma de positionnement du transport par canalisations dans la chaîne des hydrocarbures [17] 56

Figure 4:5 Organigramme de la Région Transport Ouest (RTO) [17] 57

Figure 4:6 Patrimoine de la Région Transport Ouest (RTO) [17] 58

Figure 4:7 Organigramme du département Hygiène, Sécurité, Environnement (HSE) de la RTO [17] 58

Figure 5:1 Vue générale du bac 807 69

Figure 5:2 Fiche technique dégradée du bac 807.....84
Figure 5:3 Décollement de peinture 85
Figure 5:4 Oxydation de l'échelle roulante et présence de brut..... 85
Figure 5:5 Corrosion de la passerelle 85
Figure 5:6 Trous de grand diamètre dans la passerelle..... 86
Figure 5:7 L'évacuation des eaux pluviales est bouchée.....86
Figure 5:8 Toit encombré d'objets et présence de sable..... 86
Figure 5:9 Flaques d'eau stagnante sur le toit et traces de pétrole..... 87
Figure 5:10 Trou d'homme non boulonné 87
Figure 5:11 Mauvaise fixation câble FGD 88
Figure 5:12 Vue générale du bac 808 88
Figure 5:13 Les caissons sont neufs mais manquent de numérotation..... 102
Figure 5:14 Dispositifs neufs et propres..... 103
Figure 5:15 Toit non encombré et absence de traces de fuite..... 103
Figure 5:16 Échelle sécurisée 104
Figure 5:17 Absence de câble thermosensible.....104

LISTE DES TABLEAUX

Table 1:1 Synthèse des causes et conséquences des principaux risques liés aux bacs de stockage [3] 26

Table 2:1 Causes et conséquences des principaux mécanismes de dégradation des bacs de stockage [3] 33

Table 3:1 Application des méthodes de contrôle non destructif (CND) selon les zones du réservoir : [13] 49

Table 5:1 Grille de criticité utilisée 64

Table 5:2 Tableau AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) 64

Table 5:3 Synthèse comparative des anomalies et de l'état des bacs 807 et 808 106

ABRÉVIATIONS

Chapitre 1 : Généralités sur les bacs de stockage

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié.

BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion.

LIE : Limite Inférieure d'Explosivité.

UVCE : Unconfined Vapour Cloud Explosion.

ISO : International Organization for Standardization.

Chapitre 2 : Mécanismes de dégradation et analyse des risques des bacs de stockage

UAE : United Arab Emirates (Émirats arabes unis).

Chapitre 3 : Inspection et prévention des risques

API : American Petroleum Institute.

CND : Contrôle Non Destructif.

VT : Contrôle visuel (Visual Testing).

UT : Ultrasons (Ultrasonic Testing).

MFL : Magnetic Flux Leakage (Flux de fuite magnétique).

PT : Ressuage (Penetrant Testing).

MT : Magnétoscopie (Magnetic Testing).

RT : Radiographie (Radiographic Testing).

VB : Boîte à vide (Vacuum Box).

DFT : Dry Film Thickness (Épaisseur du film sec).

HSE : Hygiène, Sécurité, Environnement.

GB : Groupement Berkine.

Chapitre 4 : Présentation de l'entreprise

SONATRACH : Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures.

TRC : Transport par Canalisation.

LQS : Liquéfaction et Séparation.

RPC : Raffinage et Pétrochimie.

COM : Commercialisation.

GNL : Gaz Naturel Liquéfié.

RTO : Région Transport Ouest.

CRCI : Contrôle Réglementaire et Conformité des Installations.

BRQ : Bulletin de Reporting Quotidien.

Chapitre 5 : Inspection des bacs de stockage des hydrocarbures – Cas pratique des bacs 807 et 808

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité.
G : Gravité.
O : Occurrence.
D : Détection.

C : Criticité.

ATEX : Atmosphères Explosives.

EP : Eaux Pluviales.

MALT : Mise À La Terre.

LEP : Liaison Équipotentielle.

USD : Unité de Stockage et Distribution (centrale à mousse).

FGD : Fire Gas Detection (câble de détection incendie).

NC : Non concerné.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le stockage des hydrocarbures représente une étape déterminante dans la chaîne pétrolière, permettant de réguler les flux, d'assurer la continuité des livraisons et de constituer des réserves stratégiques. Toutefois, les réservoirs de stockage, bien que nécessaires, présentent un danger important en raison de la nature inflammable des substances qu'ils contiennent, les exposant à des risques d'incendie, d'explosion et de pollution environnementale.

Face à cette situation, une question centrale se pose : comment assurer l'intégrité et la sécurité de ces installations critiques tout au long de leur existence ?

La solution repose sur une inspection rigoureuse et régulière, seul moyen capable de détecter précocement l'ensemble des processus de dégradation susceptibles d'affecter les réservoirs, quels que soient leur type et leur cause.

L'objectif de ce mémoire est triple : scientifique, via l'analyse des techniques de contrôle ; pratique, à travers une étude de cas concrète menée à la Région Transport Ouest (RTO) de SONATRACH sur les bacs 807 et 808 ; et environnemental, en contribuant à la prévention des pollutions et des accidents.

Pour traiter cette problématique, ce travail se structure en cinq chapitres : les deux premiers établissent le contexte général des bacs de stockage et examinent leurs modes de dégradation ainsi que les risques associés ; le troisième chapitre aborde l'inspection et la prévention des risques ; le quatrième décrit l'environnement industriel de SONATRACH et de la Région Transport Ouest ; enfin, le cinquième chapitre applique l'ensemble des connaissances à l'inspection sur le terrain des bacs 807 et 808, permettant de repérer les anomalies et de proposer des recommandations opérationnelles.

Ainsi, ce mémoire montre que l'inspection des bacs de stockage ne peut être considérée comme une simple formalité administrative : elle constitue le dernier rempart avant l'incident et l'élément central d'une stratégie efficace de prévention des risques.

CHAPITRE 1 : Généralités sur les bacs de stockage

CHAPITRE 1 : Généralités sur les bacs de stockage

1.0 Introduction

Le stockage des hydrocarbures constitue une phase essentielle au sein de la filière pétrolière, assurant la continuité de l'approvisionnement en produits et l'ajustement des flux entre la production, le transport et la distribution. Les réservoirs de stockage jouent à cet égard un rôle stratégique en préservant d'importants volumes de matières inflammables dans des conditions conformes aux impératifs opérationnels.

Toutefois, la manipulation et la conservation de ces produits comportent des risques majeurs, principalement liés à leurs caractéristiques physico-chimiques. Des événements tels que des incendies, des explosions ou des déversements peuvent entraîner des impacts sévères sur les infrastructures, l'environnement et la sécurité des individus. Il apparaît dès lors fondamental de maîtriser une connaissance approfondie de ces équipements et des défis qui y sont rattachés.

Dans cette perspective, le présent chapitre vise à éclairer les dimensions cruciales relatives aux réservoirs de stockage, permettant ainsi d'en saisir pleinement l'importance et les enjeux qui en découlent.

1. 1 Généralités sur les bacs de stockage

Les bacs de stockage des hydrocarbures jouent un rôle essentiel dans l'industrie pétrolière et pétrochimique. Ils permettent d'assurer le stockage sécurisé de grandes quantités de produits inflammables tels que le pétrole brut, l'essence ou le diesel, garantissant ainsi la continuité de l'approvisionnement, la régulation des flux de production et la stabilité des opérations industrielles.

Cependant, ces installations présentent une dangerosité élevée en raison des propriétés physico-chimiques des hydrocarbures. Les principaux risques incluent les incendies (feux de nappe, feux de réservoir), les explosions dues à la formation de mélanges air-vapeur inflammables, ainsi que les fuites pouvant entraîner des pollutions environnementales importantes. De plus, des phénomènes critiques comme le boilover, le BLEVE ou la corrosion des parois peuvent aggraver les accidents.

Ainsi, la gestion des bacs de stockage nécessite des mesures strictes de sécurité, incluant la surveillance continue, la maintenance préventive, les systèmes de protection incendie et le respect des normes industrielles, afin de réduire les risques pour les personnes, les installations et l'environnement.

1.1.1 Définition générale d'un bac de stockage d'hydrocarbures

Un bac de stockage est un réservoir cylindrique et vertical conçu pour stocker les hydrocarbures liquides. [1] [18]

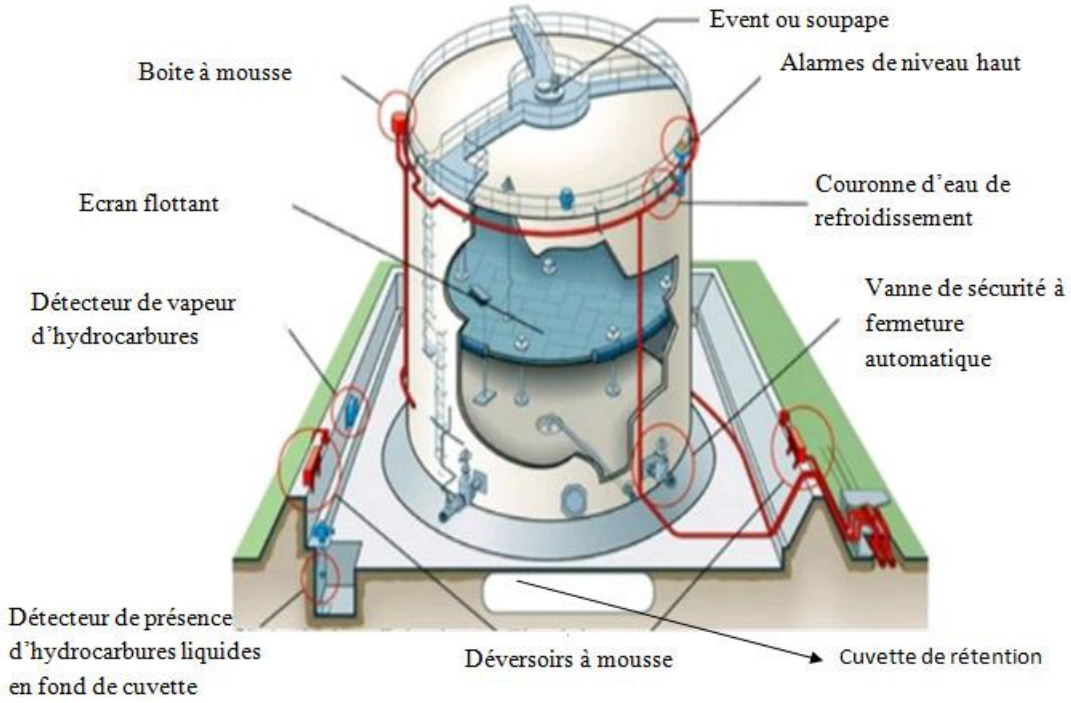


Figure 1:1 Coupe simplifiée d'un bac de stockage [1]

1.1.2 Son rôle dans l'industrie pétrolière

Le stockage des hydrocarbures joue plusieurs rôles dans la chaîne énergétique :

- Il permet de réguler l'équilibre offre-demande en lissant les fluctuations de la consommation, notamment celles induites par les aléas climatiques et les variations saisonnières.

- Il constitue un tampon face aux aléas susceptibles d'affecter la production, le transport ou le raffinage, garantissant ainsi la continuité des approvisionnements.
- Il participe au maintien de l'autonomie énergétique en autorisant la constitution de réserves stratégiques mobilisables en période de nécessité.
- Il intervient à chaque étape du circuit pétrolier, de l'extraction à la distribution finale.
- Il structure l'organisation logistique du secteur au travers d'installations implantées à proximité des sites de production, aux extrémités des oléoducs, dans les terminaux pétroliers et près des raffineries.
- Il permet la conservation de divers produits, depuis le pétrole brut jusqu'aux produits intermédiaires et finis, avant leur commercialisation. [2]

1.1.3 Importance stratégique du stockage

Le stockage des hydrocarbures joue un rôle important dans les domaines tels que la fabrication, la consommation et le raffinage. Il permet de gérer les variations de l'offre et de la demande, causées par des problèmes de production, de transport ou les conditions climatiques, et le stockage des hydrocarbures n'est pas confiné seulement aux zones de production

Voici quelques exemples qui montrent l'importance de son rôle :

- Sans réserves suffisantes d'hydrocarbures les centrales électriques risquent des arrêts, donc la disponibilité permanente de ces derniers est essentielle pour garantir le bon fonctionnement.
- Laisser le produit au repos pour séparer les éléments avant son utilisation.
- Vérifier la qualité des produits avant de les envoyer.
- L'élimination naturelle des gaz indésirables.
- Permet aux usines de fonctionner sans arrêt en gardant un stock suffisant d'hydrocarbures.
- La continuité des activités grâce à un stockage constant.
- Permettre aux pays consommateurs non producteurs d'avoir des réserves d'au moins trois mois.
- Regrouper les productions de plusieurs champs pour transporter de grandes quantités. [3]

1.1.4 But du stockage

- Le stockage garantit un approvisionnement régulier en hydrocarbures malgré les interruptions de production ou de transport.
- Le stockage permet le dégazage naturel et le traitement des produits pour réduire les risques d'incendie et de corrosion.
- Il facilite l'organisation du transport en adaptant les volumes et en assurant des livraisons constantes.
- Il permet de stabiliser les produits pour assurer leur qualité avant de les envoyer.
- Il facilite le traitement et la décantation des hydrocarbures, car les réservoirs permettent de séparer les impuretés avant l'expédition. [7] [10]

1.2 Types de bacs de stockage

1.2.1 Réservoirs à toit fixe

Les produits à faible volatilité sont généralement stockés dans des réservoirs à toit fixe.
Ce type de réservoir est conçu avec un toit fixe qui recouvre complètement la partie supérieure et empêche l'entrée des éléments extérieurs comme la pluie et la poussière ce qui protège la qualité du produit.
De plus, cette conception confère au réservoir une meilleure robustesse structurelle, améliorant ainsi la sécurité globale des installations. Elle permet également un contrôle plus efficace des conditions de stockage, notamment en limitant les pertes et les contaminations. [3]



Figure 1:2 Réservoir à toit fixe [3]

1.2.2 Réservoirs à toit flottant

Dans un réservoir à toit flottant, le toit constitue une surface mobile reposant sur la surface du produit stocké et évoluant avec son niveau, qu'il augmente ou diminue. Un espace annulaire est aménagé entre le toit et la virole du réservoir afin de permettre ce mouvement vertical. Cet espace est équipé d'un système de joints souples assurant l'étanchéité et limitant les pertes par évaporation des composés organiques volatils.

Ces réservoirs se déclinent généralement en deux types principaux : à toit flottant externe ou à toit flottant interne. [3] [18]

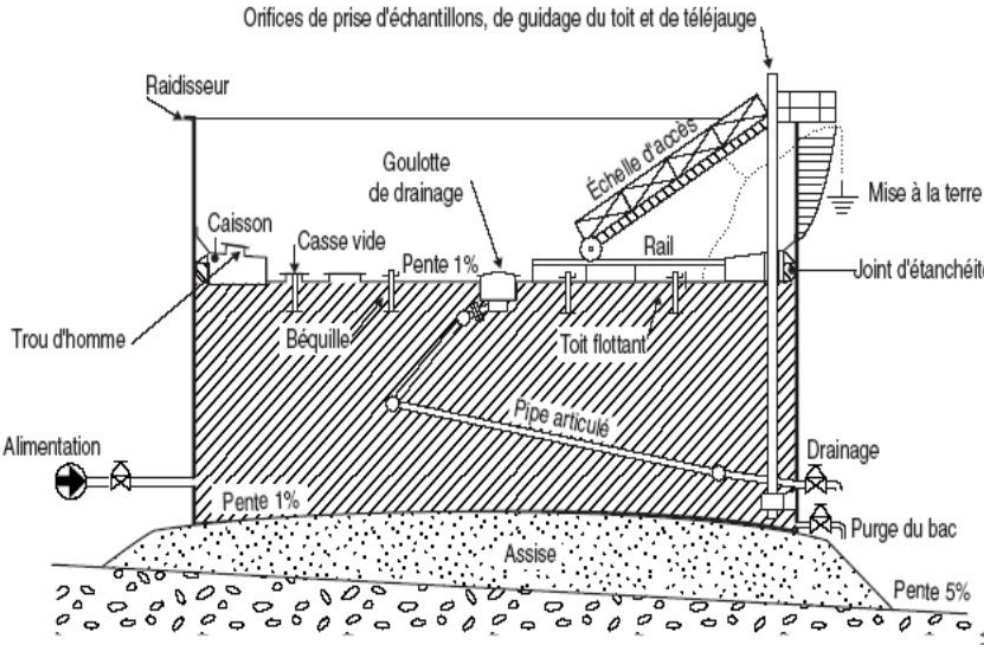


Figure 1:3 Dessin d'un bac à toit flottant [10]

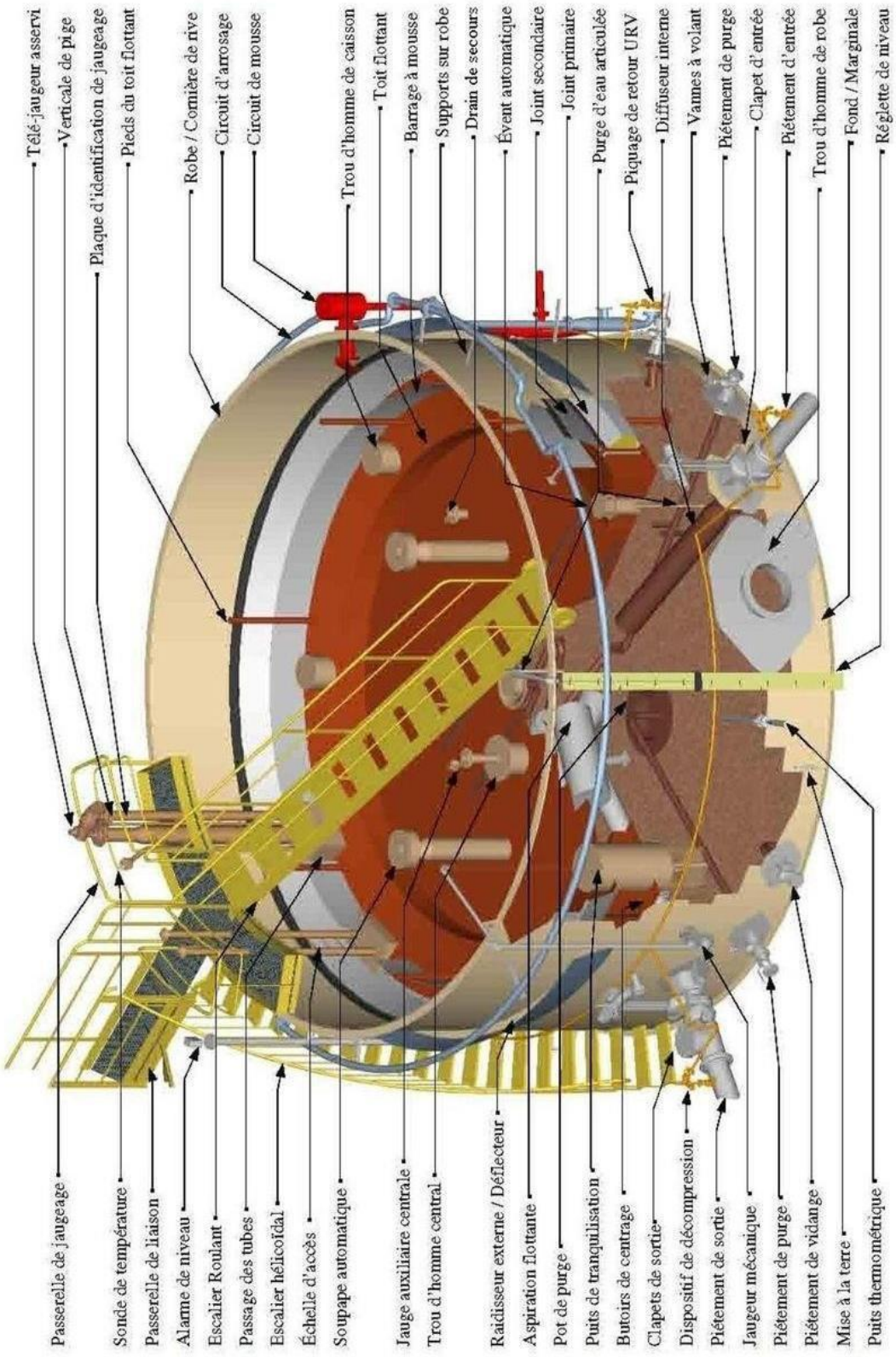


Figure 1:4 Réservoir à toit flottant [9]

1.2.2.1 Réservoirs à toit flottant externe

Ce réservoir est constitué d'une cuve ouverte recouverte d'un toit qui flotte directement sur le liquide, il élimine presque tout espace de vapeur.

Cela permet de limiter les pertes par évaporation et de minimiser les risques d'incendie. [3]



Figure 1:5 Réservoir à toit flottant externe [3]

1.2.2.2 Réservoirs à toit flottant interne

Il s'agit de réservoirs à toit fixe équipés d'un toit flottant interne, également appelé écran flottant. Le toit fixe peut être soit de type soutenu, reposant sur des piliers verticaux situés à l'intérieur du réservoir, soit autoportant, sans support interne. Lorsque la structure comporte des poteaux, ceux-ci traversent le toit flottant à travers des puits spécialement conçus, munis de dispositifs d'étanchéité afin de limiter les fuites de vapeurs.

