



# Guide d'inspection et de maintenance des réservoirs aériens cylindriques verticaux



Guide d'inspection  
et de maintenance  
des réservoirs aériens  
cylindriques verticaux

DT 94 – Révision 1  
Décembre 2015

**AVERTISSEMENT**

Ce document reflète l'état des connaissances scientifiques et techniques et se réfère aux dispositions réglementaires en vigueur, au moment où il a été rédigé.

Il ne doit pas être considéré comme exhaustif et devra être adapté à chaque cas particulier.

L'Union des Industries Chimiques, l'Union Française des Industries Pétrolières, le CTNIIC, l'UNGDA, l'USI et EDF n'acceptent aucune responsabilité dans l'usage qui sera fait de ce document.

# SOMMAIRE

- 1. Introduction et domaine d'application**
  - 1.1 Introduction
  - 1.2 Domaine d'application
  - 1.3 Référentiels
  - 1.4 Principaux sigles et acronymes
- 2. Réservoirs et composants**
  - 2.1 Composants
  - 2.2 Matériaux
  - 2.3 Dossier de suivi individuel
- 3. Mécanismes de dégradation et de défaillance**
  - 3.1 Corrosion
  - 3.2 Affaissement et problèmes associés
  - 3.3 Défaillance de structure du réservoir et de ses accessoires
  - 3.4 Dégradations liées au fonctionnement cyclique
  - 3.5 Dégradation des assises
  - 3.6 Fissuration
  - 3.7 Combinaison de mécanismes de dégradation et autres influences
- 4. Corrosion**
  - 4.1 Taux de corrosion
  - 4.2 Fond
  - 4-3 Virole
  - 4.4 Toit
  - 4-5 Corrosion sous calorifuge
  - 4-6 Accessoires
- 5. Inspection basée sur la criticité (RBI)**
  - 5-1 Principe de la méthode proposée
  - 5-2 Détermination de la criticité d'un réservoir
  - 5-3 Durée de vie résiduelle
  - 5.4 Facteur de confiance
  - 5-5 Détermination de la prochaine date d'inspection
  - 5.6 Exploitation de la criticité - Plan d'inspection fonction du risque
  - 5.7 Revue du plan d'inspection
- 6. Mise en œuvre du plan d'inspection**
  - 6.1 Visite de routine
  - 6.2 Inspection externe en exploitation
  - 6.3 Inspection hors exploitation
- 7. Méthodes d'inspection et de contrôle**
  - 7-1 Contrôles du fond
  - 7-2 Contrôles de Robe
  - 7-3 Contrôles de toit fixe et accessoires
  - 7-4 Contrôles de toit flottant, écran flottant et accessoires
  - 7-5 Contrôles des moyens d'accès
  - 7-6 Contrôles du revêtement externe anticorrosion sur robe et toit
- 8. Critères d'acceptabilité des défauts**
  - 8 1 Assises et fondations
  - 8.2 Corrosion
- 9. Personnels en charge du suivi des réservoirs**
  - 9.1 Qualification
  - 9.2 Organisation

**10. Réparations**

10.1 Généralités

10.2 Méthodes de réparation

10.3 Revêtements

10.4 Essai hydraulique après réparation ou modification

**11. Gestion du retour d'expérience**

**12. Délais de mise en application des révisions du guide**

**Annexe 1 : Les principales méthodes de contrôle non destructif utilisées**

**Annexe 2 : Adéquation des techniques de contrôle aux mécanismes de dégradation**

**Annexe 3 : Exemple d'application de la méthodologie RBI**

**Annexe 4 : Exemple de fiche de visite de routine**

**Annexe 5 : Retour d'expérience de l'émission acoustique**

**Annexe 6 : Spécificités des réservoirs en acier inoxydable**

**Annexe 7 : Spécificités des réservoirs composites et thermoplastiques**

**Annexe 8 : Présentation des méthodes EEMUA 159 et API580/581**

oooooooo

## 1. Introduction et domaine d'application

### 1.1. Introduction

Ce document est un guide qui a pour but d'aider à l'établissement des plans d'inspection et à l'élaboration des recommandations relatives à l'inspection et à la maintenance des réservoirs aériens cylindriques verticaux afin de permettre une surveillance adaptée de ces réservoirs pour le maintien de leur intégrité.

Ce guide est basé sur une analyse des mécanismes de défaillance propres à ce type d'équipements et intègre les méthodes d'inspection éprouvées et les retours d'expérience les plus récents.

### 1.2. Domaine d'application

Ce document couvre les réservoirs aériens à pression atmosphérique (Pression relative de stockage de la phase vapeur inférieure ou égale à 500 mb) cylindriques verticaux de liquides non cryogéniques.

Le cas des réservoirs en acier au carbone, employés en grande majorité dans l'industrie, est traité dans le corps de ce guide. Les spécificités des réservoirs en acier inoxydable ou en matériau composite sont traitées dans les annexes 6 et 7 de ce guide.

Le présent guide s'applique aux réservoirs visés à l'article 4.1 de l'arrêté du 4 octobre 2010 relatif à la prévention des risques accidentels au sein des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation. Il est mentionné aux articles 4 (point 4.3) et 8 de cet arrêté. Par ailleurs, le guide professionnel pour la définition du périmètre dans le cadre du plan de modernisation des installations industrielles donne des règles détaillées pour l'identification des réservoirs concernés par cet arrêté.

Le guide s'applique également aux réservoirs visés à l'article 29 de l'arrêté du 3 octobre 2010 relatif au stockage en réservoirs aériens manufacturés de liquides inflammables exploités dans un stockage soumis à autorisation au titre de la rubrique 1432 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement. Il est mentionné au point 29.4 de cet article 29.

Le présent guide pourra être révisé en fonction du retour d'expérience et de l'extension de son périmètre d'application.

### 1.3. Référentiels

#### 1.3.1. *Référentiels de construction*

Ces réservoirs sont généralement construits selon les référentiels suivants :

- EN14015 - Spécification pour la conception et la fabrication de réservoirs en acier, soudés, aériens, à fond plat, cylindriques, verticaux, construits sur site destinés au stockage des liquides à la température ambiante ou supérieure
- API 650 "Réservoirs soudés en acier destinés au stockage de produits pétroliers" ou les versions précédentes telles que l'API12C...etc.
- CODRES Division 1 - Code français de construction des réservoirs cylindriques verticaux en acier (U.C.S.I.P. et S.N.C.T.).
- De manière moins fréquente, les codes suivants ont pu être utilisés :
  - British Standard BS 2654 "Construction de réservoirs verticaux non réfrigérés en acier pour l'industrie pétrolière, à partir de tôles de robe soudées bout à bout"
  - DIN4119 - Code de construction des réservoirs verticaux allemands
  - NF EN 12285-2
  - CODAP

#### 1.3.2. *Référentiels d'inspection / maintenance*

Le choix du référentiel d'inspection est influencé par le code de construction. Toutefois, les référentiels présentés ci-dessous se veulent applicables aux réservoirs quel que soit le code de construction présenté au 1.3.1.

Cependant, chacun d'eux ne renvoie généralement que vers le code de reconstruction auquel il est rattaché :

- EEMUA 159 : Maintenance and inspection of above ground vertical cylindrical steel storage tanks  
⇒ Préconisation de travaux selon NF EN 14015
- API 653 : Inspection, Réparation, altérations et reconstruction des réservoirs de stockage  
⇒ Préconisation de travaux selon API 650
- CODRES division 2 : recommandations pour la maintenance des réservoirs de stockage cylindriques verticaux (S.N.C.T.) ⇒ Préconisation de travaux selon CODRES div1

Remarques :

- l'analyse des différents éléments d'un même réservoir doit être réalisée avec le même code de référence ;
- pour les réservoirs dont le code de construction est inconnu, on utilisera un des référentiels listés ci-dessus pour les opérations de maintenance.

#### **1.4. Principaux sigles et acronymes**

Les principaux sigles et acronymes utilisés dans ce document sont :

ACFM	Alternating Current Field Measurement
ACQPA	Association pour la Certification et la Qualification en Peinture Anticorrosion
AFIAP	Association Française des Ingénieurs en Appareils à Pression
AFNOR	Association Française de Normalisation
API	American Petroleum Institute
BS	British Standard
BSEI	Bureau de la Sécurité des Equipements Industriels
BSR	Bactéries Sulfato-Réductrices
CEFRACOR	CEntre FRançais de l'AntiCORrosion
CFPC	Conseil Français de Protection Cathodique
CND	Contrôles Non Destructif
CODAP	COde de Construction de Appareils A Pression
CODRES	Code de COnstruction des REServoirs
CTNIIC	Comité Technique National de l'Inspection dans l'Industrie Chimique
CTP	Cahier Technique Professionnel
DIN	Deutsches Institute für Normung
DREAL	Direction Régionale de l'Equipement, de l'Aménagement et du Logement
DT xx	Document Technique n° xx
EA	Emission Acoustique
EDF	Electricité de France
EEMUA	Engineering Equipment and Materials Users Association
ESP	Equipements sous pression soumis à l'arrêté du 15 mars 2000
ESS	Ensemble des équipements Soumis à Surveillance
GEMER	Groupement d'Etude des Matériaux en Raffinerie
GESIP	Groupe d'Etude de Sécurité des Industries Pétrolières et Chimiques
HIC	Hydrogen Induced Cracking
IFP	Institut Français du Pétrole
MFL	Magnetic Flux Leakage

NACE	National Association of Corrosion Engineers
NF	Norme Française
RBI	Risk Based Inspection (appelée également IBC : Inspection Basée sur la Criticité)
SIR	Service d'Inspection Reconnu
SNCT	Syndicat National de la Chaudronnerie, de la Tôlerie et de la Tuyauterie Industrielle
SOHIC	Stress Oriented Hydrogen Induced Cracking
SCC	Stress Corrosion Cracking
SSCC	Sulfide Stress Corrosion Cracking
SVR	Stratifié Verre Résine
SUT	Spot Ultrasonic Testing
UFIP	Union Française des Industries Pétrolières
UIC	Union des Industries Chimiques
UNGDA	Union Nationale des Groupements de Distillateurs d'Alcool
USI	Union des Stockistes Indépendants
UT	Ultrasonic Testing
ZAT	Zone Affectée Thermiquement

## 2. **Réservoirs et composants**

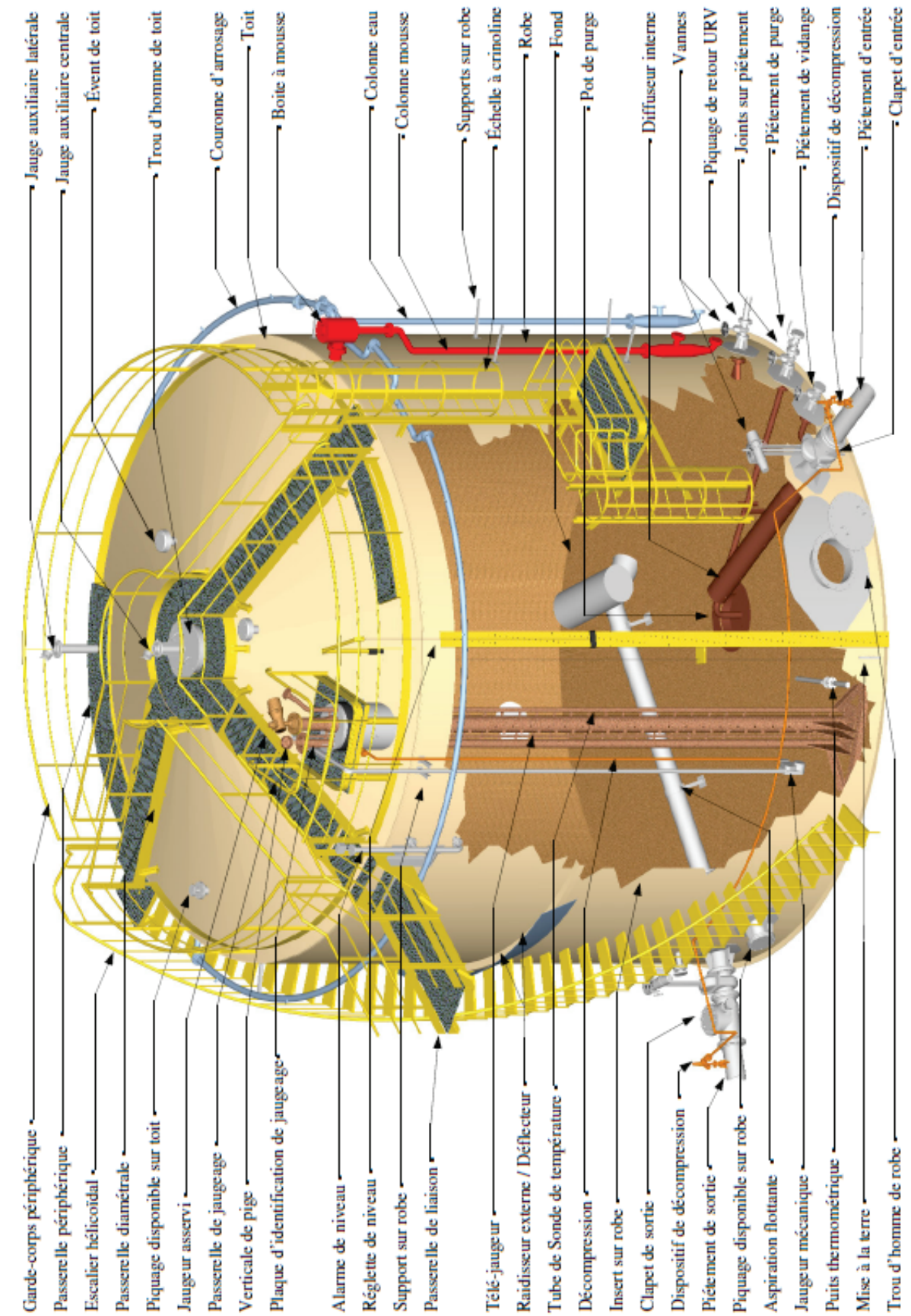
Les réservoirs métalliques verticaux sont classés en 3 types :

- Réservoirs à toit fixe
- Réservoirs à toit flottant
- Réservoirs à toit fixe et écran flottant

### 2.1. **Composants**

Les schémas 2.1.1, 2.1.2 et 2.1.3 en pages suivantes montrent les composants et leur appellation pour chaque type de réservoir. Ces schémas sont indicatifs, les accessoires indiqués n'étant pas systématiquement présents sur tous les réservoirs.

Schéma 2.1.1 Réservoir à toit fixe



**Schéma 2.1.2 Réservoir à toit flottant**

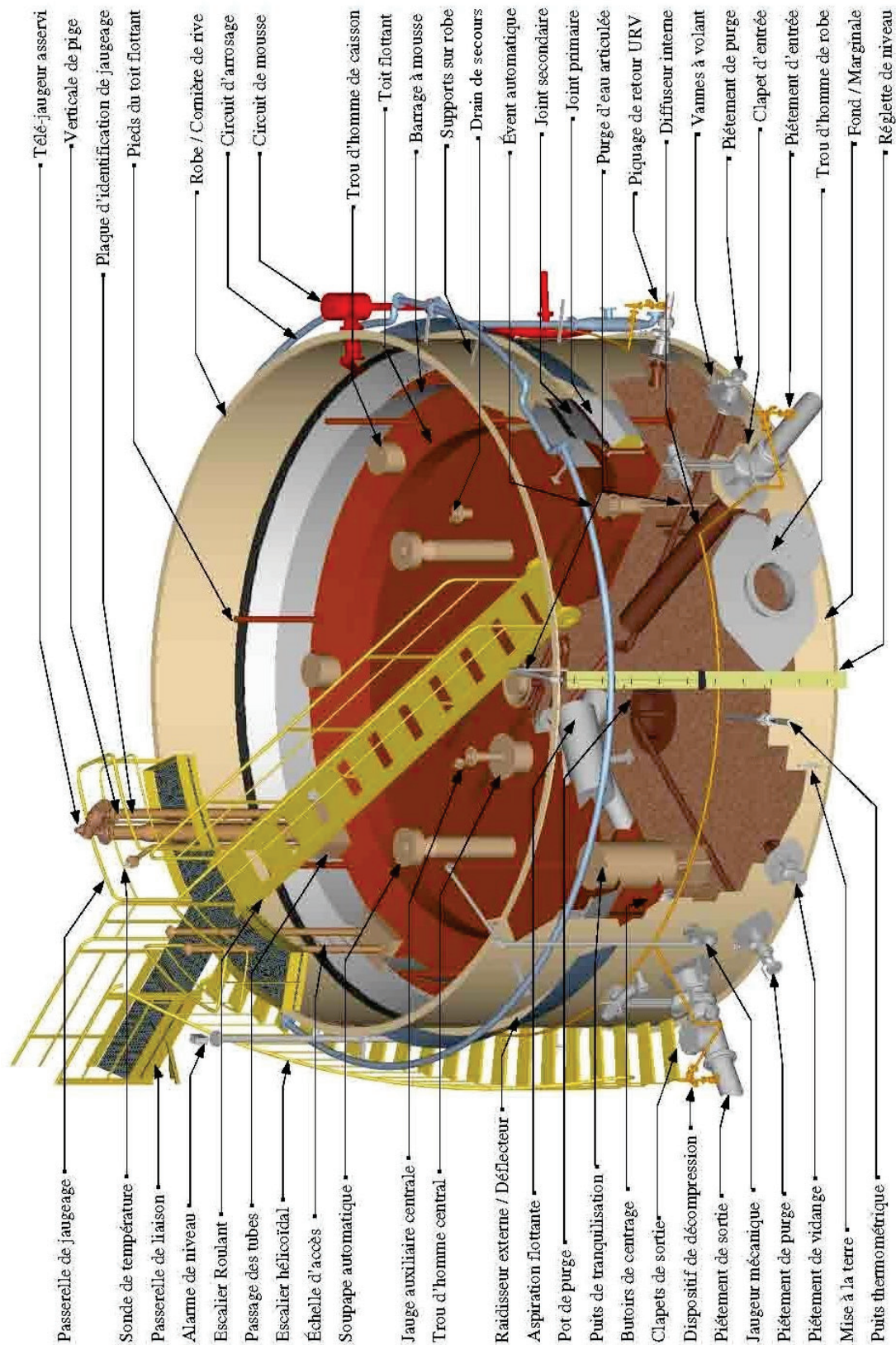
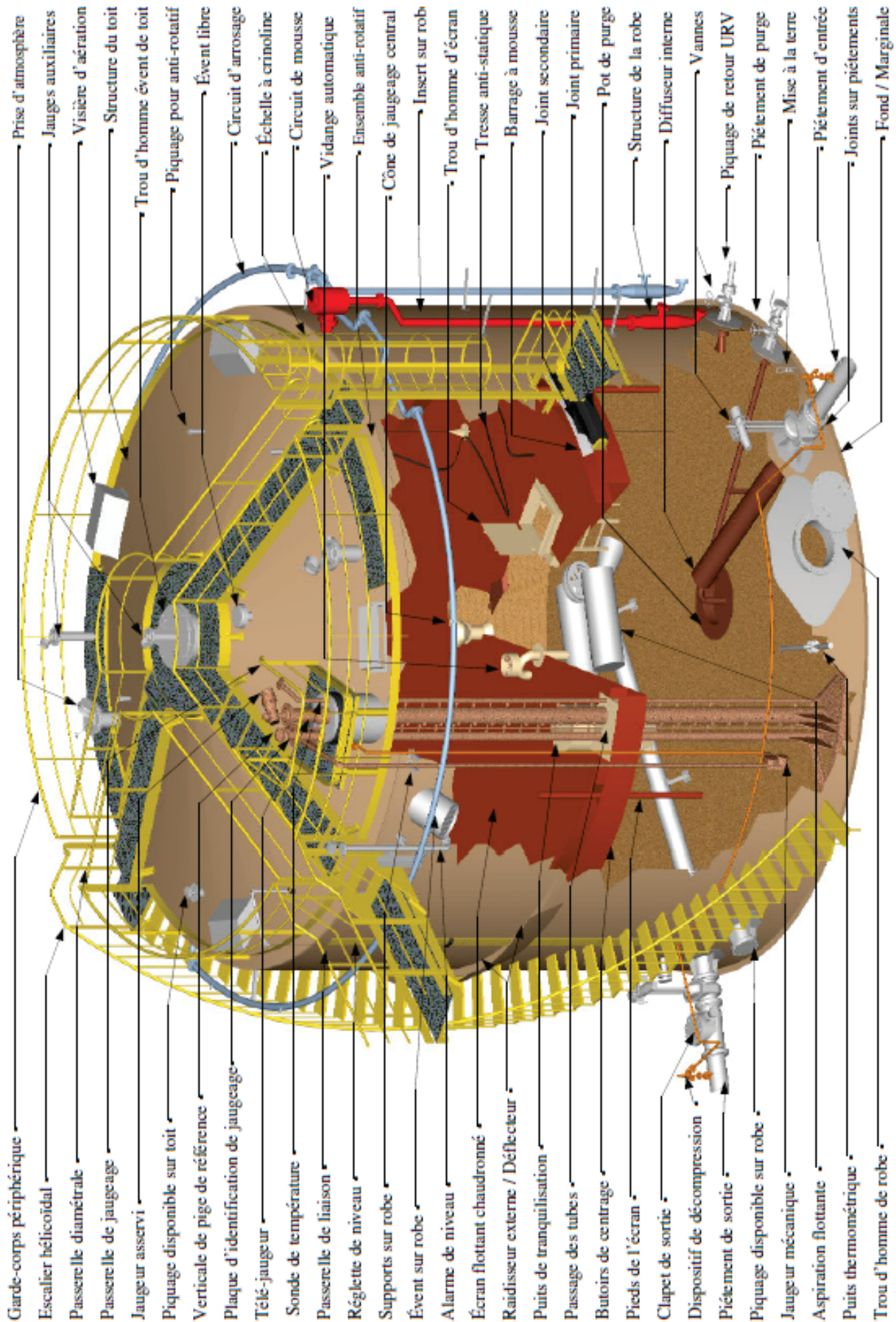


Schéma 2.1.3 Réservoir à écran flottant



## **2.2. Matériaux**

Les matériaux constitutifs des réservoirs sont en général des aciers au carbone, l'acier inoxydable ou un matériau composite pouvant être utilisés pour contenir certains produits chimiques. Les choix d'acier sont effectués en fonction des contraintes propres à chaque élément. Les caractéristiques mécaniques des aciers à prendre en compte sont définies dans les codes de construction ou à défaut dans les codes de réparation.

## **2.3. Dossier de suivi individuel**

Chaque réservoir doit faire l'objet d'un dossier individuel de suivi. Le contenu de ce dossier comprend, lorsqu'ils sont connus, les éléments suivants :

- type et caractéristiques (dimensions, volume, calorifugé ou non, serpentin de réchauffage ... ) ;
- date de construction et code de construction utilisé ;
- plans de construction (schémas établis postérieurement pour les réservoirs anciens) ;
- matériaux de construction, y compris des fondations ;
- existence d'un revêtement interne ;
- date de l'essai hydraulique initial ;
- liste des produits successivement stockés dans le réservoir ;
- dates, types d'inspections et résultats ;
- dates et résultats des mesures réalisées sur le réservoir ;
- réparations et modifications éventuelles et codes utilisés ;
- incidents éventuels ;
- dossier réchauffeur si existant (souvent suivi comme un ESP à part entière).

## **3. Mécanismes de dégradation et de défaillance**

Les principaux mécanismes de dégradation et de défaillance des réservoirs sont

- La corrosion
- Les affaissements et problèmes associés
- Les défaillances de structure du réservoir et de ses accessoires
- Dégradations liées au fonctionnement cyclique
- Dégradation des assises
- La fissuration

Ainsi que la combinaison possible de ces modes de dégradations

### **3.1. Corrosion**

La corrosion est l'un des principaux modes de dégradation des réservoirs de stockage, elle peut être de nature électrochimique, bactérienne et peut affecter l'ensemble des composants d'un réservoir de stockage tant en interne qu'en externe. Par ailleurs, la corrosion peut être soit localisée soit généralisée.

La corrosion généralisée associée à la corrosion par piqûres peut se produire à l'intérieur ou à l'extérieur.

Alors que des piqûres isolées peuvent créer des fuites mineures, la concentration d'un grand nombre de piqûres ou une zone de corrosion localisée, peuvent provoquer une fuite majeure.

La corrosion interne peut résulter de :

- présence de substances agressives ou polluantes dans le produit stocké (parfois en association avec d'autres conditions). Un exemple est la corrosion du ciel du réservoir pouvant affecter la partie interne du toit et de la robe du réservoir du fait de la présence de composés soufrés et de vapeur d'eau,
- entrée et accumulation d'eau dans le réservoir résultant de la respiration du réservoir en raison de différences de température et condensation de vapeur d'eau, présence d'eau dans le produit stocké, ou entrée d'eau de pluie par le joint des toits flottants,
- qualité inadéquate des matériaux d'apport des soudures.