Ces réservoirs sont particulièrement adaptés au stockage de produits volatils, car ils permettent de réduire significativement les pertes par évaporation, de préserver la qualité et la pureté des produits stockés, tout en minimisant les émissions de vapeurs dans l'atmosphère. [3] [19]

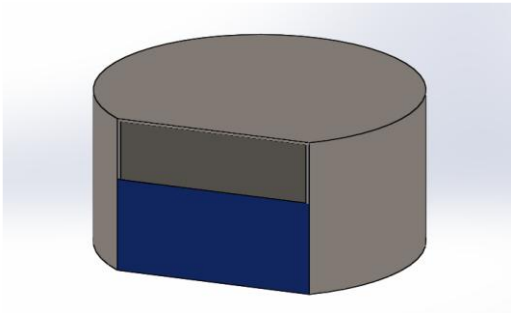


Figure 1:6 Réservoir à toit flottant interne [3]

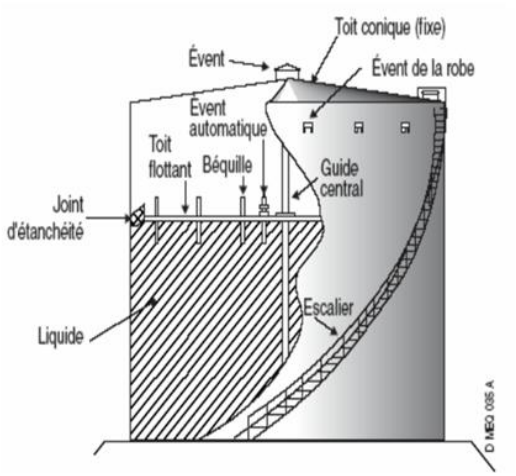


Figure 1:7 Bac à toit flottant interne [10]

1.3 Composants principaux d'un bac

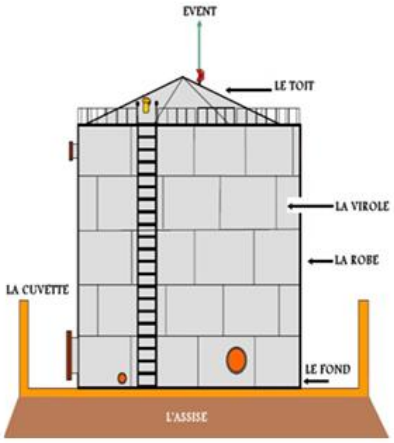


Figure 1:8 Composants principaux d'un bac [2]

Un bac de stockage des hydrocarbures est constitué de plusieurs éléments essentiels assurant sa résistance mécanique, son étanchéité et sa sécurité d'exploitation. Les principaux composants sont les suivants : [7]

1.3.1 La robe : Elle est constituée d'une paroi verticale formée de tôles cintrées selon le diamètre du réservoir et assemblées par soudage afin de former des viroles cylindriques, conformément aux exigences de la norme API 650. [7] [18]

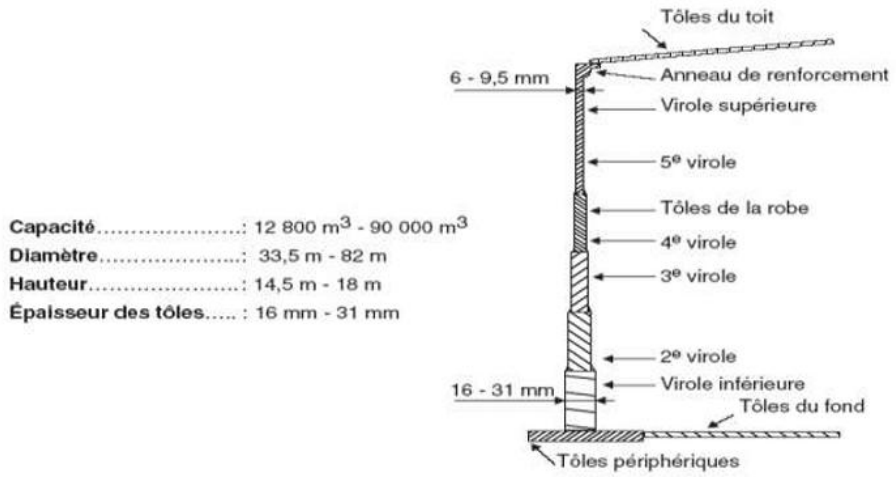


Figure 1:9 La robe [11]

1.3.2 La virole : Il s'agit d'un élément annulaire constitué de tôles métalliques assemblées. L'empilement successif de ces viroles forme la robe du réservoir et assure sa résistance mécanique ainsi que sa tenue aux contraintes internes. [7]

1.3.3 Le fond : C'est le bas du réservoir, il est constitué d'un assemblage de tôles soudées. [7] [18] [6]

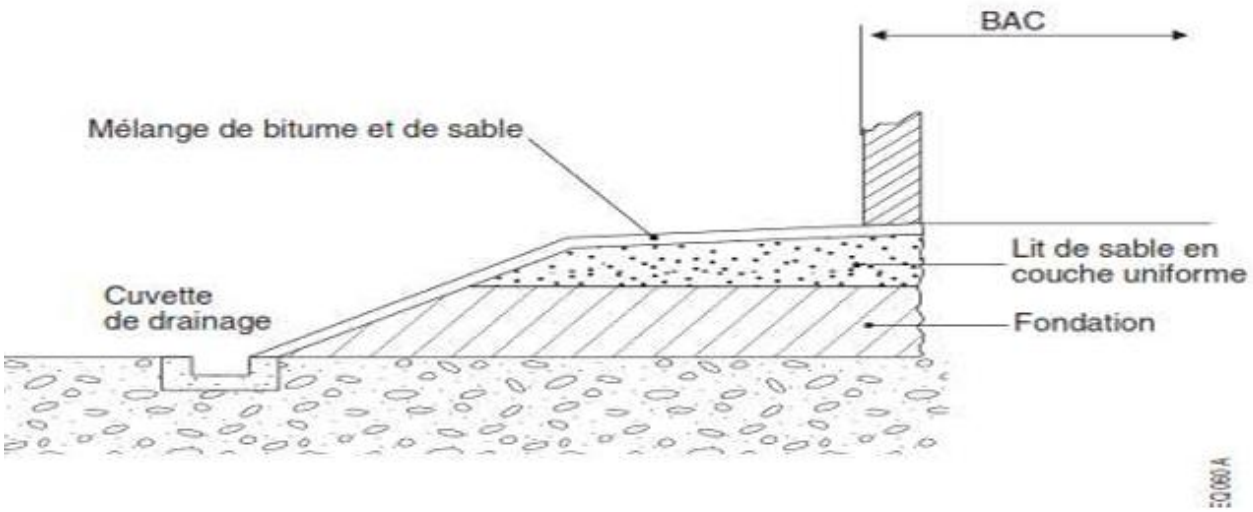


Figure 1:10 Fond de réservoir [11]



Figure 1:11 Fond d'un bac à toit flottant

1.3.4 L'assise : Il s'agit de la structure de support sur laquelle repose le réservoir. Elle assure la stabilité de l'ensemble et la répartition des charges vers le sol. [7] [6]

1.3.5 Le toit : Il constitue la partie supérieure du réservoir et est réalisé par l'assemblage de tôles métalliques. Il peut être de type fixe ou flottant, selon la nature du produit stocké et les exigences d'exploitation et de sécurité. [7] [18]

1.3.6 La ceinture : Les ceintures de renforcement constituent un élément essentiel pour tous les types de réservoirs, garantissant le maintien de leur forme cylindrique, en particulier lors de l'exposition à des vents violents. Pour les réservoirs à toit fixe, les tôles de couverture reposent et sont directement fixées sur cette ceinture de renforcement. Concernant les réservoirs à toit flottant, cette ceinture remplit une fonction cruciale en contenant la déformation des parois et en préservant la stabilité de l'ensemble de la structure. [10]

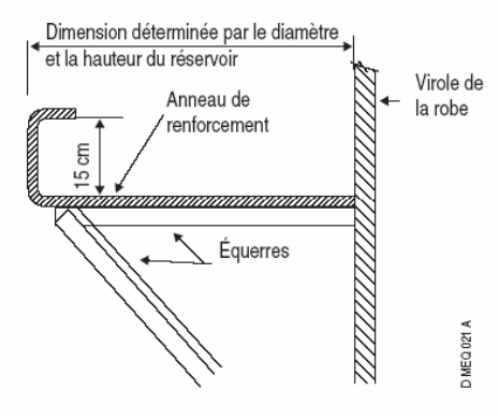


Figure 1:12 La ceinture de renforcement [10]

1.3.7 La cuvette de rétention : Il s'agit d'un espace de rétention aménagé autour d'un ou de plusieurs bacs de stockage, destiné à contenir les produits en cas de fuite ou de déversement accidentel, afin de limiter les risques de pollution et de propagation d'incendie. [7]



Figure 1:13 Vue du bac à toit flottant : cuvette de rétention [10]

1.4 Accessoires des bacs de stockage

1.4.1 Accessoires de lutte contre la surpression

1.4.1.1 Les évents : il s'agit d'ouvertures permanentes situées dans la partie supérieure du réservoir. Leur rôle est de permettre l'évacuation des excès de vapeurs d'hydrocarbures, notamment lors des variations de température ou des périodes de forte chaleur, afin de maintenir une pression interne sécurisée. [1][6]



Figure 1:14 Les évents du bac [9]

1.4.1.2 Les soupapes : sont des dispositifs indépendants conçus pour libérer automatiquement l'excès de vapeur dès que la pression gazeuse à l'intérieur du réservoir dépasse la valeur critique, appelée pression de tarage. [1]

1.4.2 Accessoires de lutte contre l'incendie



Figure 1:15 Refroidissement d'un bac avec les accessoires de lutte contre l'incendie

1.4.2.1 La couronne de mousse : dispositif d'extinction spécifique aux feux d'hydrocarbures, permettant l'injection de mousse à la surface du produit afin d'étouffer les flammes en isolant le combustible de l'oxygène. [1] [19]



Figure 1:16 Couronnes de mousse [9]



Figure 1:17 Un test des couronnes de mousse

1.4.2.2 La couronne d'eau de refroidissement : système destiné à assurer le refroidissement du réservoir en cas d'incendie, en maintenant une température acceptable des parois et en limitant les risques de déformation ou de rupture. [1] [19]



Figure 1:18 Système d'eau de refroidissement [9]



Figure 1:19 Un test de la couronne de refroidissement

1.4.2.3 Cuvette de rétention : Enceinte de confinement entourant le réservoir, permettant de contenir les produits déversés ainsi que les effluents issus des opérations de lutte contre l'incendie, afin de limiter la propagation du sinistre. [1]



Figure 1:20 Cuvette de rétention [9]

1.4.3 Accessoires de mesure de niveau

Sur certains réservoirs (contenant du fioul ou du bitume), des dispositifs dénommés indicateurs de niveau à flotteur sont mis en place. Ces instruments offrent la possibilité de

visualiser directement, au moyen d'un index mobile positionné devant une échelle graduée fixée sur la paroi, la hauteur du produit stocké dans la cuve. [1]

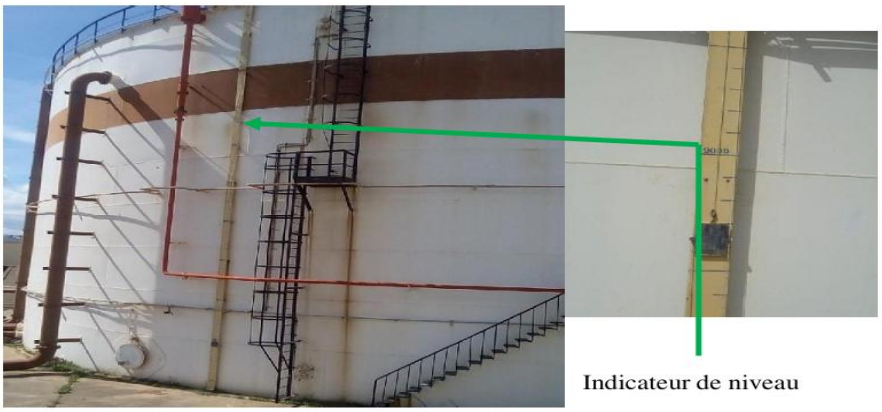


Figure 1:21 Indicateur de niveau [9]

1.4.4 Accessoires de visite et nettoyage

Ils regroupent l'ensemble des équipements facilitant l'accès au réservoir pour les opérations d'inspection, de maintenance et de nettoyage. Il s'agit notamment des escaliers, des échelles et des trous d'homme, qui permettent l'entrée sécurisée du personnel à l'intérieur du bac. [9]

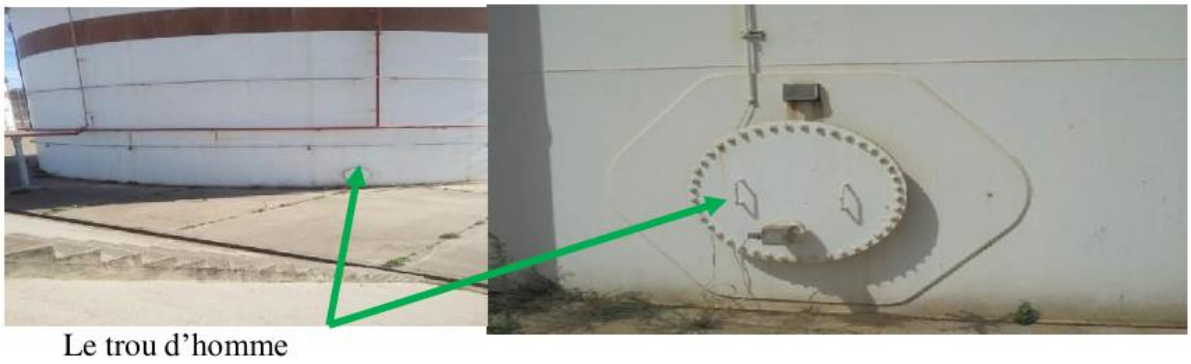


Figure 1:22 Trou d'homme [9]



Figure 1:23 Escalier et échelle [9]

1.4.5 Accessoires de réchauffage

Pour les fiouls, un dispositif de chauffage est installé, constitué de serpentins disposés au fond des réservoirs. En ce qui concerne le bitume, outre ce système de réchauffage, une isolation thermique est également prévue pour les cuves de stockage. [1]

1.4.6 Accessoires de sécurité

Les équipements de sécurité sont essentiels pour garantir une exploitation sécurisée du bac. Ces dispositifs comprennent :

1.4.6.1 Détecteur infrarouge de flamme : Les réservoirs peuvent être dotés de détecteurs de flamme à technologie infrarouge, qui fonctionnent de façon automatique. Ces capteurs assurent une détection rapide de la présence d'une flamme à proximité ou à l'intérieur du réservoir, ils déclenchent alors les systèmes d'alarme et, si nécessaire, les dispositifs de protection contre l'incendie. Leur action favorise une intervention précoce et la réduction des impacts d'un sinistre. [9] [19]



Figure 1:24 Détecteur de flamme [9]

1.4.6.2 Détecteurs de température de type thermostatique ou thermo-vélocimétrique : Ces dispositifs permettent d'identifier une élévation anormale de la température. Des détecteurs de température, étalonnés à 70 °C, peuvent être installés autour du réservoir afin d'assurer une détection précoce d'un échauffement anormal. Dans certaines configurations, quinze (15) détecteurs peuvent être répartis autour du réservoir. [9] [19]



Figure 1:25 Détecteur de température [9]

1.4.6.3 La mise à la terre des réservoirs a pour principal objectif de dévier vers le sol les courants de foudre, les courants de haute intensité résultant d'un défaut d'isolation du réseau électrique, ainsi que les charges électrostatiques produites par l'écoulement du produit le long des parois. Afin de garantir cette protection contre les phénomènes électriques, les réservoirs sont munis d'un dispositif de mise à la terre relié à la structure métallique du réservoir et connecté au réseau de terre. [9] [19]

1.4.6.4 Regard d'évacuation : L'évacuation des eaux de purge s'effectue généralement au moyen de pompes mobiles connectées à des réseaux de drainage. [9]



Figure 1:26 Regard d'évacuation [9]

1.4.7 Accessoires de protection contre la corrosion

La préservation des réservoirs face à la corrosion s'appuie sur des techniques multiples et complémentaires. En interne, le fond n'est généralement pas équipé d'une protection cathodique ; il est plutôt recouvert d'une couche de résine époxy pour résister à la corrosion interne induite par la composition chimique du produit stocké, en particulier sa concentration en sels et en soufre.

En externe, la protection est assurée par un soutirage de courant, intégré au dispositif de protection cathodique. Cette dernière vient en complément d'une protection passive obtenue par l'application d'un revêtement de peinture sur les surfaces du réservoir. [9]

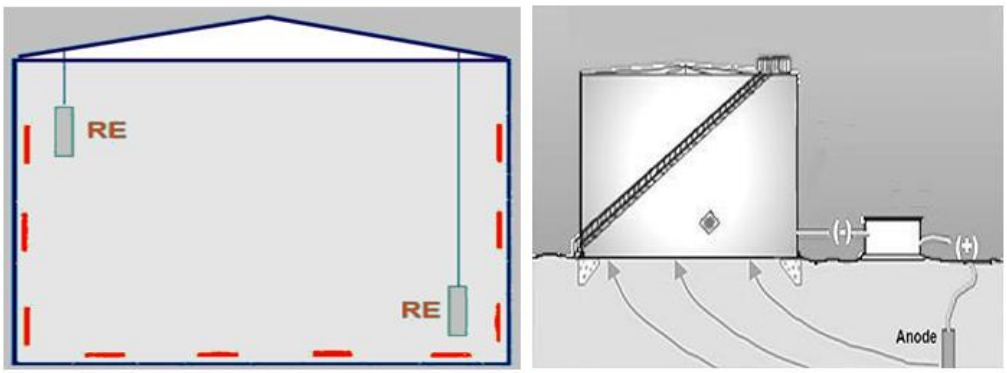


Figure 1:27 La protection des bacs contre la corrosion [2]

1.5 Classification des réservoirs

Les réservoirs sont classés en fonction de trois principaux critères :

- La capacité des réservoirs.
- La nature du toit du réservoir.
- La pression que peuvent supporter les réservoirs en fonction des produits stockés. [1]

1.5.1 Classification selon la pression

Les produits pétroliers sont classés en quatre catégories en fonction de leur pression de vapeur. Chaque classe requiert l'utilisation de réservoirs adaptés, qui se différencient principalement par leur pression nominale d'exploitation. La pression totale appliquée sur le réservoir résulte de l'addition de la pression hydrostatique du liquide et de la pression de vapeur. Cette dernière doit être maintenue dans des limites strictement définies pour prévenir tout risque d'explosion, ce qui est garanti par l'installation de soupapes de sûreté. [1]

1.5.2 Classification selon la nature du toit

En fonction de leur mode d'exploitation et des caractéristiques des produits stockés, les réservoirs peuvent être équipés de différentes structures de toit. On distingue principalement les réservoirs à toit fixe, les réservoirs à toit flottant, ainsi que les réservoirs à toit fixe munis d'un écran flottant interne. [1]

1.5.3 Classification selon la capacité [1]

En fonction de l'usage des réservoirs, on peut identifier deux catégories distinctes :

1.5.3.1 Réservoirs de stockage

Ces réservoirs de grande capacité sont dédiés à la réception des produits en provenance de la raffinerie. Leur volume excède 20 000 unités. [1]

1.5.3.2 Réservoirs d'exploitation

Ces réservoirs de faible capacité sont destinés à la distribution des produits. Alimentés depuis les réservoirs de stockage, ils garantissent l'approvisionnement des stations de remplissage pour les camions-citernes et les wagons-citernes. [1]

1.6 Risques liés aux bacs de stockage

1.6.1 Incendie

Un incendie ne se produit jamais par hasard : il est la conséquence d'une réaction chimique d'oxydation rapide, générant une quantité significative de chaleur et de lumière. Son apparition exige la réunion simultanée de trois composantes essentielles : un combustible, un comburant (le plus souvent l'oxygène présent dans l'air) et une source d'inflammation. L'interaction de ces trois facteurs forme ce que l'on nomme le triangle du feu, un principe fondamental pour l'analyse et la prévention des incendies. Si l'un de ces éléments vient à manquer, l'ignition ne peut avoir lieu ou la combustion s'arrête. [8] [5]

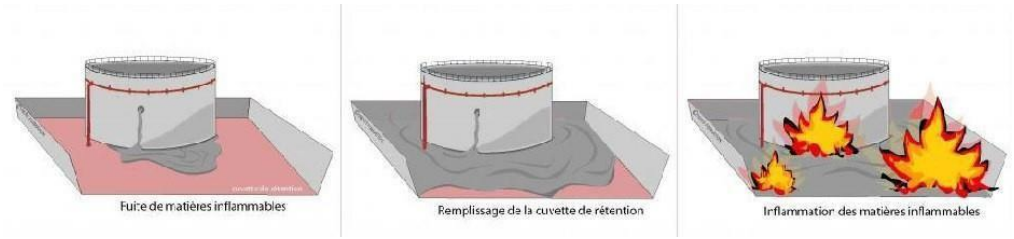


Figure 1:28 Exemple d'un incendie dans un bac de stockage [9]

1.6.2 Explosion (UVCE)

Une explosion correspond à un dégagement violent d'une énergie confinée dans un faible volume, se manifestant par une dilatation rapide de gaz à très haute température et à pression élevée. [7]

1.6.2.1 Conditions d'explosion

La survenue d'une explosion nécessite la présence de plusieurs éléments :

• La présence d'un comburant, généralement l'oxygène contenu dans l'air.