La corrosion externe peut résulter de:

- mauvaise qualité de la couche supérieure de l'assise du réservoir : les polluants dans la couche supérieure de la fondation tels que de l'argile, des pierres, des cendres, ou d'autres matériaux acérés peuvent conduire à une zone de concentration d'oxygène aux points de contact du fond du réservoir. Les petites zones de contact entre le fond et les polluants forment une anode alors que le reste du fond forme une cathode, d'où une corrosion ponctuelle au point de contact,
- entrée d'eau de pluie par la pénétration et/ou capillarité du fait d'un mauvais contact entre la tôle marginale et l'assise du réservoir,
- accumulation d'eau de pluie au niveau de la marginale, des cornières sur les viroles ou sur les tôles de toit,
- délamination de la tôle de marginale particulièrement dans des secteurs où de l'eau et des débris s'accumulent autour de la base du réservoir,
- qualité inadéquate des matériaux d'apport des soudures des plaques annulaires et des tôles de fond,
- restes de calamine sur les plaques,
- température du produit stocké qui peut accroître la vitesse de la corrosion sous calorifuge,
- agressivité des conditions ambiantes (atmosphères agricoles, industrielles, maritimes, tropicales, ...), fonction de l'humidité relative, de la teneur en chlorures ou en espèces chimiques provenant de la pollution (SO<sub>2</sub> en particulier), de la température, du vent, de la pluie, etc.

Parmi les mécanismes de corrosion généraux et les facteurs aggravant la corrosion, il y a lieu de noter que :

- Les réservoirs de stockage de produits réchauffés sont généralement des réservoirs de type convexe (*cone up*). La corrosion interne des tôles périphériques du fond est accélérée par rapport aux réservoirs concave (*cone down*) du fait d'une part de la température et d'autre part de la moindre efficacité de drainage de l'eau éventuellement présente en fond de réservoir.
- La corrosion galvanique, résultant de la liaison entre des métaux différents en présence d'humidité, est un problème auquel il faut être attentif, notamment au niveau des systèmes de mise à la terre, des dispositifs de purges ou d'échantillonnage.

### 3.1.1. **Les différents types de corrosion**

Les divers cas de corrosion affectant les réservoirs de stockage ne peuvent être que de nature électrochimique, c'est à dire qu'ils nécessitent la présence d'eau liquide au contact de la paroi de l'acier. Une espèce " oxydante " est par ailleurs indispensable pour alimenter les piles de corrosion : c'est soit l'ion H<sup>+</sup>, et on parlera alors de corrosion " acide " (significative aux bas pH), soit l'oxygène dissous dans l'eau. C'est aussi bien le cas de la corrosion de l'intérieur des réservoirs par l'eau liquide pouvant séparer et venir au contact de l'acier, que celle de la corrosion de leur paroi externe exposée à l'air (la corrosion atmosphérique provient de l'humidité adsorbée sur l'acier et des pluies) ou aux sols (la corrosion provient de l'humidité inhérente à tous terrains).

La corrosion dite " bactérienne " rencontrée fréquemment (sous la forme de cratères) est provoquée par une augmentation locale de la corrosivité dans des zones où des colonies de bactéries sulfato-réductrices (BSR) trouvent les conditions physico-chimiques favorables à leur prolifération : absence totale d'oxygène dissous (bactéries anaérobies), présence de sources de carbone (hydrocarbures et autres composés organiques), présence d'ions sulfates qu'elles " respirent " pour les réduire en sulfure, généralement sous la forme de H<sub>2</sub>S (qui provoque ensuite la corrosion du fait de son caractère acide en présence d'eau), pH et température modérés.

Les points essentiels de la corrosion bactérienne sont :

- des taux de corrosion plus élevés que les mécanismes de corrosion « normaux »,
- des niveaux élevés de réparation.

Les options principales qui existent pour empêcher la corrosion bactérienne sont de façon préventive :

- le drainage régulier de l'eau présente au niveau du fond réservoir,
- la réalisation d'un revêtement interne lors de l'arrêt du réservoir.

A titre curatif si nécessaire : utilisation de bactéricides sous réserve de respecter les précautions relatives à l'usage de ces produits.

### 3.2. **Affaissement et problèmes associés**

Les tassements des fondations d'un réservoir peuvent conduire à l'un des effets ou à la combinaison de plusieurs des effets décrits ci-après :

- tassement différentiel et /ou de la marginale en raison de l'érosion de l'assise
- tassement général entraînant l'instabilité du réservoir
- endommagement d'un éventuel liner sous réservoir
- blocage du toit flottant ou de l'écran flottant.
- création de contraintes au niveau du réservoir et/ou des tuyauteries attenantes.

Le réservoir suit généralement les tassements du sol sur lequel il est implanté. Ces tassements peuvent être uniformes ou non uniformes ; il convient de les vérifier.

Le tassement uniforme du sol n'est normalement pas dangereux car il apparaît progressivement et augmente uniformément à la fois; cependant il peut se former un creux dans l'assise autour de la robe du réservoir dans lequel l'eau s'accumule et peut provoquer une corrosion de la bordure annulaire ainsi que des tôles du fond.

Les tassements non uniformes sous la robe représentent un risque plus important pour la zone périphérique du fond. Ces conditions sont défavorables pour la jonction robe/fond et il convient de surveiller les problèmes de tassement local non uniforme sous la robe. Le défaut peut être corrigé en relevant localement le réservoir aux points bas ou, dans les cas graves, en soulevant le réservoir et en remettant les fondations à niveau.

Des tassements importants peuvent engendrer l'ovalisation de la robe, des contraintes supplémentaires, en particulier aux raccordements des tuyauteries au réservoir, à la liaison robe - toit fixe, ainsi que des blocages des toits flottants.

#### 3.2.1. **Tassement uniforme du réservoir**

Le tassement uniforme des fondations d'un réservoir ne conduit pas à une augmentation des contraintes dans l'équipement sauf, en cas de tassement excessif, pour les équipements raccordés au réservoir (tuyauteries, moyens d'accès ...).

Note : Les tuyauteries raccordées au réservoir sont généralement sensibles à ce type de tassement.

Ce tassement uniforme peut, généralement, être correctement évalué en fonction des caractéristiques du sol/fondation du réservoir et les équipements raccordés doivent avoir fait l'objet d'un dimensionnement adéquat ou de dispositions constructives spécifiques.

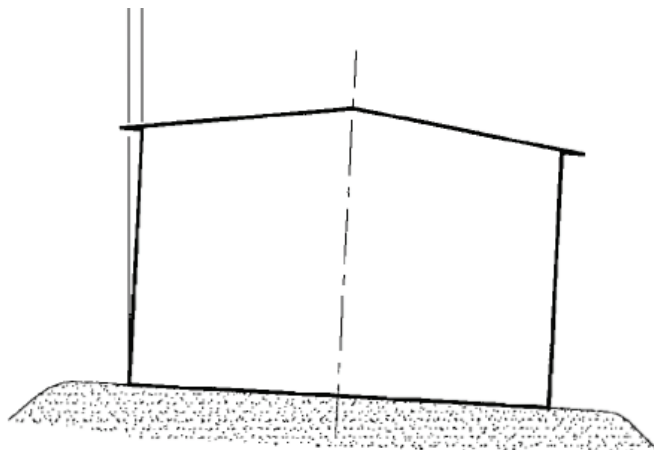
Sauf justification particulière, si les tassements relevés sont supérieurs aux valeurs de conception, des mesures correctives appropriées doivent être prises (relevage du réservoir et remise en état des fondations et/ou adaptation du supportage des éléments raccordés).

D'autre part, il peut se former à la périphérie du réservoir une zone de rétention d'eau et de déchets source potentielle de corrosion des tôles marginales ou de la bordure annulaire et, éventuellement, des tôles de fond.

Dans ces conditions la remise en état des fondations peut être nécessaire.

#### 3.2.2. **Inclinaison de l'ensemble du réservoir**

L'inclinaison d'un réservoir correspond à la rotation du plan de pose du réservoir.



### 3.2.3. **Tassements non uniformes**

#### 3.2.3.1. **Tassements hors du plan du fond de la zone périphérique du réservoir (Tassements différentiels)**

Aux phénomènes décrits ci-dessus se superposent les éventuels tassements différentiels de la zone périphérique du fond du réservoir.

#### 3.2.3.2. **Tassements localisés à la périphérie du fond du réservoir**

La portion des fondations à la périphérie du réservoir peut se dégrader du fait par exemple d'un manque de compactage de cette zone, d'une largeur insuffisante de cette zone ou encore de l'érosion due à la pluie.

Il convient de porter une attention particulière lorsque la déformation du bord se produit sur une faible longueur du pourtour car cela risque d'engendrer des contraintes locales élevées dans les soudures de la jonction robe/fond.

#### 3.2.3.3. **Déformations des fonds des réservoirs dues au tassement**

Il est assez courant qu'il y ait déformation du fond avec formation d'un profil bombé en raison du tassement du sol. La tolérance pour cette forme de tassement est fonction du degré initial de conicité (profil convexe ou concave) introduit au moment de la construction. Dans le cas d'un profil conique convexe initial, la longueur excessive de la tôle selon le diamètre du réservoir peut donner naissance à la formation d'ondulations dans les tôles de la partie centrale lorsque le fond approche de la situation plane. Il convient de noter que le tassement type bombement engendre une contrainte de traction de membrane bi-axiale dans les tôles du fond.

Le tassement du bord se produit lorsque la robe du réservoir se tasse de manière importante sur le pourtour provoquant ainsi une déformation de la tôle du fond au voisinage de la jonction robe/fond.

### 3.3. **Défaillance de structure du réservoir et de ses accessoires**

Les principales défaillances sont :

- Flambage de réservoirs de stockage à écrans internes en raison de support inadéquat, vide, ou blocage au niveau du joint
- Flambage du toit flottant en raison d'un supportage inadéquat par les béquilles et/ou blocage au niveau du joint de toit
- Perte de flottabilité de l'écran interne ou du toit flottant du fait de la présence de produit sur le l'écran ou le toit ou dans les pontons des toits flottants
- Blocage du drain articulé
- Déraillement d'échelle sur les réservoirs à toit flottant
- Blocage d'écran interne ou de toit flottant
- Rainurage de la robe par un écran interne ou un toit flottant
- Flambage de la robe
- Défaut de verticalité des poteaux de support de la charpente

Le flambage de la robe se traduit par la formation d'une seule ou d'un petit nombre d'ondes sur un côté de l'enveloppe (du côté exposé au vent). Ce type de flambement peut être causé par :

- des vitesses anormalement élevées du vent (cyclones, ouragans) ;
- la diminution de l'épaisseur de la robe en raison de la corrosion ;
- des tassements de sol ;
- la présence de zones aplaties dans la robe du réservoir ;
- la réduction de la section transversale des anneaux raidisseurs en raison de la corrosion ;
- la réduction de l'intégrité due à des soudures des anneaux raidisseurs fissurées.

La combinaison de deux ou plusieurs de ces causes augmente le risque de flambement de la robe. Ce mode de défaillance se rencontre essentiellement dans les viroles minces supérieures de la robe du réservoir.

L'ajout d'un raidisseur supplémentaire peut résoudre le problème de flambement. Cette forme de flambement existe généralement pour les réservoirs à toits flottants de gros diamètre et pour les réservoirs présentant des problèmes de rotundité.

Le flambement des robes de réservoirs à toit fixe peut être provoqué par une défaillance de soupape(s) de dépression sur le toit ou des bouchages d'évents.

### **3.4. Dégradations liées au fonctionnement cyclique**

Pendant les cycles de vidange et de remplissage de fortes amplitudes, la robe du réservoir subit des efforts transversaux entraînant une déformation élastique. Comme le fond ne se déforme pas de la même façon que la robe, des contraintes sont générées au niveau de la zone critique.

Le nombre de cycles d'un réservoir de stockage est toutefois faible pour initier des problèmes de fatigue métallurgique. En effet, même dans le cas d'un stockage "journalier", en comptant 1 cycle par jour et une durée d'exploitation de 100 ans, le nombre de cycles ne dépasse pas 3,6 10<sup>4</sup>. Pour un stockage de dépôt, le nombre de cycles est au moins divisé par 10, soit inférieur à 3.10<sup>3</sup>.

Pour un tel nombre de cycles la fatigue ne pourrait se manifester que dans le cas de fortes contraintes proches de la résistance à la rupture. Or les codes de construction limitent les contraintes typiquement à 40 % de la rupture et 66 % de la limite élastique.

Une autre manifestation des contraintes cycliques peut être la "fatigue / corrosion". Il s'agit d'une perte d'épaisseur liée à la corrosion accélérée par le fait que les contraintes répétées érodent et effritent la zone attaquée. Ceci peut éventuellement se manifester sous le talon, en face externe après un peu plus d'un millier de cycles. Le phénomène est détectable par une perte d'épaisseur anormale. Ce phénomène malgré le nom employé est assimilé à de la corrosion.

### **3.5. Dégradation des assises**

Les causes principales de détérioration des assises sont :

- Le tassement des assises
- L'érosion
- La dégradation du béton par : calcination, attaque par eau souterraine, attaque par gel, attaque chimique et végétation non contrôlée

Les fissures créées par la dégradation du béton peuvent créer des points d'entrée pour l'eau et contribuer à des phénomènes de corrosion au niveau de la tôle annulaire voire du fond.

Par ailleurs, selon que la dégradation des assises soit uniforme ou non, celle-ci peut induire des phénomènes similaires à ceux des tassements évoqués précédemment, à savoir :

- Inclinaison du réservoir
- Tassements différentiels
- Déformation du fond du fait des contraintes générées

### **3.6. Fissuration**

Des fissurations peuvent être rencontrées en fonction de la nature des produits et de la métallurgie du réservoir. Les fissurations se manifestent préférentiellement dans des zones soumises à de fortes contraintes.

### **3.7. Combinaison de mécanismes de dégradation et autres influences**

La corrosion interne et externe en association avec un tassement excessif est une des principales causes de fuite des fonds de réservoir.

L'interface entre la structure du réservoir et la fondation ainsi que la conception et la construction de la fondation sont des facteurs importants.

La combinaison des contraintes cycliques avec des tassements irréguliers ou excessifs peut être une cause de fuite des réservoirs.

## **4. Corrosion**

La corrosion est la cause principale de détérioration de réservoirs de stockage en acier et des accessoires.

La localisation et l'évaluation de l'étendue de la corrosion sont donc une raison majeure de réalisation d'inspection.

#### **4.1. Taux de corrosion**

La nature du produit stocké et la vapeur présente dans l'espace situé au-dessus du produit dans les réservoirs à toit fixe sont toutes deux des facteurs déterminants pour la vitesse de corrosion.

La nuance et la qualité du matériau du réservoir par rapport à sa résistance et à l'agressivité du produit stocké sont un autre facteur.

Le taux de corrosion est établi sur la base de l'historique des épaisseurs mesurées lors des différentes inspections.

En l'absence d'historique de taux de corrosion sur un réservoir il pourra être nécessaire d'utiliser soit des données issues de la littérature soit des données issues de réservoirs témoins ou bien de réservoirs similaires.

Il convient de noter que les taux de corrosion sont différents selon les parties du réservoir considérées. Par ailleurs, il convient de prendre en considération les effets engendrés par les modifications passées et futures des conditions de service sur la durée de vie du réservoir.

#### **4.2. Fond**

##### **4.2.1. *Corrosion interne***

Ce type de corrosion concerne essentiellement les produits stockés susceptibles de contenir de l'eau chargée en produits corrosifs. Cette corrosion affecte principalement les points bas (notamment dus aux tassements des fondations) où l'eau peut s'accumuler.

Les zones de soudure sont des points sensibles du fait de leur hétérogénéité géométrique et électrochimique. Le risque augmente en cas de développement de bactéries sulfato-réductrices (sous les dépôts, en absence d'oxygène, avec présence d'ions sulfates, de préférence à températures de 30 à 60°C).

Ce type de corrosion est une des principales causes de fuites de réservoirs, l'eau provenant :

- de l'hydrocarbure stocké : eaux de gisement et de ballastage pour les produits approvisionnés par bateau, eaux provenant de procédés de raffinage pour produits intermédiaires ou finis ;
- de la respiration des réservoirs par variations de température, conduisant à la condensation de l'humidité de l'air (réservoirs à toit fixe) ;
- de l'infiltration des eaux de pluie (réservoirs à toit flottant) ;
- de la corrosion / érosion des réservoirs de bruts agités (sédiments + chlorure + eau).

Par ailleurs, ce type de corrosion peut se manifester soit de façon apparente sur le métal nu soit en corrosion sous couche dans le cas de réservoirs possédant un revêtement interne. La corrosion sous couche peut conduire à des vitesses de corrosion élevées de même ordre de grandeur que la corrosion bactérienne et n'est pas toujours aisée à détecter, de ce fait elle doit faire l'objet d'une attention particulière lors des inspections.

##### **4.2.2. *Corrosion externe***

La corrosion extérieure du fond peut résulter notamment d'une médiocre qualité des fondations en contact avec le réservoir (présence de contaminants par exemple) ou de l'effet des eaux pluviales stagnantes. Le stockage de produits chauds peut aussi avoir un effet négatif sur cette corrosion.

La vitesse de corrosion de l'acier nu dépend de l'agressivité du terrain (naturel ou rapporté) à son contact, celle-ci étant fonction d'un grand nombre de facteurs dont les plus importants sont la résistivité (liée à la teneur en eau et en sels), le pH, l'aération, le niveau d'activité bactérienne, l'hétérogénéité (formation de piles géologiques), la présence éventuelle de courants vagabonds, l'entrée d'eau en périphérie.

De façon pratique, les causes d'une corrosion sur les parties extérieures des tôles de fond peuvent être :

- la nature et/ou la granulométrie des matériaux de la galette en contact avec le fond métallique. Lorsque des matériaux de granulométrie supérieure à 20 mm ont été utilisés, il peut se produire des risques de corrosion par aération différentielle. L'emploi de matériaux à base de laitiers peut également être une cause de corrosion ;
- l'accumulation d'eau autour du fond et/ou son infiltration sous celui-ci, notamment pour la partie située au vent dominant ;

- les déformations des périphéries externes des tôles marginales occasionnées par le poinçonnement de la robe et créant des rétentions d'eau ;
- le niveau élevé de la nappe souterraine en cas de remontée d'eau. Pour les réservoirs fonctionnant à chaud, les vitesses de corrosion sont accélérées ;
- dans les réservoirs destinés à stocker des produits chauds, il existe des différences de potentiel électrochimique à l'interface fond - sol. Cela peut engendrer la formation aléatoire de piqûres profondes. Il est souvent constaté une corrosion périphérique plus importante ;
- défaut de la protection cathodique ;
- courants vagabonds.

### 4.3. **Virole**

La corrosion de la virole peut prendre des formes et des degrés de gravité différents. Elle peut être uniforme sur l'ensemble de la virole ou ne concerner que des secteurs.

#### 4.3.1. **Face intérieure**

La première virole (en partant du fond) peut subir des problèmes du même ordre que le fond en cas de décantation d'eau.

Pour le reste, les problèmes de corrosion se limitent en général aux réservoirs de produits pétroliers de densité inférieure à 50° API soit environ une masse volumique de 780 kg/m<sup>3</sup> à toit flottant en présence d'eau. Lorsque les produits pétroliers ont une densité supérieure à 50° API, la corrosion de la robe dans l'espace liquide est rarement un problème. La corrosion dans l'espace vapeur dépend des conditions climatiques, de l'efficacité du revêtement protecteur éventuel et du programme de remplissage et de vidange du réservoir. Il y a eu dans le passé des accidents dus à ce type de corrosion, qui touche essentiellement la mi-hauteur. L'inspection de ces zones révèle souvent des épaisseurs d'oxydes de fer pouvant dépasser 5 mm. L'origine de cette corrosion peut s'expliquer par :

- la teneur en eau dissoute dans le carburant ;
- la teneur en oxygène dissous dans le carburant ;
- la teneur en H<sub>2</sub>S dissous, si supérieure à 0,5% ;
- l'apport en oxygène de l'atmosphère au travers du joint d'étanchéité du toit flottant (solubilité de l'oxygène dans les carburants de l'ordre de 150 ppm) ;
- l'effet mécanique accélérateur des mouvements du toit flottant (rupture et raclage des écailles de rouille), qui sont statistiquement plus fréquents à mi-hauteur.

Les produits blancs sont concernés car la solubilité en oxygène dissous est plus élevée et ils ne constituent pas de pellicule grasse à la surface de l'acier.

La corrosion préférentielle au niveau des soudures est à surveiller. La corrosion préférentielle sur les soudures verticales, compte tenu des contraintes, peut être plus importante que sur les soudures horizontales.

La corrosion de la robe n'est généralement pas un problème pour les réservoirs à toits flottants utilisés pour le stockage de brut, particulièrement quand ils sont revêtus d'une couche protectrice ; des piqûres de corrosion et une corrosion générale ont cependant parfois pu être mises en évidence sur les tôles de la robe dans une zone située à moins de 500 mm du fond.

La partie basse de la première virole est sujette au même problème que le fond.

Pour les autres viroles, celles correspondant à l'espace vapeur sont plus particulièrement concernées notamment la virole haute ainsi que celles correspondant à la zone dite de « marnage » au droit du niveau de stockage du produit.

#### 4.3.2. **Face extérieure**

La vitesse de corrosion des parois nues est généralement modérée et dépend des conditions ambiantes (atmosphère industrielle, saline, pollution...).

La vitesse de corrosion de l'acier nu dépend de l'agressivité des conditions ambiantes (atmosphères rurales, industrielles, maritimes, tropicales ...), fonction de l'humidité relative, de la teneur en chlorures ou en espèces chimiques provenant de la pollution (SO<sub>2</sub> en particulier), de la température, du vent, des pluies, etc.

Les points de stagnation d'eau notamment au niveau du toit ou des raidisseurs peuvent, toutefois, être particulièrement affectés du fait de la rétention créée par le retrait lors du soudage. Les percements ou fenêtres réalisés lors de la construction ne doivent pas être obstrués.

La corrosion externe peut se manifester au niveau du pied de la robe dans les zones où des tassements ont pu créer des zones d'accumulation d'eau en pied de virole.

Par ailleurs, de la corrosion sous couche dans le cas des solins revêtus est possible.

#### **4.4. Toit**

##### **4.4.1. *Toits flottants***

La corrosion du dessous des toits flottants est rare mais peut parfois se rencontrer en cas de non étanchéités locales (pièges d'air et d'humidité) dans le cas des produits ayant une forte tension de vapeur.

Les toits flottants sont généralement construits avec des plaques d'acier de 5 ou 6 mm d'épaisseur. Un drainage inadéquat du toit peut conduire à une accumulation d'eau au centre qui, combinée avec les dépôts apportés sur le toit par le vent, peut endommager la couche de peinture protectrice et causer de la corrosion. La corrosion peut à son tour augmenter la possibilité de dégradation des soudures des tôles de toit.

La corrosion peut aussi se produire autour des supports de pieds et en périphérie du toit au niveau des soudures des pontons ainsi que sur béquilles. De plus, des phénomènes de corrosion peuvent se produire au niveau des caissons de flottaison soit sur les faces externes pour les mêmes causes que précédemment soit sur les faces internes du fait de la condensation d'eau en cas de non étanchéité.

##### **4.4.2. *Toits fixes***

Des condensations d'eau agressive peuvent conduire parfois à des pertes d'épaisseur des pannes et structures supports, des tôles du toit et de la virole supérieure. La vitesse de corrosion est principalement favorisée par les teneurs relatives en oxygène et sulfure. A contrario, des vitesses plus faibles sont observées sur des réservoirs inertés.

Dans le cas des produits stockés chauds, le calorifugeage externe du toit permet de réduire le risque de condensation d'eau mais augmente le risque de corrosion sous calorifuge.

Pour les toits fixes, la corrosion peut affecter les tôles de toit ainsi que les différents éléments de la charpente, y compris les éventuels poteaux, la corrosion pouvant être intérieure pour ces derniers (mauvaise aération...).

La corrosion externe des toits fixes est favorisée par la présence de points d'accumulation d'eau tels que des déformations éventuelles des tôles de toit, une faible pente du toit, des pattes de fixation des accessoires de toit ou par des atmosphères salines ou chimiques.

#### **4.5. Corrosion sous calorifuge**

Les réservoirs aériens calorifugés peuvent présenter des risques de corrosion lorsque le revêtement est en mauvais état. La corrosion est due aux infiltrations d'eau du fait des manques d'étanchéité de l'enveloppe métallique externe : traversées des tubulures, supports d'échelles, pieds de réservoirs. Sa vitesse relativement élevée est due au piégeage de l'humidité, à sa contamination par des chlorures (parfois provenant du matériau d'isolation), SO<sub>2</sub> etc.,... et, le cas échéant favorisée par une température relativement élevée.