• L'existence d'un combustible.

• Une source d'inflammation.

• Un combustible présent sous forme gazeuse, d'aérosols ou de poussières. Il est également essentiel d'atteindre un domaine d'explosivité, c'est-à-dire une plage de concentration du combustible dans l'air à l'intérieur de laquelle l'explosion peut se produire, ainsi qu'un confinement suffisant. [7]

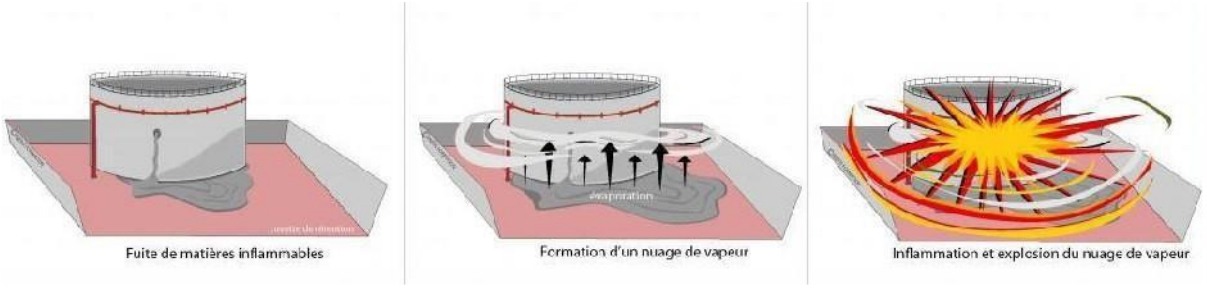


Figure 1:29 Exemple d'un accident dû à une explosion [9]

1.6.3 Flash Fire (feu éclair)

Un flash fire constitue un phénomène de combustion ultra-rapide se propageant au sein d'un nuage de gaz ou de vapeurs combustibles en suspension, sans production notable d'onde de surpression. Sa propagation est limitée à la zone où la concentration du mélange atteint ou dépasse la limite inférieure d'explosivité (LIE), qui définit le seuil d'inflammabilité.

Cet événement incendiaire est de très courte durée et ses effets thermiques et mécaniques sont strictement contenus dans le volume du nuage combustible. Les dommages, potentiellement sévères et irréversibles, sont ainsi circonscrits à l'espace défini par la LIE.

De ce fait, tout individu présent à l'intérieur de ce périmètre est soumis à des effets létaux, tandis qu'à l'extérieur de cette frontière, les conséquences sont réputées négligeables. [7]

1.6.4 Pool Fire (feu de nappe)

Il se produit lorsqu'une perte de confinement entraîne l'écoulement de pétrole brut hors des équipements et sa dispersion au sol en formant une flaque. Ce scénario peut découler d'une

défaillance affectant un réservoir de stockage, une canalisation, ou des composants tels qu'une bride, une vanne ou un point de raccordement d'instrumentation sur une conduite de procédé. Le produit ainsi libéré peut ensuite s'enflammer, soit immédiatement soit après un délai. [7]

1.6.5 Dispersion de nuage inflammable

La dispersion d'un nuage gazeux inflammable découle d'un rejet atmosphérique direct, généralement causé par une fuite sur une conduite, un assemblage à bride, une vanne ou un raccord d'instrumentation installé sur une ligne de procédé. [7]



Figure 1:30 Vue d'un UVCE (Buncefield, Royaume-Uni 2005) [3]

1.6.6 BLEVE

Le terme BLEVE, acronyme de *Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*, désigne un phénomène explosif résultant de la vaporisation soudaine d'un liquide surchauffé maintenu sous pression. Ce phénomène survient lors de la rupture brutale de l'enceinte, provoquant une chute rapide de la pression jusqu'à la pression atmosphérique et une expansion violente des vapeurs ainsi générées. [8]

1.6.6.1 Trois conditions sont nécessaires pour qu'il y ait un BLEVE

- Une dépressurisation rapide du réservoir.
- La présence d'un liquide en situation de surchauffe.
- Ainsi qu'un phénomène de nucléation spontanée. [8]

1.6.6.2 Les effets peuvent être quantifiés

Les conséquences d'un BLEVE peuvent être analysées et mesurées selon plusieurs paramètres : le phénomène de projection de fragments, l'onde de surpression produite par la détente adiabatique lors de la vaporisation brutale du fluide, ainsi que le nuage de feu issu de la combustion d'un nuage de vapeur en mélange trop concentré pour permettre une déflagration. [8]



Figure 1:31 BLEVE de Feyzin (France1966) [3]

1.6.7 Boil-over

Ce phénomène concerne spécifiquement la combustion d'un réservoir atmosphérique à stockage prolongé, dont l'ampleur varie selon la nature du produit et la présence d'eau. Les conséquences peuvent être évaluées de la manière suivante :

- Calcul de l'onde thermique,
- Formation d'une boule de feu,
- Débordement du produit à l'intérieur de la cuvette de rétention. [8]



Figure 1:32 Boil-over Skikda (Algérie, 2005) [3]

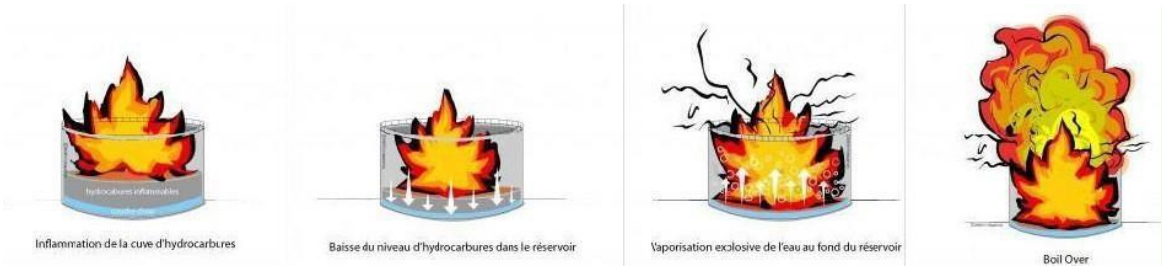


Figure 1:33 Phénomène de boil-over [9]

1.6.8 Effets domino

Tout scénario de référence est susceptible de générer un effet domino sur un autre système critique, sous réserve du respect des deux conditions suivantes :

- L'effet domino n'est retenu que si un équipement critique est situé dans le périmètre de destruction totale associé au scénario considéré.
- L'effet domino n'est pris en compte que si des effets induisant une destruction sont effectivement produits.

Les seuils de destruction appliqués sont les suivants :

- Onde de choc : surpression incidente de 30 000 Pa.
- Flux thermique : considéré dans la flamme (hypothèse majorante).
- Effet missile : identification du système critique susceptible d'être perforé par l'énergie cinétique du projectile. [8]

1.6.9 Jet fire (jet de feu)

« Le phénomène de jet de feu est défini selon la norme **ISO 14692-1:2017** (ISO 14692-1:2017, n.d.) comme une «*Flamme de diffusion turbulente résultant de la combustion d'un combustible libéré en continu avec une impulsion significative dans une direction particulière*». [4]

Un jet de flammes, désigné également sous le terme de « jet fire », constitue un scénario accidentel critique caractérisé par une dépressurisation brutale et un rejet à haute pression, provoquant la dispersion et la combustion du produit dans l'atmosphère. Parmi les phénomènes incendiaires impliquant des hydrocarbures, ce type d'événement présente la

probabilité d'occurrence la plus basse, évaluée à environ 5 % (Gómez-Mares et al., 2012). [9]



Figure 1:34 Vue de l'accident de jet de feu de Ghislenghien (Belgique, 2004) [3]

1.7 Causes et conséquences des risques

Table 1:1 Synthèse des causes et conséquences des principaux risques liés aux bacs de stockage [3]

	Phénomène	**Causes**	**Conséquences**	**Exemple**
Incendie	**Feu de Jet**	• Corrosion • Fissure • Erreur humaine	• Effets dominos • Effet thermique • Effet toxique • Blessés et morts	2004, Ghislenghien, Belgique
	Flash fire	• Rejets des gaz et des vapeurs • Étincelle autour de la zone • Non-respect de norme de travail • Corrosion • Fissure • Erreur humaine	• Effet thermique • Produits dangereux • Effets dominos • Blessés	1983, Newark, New Jersey, USA
	Feu de nappe	• Fuite	• Effet domino	1986, Thessalonique

		• Erreur humaine	• Blessés et morts • Pollution • Effets toxiques • Effets visuels • Effets thermiques	Grèce
Explosion	**BOILOVER**	• La présence d'eau dans le bac • Incendie prolongé • Erreur humaine	• Explosion • Effet thermique • Effet sonore • Blessés et morts • Pollution • Effet domino	2004, Skikda, Algérie
	BLEVE	• Feu à proximité de bac • Dommages ou fatigues mécaniques • Corrosion • Erreur humaine	• Effet toxique • Effet thermique • Effet surpression • Blessés et morts • Effet domino	1966, feyzin (Rhône) France

1.8 Conclusion

En synthèse, les réservoirs de stockage constituent une composante essentielle de l'industrie pétrolière et gazière, assurant la continuité des activités et une gestion rigoureuse des produits. Néanmoins, leur exploitation comporte des risques significatifs qui nécessitent une surveillance stricte et une compréhension approfondie des mécanismes impliqués.

De ce fait, la connaissance des principes de base liés à ces installations est essentielle pour mieux cerner les enjeux de sécurité et de fiabilité.

Elle représente également un prérequis essentiel pour approfondir l'étude des situations à risque dans ce secteur.

CHAPITRE 2 : Mécanismes de dégradation et analyse des risques des bacs de stocka

CHAPITRE 2 : Mécanismes de dégradation et analyse des risques des bacs de stockage

2.0 Introduction

Les bacs de stockage d'hydrocarbures sont soumis, au cours de leur exploitation, à divers mécanismes de dégradation susceptibles d'altérer leur intégrité mécanique et fonctionnelle. Ces phénomènes, s'ils ne sont pas maîtrisés, peuvent entraîner des défaillances graves, affectant la sécurité des installations, du personnel et de l'environnement.

2.1 Mécanismes de dégradation des bacs de stockage

Les principaux mécanismes de dégradation observés sont la corrosion (interne et externe), la fissuration, la déformation et le tassement.

2.1.1 La corrosion

La corrosion constitue un phénomène naturel et continu d'interaction à l'interface entre un matériau et son milieu, conduisant à sa détérioration ou à sa dissolution. Elle représente l'un des principaux mécanismes de dégradation affectant les réservoirs de stockage, pouvant revêtir un caractère électrochimique ou bactérien. Cette altération est susceptible de toucher l'ensemble des éléments constitutifs, tant en partie interne qu'externe, et peut se présenter sous une forme diffuse ou localisée, en particulier sous l'aspect de piqûres. Lorsque ces dernières sont isolées, elles occasionnent habituellement des fuites de faible ampleur, mais leur multiplication ou leur regroupement dans une zone spécifique peut entraîner des fuites significatives. [7] [3]



Figure 2:1 Exemple de corrosion d'un bac de stockage (cas du dépôt de stockage de Sidi Rcine–Alger) [3]



Figure 2:2 Corrosion d'un bac de stockage

2.1.2 La corrosion externe

L'environnement atmosphérique constitue un facteur majeur de dégradation des parois externes des réservoirs, entraînant une corrosion uniforme des surfaces exposées à l'air. La plaque de fond est particulièrement vulnérable en raison de l'aération différentielle, qui génère un taux de corrosion externe élevé. Les zones les plus exposées incluent les courbes, les brides et les parties modifiées métallurgiquement lors du soudage.

Plusieurs causes expliquent cette corrosion. Une qualité insuffisante de la couche supérieure du support, contenant des impuretés (pierres, argile, cendres), provoque des gradients d'oxygène à l'interface avec le fond, créant des zones anodiques propices à la corrosion localisée. Un défaut d'adhérence entre la tôle de rive et son support permet l'infiltration d'eaux pluviales, notamment au niveau des cornières, viroles ou tôles de toiture.

Le décollement de la tôle de rive dans les zones d'accumulation d'eau et de débris, ainsi que la persistance de calamine sur les plaques, aggravent le processus. Enfin, des températures élevées du produit stocké accélèrent la cinétique de corrosion. [12]



Figure 2:3 Les dégradations de corrosion dans les réservoirs de stockage [10]

2.1.3 La corrosion interne

La corrosion par piqûres peut se manifester tant sur la face interne que sur la face externe du fond de la cuve. En interne, son apparition est facilitée par divers éléments, tels que la nature corrosive de certains composants du produit stocké et l'insuffisance qualitative des matériaux d'apport employés lors des soudures.

De plus, les mouvements de respiration du réservoir, induits par les fluctuations thermiques, provoquent la condensation de vapeur d'eau. Ce phénomène peut être aggravé par des infiltrations pluviales au niveau des joints des toits flottants, ainsi que par la présence d'eau dans le produit entreposé, favorisant ainsi la progression de la corrosion interne. [12]



Figure 2:4 Corrosion interne du fond de réservoir [11]

2.1.4 La fissuration

La formation de fissures dépend des propriétés des fluides, de la composition métallurgique et des matériaux de la cuve. Ces défauts apparaissent surtout dans les zones à fortes contraintes ou sollicitations exceptionnelles.

La corrosion aqueuse provoque une attaque localisée ou généralisée, accélérant la rupture des composants au-delà des taux de corrosion moyens. La combinaison contrainte-environnement corrosif est critique, initiant des fissures rapides et aléatoires.

Les mécanismes principaux incluent :

- La corrosion sous contrainte (interaction sollicitations mécaniques-agent corrosif, générant des fissurations intergranulaires ou transgranulaires ramifiées) ;
- Fatigue-corrosion (réduction de l'endurance sous chargements cycliques en milieu corrosif, fissuration sous la limite d'élasticité) ;
- Autres origines (corrosion bactérienne, surcharges, cycles de mise en service/dépressurisation, défauts de soudure). [7] [3]

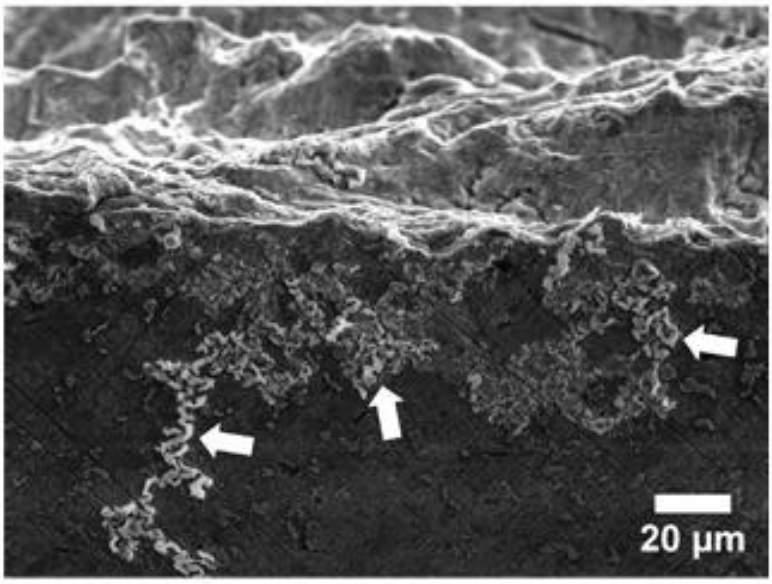


Figure 2:5 Fissuration [3]

2.1.5 Déformation

Les déformations des réservoirs de stockage peuvent être attribuées à diverses causes. Les conditions météorologiques constituent un facteur déterminant, en particulier lors de vents violents susceptibles d'induire des contraintes structurelles.

S'y ajoutent les pressions accidentelles, internes ou externes, ainsi que les phases de manutention lors du remplissage ou de la vidange, qui sont également susceptibles de compromettre l'intégrité géométrique des équipements. [3]



Figure 2:6 Déformation d'un bac à Rincon de los Sauces, 2006 à cause du vent [3]

2.1.6 Tassement

Le tassement constitue une déformation verticale du terrain supportant la structure du réservoir. Il résulte généralement de l'application de contraintes externes prolongées, d'une inadaptation du sol aux spécifications techniques requises, d'erreurs de conception ou d'exécution, ou encore de facteurs environnementaux comme l'assèchement des couches superficielles ou la présence d'une nappe aquifère sous les fondations.

Cette déformation peut se manifester sous plusieurs configurations distinctes, incluant le tassement uniforme, l'inclinaison plane et le tassement différentiel. [3]



Figure 2:7 Tassement dû au tremblement de terre d'Izmit, (Turquie 1999) (Partie, 2014) [3]



Figure 2:8 Tassement dû au tremblement de terre d'Emilia (Italie 2012) (Brunesi et al., 2015) [3]

Table 2:1 Causes et conséquences des principaux mécanismes de dégradation des bacs de stockage [3]

	Phénomène	**Causes**	**Conséquences**	**Exemple**
Dégradation	**Corrosion**	• Pollution • Mauvais revêtement • Condition climatique • Pluie acide • Produits agressifs	• Déformation du bac • Rejets des produits	2006 Sharjah, UAE
	Tassement	• Tremblement de terre • Conditions climatiques • Déformations en pied de bac • Erreur humaine	• Déformation du bac • Rejets des produits • Pressurisation	Les années 1980, Béjaïa, Algérie

	Fissure	• Corrosion • Erreur humaine	• Rejet de produit • Pollution • Effets toxiques • Incendie/explosion	2014, Sidi Rcin Algérie
	Déformation	• Le vent • Surpression • Charge/décharge	• Pressurisation	2006, rincon de los sauces, Argentine

2.2 Causes des dégradations

2.2.1 Amincissement du métal

- Apparition de piqûres corrosives (phénomène de pitting)
- Diminution de l'épaisseur du métal résultant d'une corrosion généralisée ou localisée [13]

2.2.2 Imperfections de soudure

- Présence de porosités, d'inclusions et de défauts de fusion
- Formation de fissures
- Détérioration ou vieillissement des joints soudés [13]



Figure 2:9 Défaillances des soudures [10]

2.2.3 Rupture fragile

- Des températures basses peuvent réduire la ténacité de l'acier, augmentant ainsi sa sensibilité à une rupture soudaine.
- La présence de contraintes élevées, qu'elles soient résiduelles ou liées au service, facilite l'amorçage et la propagation rapide de fissures.
- L'existence de défauts ou de discontinuités, tels que fissures, entailles, ou imperfections de fabrication ou de soudage, crée des points de concentration de contraintes susceptibles de provoquer une rupture instantanée sans déformation plastique notable. [13]

2.2.4 Conditions d’exploitation

- Conditions de service telles que la température et la pression d’exploitation
- Historique d’exploitation du réservoir, incluant les cycles de remplissage/vidange, les incidents et les conditions d’utilisation passées
- Nature et caractéristiques du produit stocké (corrosivité, densité, compatibilité avec le matériau du bac) [13]

2.3 Conséquences des dégradations

2.3.1 Perte d’épaisseur

Conformément à la norme API 653, la perte d'épaisseur d'une enveloppe de réservoir est définie comme la réduction de l'épaisseur nominale en deçà de l'épaisseur minimale requise, compromettant ainsi la capacité portante de la structure. Cette situation requiert une évaluation approfondie de l'intégrité de la cuve, incluant un recalcul de sa pression de service admissible, afin d'établir si son exploitation peut se poursuivre en sécurité ou si des interventions correctives, voire sa mise hors service, sont impératives. [13]

2.3.2 Zones localement amincies

Les zones d'amincissement localisé correspondent à des secteurs du réservoir présentant une réduction ponctuelle de l'épaisseur de la paroi métallique, induisant une concentration des

contraintes mécaniques. Cette configuration accroît le risque de rupture localisée et peut compromettre l'intégrité structurelle globale. Une inspection approfondie et une analyse technique sont par conséquent requises pour déterminer la nécessité d'une réparation ou d'un remplacement, afin de garantir la sécurité opérationnelle de l'installation. [13]

2.3.3 Piqûres de corrosion (pitting)

La corrosion par piqûres se manifeste par une attaque localisée et accélérée, conduisant à la formation de cavités profondes qui réduisent localement l'épaisseur de la paroi métallique. Ce phénomène accroît significativement la probabilité de perforation, susceptible de provoquer des fuites et de compromettre l'intégrité étanche ainsi que la sûreté de l'enceinte. [13]

2.3.4 Fuites

Les fuites se caractérisent par une rupture de l'étanchéité du contenant, conduisant à la libération du fluide stocké en dehors de son enceinte. Ce phénomène constitue un risque majeur sur les plans environnemental et opérationnel, susceptible d'engendrer des pollutions et de compromettre le bon fonctionnement de l'unité. Dans une telle situation, l'arrêt de l'équipement concerné et la mise en œuvre d'actions correctives sont généralement requis pour restaurer l'intégrité du système. [13]

2.3.5 Défaillance des soudures

Les défauts de soudure se caractérisent par la formation de fissures susceptibles de s'étendre et d'affaiblir graduellement la structure. Ils provoquent une rupture de la continuité mécanique de l'assemblage, ce qui altère la résistance générale du réservoir. Dans une telle situation, des interventions correctives sont nécessaires pour restaurer l'intégrité et la sûreté de l'installation. [13]

2.3.6 Rupture fragile

La rupture fragile se caractérise par une défaillance soudaine du matériau, sans déformation plastique préalable. Elle peut provoquer une libération instantanée du contenu du réservoir, constituant ainsi un risque majeur pour les équipements et la sécurité des personnes. [13]

2.3.7 Non-conformité du réservoir

La non-conformité du réservoir désigne un état dans lequel le bac ne satisfait plus aux normes de sécurité et d'exploitation requises, pouvant conduire à sa déclaration d'inaptitude au service. Il est alors impératif de mettre en œuvre des mesures correctives, telles que la réparation, la modification ou la mise hors service de l'équipement, afin d'assurer le maintien des conditions de sécurité. [13]

2.3.8 Nécessité de réparation

La réparation devient nécessaire dès lors que l'intégrité du réservoir est altérée, exigeant une intervention pour garantir sa sécurité et son fonctionnement optimal. Celle-ci peut comprendre le remplacement des tôles abîmées, la correction des soudures défaillantes ainsi que le renforcement de la structure, dans le but de rétablir la robustesse et la fiabilité de l'installation. [13]

2.3.9 Renforcement de l'inspection

Le renforcement des contrôles vise à intensifier la surveillance du réservoir pour en améliorer le suivi de l'état. Cela se traduit notamment par un resserrement de la fréquence des inspections et une gestion plus stricte des anomalies identifiées, afin d'assurer la sécurité et la fiabilité de l'installation. [13]

2.4 L'impact des dégradations et des défaillances

Les dégradations et les défaillances des bacs de stockage peuvent engendrer des conséquences importantes sur plusieurs plans :

2.4.1 Exploitation

Les dégradations et les défaillances des bacs peuvent perturber le fonctionnement de l'entreprise et ses activités quotidiennes :

• Perturbation de la chaîne logistique : les conteneurs sont utilisés pour le stockage et le transport des matières premières ainsi que des produits finis. Une défaillance peut interrompre ce flux et entraîner des retards de production.