La corrosion sous calorifuge peut se manifester notamment dans la partie basse de la virole, au niveau des raidisseurs, au niveau du toit, aux traversées des tubulures, des supports des moyens d'accès et, de façon générale, en tous points où de l'eau peut pénétrer, circuler et s'accumuler sous le calorifuge. Par ailleurs dans le cas de poutres raidisseuses sous calorifuge, supérieures ou intermédiaires, le retour d'expérience montre que la robe est souvent touchée sur quelques centimètres, juste au-dessus de la liaison Poutre/Robe.

La corrosion sous ignifuge n'a été rencontrée qu'avec des matériaux donnant une réaction d'hydrolyse acide avec l'humidité, par exemple ceux contenant de l'oxychlorure de magnésium. Ces matériaux doivent être évités.

#### **4.6. Accessoires**

La face extérieure de la robe d'un réservoir est, sauf exception, recouverte d'une protection par peinture qui permet notamment de contrôler plus facilement les zones corrodées.

Rarement en pleine tôle, la corrosion extérieure de la robe se porte essentiellement sur toute pièce rapportée sur la robe :

- attache des marches ;

- échelles à crinoline ;
- supports de canalisations ;
- supports des systèmes de niveau ;
- raidisseurs et poutres ;
- goussets.

## 5. Inspection basée sur la criticité (RBI)

### **Remarques préliminaires :**

La mise en œuvre d'une méthodologie RBI est une démarche volontaire. Elle permet d'adapter les modalités de l'inspection (fréquence, nature et étendue des contrôles) en fonction des risques identifiés (probabilité de défaillance, conséquence des défaillances). En l'absence de mise en œuvre d'une telle méthodologie, les périodicités des inspections hors exploitation sont définies de manière forfaitaire conformément aux dispositions prévues au paragraphe 6.

- La mise en œuvre d'une méthodologie RBI nécessite la prise en compte de l'ensemble des modes de dégradation pertinents,
- Tous les modes de dégradation ne font pas l'objet d'une modélisation. Celle-ci porte essentiellement sur l'évolution des épaisseurs,
- La mise en œuvre de cette méthodologie est généralement réalisée par une équipe pluridisciplinaire réunissant les compétences nécessaires,
- La méthodologie RBI mise en œuvre devra être fondée sur un des référentiels suivant : EEMUA 159, API 580, API 581 dans la mesure où la détermination de la criticité selon ces référentiels répond aux principes listés en annexe 8 du présent guide. Par ailleurs, pour un Service d'Inspection Reconnu, il sera aussi possible de s'appuyer sur la méthodologie décrite dans un des guides professionnels reconnus (DT32, DT84, guide EDF).

### **Versions applicables :**

- EEMUA 159 : 3<sup>e</sup> Edition 2003
- API 580 : 2<sup>e</sup> Edition Novembre 2009
- API 581 : 2<sup>e</sup> Edition Septembre 2008
- DT 32 : DT32 2<sup>e</sup> Révision Juin 2008
- DT 84 : DT 84 version B01 Février 2010
- Guide professionnel EDF pour l'élaboration des plans d'inspection Avril 2004

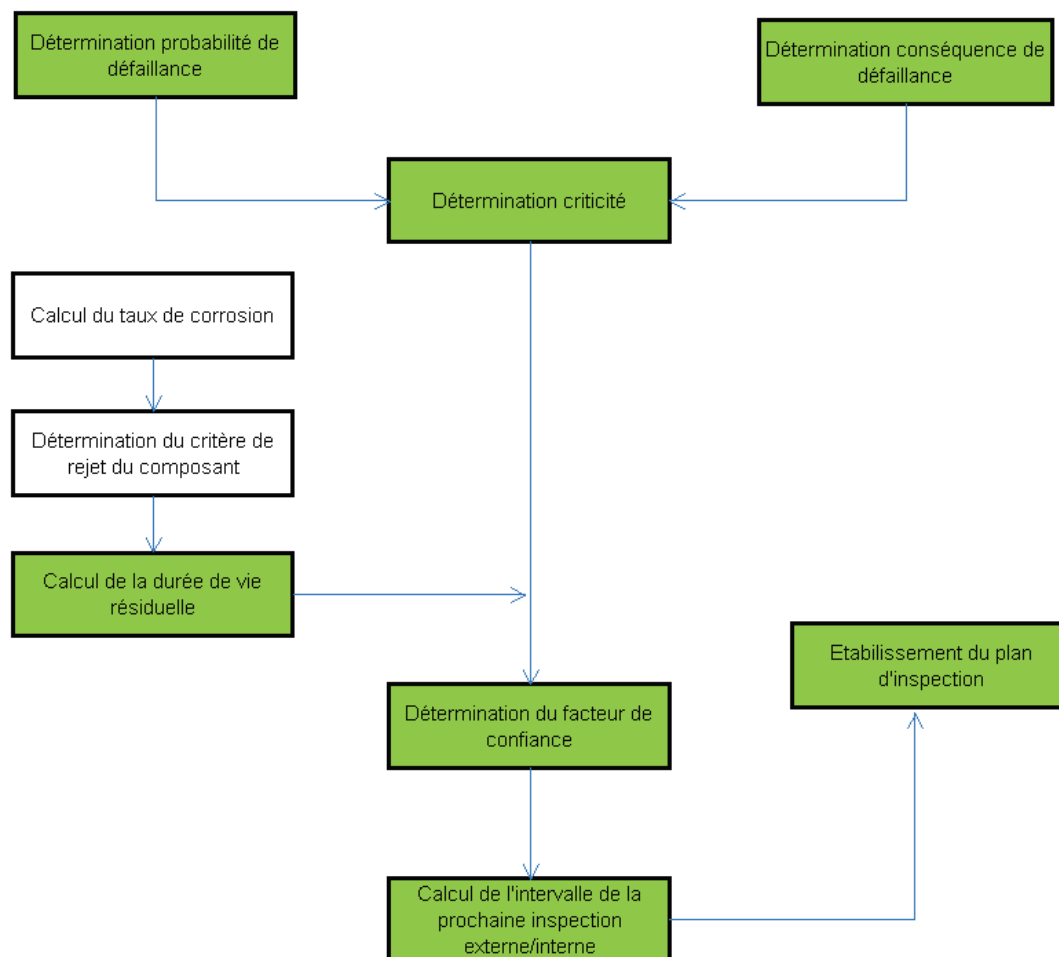
Le référentiel servant de base à la méthodologie RBI devra être disponible sur le site utilisateur.

### **5.1. Principe de la méthode proposée**

Le principe de la méthode est le suivant :

- Établissement de la criticité d'un réservoir de stockage en fonction de la combinaison de la probabilité de défaillance et de la gravité de la défaillance ;
- Détermination du plan d'inspection (natures, localisations, étendues et périodicités des actions d'inspection) en fonction de la criticité, du facteur de confiance et de la durée de vie résiduelle estimée.

Le logigramme suivant est un exemple illustrant le principe de la méthode.



## 5.2. Détermination de la criticité d'un réservoir

Comme la probabilité (vraisemblance d'une défaillance due à la dégradation) et la gravité (conséquence sur l'environnement, la santé et la sécurité) varient en fonction de la partie du réservoir concernée, l'analyse de la criticité est effectuée pour chacune des trois sections du réservoir concerné (fond et fondations, virole, toit). La criticité globale du réservoir est la criticité maximale de chacune des trois sections.

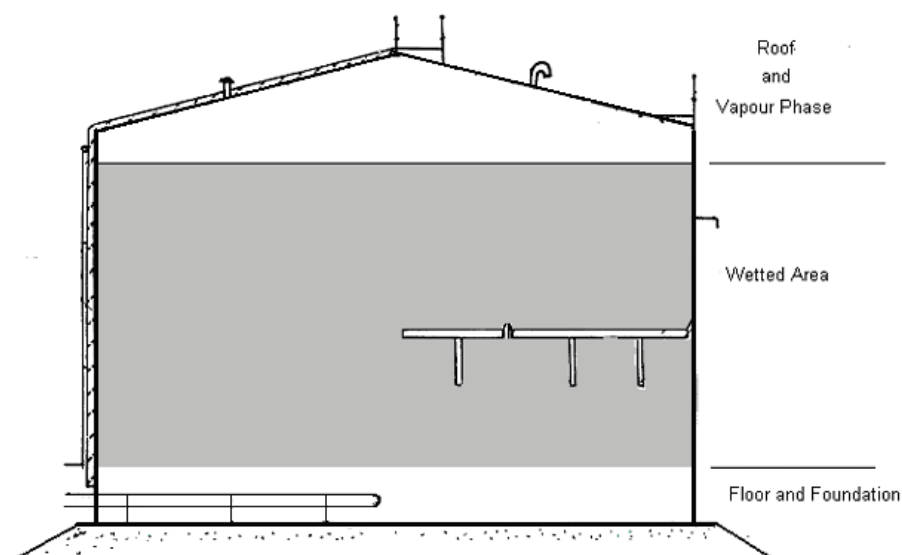


figure 03 Sections to be considered when applying RBI to conventional Storage Tanks

### 5.2.1. Détermination des probabilités de défaillance

De façon générale les cinq facteurs à prendre en compte pour la détermination de la probabilité de défaillance sont :

- Type de dommage
- Inspection
- Conception
- Etat
- Produit stocké.

Le taux de probabilité de l'apparition d'un mode de défaillance particulier pour tout composant de réservoir est évalué en étudiant les mesures adoptées ou les caractéristiques existantes qui influencent le mode de défaillance. Ces facteurs sont différents selon la section du réservoir considérée. Les principaux facteurs sont rassemblés dans le tableau suivant

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

Chaque facteur est associé à une valeur ou «note» qui reflète son influence sur la probabilité de l'apparition de la défaillance induite. Ces notes peuvent être pondérées pour chaque facteur afin de représenter leur importance relative sur la probabilité de l'occurrence du mécanisme de défaillance.

L'utilisation des référentiels cités en remarques préliminaires décrivent les méthodes de détermination de ces probabilités et les modalités de prise en compte des facteurs figurant ci-dessus. Les probabilités seront déterminées en suivant les principes décrits dans ces référentiels.

Les méthodologies RBI type DT 32 / DT 84 intègrent déjà dans le calcul de la probabilité le facteur de confiance décrit dans le § 5.4.

### 5.2.2. Détermination des conséquences de défaillances

Les conséquences d'une défaillance sont évaluées en terme de gravité pour chacune des parties du réservoir en fonction du mode de défaillance en prenant en compte les barrières de réduction des risques telles que cuvettes de rétention, détection hydrocarbure, détection de fuite... Elles sont évaluées pour chaque catégorie :

- La sécurité
- La santé
- L'environnement

Les pertes financières peuvent également être prises en compte dans la détermination de la gravité.

Les principaux facteurs de conséquence à prendre en compte, le cas échéant, sont :

- mode de défaillance (c.-à-d. petite fuite, fuite importante du fond, rupture fragile de robe) ;
- type et volume de produit ;



## Remarques sur la criticité

La criticité :

- est représentative de l'ensemble des facteurs listés ci-avant, notamment de l'état connu ou estimé du réservoir et de son évolution compte tenu des modes de défaillances retenus
- détermine le plan d'inspection à mettre en œuvre en fonction de la durée de vie prévue
- peut être déterminée à un instant donné ou estimée à terme
- peut être révisée sur la base des retours d'expérience cumulés
- doit être révisée régulièrement sur la base des inspections réalisées (inspection en service et visite de routine).

### 5.3. Durée de vie résiduelle

L'évaluation de la dégradation d'un équipement ou d'un composant est essentielle pour une planification efficace des inspections.

L'analyse de la dégradation repose principalement sur les composants liés à l'intégrité, comme la corrosion des éléments métalliques ou les mesures de tassement du réservoir.

Dans le cas de corrosion, l'analyse est effectuée en utilisant la vitesse de dégradation et l'épaisseur de retrait (ou surépaisseur pour dégradation/corrosion) pour s'assurer que le réservoir n'est pas remis en service avec une épaisseur inappropriée.

La vitesse de dégradation peut être directement déduite de :

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

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

La durée vie résiduelle est définie comme :

Durée de vie résiduelle (RL) =  $(t_M - t_R) / \text{vitesse de dégradation}$ , où :

$t_M$  : dernière épaisseur minimale mesurée

$t_R$  : épaisseur de retrait

L'épaisseur de retrait peut être prédéterminée ou déduite de calculs appropriés contenus dans les codes de conception et de réparation.

### 5.4. Facteur de confiance

**REMARQUE IMPORTANTE : la suite de ce paragraphe ne s'applique que dans l'hypothèse où le facteur de confiance n'est pas intégré dans la détermination de la probabilité.**

Le facteur de confiance reflète l'appréciation portée sur la robustesse de l'analyse de la durée de vie résiduelle.

Le facteur de confiance dépend, de façon non exhaustive :

- du nombre d'inspections précédemment réalisées
- de l'intervalle d'inspection précédente
- de la qualité des données issues des inspections précédentes (niveau d'efficacité)
- de la qualité des méthodes d'inspection (hors exploitation et en service)
- du résultat des inspections
- des mesures de maintenance préventive et du type et de l'étendue des réparations
- des affectations successives du réservoir

Remarque sur la détermination du facteur de confiance : une première détermination peut être obtenue sur la base d'analyses génériques. Cependant sa détermination doit être faite de façon approfondie lors de chaque établissement d'un nouvel intervalle d'inspection.

### **5.5. Détermination de la prochaine date d'inspection**

Pour chaque section du réservoir, l'intervalle avant la prochaine inspection est fonction de la durée de vie résiduelle, de la criticité et du facteur de confiance. La prochaine date d'inspection sera la plus proche de celles des trois sections considérées.

L'utilisation du facteur de confiance conduit à disposer d'une marge de sécurité par rapport à la durée de vie résiduelle théorique

D'autres éléments sont à prendre en considération, comme les échéances relatives aux inspections des serpentins de réchauffage, les échéances de barèmage...

### **5.6. Exploitation de la criticité - Plan d'inspection fonction du risque**

Les modalités du plan d'inspection décrites dans le chapitre 6 de ce guide sont adaptées en fonction de la criticité du réservoir. Les natures, localisations, étendues et périodicités des actions d'inspection et atténuation de la criticité (mitigation) sont définies en fonction des modes et cinétiques de dégradation ainsi que du niveau de criticité. Ces actions d'inspection et d'atténuation de la criticité (mitigation) ont pour objet de maîtriser la criticité et de garantir l'intégrité du réservoir. Elles seront issues des référentiels utilisés pour le calcul de la criticité.

### **5.7. Revue du plan d'inspection**

Une revue systématique du plan d'inspection doit être faite en cas d'évolution de la criticité, après chaque inspection interne, ainsi qu'en cas de modification des conditions de stockage (température notamment) et de changement d'affectation du réservoir (nature du produit stocké).

## **6. Mise en œuvre du plan d'inspection**

Le plan d'inspection est constitué de différents types d'inspection à différentes fréquences.

### **6.1. Visite de routine**

La visite de routine a pour but de constater le bon état général du réservoir et de son environnement ainsi que les signes extérieurs liés aux modes de dégradation possible.

Elle est réalisée par des personnels qualifiés (voir chapitre 9) et renouvelée chaque année. Les écarts relevés font l'objet d'une analyse.

Voir un exemple de fiche de visite de routine en annexe 4.

### **6.2. Inspection externe en exploitation**

Cette inspection, permet de s'assurer de l'absence d'anomalie remettant en cause la date prévue de la prochaine inspection. Elle comprend a minima :

- une revue des visites de routine ;
- une inspection visuelle externe approfondie des éléments constitutifs du réservoir et de ses accessoires ;
- une inspection visuelle de l'assise ;
- une inspection de la soudure robe fond ;
- un contrôle de l'épaisseur de la robe, notamment près du fond ;
- une vérification des déformations géométriques éventuelles du réservoir et notamment de la verticalité, de la déformation de la robe et de la présence de tassements ;
- l'inspection des ancrages si le réservoir en est pourvu ;
- des investigations complémentaires concernant les défauts révélés par l'inspection visuelle s'il y a lieu.

Cette inspection est réalisée au moins tous les 5 ans. Une fréquence différente peut toutefois être prévue par arrêté préfectoral pour les réservoirs liés à des unités de fabrication.

Elle est réalisée par des personnels qualifiés (voir chapitre 9-1-2 pour la qualification des inspecteurs et 9-1-3 pour la qualification des contrôleurs).

Les méthodes utilisées et le niveau d'inspection seront déterminés sur la base des éléments décrits dans le chapitre 7 en tenant compte des contraintes d'exploitation et de sécurité et du fait que seul l'extérieur du réservoir est accessible. L'inspecteur pourra utiliser les exemples de fiches d'inspection disponibles dans les codes d'inspection et de maintenance cités précédemment.

### **6.3. Inspection hors exploitation**

Les inspections détaillées hors exploitation concernent les réservoirs visés :

- à l'article 4 de l'arrêté du 04/10/10
- à l'article 29 de l'arrêté du 03/10/10 et de capacité équivalente supérieure à 100 m<sup>3</sup>

Remarque : toutefois, un réservoir de liquides inflammables de moins de 100 m<sup>3</sup> en capacité équivalente peut être concerné dès lors qu'il répond aux critères mentionnés à l'article 4.1 de l'arrêté du 04/10/10.

Cette inspection, en plus des contrôles visuels et de l'inspection externe, permet par l'accès à l'intérieur du réservoir un contrôle détaillé de son fond et des équipements inaccessibles lorsqu'il est en exploitation. Elle comprend a minima :

- l'ensemble des points prévus pour l'inspection externe en exploitation détaillée ;
- une inspection visuelle interne approfondie du réservoir et des accessoires internes ;
- des mesures visant à déterminer l'épaisseur restante par rapport à une épaisseur minimale de calcul ou à une épaisseur de retrait, conformément d'une part à un code adapté et d'autre part la cinétique de corrosion. Ces mesures porteront a minima sur l'épaisseur du fond et de la première virole du réservoir et seront réalisées selon les méthodes adaptées (voir annexes 1 et 2) ;
- le contrôle interne des soudures. Seront a minima vérifiées la soudure robe/fond et les soudures du fond situées à proximité immédiate de la robe ;
- des investigations complémentaires concernant les défauts révélés par l'inspection visuelle s'il y a lieu.

Les inspections hors exploitation sont réalisées aussi souvent que nécessaire et au moins tous les dix ans sauf si les résultats de l'étude de criticité du réservoir réalisée conformément au paragraphe 5 permettent de reporter l'échéance. Ce report ne saurait excéder dix ans et ne pourra en aucun cas être renouvelé.

Les inspections sont réalisées par des personnels qualifiés (voir chapitre 9-1-2 pour la qualification des inspecteurs et 9-1-3 pour la qualification des contrôleurs).

Les méthodes utilisées et le niveau d'inspection seront déterminés sur la base des éléments décrits dans le chapitre 7. L'inspecteur pourra utiliser les exemples de fiches d'inspection disponibles dans les codes d'inspection et de maintenance cités précédemment.

Remarque : l'étude de criticité peut également conduire à fixer une période entre 2 inspections hors exploitation inférieure à 10 ans.

En l'absence de méthodologie RBI :

- la périodicité des inspections internes sera de dix ans maximum ;
- le niveau de contrôle de chaque élément sera de niveau A lors de la prochaine inspection sauf si le niveau de contrôle précédent de moins de dix ans était équivalent au niveau A ;
- le niveau et les échéances des contrôles suivants de chaque élément seront fonction d'une part des résultats de la précédente inspection et d'autre part d'une analyse formalisée des dégradations constatées.

Dans tous les cas (recours ou non à une méthodologie RBI), le délai entre 2 inspections hors exploitation peut être réduit si une visite de routine ou une inspection externe détaillée réalisée entre-temps a permis d'identifier une anomalie. L'échéance pour la réalisation de la première inspection hors exploitation doit respecter les exigences des arrêtés des 3 et 4 octobre 2010. Dans le cas d'un nouveau réservoir mis en service après janvier 2011, la première visite hors exploitation sera réalisée dans les dix ans suivant sa mise en service.

## 7. Méthodes d'inspection et de contrôle

L'inspection visuelle détaillée intéresse tous les éléments visibles et accessibles c'est-à-dire tous les items inspectables sur la structure, les accès et les accessoires du réservoir.

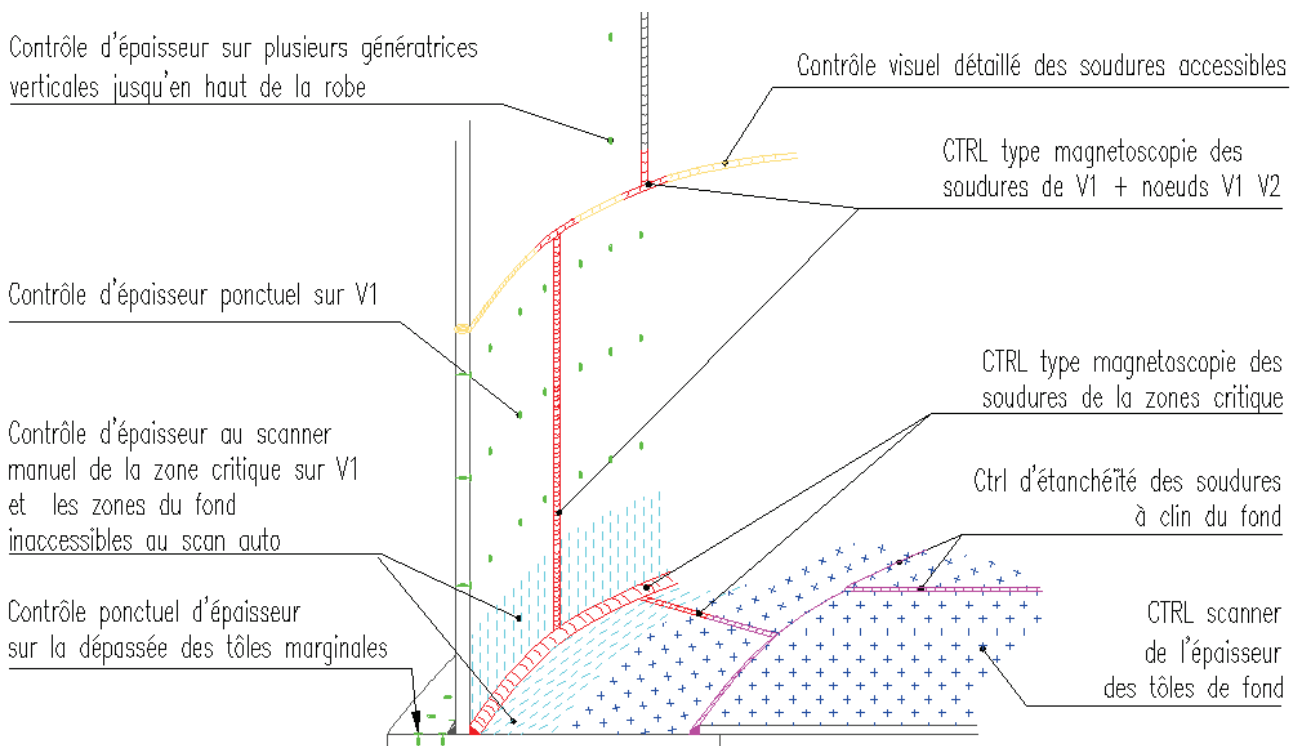
Cette inspection visuelle est complétée par des contrôles non destructifs, objets des tableaux ci-dessous. A noter que cette liste de contrôle n'est pas exhaustive et doit être complétée ou adaptée si nécessaire, notamment en cas de situation atypique. Les techniques et les étendues de contrôles mentionnées peuvent être remplacées par d'autres aux performances équivalentes (ex : la magnétoscopie peut être remplacée par du ressuage ou de l'ACFM).