• Réduction de la capacité de production : l'insuffisance des moyens de stockage peut diminuer les volumes de production, voire entraîner l'arrêt de certaines lignes. [10]

2.4.2 Environnemental

Les détériorations et les défaillances des réservoirs sont susceptibles d'engendrer des conséquences environnementales significatives, notamment :

• Pollution des milieux : les fuites de matières entreposées peuvent contaminer les sols, les eaux et l'atmosphère, altérant la qualité des écosystèmes et menaçant leur équilibre.

• Atteintes aux ressources naturelles et à la biodiversité : ces incidents risquent de provoquer la dégradation de ressources essentielles, telles que les eaux potables, les terres arables ou les habitats marins.

• Impacts sur la santé publique : la contamination des ressources hydriques, la dissémination d'agents pathogènes et la dégradation de la qualité de l'air présentent des dangers directs pour la population. [10]

2.4.3 Financement

Les altérations et les défaillances des bacs sont susceptibles d'entraîner diverses conséquences économiques :

• Coûts de remplacement et de réparation : la remise en état ou le remplacement de bacs endommagés ou défectueux peut engendrer des dépenses substantielles, incluant la main-d'œuvre, les matériaux et le temps nécessaire. Les frais associés à la réhabilitation ou à la restauration peuvent s'avérer considérables.

• La baisse de la production et des ventes se traduit par une perte directe de revenus pour l'entreprise, ainsi qu'une érosion de ses parts de marché au bénéfice de concurrents offrant une plus grande fiabilité.

• L'érosion de la confiance des investisseurs et des partenaires financiers. [10]

2.5 Conclusion

Ce chapitre a identifié les principales formes de dégradation des bacs de stockage d'hydrocarbures. Les mécanismes analysés révèlent que ces structures subissent des contraintes multiples, dues aux produits stockés ainsi qu'aux conditions opérationnelles et environnementales. Ces dégradations, affectant diverses parties des installations, compromettent progressivement leur intégrité et leur durabilité. Leur compréhension est cruciale pour cerner les mécanismes impliqués et appréhender les enjeux de fiabilité de ces équipements industriels.

CHAPITRE 3 : Inspection et prévention des risques

CHAPITRE 3 : Inspection et prévention des risques

3.0 Introduction du chapitre

L’inspection des installations de stockage est un élément essentiel pour assurer la sécurité des équipements et prévenir les risques industriels. Exposées à différents mécanismes de dégradation, ces installations requièrent une surveillance périodique afin d’évaluer leur état et de maintenir leur intégrité durant toute leur durée d’exploitation.

3.1 Objectif de l’inspection

L'inspection vise principalement à évaluer l'état physique des équipements et à caractériser les dégradations observées, en déterminant leur typologie, leur étendue et leurs origines. Les contrôles réguliers permettent à l'exploitant d'établir un plan de maintenance approprié. Les paramètres mesurés, notamment le degré de corrosion et l'épaisseur restante, sont cruciaux pour prévoir les interventions de réparation ou de renouvellement des matériels. Ces projections aident à organiser la maintenance, préservent la continuité opérationnelle et renforcent la sécurité et la fiabilité des installations. Cette méthodologie exclut cependant l'examen des cuves de stockage. [14]

3.2 Types d’inspection des installations de stockage

Les installations de stockage font l’objet de différents types d’inspection pour vérifier leur état et assurer leur sécurité :

3.2.1 Visite de routine

Cette opération implique un contrôle visuel externe mené depuis le niveau du sol, couvrant l'intégralité des éléments constitutifs du réservoir de stockage, y compris les parois extérieures de la cuve et ses équipements associés. Bien que cette surveillance puisse être réalisée par le personnel du propriétaire ou de l'exploitant sans nécessiter systématiquement l'intervention d'un inspecteur certifié, elle exige néanmoins une maîtrise approfondie de l'installation, de la cuve et des propriétés du produit entreposé. Elle vise à identifier d'éventuelles fuites, déformations structurelles, affaissements ou indices de corrosion, ainsi qu'à évaluer l'état des fondations, du revêtement et de la toiture. Ces contrôles peuvent être

complétés, le cas échéant, par des mesures d'épaisseur pour apprécier l'état général de l'équipement. Toutes les observations doivent être rigoureusement consignées afin d'assurer un suivi approprié et de faciliter leur examen ultérieur par un inspecteur compétent. [15] [16] [13]

3.2.2 Inspection externe

Les inspections externes consistent en un examen visuel approfondi de l'installation, pouvant être complété par des essais non destructifs. Elles comprennent notamment les actions suivantes :

- L'analyse des comptes rendus issus des visites de routine.
- Un examen visuel détaillé de l'ensemble des composants de l'installation de stockage ainsi que de ses équipements annexes.
- La vérification visuelle des structures porteuses.
- Le contrôle des soudures de la paroi cylindrique et du fond.
- La mesure de l'épaisseur de la paroi, en particulier au niveau de la zone proche du fond.
- La détection d'éventuelles déformations géométriques de l'installation.
- L'inspection des systèmes d'ancrage, lorsqu'ils sont présents.

À l'issue de l'inspection, l'inspecteur qualifié établit un rapport daté et signé, détaillant les résultats obtenus ainsi que les recommandations et actions correctives à mettre en œuvre par l'exploitant. [16] [13]

Les réservoirs peuvent rester en service pendant la réalisation de cette inspection, qui doit porter notamment sur les éléments suivants :

3.2.2.1 Échelles et escaliers

Les échelles et escaliers doivent faire l'objet d'une inspection minutieuse afin de détecter toute corrosion ou détérioration, et de garantir leur sécurité pour un usage régulier. Les échelons et marches doivent être vérifiés pour repérer les traces d'usure ou de corrosion. Les soudures doivent également être examinées afin d'identifier d'éventuelles fissures, sous-coupes, défauts de fusion, phénomènes d'érosion ou autres irrégularités. Enfin, les mains

courantes doivent être testées, par exemple en exerçant une pression, pour en contrôler la robustesse, en accordant une vigilance particulière aux modèles tubulaires pouvant présenter une corrosion interne. [15]

3.2.2.2 Plateformes et passerelles

Les plateformes et passerelles en hauteur doivent être inspectées selon les mêmes principes que ceux appliqués aux échelles et escaliers. Il est également nécessaire de contrôler le serrage correct des fixations des grilles de plateforme afin d'assurer leur stabilité et leur sécurité. [15]

3.2.2.3 Fondation du réservoir

L'inspection externe vise à évaluer l'état des fondations et des supports de la cuve. Le nivellement peut être réalisé à l'aide d'un niveau de géomètre ou de tout autre instrument adapté pour identifier d'éventuels tassements. Les mesures doivent être interprétées selon les prescriptions de l'API STD 653, Annexe B. De plus, les tuyauteries connectées doivent être examinées pour vérifier l'absence de déformation, particulièrement en présence d'un tassement important de la structure. [15]

3.2.2.4 Projection des plaques annulaires

La zone de débordement de la plaque inférieure au-delà du talon externe du cordon de soudure coque-plaques doit être inspectée pour identifier toute corrosion ou défaut de soudure. Ce débordement doit mesurer au minimum 3/8 de pouce. [15]

3.2.2.5 Boulons d’ancrage

L'état des boulons d'ancrage peut généralement être apprécié par un examen visuel direct. De plus, un martèlement léger sur le flanc de l'écrou peut révéler une corrosion avancée du boulon situé sous la plaque d'assise. [15]

3.2.2.6 Connexion de mise à la terre

Les liaisons de terre doivent être conservées en bon état et rester intactes. Elles font l'objet d'un contrôle visuel pour identifier toute corrosion, que ce soit au niveau de la pénétration dans le sol, de la jonction avec la prise de terre ou de la pince de terre du réservoir. En cas de doute sur leur intégrité, une mesure de résistance peut être effectuée, laquelle ne doit pas dépasser 25 ohms (Ω). [15]

3.2.2.7 Revêtement protecteur

Le revêtement doit être soumis à une inspection principalement visuelle afin d'identifier d'éventuelles discontinuités, décollements, cloquages, fissures, décolorations ou zones de corrosion. Des essais complémentaires peuvent être réalisés à la discrétion de l'inspecteur qualifié, notamment des tests de continuité et d'adhérence. Les zones présentant des défauts doivent être examinées et réparées conformément aux procédures approuvées du système de revêtement, ce qui inclut la préparation de surface et la réapplication du revêtement. Les inspections et réparations doivent être effectuées par un personnel qualifié, et les méthodes employées ne doivent pas altérer le revêtement existant. [15] [21]

3.2.2.8 Coque du réservoir

Lorsque l'examen visuel effectué au niveau du sol met en évidence des indices de corrosion externe avancée ou d'autres altérations significatives, une investigation plus poussée s'impose. Dans cette situation, il convient de recourir à des dispositifs d'accès appropriés, comme des échafaudages, des plates-formes élévatrices, des grues équipées de nacelles ou des systèmes d'inspection à distance, afin de procéder à une appréciation détaillée de l'état de l'ouvrage. [15]

3.2.2.9 Toit du réservoir

Les systèmes d'évacuation des toits flottants nécessitent des contrôles périodiques pour identifier toute fuite, obstruction ou défaillance, en particulier au niveau des clapets anti-retour. Les zones où l'eau peut s'accumuler avant évaporation doivent également être repérées et traitées en fonction de leur criticité. L'intérieur des compartiments à double fond

doit être soumis à un examen visuel. L'intégrité des joints et le jeu entre le toit et la paroi du réservoir doivent être vérifiés ; toute anomalie ou réparation provisoire doit être documentée en prévision d'une action corrective ultérieure. Suite à une intervention, l'efficacité du système d'étanchéité doit être validée par des tests, assortis des certificats appropriés. Les composants des échelles mobiles (rails, galets, marches) doivent être inspectés pour déceler toute usure ou déformation, leur contrôle pouvant s'aligner sur les principes appliqués aux échelles extérieures. Les galets doivent pivoter sans entrave ; si l'échelle sort de son rail, le toit doit être examiné pour détecter d'éventuels dommages. Lors des opérations sur le toit, un dispositif de protection antichute conforme est impératif. En présence de vapeurs nocives, le toit flottant doit être maintenu en position haute si le produit est volatil, ou une inspection en espace confiné doit être effectuée si la cuve n'est pas pleine. L'inspecteur peut se déplacer sur les cordons de soudure lorsque cela est réalisable, ceux-ci présentant une résistance adéquate. [15]

3.2.3 Requalification périodique

La requalification des installations de stockage implique l'examen des documents techniques d'exploitation ainsi que la réalisation de contrôles internes et externes, ces inspections doivent être conduites conformément aux normes et standards applicables. L'inspecteur qualifié responsable de la requalification établit ensuite un rapport daté et signé, qui présente les résultats de l'ensemble des vérifications réglementaires et normatives réalisées, ainsi que les préconisations et mesures correctives à mettre en œuvre par l'exploitant. [16] [13]

3.3 Techniques d’inspection

Les méthodes de contrôle non destructif (CND) sont essentielles pour évaluer l'intégrité des réservoirs de stockage sans les endommager. Conformément au standard API 653, diverses techniques sont recommandées pour inspecter les différentes parties du réservoir et détecter les défauts spécifiques. Ces approches complémentaires garantissent une inspection fiable et exhaustive : [13]

- Contrôle visuel (**VT**)
- Contrôle par ultrasons (**UT**)
- Flux de fuite magnétique (**MFL**)

- Ressuage (**PT**)
- Magnétoscopie (**MT**)
- Radiographie (**RT**)
- Boîte à vide (**VB**) [13]

3.3.1 Contrôle visuel (VT)

L'examen visuel porte sur l'intégralité des surfaces externes et internes, y compris le fond, la virole, le toit flottant, les compartiments du toit, les pieds de support et les piquages, dans le but de détecter toute anomalie apparente sur l'ensemble des composants du réservoir. [15] [13]

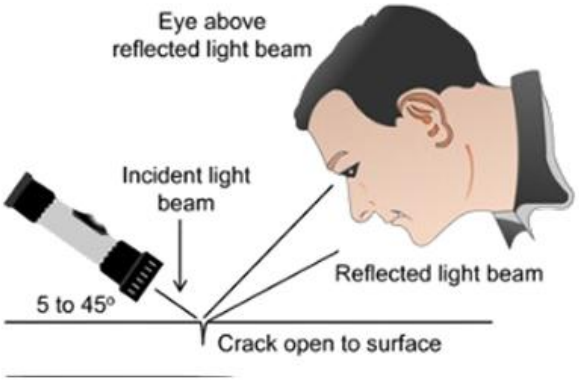


Figure 3:1 La méthode d'inspection visuelle [10]

3.3.2 Contrôle par ultrasons (UT)

Les mesures d'épaisseur par ultrasons effectuées sur la virole permettent d'évaluer le taux de corrosion uniforme générale en service et de donner une indication sur l'intégrité de la structure. Cette technique consiste à réaliser des mesures dans les zones les plus corrodées ; en cas de corrosion étendue, il est conseillé d'effectuer plusieurs mesures sur chaque virole. L'inspection est menée en balayant des sections de 10 × 10 cm. [15] [13]



Figure 3:2 Mesure d'épaisseur par ultrasons [10]

3.3.3 Flux de fuite magnétique (MFL)

L'inspection par MFL est une technique couramment utilisée pour évaluer une grande partie du fond du réservoir, notamment vis-à-vis de la corrosion côté produit et côté sol. Le balayage couvre la majorité du fond, à l'exception des zones proches des soudures et des obstacles. La fiabilité des résultats dépend d'un étalonnage adéquat du scanner, incluant l'utilisation de plaques de validation. Cette méthode possède des seuils de détection qui doivent être pris en compte dans l'évaluation globale. Par ailleurs, les défauts détectés nécessitent une inspection complémentaire, généralement par ultrasons, afin d'être quantifiés. L'efficacité de la méthode repose également sur la compétence et l'expérience des opérateurs. [15] [13]



Figure 3:3 Appareil de contrôle par fuite de flux magnétique

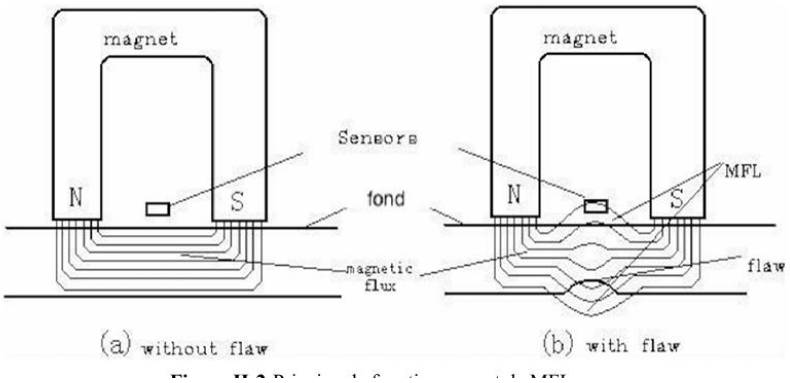


Figure 3:4 Principe de fonctionnement de MFL [10]

3.3.4 Ressuage (PT)

Le ressuage est appliqué selon les indications fournies par l'inspection visuelle du fond et des soudures de la virole. Il peut également être employé au niveau du toit pour valider les observations visuelles. Cette technique doit être exécutée conformément à une procédure de ressuage dûment approuvée. [15] [13]

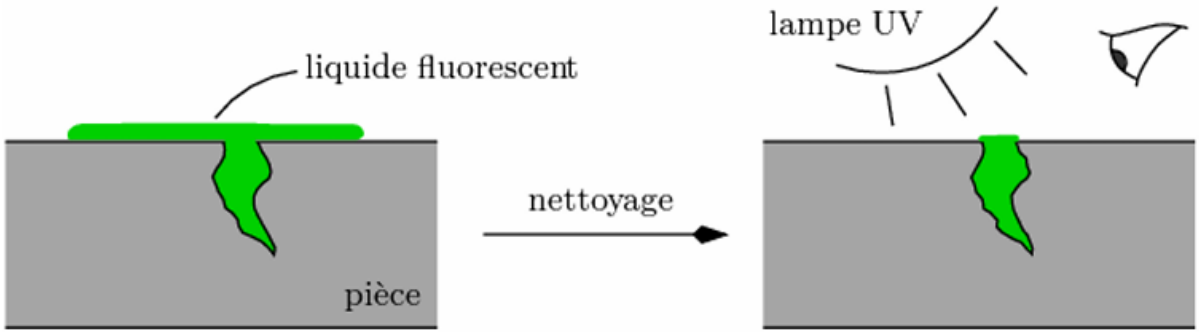


Figure 3:5 Principe de fonctionnement par ressuage [10]

3.3.5 Magnétoscopie (MT)

La magnétoscopie constitue une méthode de contrôle non destructif efficace pour détecter les défauts de surface des réservoirs de stockage. Cette technique s'avère également performante pour l'inspection des bacs de stockage. Elle est particulièrement adaptée à la détection des défauts de soudure sur la robe et le fond, en particulier les fissures. [10] [13]



Figure 3:6 La Magnétoscopie [10]

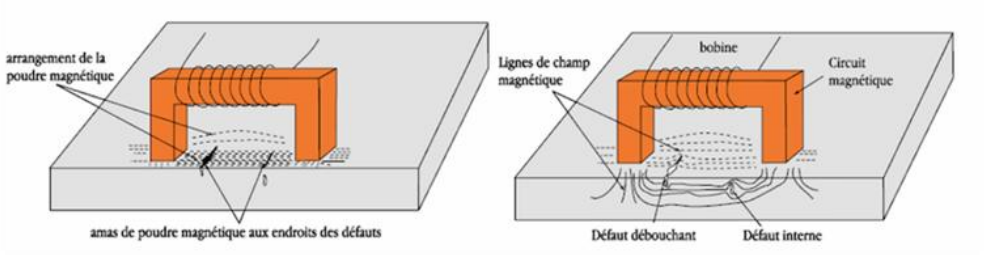


Figure 3:7 Principe de fonctionnement de la Magnétoscopie [10]

3.3.6 Radiographie (RT)

L'inspection par radiographie, également désignée sous le terme d'imagerie, appliquée aux fonds de cuves de stockage, et plus spécifiquement aux viroles, constitue une méthode de contrôle non destructif visant à évaluer la qualité des assemblages soudés ainsi que l'intégrité des structures.

Cette technique permet de repérer des anomalies telles que les fissures, notamment au niveau de la paroi du réservoir. S'agissant des piquages de tuyauterie employés dans les installations de stockage, elle se révèle particulièrement adaptée à la détection des phénomènes de corrosion. [10]

3.3.7 Boîte à vide (VB)

Le test par boîte à vide est utilisé pour vérifier l'étanchéité des soudures. La norme API 653 exige que ce test soit réalisé sur l'intégralité des soudures du fond ainsi que sur les assemblages entre le fond et la virole. Pour les autres types d'assemblages, un contrôle par échantillonnage, portant sur un pourcentage prédéfini des soudures, peut être envisagé en fonction des spécifications du client, à condition qu'une justification adéquate soit fournie. [15] [13]

3.3.8 Activités complémentaires

3.3.8.1 Inspection du revêtement (Coating)

Le contrôle du revêtement comprend une inspection visuelle, et peut être enrichi, sous la supervision d'un inspecteur qualifié, par des mesures de l'épaisseur du film sec (DFT) ainsi que par des essais d'adhérence par arrachement, lorsque ces opérations sont exigées par les spécifications du système de revêtement. [15] [21]

3.3.8.2 Surveillance de la protection cathodique

Le système de protection cathodique fait l'objet d'une surveillance et de vérifications périodiques, en conformité avec la norme API 651. Les résultats de ces contrôles sont examinés par le propriétaire ou l'exploitant dans le cadre du programme d'inspection et d'intégrité défini par la norme API 653. [15] [13] [20]

Table 3:1 Application des méthodes de contrôle non destructif (CND) selon les zones du réservoir : [13]

Zone du réservoir	**Méthodes de contrôle non destructif**
Fond	MFL, UT, VB
Viroles	UT, VT
Soudures	PT, MT, RT

3.4 Conditions de sécurité

- Aucun accès ne peut être accordé sans l'autorisation préalable du service HSE de GB, suite à la validation des permis et des mesures découlant de l'évaluation des risques.
- Les accompagnateurs HSE doivent être équipés de moyens de communication opérationnels (tels qu'une radio) en cas d'interruption du contact visuel.
- Un surveillant de trappe doit être nommé pour maintenir une liaison permanente avec les intervenants à l'intérieur et assurer leur protection.
- Les équipements et matériels employés doivent être vérifiés et assortis de leurs attestations de conformité.
- Le réservoir doit être nettoyé et sécurisé afin de faciliter une évacuation rapide et sans danger en situation d'urgence.
- Préalablement à l'entrée, il est impératif de confirmer que les accompagnateurs maîtrisent la disposition interne du réservoir et présentent les capacités physiques requises.
- L'identité et le nombre des personnes pénétrant dans le réservoir doivent être consignés et supervisés durant toute l'intervention.
- La qualité de l'atmosphère (taux d'oxygène et ventilation) doit être contrôlée avant toute entrée, et l'éclairage doit satisfaire aux besoins de l'examen visuel.
- Un dispositif d'urgence doit être établi, détaillé et porté à la connaissance de tous les opérateurs avant le démarrage des opérations.
- Le respect des prescriptions du permis de travail en espace confiné (GB) et des consignes de travail en hauteur est impératif lors des inspections.
- Un support structurel adéquat de la toiture doit être mis en place et conservé pendant toute la durée des travaux.
- Les zones de circulation doivent être maintenues dans un état aussi sec que possible pour limiter les risques de glissade et de chute. [14]

3.5 Recommandations générales d'inspection

- Un test à la boîte à vide doit être exécuté sur les soudures du toit afin de vérifier leur étanchéité.

- Les compartiments du toit doivent être inspectés lors des contrôles internes ou externes, en vue de déceler d'éventuelles fuites. Toute perte d'étanchéité aux liquides ou aux vapeurs doit être signalée au propriétaire ou à l'exploitant.
- Il est conseillé de procéder à un examen visuel des éléments en hauteur et de leurs supports, afin de s'assurer qu'aucun support n'est affaibli et qu'aucun objet ne présente un risque de chute susceptible de causer des blessures au personnel. Cette vérification peut être effectuée depuis le point d'accès ou d'autres postes d'observation, pour confirmer la robustesse du toit flottant avant toute pénétration dans le réservoir.
- Si une fuite est constatée lors d'une inspection en cours d'exploitation, il convient d'en déterminer l'origine (corrosion interne, corrosion externe ou autre défaut) et d'évaluer si une correction est possible sans immobiliser le réservoir. Dans le cas contraire, le niveau du produit doit être abaissé sous la zone concernée ou le réservoir doit être mis hors service.
- Un contrôle visuel des compartiments du toit doit être réalisé pour identifier tout indice de fuite. [14]

3.6 Intervalle d'inspection des installations de stockage

Les fréquences d'inspection sont déterminées en fonction de plusieurs paramètres techniques :

- La corrosion (taux de corrosion)
- La nature du produit stocké
- L'historique d'inspection les conditions d'exploitation [13]

Les inspections des installations de stockage sont planifiées pour assurer la sécurité, maintenir l'intégrité des équipements et prévenir les risques de fuite ou d'accident. Leur fréquence et leur portée sont adaptées à la nature et à la profondeur des contrôles nécessaires : [16]

3.6.1 Une inspection périodique

Elle est effectuée à intervalles réguliers, au moins mensuellement. Il s'agit d'un examen visuel externe élémentaire, visant à identifier sans délai toute irrégularité manifeste, telle qu'une fuite, une corrosion ou une déformation. Cette vérification récurrente représente un premier niveau de vigilance continue pour l'ensemble de l'installation. [16] [13]

La fréquence de ces contrôles doit être déterminée en fonction des conditions particulières du site, sans dépasser toutefois un intervalle mensuel. [15]

3.6.2 Une inspection externe

Approfondie doit impérativement être réalisée au minimum tous les cinq ans. Celle-ci implique un examen détaillé de l'état général de l'équipement, comprenant l'analyse des structures accessibles et, le cas échéant, l'utilisation de méthodes de contrôle non destructif. Cette procédure vise à évaluer la progression de l'usure et à s'assurer du maintien de la conformité de l'installation au fil du temps. [16] [13]

3.6.3 Une requalification périodique

Il convient de procéder à une requalification périodique complète au moins tous les dix ans. Cette intervention, la plus exhaustive, inclut un examen interne et externe ainsi qu'une appréciation globale de l'intégrité de la cuve. Son objectif est de vérifier que l'équipement demeure apte à assurer un fonctionnement sécurisé pour le cycle à venir. [16] [13]

3.7 Conclusion du chapitre

L'inspection représente un levier essentiel pour la prévention des risques et la préservation de l'intégrité des installations. La mise en œuvre de contrôles appropriés et périodiques permet d'anticiper les défaillances et de garantir une exploitation sécurisée. Le respect des exigences de sécurité ainsi que des fréquences d'inspection participe également à assurer la fiabilité des équipements.

CHAPITRE 4 : Présentation de l’entreprise

CHAPITRE 4 : Présentation de l'entreprise

4.0 Introduction du chapitre

SONATRACH occupe une position stratégique dans le secteur des hydrocarbures en Algérie, en particulier à travers ses diverses activités de transport et de gestion des infrastructures énergétiques. La Région Transport Ouest, quant à elle, joue un rôle essentiel dans l'acheminement des hydrocarbures et la sécurisation des opérations, grâce à une organisation bien structurée et à des services spécialisés.

4.1 PRÉSENTATION DE LA SONATRACH

Le 31 décembre 1963, la SONATRACH, la Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures, a été créée par décret présidentiel n° 63-491 du 31/12/1963 par l'État algérien.

Avec la nationalisation du domaine des énergies le 24 février 1971, et au fil du temps, elle devient l'une des entreprises pétrolières les plus puissantes du continent africain, contribuant ainsi au développement économique et social du pays.

Elle avait pour but de couvrir à long terme les besoins nationaux en hydrocarbures ainsi que le financement et le développement de la nation par l'apport de devises.

Le groupe SONATRACH se divise en 5 activités opérationnelles :

- L'activité amont (recherche, exploration et production).
- L'activité transport par canalisation des hydrocarbures liquides et gazeux (TRC).
- L'activité liquéfaction et séparation (LQS).
- L'activité raffinage et pétrochimie (RPC).
- L'activité commercialisation (COM). [17]

4.2 Organigramme de SONATRACH

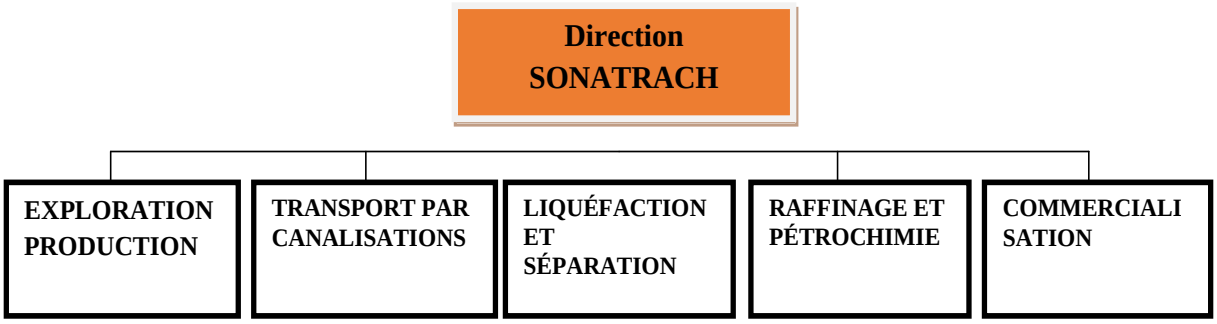


Figure 4:1 Organigramme général de SONATRACH [17]

4.3 Présentation de l'activité Transport par Canalisation (TRC)

Le Transport par Canalisations constitue le maillon intermédiaire entre l'amont de l'activité pétrolière et gazière et les activités en aval en matière de transformation, de traitement des hydrocarbures et leur commercialisation. C'est une étape charnière dans la chaîne des hydrocarbures.

L'Activité Transport par Canalisation prend en charge l'acheminement des hydrocarbures, du pétrole brut, du gaz, du GPL et du condensat à partir des zones de production vers les complexes de liquéfaction GNL et GPL, les raffineries à travers un réseau de canalisations de plus de 21 500 km ainsi que les différentes installations qui s'y rattachent (stations de pompage et stations de compression). [17]



Figure 4:2 Carte du réseau de canalisation de l'activité Transport par Canalisation (TRC) [17]

4.4 Organigramme de la TRC

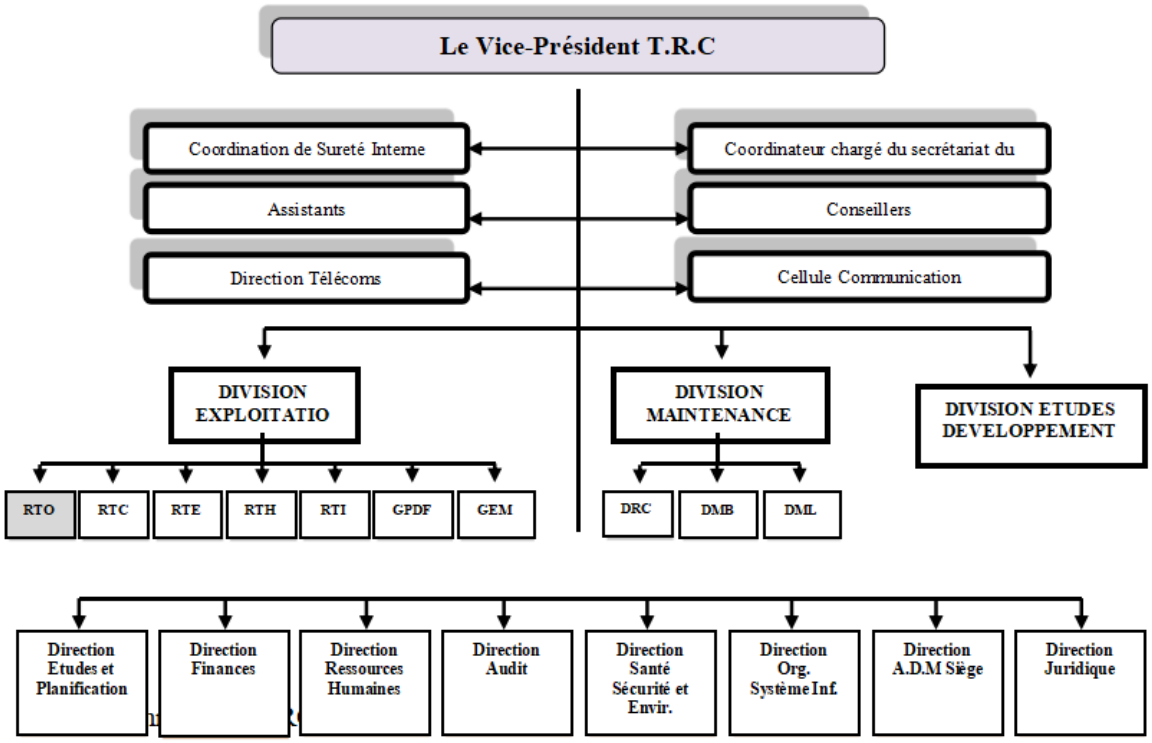


Figure 4:3 Organigramme de la TRC [17]

4.5 LES MISSIONS DE L'ACTIVITÉ TRC

Au sein du groupe SONATRACH, l'activité Transport par Canalisation (TRC) est en charge de :

- Acheminer les hydrocarbures (pétrole brut, gaz, GPL et condensat) depuis les zones de production jusqu'aux zones de stockage, aux complexes GNL, GPL, aux raffineries, aux ports pétroliers ainsi que vers les pays importateurs.
- Coordination des aspects stratégiques liés à l'activité transport par canalisations, ainsi que le règlement des interfaces opérationnelles critiques y afférentes.
- Gestion des interfaces opérationnelles.
- Préparation de la prise de décision de portée stratégique.
- Management des projets internationaux pour lesquels l'activité aura soumissionné seule ou dans le cadre d'un partenariat.

Dans le cadre de ces missions générales, l'activité Transport par canalisations :

- Définit, réalise, exploite, maintient et fait évoluer le réseau de canalisations et les installations y afférentes pour répondre aux besoins des profils de transport de SONATRACH dans les conditions optimales d'économie, de qualité, de sécurité et de préservation de l'environnement.
- Assure la régulation entre la production et la commercialisation. [17]

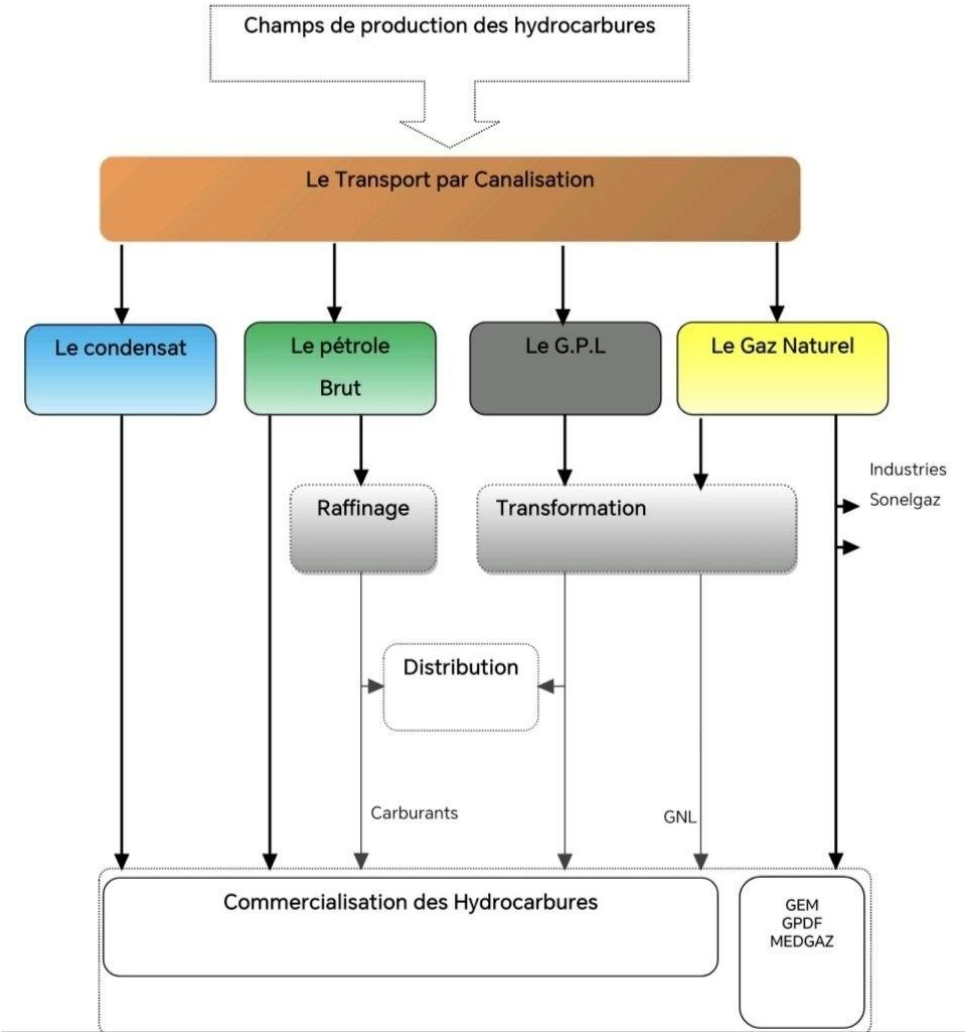


Figure 4:4 Schéma de positionnement du transport par canalisations dans la chaîne des hydrocarbures [17]

4.6 PRÉSENTATION DE LA RÉGION TRANSPORT OUEST RTO

Région Transport Ouest est l'une des sept (07) directions régionales de SONATRACH TRC, elle a été créée le 19 mars 1966. Sa vocation est le transport des hydrocarbures (gaz et

liquide) par canalisation des champs de production situés au sud vers les terminaux nord d'Arzew.

Le siège de la Direction se trouve au sein de la zone industrielle d'Arzew. Il gère une nappe de pipe-line composée de 9 pipes, transportant 4 produits pétroliers du sud du pays vers les complexes et les unités de transformation du pôle d'Arzew.

La région assure environ 51 % de la capacité de transport de l'Activité TRC.

Les produits transportés à travers les canalisations de la région de transport ouest (R.T.O) sont :

- Le gaz naturel.
- Le pétrole brut.
- Le condensat.
- Le gaz de pétrole liquéfié (G.P.L). [17]

4.7 ORGANIGRAMME DE LA RTO

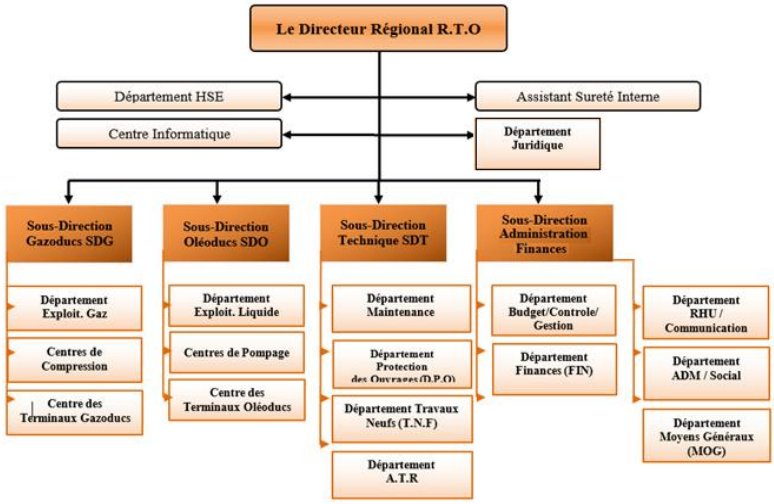


Figure 4:5 Organigramme de la Région Transport Ouest (RTO) [17]

4.8 LES ACTIVITÉS DE LA RTO

- Le transport, le stockage et la livraison des hydrocarbures liquides et gazeux ;
- L'exploitation, la maintenance du réseau de ces canalisations ;

- L'élaboration et la réalisation des programmes de transport et suivi du budget annuel.
- La maintenance préventive du patrimoine de la direction.
- Le suivi des projets d'extension, de renouvellement de son réseau. [17]

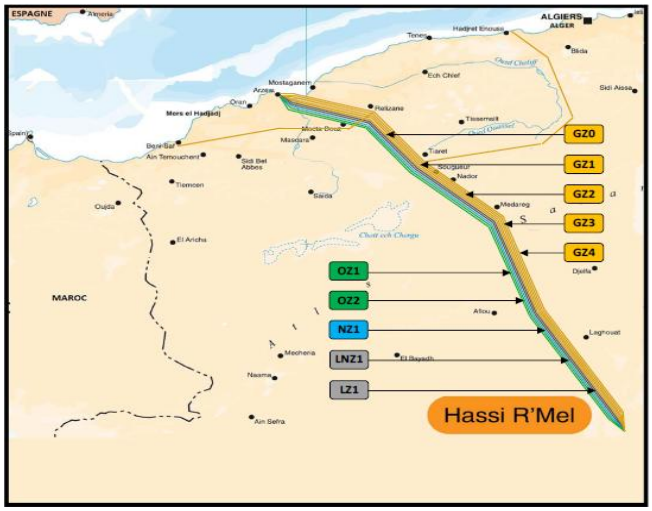


Figure 4:6 Patrimoine de la Région Transport Ouest (RTO) [17]

4.9 DEPARTEMENT HSE

Le Département HSE (hygiène sécurité environnement) se compose de 4 services et d'un secrétariat présenté dans la figure suivante : [17]

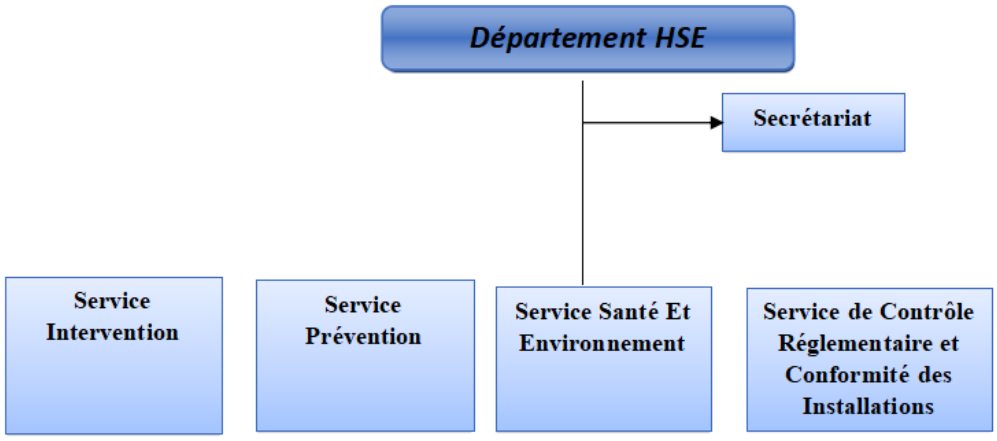


Figure 4:7 Organigramme du département Hygiène, Sécurité, Environnement (HSE) de la RTO [17]

4.10 Le service prévention

Il a pour tâche :

- Audits et inspections au niveau des différents sites de la région transport Ouest.