Trois niveaux de contrôles en terme d'étendue et de méthode sont proposés :

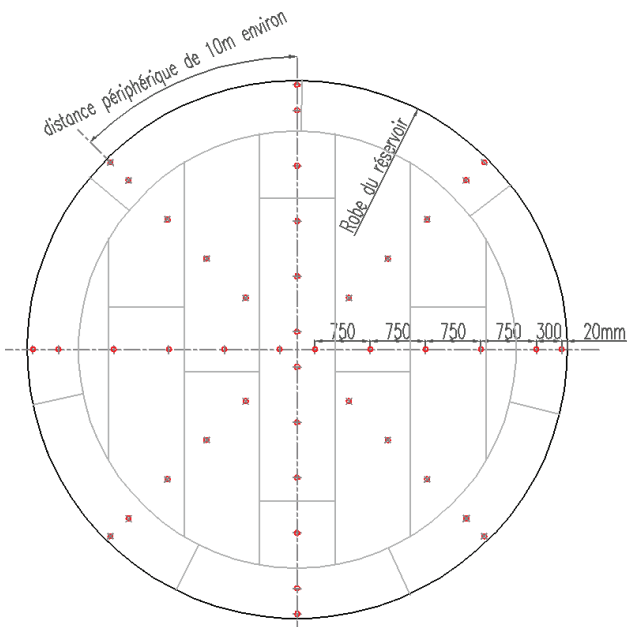
- niveau A : niveau le plus élevé
- niveau B : niveau intermédiaire
- niveau C : niveau le moins élevé

Le niveau, pour chaque élément du réservoir, est déterminé et adapté par l'inspecteur en fonction :

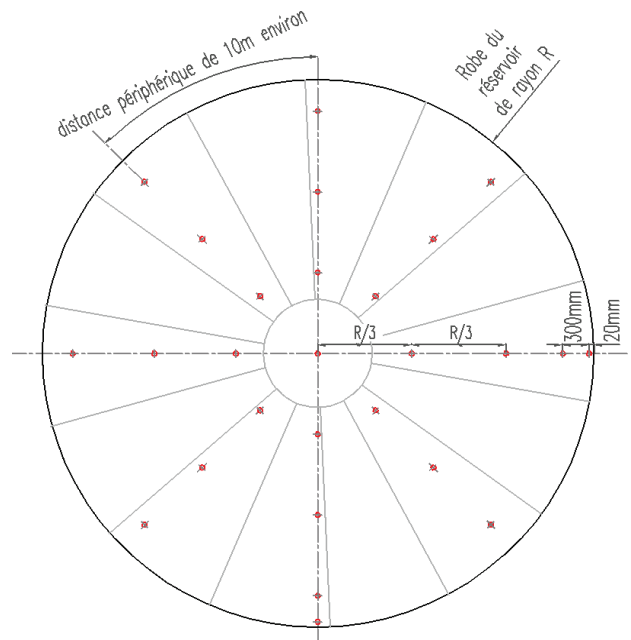
- des mécanismes de dégradation identifiés
- des conclusions de l'analyse de criticité
- du facteur de confiance recherché
- de la date prévue de la prochaine inspection



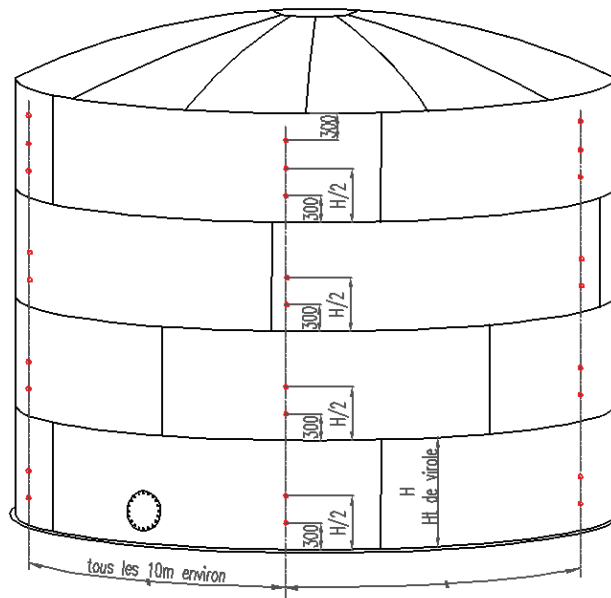
**Schéma 7.a** : Exemple de l'étendue des contrôles niveau A pour le pied de réservoir



**Schéma 7. b :** Exemple de maillage de point pour le contrôle d'épaisseur du fond et le relevé géométrique interne



**Schéma 7.d :** Exemple de maillage de point pour le contrôle d'épaisseur du toit



**Schéma 7. c :** Exemple de maillage pour le contrôle d'épaisseur de robe et le relevé géométrique

**Note :** Les contrôles ci-dessous sont adaptés aux réservoirs à simple paroi, à simple fond et non revêtus. Ils doivent être adaptés dans les cas suivants :

- réservoirs avec revêtements époxy armés de fibre de verre suppressions partielles ou complètes des revêtements en fonction de l'état de ceux-ci et de l'état supposé du support métallique avant la pose des revêtements
- réservoirs à double fond avec systèmes de détection de fuite la nature et l'étendue des contrôles seront adaptées
- réservoirs aériens sur charpente l'inspection par scanner est inutile si un contrôle visuel de la face externe du fond est possible
- réservoirs sur radier pieux les contrôles géométriques du fond sont généralement inutiles

7.1. Contrôles du fond

7.1.1. <i>Contrôles d'épaisseur du fond</i>			
Eléments du réservoir	Niveau A	Niveau B	Niveau C
Tout le fond	Visuel interne 100% : Recherche des corrosions internes, puis évaluation des zones de corrosion		
Epaisseur des tôles centrales et marginales**	Scanner automatique de toutes les zones accessibles + Scanner manuel dans les zones d'ombres*	Scanning ou Maillage UT (le long de génératrices rayonnantes selon schéma 7b et des tôles de la zone critique <sup>1</sup> )	Mesures d'épaisseur UT le long de génératrices rayonnantes selon schéma 7b (mini 1 point par tôle)
Pot de purge	Maillage UT		
Doublantes et tôles martyres	Mesures d'épaisseur UT		
Dépassée externe des tôles marginales**	Visuel externe + Recherche de l'épaisseur résiduelle marginale sous robe avec une méthode adaptée <sup>2</sup>	Visuel externe + Mesures de l'épaisseur résiduelle marginale sous robe avec une méthode adaptée <sup>2</sup> dans les zones sensibles (exposition aux vents dominants, zone de rétention d'eaux pluviales, présence de terres,...)	Visuel externe + Mesures de l'épaisseur résiduelle marginale sous robe avec une méthode adaptée si présence de corrosion

\* **Zones d'ombre** : zones du fond non inspectables au scanner automatique, notamment les coins de tôles, la périphérie des tôles sur quelques mm, sous les tuyauteries et accessoires internes...

\*\* **Tôles marginales** = tôles périphériques du fond passant sous la robe du réservoir.

7.1.2. <i>Contrôles des soudures du fond</i>			
Eléments du réservoir	Niveau A	Niveau B	Niveau C
Soudures des tôles de fond Fond non revêtu	100% Visuel + CND recherche de défauts par méthode adaptée au mode de dommage sur 100% des doublantes + 10% soudures fond	100% visuel recherche de défauts par méthode adaptée <sup>2</sup> dans les zones présentant des ondulations ou des enfoncements	
Soudure d'angle Robe-fond + soudures zone critique	100% visuel + 100% CND recherche de défauts par méthode adaptée	100% visuel + 20% CND recherche de défauts par méthode adaptée	100% visuel

<sup>1</sup> **Zone critique** : zones du fond et de la robe situées à proximité immédiate de la soudure robe-fond (ordres de grandeur : 500 mm fond et 150 mm robe - voir codes)

<sup>2</sup> **Méthode adaptée** : voir annexe 2 pour le choix de la technique de contrôle adaptée

**7.1.3. Contrôles particuliers d'un fond revêtu**

Eléments du réservoir	Niveau A	Niveau B	Niveau C
<b>Revêtement anticorrosion interne</b>	100% visuel + 100% balai diélectrique	100% visuel + 10% balai diélectrique	100% visuel
<b>Épaisseur des tôles</b>	CND : Idem tableau 7.1.1 : - Les revêtements courants jusque 3mm d'épaisseur permettent un contrôle par ultrason ou le passage d'un scanner. CND systématique selon tableau 7.1.1 en cas de dépose partielle ou totale du revêtement		
<b>Soudures des tôles de fond</b>	CND recherche de défauts par méthode adaptée dans les zones présentant des ondulations ou des enfoncements CND systématique selon tableau 7.1.2 en cas de dépose partielle ou totale du revêtement		
<b>Soudure d'angle Robe-fond et soudures zone critique</b>	CND recherche de défauts par méthode adaptée en cas d'enfoncement périphérique CND systématique selon tableau 7.1.2 en cas de dépose partielle ou totale du revêtement		

Pour les réservoirs construits sur une galette béton ou un film d'étanchéité enterré, certaines des mesures de contrôle décrites ci-dessus peuvent être, le cas échéant, allégées.

**7.2. Contrôles de Robe****7.2.1. Contrôles d'épaisseur de robe (non calorifugée)**

Eléments du réservoir	Niveau A	Niveau B	Niveau C
<b>Zone critique</b>	Visuel interne et externe 100% + Scanner ou maillage UT sur toute la périphérie	Visuel interne et externe 100% + Scanner ou maillage UT sur 20% de la périphérie	Visuel interne et externe 100% + Mesures de l'épaisseur résiduelle avec une méthode adaptée si présence de corrosion
<b>Tôles des viroles 1 à n*</b>	Visuel interne et externe 100%** + Mesures d'épaisseur UT selon schéma 7c		Visuel interne et externe 100% + Mesures de l'épaisseur résiduelle avec une méthode adaptée si présence de corrosion

\* n est le nombre de virole (séparations horizontales)

\*\* Contrôle visuel à partir des zones accessibles

**7.2.2. Contrôles de soudures de robe**

Eléments du réservoir	Niveau A	Niveau B	Niveau C
<b>Soudures verticales de la virole 1 + nœuds V1 / V2</b>	Visuel 100% + recherche de défauts selon méthode adaptée sur 100% des soudures accessibles	Visuel 100% + recherche de défauts selon méthode adaptée sur 20% des soudures accessibles	Visuel 100%
<b>Soudures verticales et horizontales des viroles 2 à n</b>	Visuel 100% + Contrôles complémentaires selon l'analyse des modes de dégradation		

**7.2.3. Contrôles géométriques de robe**

Eléments du réservoir	Niveau A	Niveau B	Niveau C
<b>Toute la robe</b>	Visuel 100% + Mesure de verticalité rotundité avec appareillage adapté (théodolite, etc.) Mesure de nivellement sur la dépassée selon croquis 7.c	Visuel 100% + Contrôle de verticalité	Visuel 100%

**7.2.4. Contrôle des accessoires de robe et piquages**

Eléments du réservoir	Niveau A	Niveau B	Niveau C
<b>Piquages de robe &amp; Trous d'homme</b>	Visuel + Epaisseur par UT : 4 points par piquage + contrôles adaptés en cas d'enfoncement		Visuel + contrôles adaptés en cas d'enfoncement
<b>Réparations antérieures par doublage ou insert*</b>	Visuel 100%		
	Epaisseur par UT + Recherche défauts par méthode adaptée des soudures		/
<b>Supports sur robe (pour fourreau, tubulures, passerelles...) Poutre au vent et raidisseurs secondaires de robe</b>	Visuel 100%** CND par méthode adaptée en présence de corrosion ou déformation		
<b>Système de mise à la terre si existant</b>	Contrôle de la bonne connexion électrique		

\* Pour les inserts, vérification une fois si aucun certificat de contrôle initial. Ils sont ensuite considérés comme des tôles d'origine

\*\* Contrôle visuel à partir des zones accessibles

**7.2.5. Cas particulier des réservoirs calorifugés**

Eléments du réservoir	Niveau A	Niveau B	Niveau C
<b>Tôle de calorifuge et isolation</b>	Visuel externe + Visuel paroi après décalorifugeage des zones dégradées, des points singuliers et des zones représentatives* à définir et adapter en fonction des constats	Visuel externe + Visuel paroi après décalorifugeage des zones dégradées et points singuliers*	Visuel externe + Visuel paroi après décalorifugeage des zones dégradées

\* La dépose du calorifuge pour inspection doit être optimisée dans les zones potentielles de corrosion : par exemple à l'aplomb d'un défaut d'étanchéité, à proximité des piquages, des traçages, raidisseurs...

*Remarque* : des trappes peuvent être installées selon schéma 7c afin de contrôler périodiquement l'aplomb du réservoir et l'épaisseur structurelle de la robe.