- Évaluation des risques lors des travaux effectués dans les différents sites de la région.
- Calcul des statistiques et établissement des rapports des accidents de travail survenus dans les sites de la région.
- Approbation des permis de travail et procédures des travaux entrepris dans les différentes installations de la région.
- Reporting mensuel HSE de la région (Rapports mensuels, rapports d'incidents, bulletin de reporting quotidien BRQ…).
- Investigation des accidents et incidents. [17]

4.11 Le service intervention

Son rôle est d'intervenir en cas d'accident et d'entretenir les équipements fixes et mobile utilisés pour l'intervention

Parmi ses tâches :

- Étudier les besoins des sites RTO en matière d'équipements de lutte contre l'incendie.
- Vérification systématique de tout équipement de lutte contre l'incendie.
- Diriger les interventions en cas de sinistre.
- Former et entraîner le personnel à l'utilisation des équipements en cas d'intervention. [17]

4.12 Le service santé-environnement

- Contact permanent des différentes Directions environnement des wilayas de la Région « dossiers environnementaux ».
- Établissement des rapports mensuels de l'activité environnementale.
- Recensement des déchets « batteries, pneus et huiles usagées ».
- Inspection mensuelle des points d'observation des eaux souterraines.
- Suivi des plans d'actions concernant des audits environnementaux et des études de danger.
- Recensement des produits chimiques.
- Analyse des eaux de rejets pour les séparateurs API : inspection, rondes et audits réguliers des différents sites de la région. [17]

4.13 Le service contrôle réglementaire et conformité des installations (CRCI)

- La réglementation algérienne prévoit un suivi en exploitation des installations pétrolières et notamment des inspections et requalifications périodiques.
- Les inspections périodiques (les installations, extincteurs, bouteilles d'oxygène, appareils revêtus, tuyauteries, dispositifs de sécurité) : étude documentaire, examen visuel interne et externe, contrôle des accessoires de sécurité.
- Les vérifications des dossiers techniques (réglementaires, notes de calculs, état descriptif…).
- Contrôle de l'application de la réglementation technique, d'hygiène, de sécurité et environnementale.
- Contrôle de la comptabilité des entreprises. [17]

4.14 Conclusion du chapitre

En conclusion, la description de SONATRACH et de la Région Transport Ouest souligne le rôle crucial de leur organisation dans le transport des hydrocarbures. Les diverses structures et services, en particulier dans le domaine HSE, participent à garantir la continuité des opérations ainsi que la sécurité et la fiabilité des installations

CHAPITRE 5 : Inspection des bacs de stockage des hydrocarbures – Cas pratique des bacs 807 et 808

CHAPITRE 5 : Inspection des bacs de stockage des hydrocarbures – Cas pratique des bacs 807 et 808

5.0 Introduction du chapitre

Ce chapitre est consacré à l'application pratique du thème central de ce mémoire, à savoir « l'inspection des bacs de stockage des hydrocarbures ». Cette activité revêt une importance capitale, car elle garantit la sécurité des installations, protège le personnel et préserve l'environnement. Dans le cadre de cette étude, nous avons procédé à l'inspection de deux bacs de stockage relevant de la Région Transport Ouest (RTO) de SONATRACH, plus précisément les bacs 807 et 808. L'objectif consiste à exposer les résultats détaillés de ces inspections, à examiner les dégradations constatées à l'aide des photographies et des fiches d'inspection, puis à proposer des recommandations opérationnelles visant à renforcer la fiabilité des équipements. Ainsi, ce chapitre illustre de façon concrète le rôle fondamental de l'inspection dans la gestion des risques associés au stockage des hydrocarbures.

5.1 RAPPORT D'INSPECTION PÉRIODIQUE

Ce rapport concerne les bacs de stockage n° 807 et 808 de la Région Transport Ouest (RTO) – SONATRACH, réalisé par Cherfaoui Asmaa le 20 et le 29 avril 2026, validé par Laid Zoubir (Responsable HSE RTO).

Il s'agit d'une visite de routine (inspection visuelle externe).

5.1.1 Pourquoi cette inspection ?

Cette mission visait à inspecter visuellement et fonctionnellement la condition des installations, à repérer les altérations apparentes, et à dresser un bilan comparatif de leur état.

5.2 Présentation des bacs inspectés

Les deux bacs inspectés sont des bacs à toit flottant situés dans le parc de stockage de la Région Transport Ouest. Ils sont tous deux destinés au stockage des hydrocarbures

5.2.1 Bac 807 : réservoir en exploitation continue, n'ayant subi aucune intervention majeure récente.

5.2.2 Bac 808 : réservoir ayant bénéficié d'une réhabilitation, avec un accent particulier mis sur l'inspection et la comparaison des états.

Ces deux bacs ne sont pas choisis au hasard. Le bac 807, en service depuis plusieurs décennies sans réhabilitation récente, subit une dégradation progressive. Le bac 808, réhabilité en mars 2026, permet une analyse comparative entre un équipement vieillissant et un autre remis à niveau, offrant une vision globale des enjeux d'intégrité du parc de la RTO.

L'inspection a été menée conformément aux exigences de la norme API 653 ainsi qu'aux procédures internes de SONATRACH. Elle a porté sur l'inspection visuelle externe et interne, le contrôle des dispositifs de sécurité.

5.3 Méthodologie employée

J'ai employé :

- Une fiche d'inspection standardisée SONATRACH (comportant plus de 80 points de vérification).
- Un examen visuel externe approfondi réalisé depuis le sol, les escaliers, la toiture et les passerelles.
- Un relevé photographique méthodique afin de documenter chaque anomalie.

5.4 AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité)

Dans le domaine du stockage des hydrocarbures, le risque est toujours présent. Afin de structurer les opérations d'inspection et de concentrer les contrôles sur les composants les plus critiques, une analyse AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) a été réalisée sur le système de « bac de stockage d'hydrocarbures ». Cette approche permet d'identifier la nature, les causes et les conséquences de ce risque.

5.4.1 Fonctions principales

- Résister aux contraintes mécaniques et thermiques
- Assurer un stockage sécurisé des hydrocarbures.
- Garantir l'étanchéité.
- Autoriser les opérations de remplissage et de vidange.

5.4.2 Grille de criticité utilisée

Table 5:1 Grille de criticité utilisée

Symbole	Signification	Échelle
G	Gravité	1 = Mineure → 5 = Catastrophique
O	Occurrence	1 = Très rare → 5 = Très fréquente
D	Détection	1 = Très facile → 5 = Impossible
C	Criticité (G × O × D)	Calcul automatique

Seuils de criticité retenus :

- **C > 50** → Très élevé (action immédiate, arrêt si détecté)
- **C = 35 à 50** → Élevé (action programmée, inspection renforcée)
- **C = 15 à 34** → Moyen (surveillance, inspection annuelle)
- **C < 15** → Faible (acceptable, inspection normale)

5.4.3 Table AMDEC détaillé

Table 5:2 Tableau AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité)

Équipement	Mode de défaillance	Causes principales	Conséquences	G	O	D	C	Niveau de risque	Moyens de détection	Actions préventives
Fond du bac	Corrosion par piqûres (pitting)	Présence d'eau et de bactéries ; Produit agressif (sels, soufre) ; Défaut de revêtement époxy	Fuite d'hydrocarbures → Incendie + pollution des sols et des eaux souterraines	**5**	**3**	**4**	**60**	Très élevé	Flux de fuite magnétique (MFL) ; Ultrasons (UT) ; Boîte à vide	Revêtement époxy de qualité ; Contrôle de l'eau décantée ; Traitement du produit en amont
Fond du bac	Corrosion généralisée	Corrosion externe ; Protection cathodique défaillante	Percement du fond → Fuite massive → Pollution des sols et de la nappe phréatique	**4**	**4**	**3**	**48**	Élevé	Ultrasons (UT) sur grille ; Inspection annuelle ; Requalification API 653	Protection cathodique entretenue ; Assise drainante ; Surveillance du taux d'eau
Toit fixe	Effondrement / affaissement	Surcharge (eau stagnante, sable, dépôts, objets) ; Corrosion des	Effondrement du toit → Rejet massif de vapeurs / hydrocarbures → Incendie, explosion,	5	2	3	30	Élevé	Inspection visuelle de la planéité ; Contrôle des flèches ; Mesure	Évacuation régulière des eaux pluviales ; Nettoyage du toit ; Contrôle des dépôts ;

		tôles ; Défaut de conception ou de maintenance	pollution et arrêt prolongé						d'épaisseur (UT) ; Inspection des poutres et charpentes	Reprofilage si nécessaire ; Reprise de peinture
Toit flottant	Défaut d'étanchéité	Usure ; Vieillissement du joint ; Frottement contre la robe ; Mauvais montage ; Températures extrêmes	Émissions gazeuses importantes → Formation de nuage inflammable → Risque d'UVCE (explosion de nuage de vapeur) et perte de produit par évaporation	4	3	2	24	Moyen	Mesure de concentration hydrocarbures (détecteurs) ; Inspection visuelle annuelle ; Test de fuite	Remplacement périodique des joints ; Utilisation de joints adaptés au produit ; Lubrification ; Formation à la pose
Soudures (fond/robe)	Fissuration	Fatigue cyclique ; Défaut soudage	Rupture brutale → Incendie, explosion (BLEVE, Boil-over) et effet domino	**5**	**3**	**3**	**45**	Élevé	Ressuage (PT) ; Magnétoscopie (MT) ; Radiographie (RT)	Contrôle soudage ; Limitation cycles ; Inspections régulières
Protection cathodique	Dysfonctionnement	Anodes consommées ; Défaut d'alimentation ; Coupure de circuit ; Vieillissement	Accélération de la corrosion externe → Percement prématuré → Fuite et réduction de la durée de vie	**4**	**3**	**4**	**48**	Élevé	Mesures de potentiel (sondes) ; Inspection des anodes ; Contrôle du circuit	Relevés périodiques des potentiels ; Remplacement planifié des anodes ; Formation des opérateurs

Soupapes de sûreté / Évents	Blocage ou mauvais fonctionnement	Corrosion ; Dépôts ; Défaut maintenance ; Mauvais calibrage	Non-évacuation des excès de pression → Surpression ou dépression → Explosion ou effondrement du bac	**4**	**3**	**3**	**36**	Élevé	Test manuel périodique ; Contrôle du calibrage ; Démontage et nettoyage	Maintenance préventive ; Purge régulière ; Lubrification ; Plan de remplacement
Mise à la terre	Rupture ou corrosion de la connexion	Vieillissement du câble ; Choc mécanique ; Corrosion ; Desserrage	Accumulation de charges électrostatiques → Étincelle → Inflammation des vapeurs → Incendie ou explosion	**5**	**2**	**3**	**30**	Élevé	Mesure de résistance de terre (< 25 Ω) ; Inspection visuelle semestrielle	Connexions en cuivre étamé ; Double mise à terre ; Vérification après orage
Robe (viroles)	Déformation (ovalisation, flambage)	Vent violent ; Vidange trop rapide ; Surpression accidentelle	Effondrement partiel du réservoir → Rejet massif d'hydrocarbures → Incendie et pollution majeure	**4**	**2**	**2**	**16**	Moyen	Inspection visuelle ; Mesures de circularité ; Contrôle des ceintures	Respect des procédures de vidange ; Évents anti-dépression ; Ceintures renforcées
Joints d'étanchéité (toit flottant)	Rupture / usure	Frottement contre la robe ; Vieillissement ; Corrosion	Émissions de vapeurs d'hydrocarbures → Risque d'explosion (UVCE) et perte de produit par évaporation	**4**	**3**	**2**	**24**	Moyen	Inspection visuelle ; Mesure des gaz ; Contrôle du jeu annulaire	Remplacement périodique ; Joints adaptés au produit ; Lubrification

Cuvette de rétention	Défaillance de l'étanchéité	Fissuration du béton ; Soupape de trop-plein bloquée	Non-confinement du produit → Propagation du feu aux réservoirs voisins (effet domino) + pollution étendue	**4**	**2**	**2**	**16**	Moyen	Inspection visuelle des parois ; Test d'étanchéité ; Contrôle des soupapes	Réparation des fissures ; Entretien des vannes ; Mise en conformité
Vannes (arrivée, départ, vidange)	Blocage / fuite	Corrosion interne ; Dépôts ; Usure des joints ; Défaut de manœuvre	Impossibilité d'isoler le bac en cas d'urgence → Aggravation d'un incident ; Fuites prolongées	**4**	**3**	**3**	**36**	Élevé	Manœuvre périodique ; Inspection visuelle ; Contrôle d'étanchéité	Programme d'entretien ; Lubrification ; Remplacement des joints ; Exercice de manœuvre

5.4.4 Synthèse des niveaux de criticité

L'AMDEC a mis en évidence que :

Le fond du bac représente l'élément le plus critique, avec un niveau de risque très élevé, ce qui justifie une vigilance accrue lors des opérations d'inspection.

Les soudures, la protection cathodique, les dispositifs de soupape ainsi que le toit fixe affichent des degrés de risque élevés, exigeant des inspections plus renforcés.

Les joints d'étanchéité, la robe et le toit flottant nécessitent une inspection périodique, sans qu'il s'agisse d'une urgence immédiate.

5.5 Inspection du bac 807

L'inspection du bac 807 vise à vérifier l'état d'intégrité de l'équipement en service continu, ainsi que sa conformité aux exigences de sécurité et d'exploitation.



Figure 5:1 Vue générale du bac 807

5.5.1 FICHE D'INSPECTION 1

ACTIVITE TRANSPORT PAR CANALISATIONS **DIVISION EXPLOITATION** **REGION TRANSPORT OUEST**	**FICHE D'INSPECTION DES BACS DE STOCKAGE**	**Fiche N° :** / **Date d'inspection :** 20/04/2026

INFORMATIONS GENERALES			
Identification du bac : 807	**Parc de stockage : TA/OZ1-2** **Localisation GPS :** 35°49'17.2" Nord, 0°18'47.9" Ouest.	**Capacité design (m³) : 51200** **Hauteur (m) :** 15.850 **Diamètre (m) :** 61.874	**Constructeur :** WHESSOE LIMITED **Mise en service :** 1966
Type de bac : ▪ Bac à toit fixe : X ▪ Bac à toit flottant:	**Produit stocké :** ▪ Pétrole brut : X ▪ Condensat :	**Situation actuelle du bac :** ▪ En service : X ▪ Hors service :	**Revêtement interne :** ▪ Existant : X ▪ Non :
Procédure d'inspection : Réf //			
Tableau d'affichage - Bacs en mouvement ▪ Existant : X ▪ Renseigné : X ▪ Actualisé: X	**Plan de zonage** ▪ Existant : X ▪ Actualisé : X	**Plaque signalétique du bac** ▪ Existante : X ▪ Conforme: Non	**Signalisation zone ATEX** ▪ Existant : X ▪ Non:

Date de la dernière requalification : **2022**	**Date prévisionnelle de la prochaine requalification :** 2032	**Date de la dernière inspection périodique :** Décembre 2025	**Date de la prochaine inspection périodique :** Juin 2026

N°	Désignation	Vérification	Oui	Non	Faible	Modéré	Critique	Observation
1. Fondation								
1.1	**Assise**	Tassement uniforme		**X**				
1.2		Tassement différentiel		**X**				
1.3		Erosion de l'assise		**X**				
1.4		Inclinaison		**X**				
1.5	**Périphérie du réservoir** (Galette ou semelle en béton)	Affaissement/ Fractures		**X**				
1.6		Béton dégradé (Cassure fissures armature apparentes)	**X**					
1.7	**Boulon d'ancrage**	Boulon d'ancrage dégradés	**_**	**_**				**NC**
2. Fond								
2.1	**Revêtement interne** (Bitume liner plaque)	Fissure / décollement / Dégradation	**_**	**_**				**NC**

2.2	**Tôle Périphérie/Pied de robe**	Corrosion localisée/Généralisée		**X**				
2.3		Mauvais contact avec l'assise		**X**				
2.4		Dégradation / Enfoncement		**X**				
2.5		signes de fuite entre l'assise et la tôle du fond		**X**				
3. Robe								
3.6	**Pied de robe**	Visible / Dégagé de toute gêne de vérification		**X**				**Présence de végétation à faible densité, marginale invisible et couverte par une couche de béton**
3.7		Présence de défaut sur le joint de soudure		**X**				
3.8		Signe de fuite sur le pied robe		**X**				
3.9	**Viroles**	Verticalité	**X**					
3.10		Rotondité (Ovalisation)		**X**				
3.11		Revêtement dégradé	**X**			**X**		**Décollement de peinture**
3.12	**Tôles**	Corrosions internes / externes	**X**		**X**			**Quelques parties présentent de la corrosion**
3.13		Déformation de la robe (flambement, gondolement, méplat …etc.)	**X**		**X**			**Le toit est gonflé à quelques endroits**
3.14	**Poutre raidisseuse**	Présence de corrosion Localisée / Généralisée/piqures	**–**	**–**				**NC**
3.15		Présence de retenues d'eau	**–**	**–**				**NC**

3.16		Présence des déchets (Fientes d'oiseaux, sable …etc.)	–	–				**NC**
N°	**Désignation**	**Vérification**	**Oui**	**Non**	**Faible**	**Modéré**	**Critique**	**Observation**
3.17	**Trous d'homme et piquages**	Fuite		**X**				
3.18		Dégradation de la boulonnerie		**X**				**Trou d'homme non boulonné**
3.19		Dégradation du couvercle		**X**				
3.20	**Tuyauteries liées au bac**	Présence de fuite sur (Tuyauterie, brides)		**X**				
3.21		Tuyauteries endommagées et/ou sous contrainte		**X**				
3.22		Fuite au niveau des raccords		**X**				
3.23	**Vanne de drainage des eaux pluviales**	Position fermée		**X**				
3.24		Écoulement de produit (bouchage)		**X**				
3.25		Fuite		**X**				
3.26		Manœuvrabilité	**X**					
3.27	**Vanne de purge**	Position (défaut de fin de course)		**X**				
3.28		Écoulement de produit (bouchage)		**X**				
3.29		Fuite		**X**				
3.30		Manœuvrabilité	**X**					

3.31	**Vanne pied de bac**	Position (défaut de fin de course)		**X**				
3.32		Écoulement de produit(bouchage)		**X**				
3.33		Fuite		**X**				
3.34		Manœuvrabilité	**X**					
3.35	**Escalier hélicoïdal**	Dégradation du Garde – corps (Corrosion, déformation……)	**X**		**X**			**Décollement de peinture**
3.36		Détachement des soudures de fixation		**X**				
3.37		Corrosion /Dégradation entre support / Robe		**X**	**X**			**Décollement de peinture + présence de corrosion**
3.38		Détérioration des supports d'escaliers		**X**				
4. Toit								
4.1	**Tôles**	Présence de corrosions	**X**		**X**			**Quelques points de corrosion**
4.2		Défaut de peinture	**X**		**X**			**Décollement de peinture**
4.3		Déformation des tôles du toit	**X**		**X**			**Une déformation apparente sur quelques parties**
4.4		Dépôt sur le toit (hydrocarbures ,Eau ,Sable)	**X**		**X**			**Présence de brut, de sable et de stagnation d'eau**
4.5	**Caissons**	Couvercles des caissons en place	**X**			**X**		**Un caisson est trouvé ouvert et un autre est coincé**
4.6		Liquide/Vapeurs /Explosives dans les caissons	**X**		**X**			**Présence d'une faible quantité d'eau au niveau du caisson numéro 35**

4.7		Absence de numérotation des caissons		**X**				**Manque de poignées**
N°	**Désignation**	**Vérification**	**Oui**	**Non**	**Faible**	**Modéré**	**Critique**	**Observation**
4.8	**Joint d'étanchéité**	Joint détérioré (Défaut du tissu, présence de trous, déchirures et fissures)		**X**				**Présence du gaz**
4.9		Jeu conforme entre joint/Robe	**X**					
4.10	**Trappe d'échantillonnage**	Dégradation et/ou dysfonctionnement du mécanisme du couvercle de la trappe d'échantillonnage		**X**				**Trappe d'échantillonnage trouvée ouverte**
4.11	**Echelle roulante**	Dégradation de la peinture de la main courante et présence de corrosion (piqûres, trous, défaut de soudure…etc.)	**X**		**X**			
4.12		Dysfonctionnement du mécanisme de nivellement automatique des marches		**X**				
4.13		**Rail d'escalier** est correctement alignée	**X**			**X**		**L'échelle bouge : du jeu est présent**
4.14		Endommagement du Garde-corps	**X**		**X**			**Présence de la corrosion**
4.15	**Béquilles de position**	Dans la position voulue (Haute / Basse)	**X**					**Haute**
4.16		Présence des goupilles sur les béquilles	**X**					
4.17		Absence de numérotation des béquilles	**X**					**Les béquilles ne sont pas numérotées**
4.18	**Béquilles casse vide**	Dans la position voulue (Haute / Basse)	**X**					
4.19		Présence des goupilles sur les béquilles	**X**					

4.20	**Tube de guidage**	Absence de déformation du tube guide de toit	–	–				**NC**
4.21		Dégradation des rouleaux de guidage	–	–				**NC**
4.22	**Transmetteur alarme niveau**	Fonctionnement	**X**					
4.23	**Passerelle**	Garde-corps /Corrosion	**X**			**X**		**Présence de corrosion, de décollement de peinture et d'ouvertures de 30 cm de diamètre**
5. Évacuation des eaux pluviales								
5.1	**Drain**: flexidrain (articulé)	Colmatage / Rupture et/ou fuites	**X**			**X**		**Drain bouché**
5.2	**Drain de sécurité**	Colmatage		**X**				
5.3	**Goulotte et puisard de drainage**	État de propreté / Stagnation de matière		**X**				
6. Cuvette								
6.1	**Fond de cuvette**	Présence de végétation	**X**		**X**			**Présence de végétation à faible densité**
6.2		Pente suffisante / uniforme	**X**					
6.3		Encombrement		**X**				**Présence d'anciens agitateurs**
6.4		Présence d'animaux fouisseurs		**X**				
6.5		Déformation / Tassement / Dégradation		**X**				

N°	Désignation	Vérification	Oui	Non	Faible	Modéré	Critique	Observation
6.6	**Merlon**	Déformations/ Tassements/ Dégradations		X				
6.7		Encombrement		X				
6.8	**Regard/Puisard**	Bouchage/ Dégradation / Envasement	X			X		**Regard bouché**
6.9	**Voies d'accès**	Dégradations	X					
6.10		Obstacles		X				
6.11		Signalisation de sécurité		X		X		**Manque de signalisation**
7. Protection cathodique								
7.1	**Système protection cathodique**	Existence / Type	X					**A courant imposé**
7.2		Efficacité	X					
7.3	**Transformateur redresseur**	Opérationnel	X					
7.4		Présence d'anomalies (Niveau d'huile température ….etc.)		X				
7.5		Mise à la terre conforme	X					
7.6	**Potentiels**	Critères de protection atteints	X					
8. Mise à la terre (MALT)								
8.1	**MALT**	État des connexions dégradés (Cosses, câbles)		X				

8.2		Résistance non conforme		**X**				
8.2	**LEP** **Escalier - passerelle**	État des connexions dégradés		**X**				
8.3		Discontinuité électrique des câbles		**X**				
8.4		Résistance non conforme		**X**				
8.5	**LEP Toit-robe** **(Plaque de shunt)**	Mauvais contact avec la robe		**X**				
8.6		Corrosion et/ou endommagement		**X**				
8.7		Nombre insuffisant		**X**				
8.8	**LEP Escalier - Toit**	Connexions électrique conforme (Cosse, câbles, continuité **)**	**X**					
9. Eclairage								
9.1	**Eclairage**	Conforme aux exigences ATEX	**X**					
9.2		Eclairage insuffisant		**X**				
9.3		Boite de jonction Conforme aux exigences ATEX	**X**					
10. Protection incendie								
10.1	**Centrale à mousse** **USD / Mobile**	Dégradation et/ou dysfonctionnement	**–**	**–**				**NC**
10.2		insuffisance de la quantité émulseur	**–**	**–**				**NC**
N°	**Désignation**	**Vérification**	**Oui**	**Non**	**Faible**	**Modéré**	**Critique**	**Observation**

10.3	**Déversoir à mousse**	Fixation inadéquate		**X**				
10.4		Insuffisance de débit (Colmatage)		**X**				
10.5		Corrosion et/ou endommagement		**X**				
10.6	**Déflecteurs**	Position / Corrosion		**X**				
10.7		Fixation inadéquate		**X**				
10.8	**Barrage à mousse**	Corrosion et/ou dégradation des tôles		**X**				
10.9		Hauteur inadéquate		**X**				
10.10		Les ouvertures (orifices) de drainage inadéquate		**X**				
10.11		Détachement et/ou de fixation inadéquate		**X**				
10.12	**Colonne de pré-mélange**	Corrosion et/ou dégradation de la Peinture de revêtement		**X**				
10.13		Dégradation des supports		**X**				**Présence de corrosion au niveau des supports**
10.14		Présence de fuite		**X**				
10.15		Colmatage		**X**				
10.16	**Colonne de refroidissement**	Corrosion et/ou dégradation de la Peinture de revêtement		**X**				
10.17		Dégradation des supports		**X**				

10.18		Présence de fuite		**X**				
10.19		Colmatage		**X**				
10.20	**Couronne de refroidissement**	Corrosion et/ou dégradation de la Peinture de revêtement	**X**		**X**			**Revêtement non conforme de la couronne de refroidissement**
10.21		Dégradation des supports		**X**				
10.22		Présence de fuite		**X**				
10.23		Colmatage		**X**				
10.24	**Diffuseurs**	Colmatage		**X**				
10.25		Absence de certains diffuseurs		**X**				
10.26		Orientation inadéquate		**X**				
10.27	**Lance à eau**	Suffisance de débit / Fonctionnement	**X**					
10.28	**Pression de débit disponible**	Insuffisance de pression du réseau lecture en bar		**X**				
10.29		**Insuffisance de pression du réseau lecture en bar** m^3		**X**				

N°	Désignation	Vérification	Oui	Non	Faible	Modéré	Critique	Observation
10.30	Système de détection incendie	Endommagement du câble thermosensible	X					
10.31		Mauvaise fixation du câble thermosensible	X			X		Câble non fixé
10.32		Dysfonctionnement des détecteur de flamme		X				
10.33		Dysfonctionnement de la chaine de détection		X				

N°	AUTRES CONSTATS
01	Mauvaise fixation du câble FGD au niveau de la cuvette.
02	Un désherbage est nécessaire
03	Présence d'agitateurs

ETABLI PAR			
Nom & Prénom	**Qualité**	**Date**	**Signature**
Cherfaoui Asmaa			
VALIDE PAR			
Nom & Prénom	**Qualité**	**Date**	**Signature**
Laid Zoubir			

5.5.2 Résultats de l'inspection – Bac 807

5.5.2.1 Anomalies constatées

5.5.2.1.1 Criticité Très élevé

- Le trou d'homme n'est pas boulonné, ce qui constitue une non-conformité manifeste→ **risque de chute de personnes, intrusion, ou émanations.**
- Le joint montre un début d'usure, avec une légère émission de gaz constatée→ **risque d'explosion ou d'intoxication.**
- Présence de corrosion (perte de métal) → **affaiblissement structurel.**
- La passerelle comporte des ouvertures d'environ 30 cm de diamètre, ainsi qu'une corrosion avancée → **risque de chute de personnes ou d'objets.**
- L'échelle roulante bouge : du jeu est présent→ **risque de chute ou rupture.**
- Déformation du toit sur quelques parties→ **risque d'effondrement partiel.**

5.5.2.1.2 Criticité Élevée

- Mauvaise fixation du câble thermosensible→ **risque de détection incendie inopérante.**
- Deux câbles de terre solidarisés sans respect des normes→ **risque électrique ou défaut de protection contre la foudre.**
- Le toit accumule de l'eau stagnante, du sable, des traînées d'hydrocarbures et divers objets→ **surcharge, incendie, dégradation accélérée.**
- L'escalier hélicoïdal montre une corrosion modérée qui affecte les garde-corps et les marches→ **risque de rupture partielle.**
- Le drain des eaux pluviales est obstrué, et l'évacuateur est dégradé→ **risque d'inondation.**

- Niveau de béton supérieur à celui de la marginale→ **défaut d'étanchéité ou de conception.**
- Regard d'évacuation colmaté→ **risque d'engorgement.**
- Présence de traces d'eau au niveau du caisson n°35→ **risque de corrosion interne.**
- Trou d'homme corrodé→ **risque d'affaiblissement.**
- Revêtement non conforme de la couronne de refroidissement→ **risque de corrosion ou inefficacité.**
- Absence de panneaux de signalisation→ **risque d'accident par méconnaissance des règles.**

5.5.2.1.3 Criticité Moyenne

- Le béton est dégradé, avec des fissures et apparentes → **perte d'intégrité mécanique.**
- Présence de traces de brut sur les escaliers→ **glissance potentielle.**
- L'assise du bac est marquée par une humidité persistante, accompagnée d'une végétation modérée→ **risque à long terme.**
- Couvercle de trappe non fermé→ **si accès contrôlé.**
- Blocage d'un couvercle de caisson→ **gêne pour maintenance.**
- Présence d'un nid d'oiseaux près de la couronne de refroidissement→ **nuisance mais danger limité.**
- La cuvette de rétention est encombrée par la présence d'anciens agitateurs→ **perte de capacité de rétention, encombrement.**

5.5.2.1.4 Criticité Faible

- La fiche technique du bac est illisible→ **difficulté d'exploitation / maintenance.**
- Manque de numérotation des béquilles→ **confusion possible.**

- La peinture de la robe présente un décollement, un cloquage et de la corrosion sur plusieurs zones→ **défaut esthétique / corrosion future.**
- Présence d'une couche de béton sur la tôle marginale→ **gêne mais non immédiatement dangereux.**

5.5.2.2 Aspects favorables

- Aucune déformation notable de la robe n'a été constatée (absence de flambage ou d'ovalisation apparente).
- Aucune fuite importante d'hydrocarbures n'a été observée.
- La cuvette de rétention est globalement en bon état, malgré la présence d'encombrements.
- Les soudures principales ne présentent pas de fissure visible à l'œil nu.
- Toutes les vannes sont manœuvrables.
- Éclairage répondant aux normes ATEX.

5.5.2.3 Évaluation générale (Bac 807)

Le bac est utilisable, mais il présente des détériorations notables (peinture, corrosion, étanchéité, drainage). Un faible dégagement gazeux au niveau du joint indique un début de perte d'étanchéité, nécessitant une surveillance attentive.



Figure 5:2 Fiche technique dégradée du bac 807



Figure 5:3 Décollement de peinture

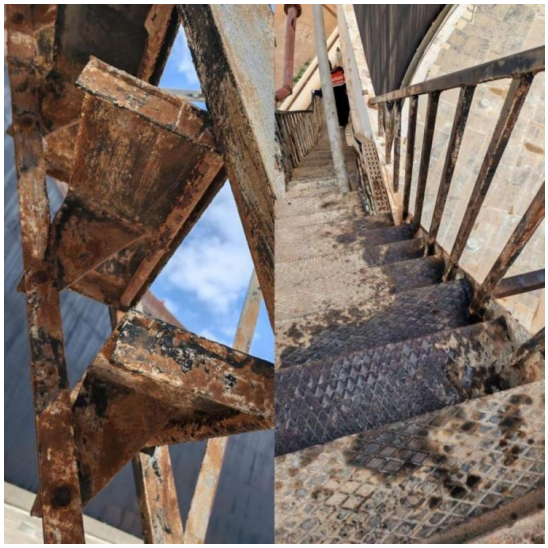


Figure 5:4 Oxydation de l'échelle roulante et présence de brut



Figure 5:5 Corrosion de la passerelle



Figure 5:6 Trous de grand diamètre dans la passerelle



Figure 5:7 L'évacuation des eaux pluviales est bouchée



Figure 5:8 Toit encombré d'objets et présence de sable



Figure 5:9 Flaques d'eau stagnante sur le toit et traces de pétrole



Figure 5:10 Trou d'homme non boulonné



Figure 5:11 Mauvaise fixation du câble thermosensible

5.6 Inspection du bac 808

L'inspection du bac réhabilité 808 a pour objectif de vérifier l'état d'intégrité de l'équipement après les opérations de maintenance réalisées, ainsi que de s'assurer de sa conformité aux exigences de sécurité et d'exploitation

Ce bac a fait l'objet d'une réhabilitation suite à la détection de dégradations antérieures, notamment liées à des phénomènes de corrosion. Les travaux réalisés ont permis de restaurer certaines parties critiques de la structure.



Figure 5:12 Vue générale du bac 808

5.6.1 FICHE D'INSPECTION 2

ACTIVITE TRANSPORT PAR CANALISATIONS **DIVISION EXPLOITATION** **REGION TRANSPORT OUEST**	**FICHE D'INSPECTION DES BACS DE STOCKAGE**	**Fiche N° :** / **Date d'inspection :29/04/2026**

INFORMATIONS GENERALES			
Identification du bac : 808	**Parc de stockage : TA/OZ1/OZ2** **Localisation GPS :/**	**Capacité design (m³) :** 50000 **Hauteur (m) :** 15.50 **Diamètre (m) :** 62.72	**Constructeur :** Constructions métaliques de Provence et des Aredenes Sedan France **Mise en service :** 1966
Type de bac : ▪ Bac à toit fixe : ▪ Bac à toit flottant : X	**Produit stocké :** ▪ Pétrole brut : X ▪ Condensat :	**Situation actuelle du bac :** ▪ En service : X ▪ Hors service :	**Revêtement interne :** ▪ Existant : X ▪ Non :
Procédure d'inspection : Réf ://			
Tableau d'affichage - Bacs en mouvement ▪ Existant : X ▪ Renseigné : X	**Plan de zonage** ▪ Existant : X ▪ Actualisé : X	**Plaque signalétique du bac** ▪ Existante : X ▪ Conforme : Oui	**Signalisation zone ATEX** ▪ Existant : X ▪ Non :

▪ Actualisé : X			
Date de la dernière requalification : Mars 2026	**Date prévisionnelle de la prochaine requalification :** 2036	**Date de la dernière inspection périodique :** 2024	**Date de la prochaine inspection périodique :** Juin 2026

N°	Désignation	Vérification	Oui	Non	Faible	Modéré	Critique	Observation
11. Fondation								
1.1	**Assise**	Tassement uniforme		**X**				
1.2		Tassement différentiel		**X**				
1.3		Erosion de l'assise		**X**				
1.4		Inclinaison		**X**				
1.5	**Périphérie du réservoir** (Galette ou semelle en béton)	Affaissement/ Fractures		**X**				
1.6		Béton dégradé (Cassure fissures armature apparentes)		**X**				
1.7	**Boulon d'ancrage**	Boulon d'ancrage dégradés		**X**				

12. Fond								
2.1	**Revêtement interne** (Bitume liner plaque)	Fissure / décollement / Dégradation		**X**				
2.2	**Tôle Périphérie/Pied de robe**	Corrosion localisée/Généralisée		**X**				
2.3		Mauvais contact avec l'assise		**X**				
2.4		Dégradation / Enfoncement		**X**				
2.5		signes de fuite entre l'assise et la tôle du fond		**X**				
13. Robe								
3.6	**Pied de robe**	Visible / Dégagé de toute gène de vérification	**X**					
3.7		Présence de défaut sur le joint de soudure		**X**				
3.8		Signe de fuite sur le pied robe		**X**				
3.9	**Viroles**	Verticalité	**X**					
3.10		Rotondité (Ovalisation)		**X**				
3.11		Revêtement dégradé		**X**				
3.12	**Tôles**	Corrosions internes / externes		**X**				
3.13		Déformation de la robe (flambement, gondolement, méplat …etc.)		**X**				

3.14	**Poutre raidisseuse**	Présence de corrosion Localisée / Généralisée/piqures		**X**				
3.15		Présence de retenues d'eau		**X**				
3.16		Présence des déchets (Fientes d'oiseaux, Sable …etc.)		**X**				
N°	**Désignation**	**Vérification**	**Oui**	**Non**	**Faible**	**Modéré**	**Critique**	**Observation**
3.17	**Trous d'homme et piquages**	Fuite		**X**				
3.18		Dégradation de la boulonnerie		**X**				
3.19		Dégradation du couvercle		**X**				
3.20	**Tuyauteries liées au bac**	Présence de fuite sur (Tuyauterie, brides)		**X**				
3.21		Tuyauteries endommagées et/ou sous contrainte		**X**				
3.22		Fuite au niveau des raccords		**X**				
3.23	**Vanne de drainage des eaux pluviales**	Position fermée		**X**				
3.24		Écoulement de produit (bouchage)		**X**				
3.25		Fuite		**X**				
3.26		Manœuvrabilité	**X**					
3.27	**Vanne de purge**	Position (défaut de fin de course)		**X**				

3.28		Écoulement de produit (bouchage)		**X**				
3.29		Fuite		**X**				
3.30		Manœuvrabilité	**X**					
3.31	**Vanne pied de bac**	Position (défaut de fin de course)		**X**				
3.32		Écoulement de produit(bouchage)		**X**				
3.33		Fuite		**X**				
3.34		Manœuvrabilité	**X**					
3.35	**Escalier hélicoïdal**	Dégradation du Garde – corps (Corrosion, déformation……)		**X**				
3.36		Détachement des soudures de fixation		**X**				
3.37		Corrosion /Dégradation entre support / Robe		**X**				
3.38		Détérioration des supports d'escaliers		**X**				
14. Toit								
4.1	**Tôles**	Présence de corrosions		**X**				
4.2		Défaut de peinture		**X**				
4.3		Déformation des tôles du toit		**X**				
4.4		Dépôt sur le toit (hydrocarbures ,Eau ,Sable)		**X**				

4.5	**Caissons**	Couvercles des caissons en place	**X**					
4.6		Liquide/Vapeurs /Explosives dans les caissons		**X**				
4.7		Absence de numérotation des caissons	**X**		**X**			**Les caissons ne sont pas numérotés**
N°	**Désignation**	**Vérification**	**Oui**	**Non**	**Faible**	**Modéré**	**Critique**	**Observation**
4.8	**Joint d'étanchéité**	Joint détérioré (Défaut du tissu, présence de trous, déchirures et fissures)		**X**				
4.9		Jeu conforme entre joint/Robe	**X**					
4.10	**Trappe d'échantillonnage**	Dégradation et/ou dysfonctionnement du mécanisme du couvercle de la trappe d'échantillonnage		**X**				
4.11	**Echelle roulante**	Dégradation de la peinture de la main courante et présence de corrosion (piqûres, trous, défaut de soudure…etc.)		**X**				
4.12		Dysfonctionnement du mécanisme de nivellement automatique des marches		**X**				
4.13		**Rail d'escalier** est correctement alignée	**X**					
4.14		Endommagement du Garde-corps		**X**				
4.15	**Béquilles de position**	Dans la position voulue (Haute / Basse)	**X**					
4.16		Présence des goupilles sur les béquilles	**X**					
4.17		Absence de numérotation des béquilles		**X**				

4.18	**Béquilles casse vide**	Dans la position voulue (Haute / Basse)	**X**					
4.19		Présence des goupilles sur les béquilles	**X**					
4.20	**Tube de guidage**	Absence de déformation du tube guide de toit	**–**	**–**				**NC**
4.21		Dégradation des rouleaux de guidage	**–**	**–**				**NC**
4.22	**Transmetteur alarme niveau**	Fonctionnement	**X**					
4.23	**Passerelle**	Garde-corps /Corrosion		**X**				
15. Evacuation des eaux pluviales								
5.1	**Drain**: flexidrain (articulé)	Colmatage / Rupture et/ou fuites		**X**				
5.2	**Drain de sécurité**	Colmatage		**X**				
5.3	**Goulotte et puisard de drainage**	État de propreté / Stagnation de matière	**X**					
16. Cuvette								
6.1	**Fond de cuvette**	Présence de végétation		**X**				
6.2		Pente suffisante / uniforme	**X**					
6.3		Encombrement		**X**				
6.4		Présence d'animaux fouisseurs		**X**				

6.5		Déformation / Tassement / Dégradation		**X**				
N°	**Désignation**	**Vérification**	**Oui**	**Non**	**Faible**	**Modéré**	**Critique**	**Observation**
6.6	**Merlon**	Déformations/ Tassements/ Dégradations		**X**				
6.7		Encombrement		**X**				
6.8	**Regard/Puisard**	Bouchage/ Dégradation / Envasement		**X**				
6.9	**Voies d'accès**	Dégradations		**X**				
6.10		Obstacles		**X**				
6.11		Signalisation de sécurité		**X**		**X**		**Manque de signalisation**
17. Protection cathodique								
7.1	**Système protection cathodique**	Existence / Type	**X**					
7.2		Efficacité	**X**					
7.3	**Transformateur redresseur**	Opérationnel	**X**					
7.4		Présence d'anomalies (Niveau d'huile température ….etc.)		**X**				
7.5		Mise à la terre conforme	**X**					
7.6	**Potentiels**	Critères de protection atteints	**X**					
18. Mise à la terre (MALT)								

8.1	**MALT**	État des connexions dégradés (Cosses, câbles)		**X**				
8.2		Résistance non conforme		**X**				
8.2	**LEP** **Escalier - passerelle**	État des connexions dégradés		**X**				
8.3		Discontinuité électrique des câbles		**X**				
8.4		Résistance non conforme		**X**				
8.5	**LEP Toit-robe** **(Plaque de shunt)**	Mauvais contact avec la robe		**X**				
8.6		Corrosion et/ou endommagement		**X**				
8.7		Nombre insuffisant		**X**				
8.8	**LEP Escalier - Toit**	Connexions électrique conforme (Cosse, câbles, continuité **)**	**X**					
19. Eclairage								
9.1	**Eclairage**	Conforme aux exigences ATEX	**X**					
9.2		Eclairage insuffisant		**X**				
9.3		Boite de jonction Conforme aux exigences ATEX	**X**					
20. Protection incendie								
10.1	**Centrale à mousse** **USD / Mobile**	Dégradation et/ou dysfonctionnement		**X**				
10.2		insuffisance de la quantité émulseur		**X**				

N°	Désignation	Vérification	Oui	Non	Faible	Modéré	Critique	Observation
10.3	**Déversoir à mousse**	Fixation inadéquate		**X**				
10.4		Insuffisance de débit (Colmatage)		**X**				
10.5		Corrosion et/ou endommagement		**X**				
10.6	**Déflecteurs**	Position / Corrosion		**X**				
10.7		Fixation inadéquate		**X**				
10.8	**Barrage à mousse**	Corrosion et/ou dégradation des tôles		**X**				
10.9		Hauteur inadéquate		**X**				
10.10		Les ouvertures (orifices) de drainage inadéquate		**X**				
10.11		Détachement et/ou de fixation inadéquate		**X**				
10.12	**Colonne de pré-mélange**	Corrosion et/ou dégradation de la Peinture de revêtement		**X**				
10.13		Dégradation des supports		**X**				
10.14		Présence de fuite		**X**				
10.15		Colmatage		**X**				
10.16	**Colonne de refroidissement**	Corrosion et/ou dégradation de la Peinture de revêtement		**X**				

10.17		Dégradation des supports		**X**				
10.18		Présence de fuite		**X**				
10.19		Colmatage		**X**				
10.20	**Couronne de refroidissement**	Corrosion et/ou dégradation de la Peinture de revêtement		**X**				
10.21		Dégradation des supports		**X**				
10.22		Présence de fuite		**X**				
10.23		Colmatage		**X**				
10.24	**Diffuseurs**	Colmatage		**X**				
10.25		Absence de certains diffuseurs		**X**				
10.26		Orientation inadéquate		**X**				
10.27	**Lance à eau**	Suffisance de débit / Fonctionnement		**X**				
10.28	**Pression de débit disponible**	Insuffisance de pression du réseau lecture en bar		**X**				
10.29		Insuffisance de pression du réseau lecture en bar m³		**X**				
N°	**Désignation**	**Vérification**	**Oui**	**Non**	**Faible**	**Modéré**	**Critique**	**Observation**
10.30	**Système de détection incendie**	Endommagement du câble thermosensible		**X**				
10.31		Mauvaise fixation du câble thermosensible	**X**				**X**	**Absence de câble thermosensible**

10.32		Dysfonctionnement des détecteur de flamme		**X**				
10.33		Dysfonctionnement de la chaine de détection		**X**				

N°	**AUTRES CONSTATS**
01	/
02	/
03	/
04	/
05	/

ETABLI PAR			
Nom & Prénom	**Qualité**	**Date**	**Signature**
Cherfaoui Asmaa			
VALIDE PAR			
Nom & Prénom	**Qualité**	**Date**	**Signature**
Laid Zoubir			

5.6.2 Résultats de l'inspection – Bac 808

5.6.2.1 Anomalies constatées

5.6.2.1.1 Criticité Très élevé

- L’absence totale de câble thermosensible représente une non-conformité majeure au regard de la sécurité incendie→ **Risque immédiat : impossibilité de détection précoce d’un incendie, non-conformité réglementaire grave.**

5.6.2.1.2 Criticité Élevée

- Absence de panneaux de signalisation→ **Risque d’accident (chute, brûlure, intoxication) par méconnaissance des consignes de sécurité.**

5.6.2.1.3 Criticité Faible

- L’absence de numérotation sur les caissons du toit flottant constitue un défaut de repérage→ **Gêne pour la maintenance et l’intervention, mais sans danger immédiat pour les personnes ou l’environnement.**

5.6.2.2 Aspects favorables

- Revêtement récent, homogène et parfaitement adhérent, dépourvu de toute corrosion superficielle.
- Escalier et passerelle en excellent état et sécurisés.
- Toiture propre, sèche, sans eau stagnante, ni traces d'hydrocarbures, ni objets
- Joints d'étanchéité neufs, aucune odeur d'hydrocarbures.
- Fond sans trace de fuite, assise sèche.
- Soudures conformes en aspect, sans fissure visible.
- Drains d’eaux pluviales neufs et en état de fonctionnement.

- Cuvette de rétention propre, sans végétation ni déchet.
- Absence de corrosion.
- Absence de fuite.
- Toutes les vannes sont actionnables.
- État de propreté satisfaisant.
- Absence de déformation ou encombrement.
- Éclairage répondant aux normes ATEX.

5.6.2.3 Évaluation générale (Bac 808)

Le bac présente un état général satisfaisant, cependant l'absence de câble thermosensible constitue une anomalie significative, réduisant le niveau de protection contre les incendies.



Figure 5:13 Les caissons sont neufs mais manquent de numérotation

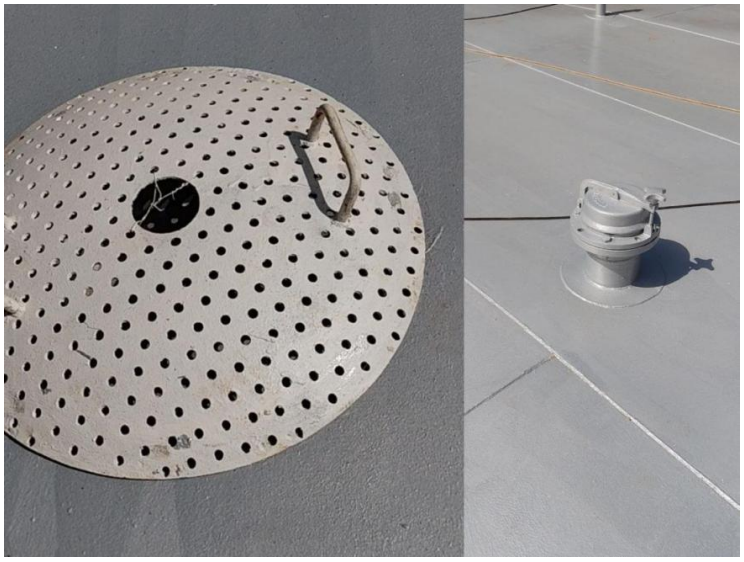


Figure 5:14 Dispositifs neufs et propres

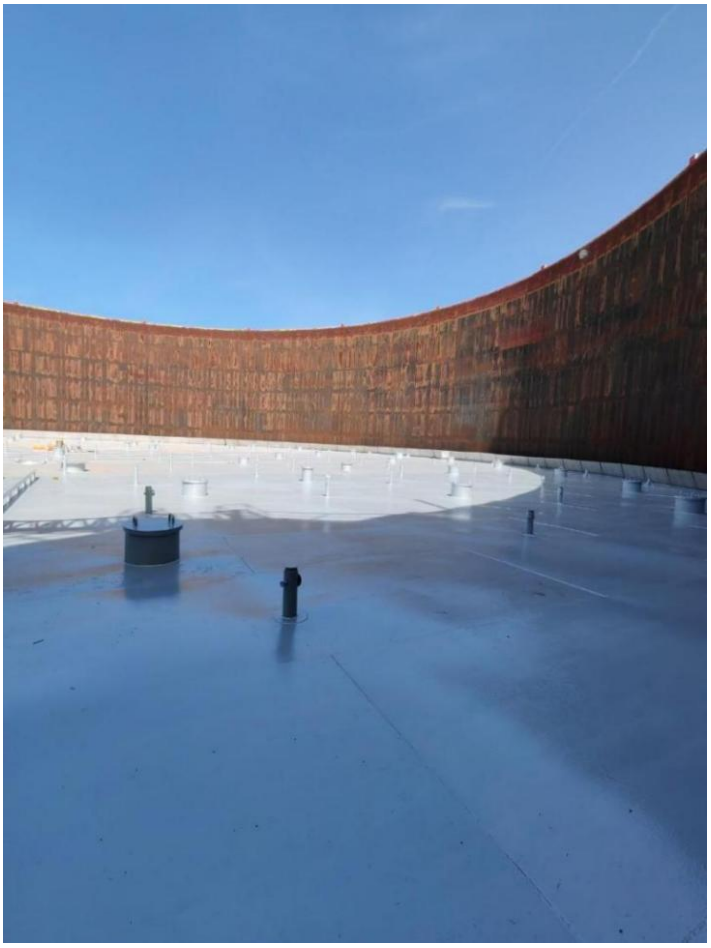


Figure 5:15 Toit non encombré et absence de traces de fuite

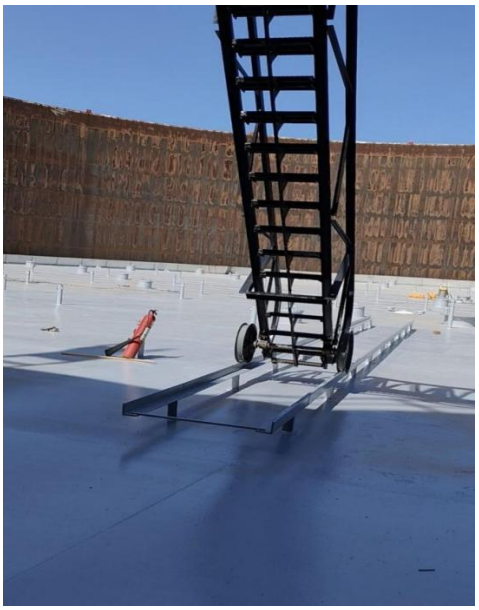


Figure 5:16 Échelle sécurisée



Figure 5:17 Absence de câble thermosensible

5.7 Recommandations issues de l'inspection périodique

5.7.1 Pour le Bac 807

- Évacuer l'eau stagnante et les déchets accumulés sur la toiture. → **Urgent**
- Procéder au débouchage des drains d'eaux pluviales (EP). → **Urgent**
- Fixer par boulonnage le trou d'homme (mesure de sécurité immédiate). → **Urgent**
- Fixer le câble thermosensible. → **Urgent**
- Reposer le câble de mise à la terre conformément aux règles. → **Urgent**
- Retirez immédiatement le nid d'oiseaux près de la couronne de refroidissement pour éviter tout risque d'incendie, de blocage de l'air, de corrosion. → **Urgent**
- Nécessite une réparation des tôles selon le cas, ainsi qu'un traitement de surface et un revêtement extérieur. → **Urgent**
- Procéder aux réparations nécessaires. → **Urgent**
- Nécessite le nettoyage et l'évacuation du sable. → **Urgent**
- Procéder au nettoyage, à la vidange et à l'évacuation régulière du produit, et surveiller l'évolution. → **Urgent**
- Assurer un suivi mensuel de l'évolution des émissions gazeuses au niveau du joint (prévoir un remplacement en cas d'aggravation). → **Urgent**
- Nécessite un traitement de surface et l'application d'un revêtement extérieur (peinture). → **Urgent**
- Contrôler le taux d'humidité sous l'assise (risque de corrosion par le fond). → **Moyen terme**
- Procéder à l'enlèvement des agitateurs → **Moyen terme**
- Procéder aux travaux de désherbage → **Moyen terme**
- Procéder à l'enlèvement du béton. → **Moyen terme**

- Nécessite une mise à niveau du béton ou, à défaut, d'aménager des rigoles pour faciliter l'évacuation des eaux. → **Moyen terme**
- Procéder au déblocage des couvercles. → **Moyen terme**
- Appliquez une nouvelle couche de peinture de la couleur requise sur la couronne de refroidissement après avoir décapé l'ancienne couche non conforme. → **Moyen terme**
- Programmer une reprise de peinture sur les zones présentant de la corrosion. → **Long terme**
- Procéder à la numérotation des béquilles. → **Long terme**

5.7.2 Pour le Bac 808

- Mettre en place un câble thermosensible. → **Urgent**
- Attribuer un numéro à chaque caisson. → **Long terme**

5.7.3 Communs aux deux bacs

- Assurer le maintien en service de la protection cathodique active. → **Moyen terme**
- Contrôler la valeur de la résistance de terre (inférieure à 25 Ω). → **Urgent**
- Procéder à la mise en place des panneaux de signalisation. → **Urgent**

5.8 Analyse comparative des deux bacs

Table 5:3 : Synthèse comparative des anomalies et de l'état des bacs 807 et 808

Critère	Bac 807	Bac 808	Observations
État général	Altéré	Convenable	La réhabilitation a un impact important
Sécurité incendie	Insuffisante (câble mal fixé)	Très insuffisante (câble manquant)	Point critique pour les deux bacs : Le bac 808 présente une carence majeure. Une intervention urgente est nécessaire pour les deux, en

			particulier pour le 808.
Étanchéité et émissions	Fuite gazeuse naissante	Satisfaisante	Le bac 807 présente des indices de dégradation fonctionnelle
Maintenance	Corrective à brève échéance: Nettoyage, déblocage, peinture, réparations.	Préventive à planifier	La stratégie de maintenance est différente.
Conformité réglementaire	Non-conformités diverses relevées : signalisation, fiche technique, trou d'homme, entre autres.	Non-conformité critique. Câble thermosensible manquant.	L'exploitant doit aborder ces points avec la priorité la plus élevée.
Risque principal	Fuite / Incendie / Explosion	Non-détection incendie	Chaque bac a une défaillance critique sur un maillon de sa sécurité

5.9 Synthèse et perspectives

Suite à l'inspection périodique que j'ai réalisée personnellement sur les deux bacs, les constats suivants sont établis :

5.9.1 Bac 807 : des dégradations visibles sont observées sur divers composants (revêtement de peinture, corrosion, drains, etc.). L'apparition d'un début d'émission gazeuse au niveau du joint constitue un indicateur préoccupant de dégradation fonctionnelle. Cette situation nécessite une surveillance renforcée ainsi qu'une intervention à court terme afin d'éviter toute aggravation.

5.9.2 Bac 808 : son état général est très satisfaisant. Néanmoins, l'absence de câble thermosensible représente une carence préoccupante en matière de sécurité incendie. Cette lacune doit être corrigée sans délai.

5.10 Conclusion

L'examen des bacs 807 et 808 met en évidence l'apport fondamental de l'inspection des réservoirs de stockage.

Le bac 807 présente des dégradations avancées (corrosion, défaut d'étanchéité, drains obstrués) nécessitant une intervention rapide. Le bac 808, bien qu'apparemment en bon état, révèle une lacune majeure : l'absence de câble thermosensible.

L'inspection des réservoirs de stockage ne se réduit pas à un simple constat. Elle hiérarchise les anomalies, distingue l'urgent du mineur, et oriente les décisions. Il ne s'agit ni d'une formalité ni d'une visite technique banale : c'est le dernier rempart avant l'incident. Pour le bac 807, elle impose une maintenance corrective ; pour le bac 808, une mise en conformité immédiate. Dans les deux cas, elle préserve les installations

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette recherche a mis en évidence que les réservoirs de stockage d'hydrocarbures jouent un rôle crucial dans l'industrie pétrolière et gazière, tout en constituant une source majeure de risques industriels en raison des volumes importants de substances inflammables qu'ils renferment. Des phénomènes de détérioration tels que la corrosion, la réduction d'épaisseur, les fissures, les déformations, les affaissements ou encore les défauts de soudure peuvent progressivement altérer l'intégrité mécanique des réservoirs et entraîner des accidents graves, notamment des incendies, des explosions, des fuites massives ou des effets domino, avec des conséquences humaines, matérielles, économiques et environnementales significatives.

Dans ce cadre, ce mémoire a démontré que l'inspection des réservoirs de stockage dépasse largement une simple exigence administrative : elle constitue un outil fondamental de prévention et d'aide à la décision, visant à protéger les personnes, les installations et l'environnement. Les diverses techniques de contrôle non destructif examinées, telles que l'inspection visuelle, les ultrasons, la détection par flux de fuite magnétique (MFL), le ressuage et la magnétoscopie, jouent un rôle essentiel dans l'identification précoce des anomalies et l'évaluation de l'état réel des équipements sans perturber leur fonctionnement. Ces méthodes contribuent directement à préserver l'intégrité des installations et à améliorer leur fiabilité opérationnelle.

L'intégration de la méthode AMDEC dans cette étude a par ailleurs permis d'introduire une approche systématique pour l'analyse des défaillances potentielles, facilitant l'identification des composants critiques, la priorisation des risques et l'orientation des actions de maintenance préventive. L'application pratique menée au niveau de la Région Transport Ouest de SONATRACH sur les réservoirs 807 et 808 a permis de confronter les connaissances théoriques aux réalités du terrain, grâce à une inspection visuelle et une analyse approfondie des risques. Les résultats obtenus ont mis en lumière des anomalies notables : le réservoir 807 présente des dégradations avancées, incluant de la corrosion, des drains obstrués et un début de fuite gazeuse nécessitant une intervention urgente, tandis que le réservoir 808, malgré sa récente réhabilitation, souffre de l'absence d'un câble

thermosensible essentiel à la détection précoce des incendies. Cette étude montre ainsi qu'un réservoir apparemment en bon état peut néanmoins présenter des vulnérabilités critiques exigeant un suivi rigoureux et des mesures correctives adaptées.

Par ailleurs, ce travail souligne que la sécurité des installations de stockage ne repose pas uniquement sur les spécifications techniques des équipements, mais aussi sur des facteurs humains, organisationnels et réglementaires. Le respect des procédures, la qualification du personnel, l'application des normes internationales et le développement d'une véritable culture de sécurité sont des éléments déterminants pour prévenir les accidents industriels majeurs.

En conclusion, face au vieillissement des infrastructures et aux exigences croissantes en matière de sécurité et de protection environnementale, il devient impératif d'adopter des approches intégrées combinant inspection, contrôle non destructif, analyse des risques et maintenance préventive continue. Bien que cette étude se limite à l'examen de deux réservoirs de stockage, elle ouvre la voie à une généralisation de cette démarche à l'ensemble du parc de stockage d'hydrocarbures, afin de renforcer durablement la maîtrise des risques industriels et la fiabilité des installations.

BIBLIOGRAPHIE

[1] : Tebbiche, C., & Toubouache, M. (2016). Résolution d'un problème de commande optimale en utilisant l'identité de Beltrami : Application au remplissage d'un bac de stockage [Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou].

[2] : Bouaiche, Z., & Chacha, S. E. (2021). Étude d'un bac de jaugeage avec renforcement interne destiné au stockage des hydrocarbures [Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla].

[3] : Hammouya, A. (2021). Contribution à l'amélioration des barrières de sécurité dans un système industriel [Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba].

[4] : International Organization for Standardization. (2017). *ISO 14692-1:2017 - Petroleum and natural gas industries — Glass-reinforced plastics (GRP) piping — Part 1: Vocabulary, symbols, applications and materials* (2nd ed.).

[5] : Benmebrouk, I., & Roumitte, F. (2019). Étude analytique des risques technologiques liés au stockage des hydrocarbures : Cas de REB (Hassi-Messaoud) [Mémoire de master, Université M'hamed Bougara de Boumerdès].

[6] : Boukrouh, F., & Sekoum, B. (2020). Commande et supervision d'un bac de stockage [Mémoire d'ingénieur, École Nationale Polytechnique d'Alger]

[7] : Bougereche, M., & Boukerfa, O. (2021). Conception d'un bac de stockage à toit flottant à double deck [Mémoire de master, Université M'hamed Bougara-Boumerdès]

[8] : Derki, M. (2016). Les risques liés au stockage du brut et étude de phénomène boil-over au niveau de la RTO Arzew [Mémoire de master, Université M'hamed Bougara-Boumerdès].

[9] : Berrabah, M., & Saadi, B. (2021). Gestion des risques liés aux bacs de stockage de la division exploitation région transport centre Bejaia par la méthode AMDEC [Mémoire de master, Université M'hamed Bougara-Boumerdès].

[10] : Bezzahi, H., & Chebbi, M. A. (2024). Réhabilitation des bacs de stockage des hydrocarbures : Réalisation d'un outil d'aide à la décision des réparations selon API 653 [Mémoire de master, Université M'hamed Bougara-Boumerdès].

[11] : Madat, A., & Belkacemi, A. (2017). *Étude des opérations d'inspection et de renovation d'un bac de stockage à toit flottant : Cas des bacs A301-A106 Sidi Arcine Alger* [Mémoire de master].

[12] : Boudersa, M. I. (2022). Dimensionnement des paramètres de protection cathodique des bacs de stockage (Site Ouargla) [Mémoire de master, Université M'hamed Bougara de Boumerdès].

[13] : American Petroleum Institute. (2020). API Standard 653 : Tank inspection, repair, alteration, and reconstruction (5th ed., Addendum 3). API.

[14] : Sonatrach, Activité Amont, Division Associations, Direction Technique. (s.d.). Procédures relatives à l'inspection et contrôle des soupapes de sûreté et inspection des bacs sphère et cigares [Document interne]. N° 06-AST-DT.

[15] : Groupement Berkine Algérie. (2023). *Crude oil storage tank (T-901B) inspection plan* (Document No. GBC-36-PLN-0037, Rev. A1).

[16] : Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire. (2021, août 18). *Décret exécutif n° 21-315 du 5 Moharram 1443 fixant les exigences auxquelles doivent répondre la conception, la fabrication, la construction et l'exploitation des canalisations et des installations de stockage des hydrocarbures et des produits pétroliers* (JO n° 63, pp. 11-19).

[17] : SONATRACH – Région Transport Ouest (RTO). (2026). Documents internes de la RTO : organigrammes, patrimoine et données HSE [Documents internes non publiés]. Région Transport Ouest, Oran.

[18] : American Petroleum Institute. (2020). Welded Tanks for Oil Storage (API Standard 650, 13th ed.).

[19] : National Fire Protection Association. (2021). NFPA 30 : Flammable and Combustible Liquids Code. Quincy, MA : NFPA.

[20] : American Petroleum Institute. (2024). API Recommended Practice 651: Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks (5th ed.). Washington, DC: API Publishing Services.

[21] : American Petroleum Institute. (2020). API Recommended Practice 652 : Linings of aboveground petroleum storage tank bottoms (5th ed.). American Petroleum Institute.