Les contrôles de robe (épaisseur et géométrie) peuvent aussi être réalisés depuis l'intérieur du réservoir

**7.3. Contrôles de toit fixe et accessoires**

Eléments du réservoir	Niveau A	Niveau B	Niveau C
<b>Tôle de toit</b>	Visuel externe et/ou interne + Mesures d'épaisseur UT selon schéma 7.d		Visuel externe et/ou interne + Mesures de l'épaisseur résiduelle avec une méthode adaptée si présence de corrosion
<b>Charpente autoportée et poteaux de charpente</b>	Visuel interne des zones accessibles Prévoir accès si tôles de toits corrodées ou déformation toit et charpente* pour contrôle des profilés porteurs et des poteaux		
<b>Event et soupapes</b>	Contrôle selon plan de maintenance préventive		
<b>Piquages et tubulures de toit</b>	Visuel		

\* La mesure de perte d'épaisseur des tôles de toit permet d'estimer celle des fers de charpente internes

**7.4. Contrôles de toit flottant, écran flottant et accessoires**

Eléments du réservoir	Niveau A	Niveau B	Niveau C
<b>Tôles des voiles inférieur et supérieur (si double pont) et caissons</b>	Visuel 100% + Epaisseur par ultrasons : Maillage selon schéma 7.d		Visuel 100%
<b>Intérieur des caissons Béquilles* Passages et tubulures de toit</b>	Visuel 100% Contrôles complémentaires selon l'analyse des modes de dégradation		
<b>Drain principal d'évacuation des eaux pluviales et raccords</b>	Visuel détaillé Si drain articulé : Bon fonctionnement des articulations et bon état des garnitures		
	Essais hydraulique ( $P^{\circ} > 1.5 \text{ PS}$ )		
<b>Joint périphériques Support escalier roulant Barrage à mousse</b>	Visuel détaillé		
<b>Mise à la terre</b>	Contrôle de la bonne connexion électrique		
<b>Events automatiques, et soupapes</b>	Contrôle selon plan de maintenance préventive		

\* Dans le cas de tassement identifié du fond du réservoir, lors du réglage des hauteurs de béquille (réservoir plein), le jaugeage à l'aplomb de chaque béquille permet d'ajuster leurs longueurs à la forme du fond. Cette opération permet de poser le toit à l'horizontale et ainsi limiter les contraintes dans le toit et le fond lorsque le toit est posé au fond

**7.5. Contrôles des moyens d'accès**

Éléments du réservoir	Niveau A	Niveau B	Niveau C
Passerelles sur toit Passerelles de liaisons Escaliers Echelles	Visuel 100%		

**7.6. Contrôles du revêtement externe anticorrosion sur robe et toit**

Éléments du réservoir	Niveau A	Niveau B	Niveau C
Revêtement anticorrosion sur robe et toit	Visuel à 100% + Contrôle selon méthode adaptée en présence de défaut de continuité du revêtement ou de taches d'enrouillement		

**8. Critères d'acceptabilité des défauts**

**Remarque préliminaire :** Lorsqu'une évaluation est faite à partir de critères particuliers définis dans l'un des codes cités dans ce chapitre, elle doit être faite pour l'ensemble des critères issus de ce code. Seules des évaluations supplémentaires, non prévues dans le code choisi pourront éventuellement être apportées.

Ce paragraphe récapitule les critères d'acceptabilité pour les principaux défauts rencontrés. Les défauts particuliers non listés dans ce paragraphe seront traités selon le code retenu.

**8.1. Assises et fondations**

La stabilité de la fondation est importante pour l'intégrité du fond du réservoir. Un tassement excessif et irrégulier peut entraîner des défaillances du fond par excès de contraintes mécaniques. Le tassement génère également la formation de gouttières pouvant entraîner une corrosion localisée. Il est important d'analyser les mesures de tassement du réservoir et de surveiller étroitement les conditions internes et externes. Lors du premier examen d'un fond neuf ou dont une grande partie a été remplacée, l'état du fond est à étudier pour détecter les anomalies.

Les contraintes issues des tassements de l'assise doivent être évaluées. Des calculs de structure prenant en considération les déformations relevées peuvent permettre de comparer les contraintes induites aux contraintes maximum admissibles. L'évaluation peut également être faite selon les recommandations qui suivent, issues de guides, codes ou standards reconnus pour ce type d'équipement.

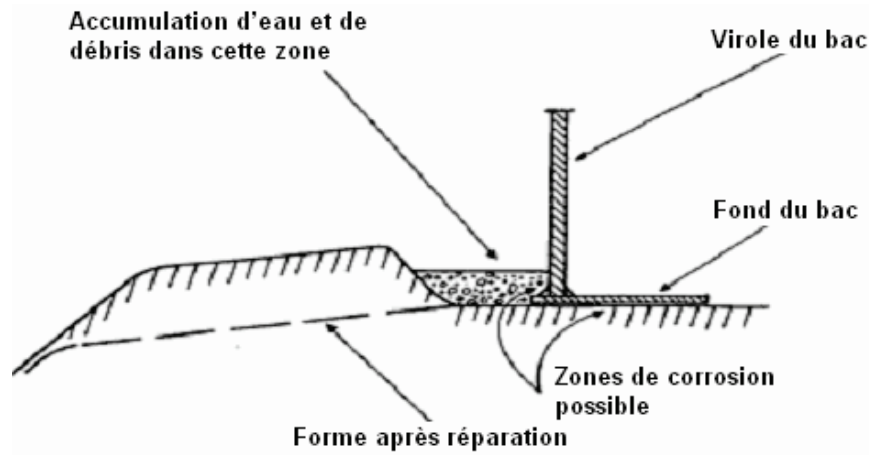
**Remarque sur les critères d'acceptation des défauts liés aux tassements**

Conformément aux codes d'inspection précédemment cités, ces critères d'acceptabilité s'appliquent pour des réservoirs dont les tôles ont des épaisseurs supérieures aux épaisseurs de retrait.

**8.1.1. Tassements au droit de la robe****Tassement uniforme général**

Un tassement uniforme du réservoir n'engendre pas de contrainte sur la structure du réservoir. Cependant, en cas de tassement uniforme excessif sur l'ensemble du réservoir, il faudra s'assurer que les lignes de drain et tuyauteries peuvent s'adapter aux variations de niveau du réservoir. Le fond du réservoir doit rester à une distance suffisante de la nappe phréatique.

De plus le tassement de la fondation peut créer une gouttière périphérique autour de la robe du réservoir et favoriser la corrosion par la stagnation des eaux de pluie. Dans ce cas, la banquette sera re-profilée en conservant la pente initiale.



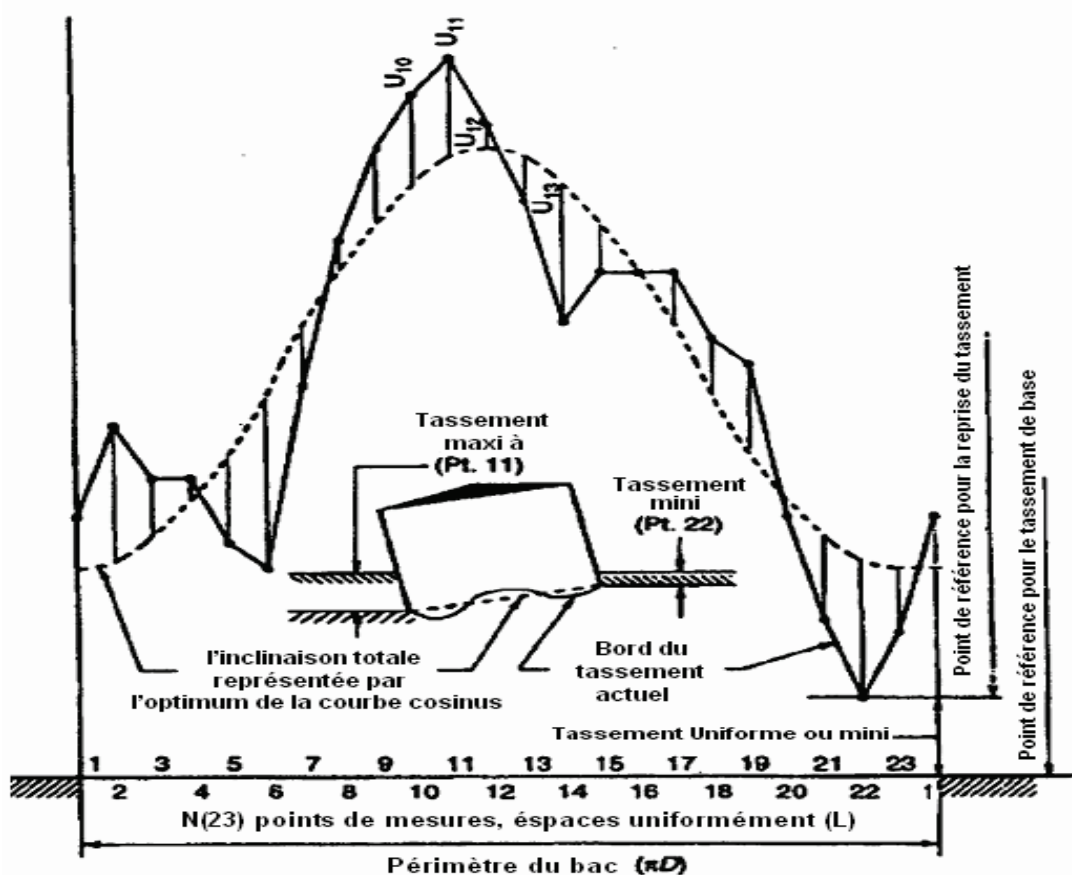
Tassement de la virole dans la fondation du bac

### Inclinaison plane du réservoir

L'inclinaison d'un réservoir correspond à la rotation du plan de pose du réservoir.

La rotation du réservoir selon un plan incliné entraîne une élévation du niveau liquide et une augmentation de la contrainte sur la robe du réservoir. Comme pour le tassement uniforme, il faudra s'assurer que les lignes de drain et tuyauteries peuvent s'adapter aux variations de niveau du réservoir. Une inclinaison excessive peut également favoriser le coincement des joints périphériques du toit flottant et limiter son mouvement.

Une représentation graphique communément reprise par l'ensemble des codes d'un tassement différentiel des viroles est montrée ci-dessous. La figure montre l'inclinaison plane d'un réservoir représentée par l'optimum de la courbe sinusoïdale (en pointillé) avec le tassement différentiel actuel réel tracé à partir des 23 points de référence de la circonférence.



Représentation graphique d'un tassement différentiel de virole

### **Tassement différentiel périphérique**

La cause principale du tassement périphérique est une capacité portante insuffisante et/ou une stabilité insuffisante de l'assise sous la robe.

L'inclinaison est généralement associée à des tassements différentiels qui induisent des contraintes additionnelles sur la robe du réservoir. Ces tassements différentiels en périphérie entraînent des déformations en partie haute du réservoir, et en présence d'un toit flottant, l'augmentation de l'ovalisation risque de limiter le fonctionnement du toit flottant à tel point qu'un relèvement devient nécessaire. L'ovalisation peut également affecter les structures porteuses du toit telles que les poteaux, les chevrons et les poutrelles. Le tassement différentiel peut faire apparaître des zones plates localisées sur la robe du réservoir.

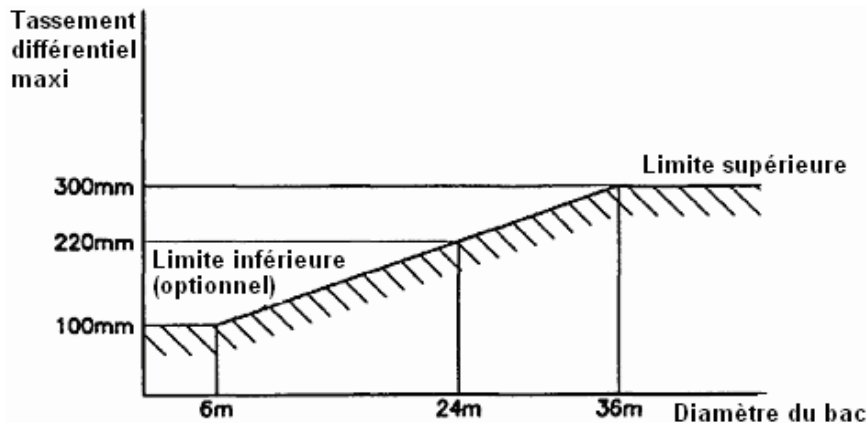
Alors que l'inclinaison peut générer les problèmes énumérés ci-dessus, le tassement différentiel est l'élément essentiel à déterminer et à évaluer pour assurer l'intégrité structurelle de la robe et du fond du réservoir.

La différence entre l'optimum de la courbe et le tassement réel est évaluée dans des limites acceptables telles que définies ci-dessous.

Evaluation selon l'EEMUA 159 et le CODRES 2009

#### **Réservoir à toit fixe sans écran flottant de diamètre inférieur à 40 mètres**

Le tassement différentiel maximum acceptable entre deux points quelconques de la périphérie d'un réservoir à toit fixe sans écran flottant, mesuré au plus près de la limite virole/fond est à déterminer en fonction de son diamètre selon la courbe suivante :



Le tassement différentiel maximum acceptable entre deux points quelconques de la circonférence ne doit pas excéder 300 mm. Il doit rester inférieur à 100 mm pour des réservoirs de moins de 6m de diamètre. Pour les valeurs de diamètre comprises entre 6m et 36m, le tassement différentiel maximum acceptable est déterminé par la formule suivante :

$$T_d \leq \frac{200}{30} \times (D - 6) + 100$$

où

Td : tassement différentiel maximum acceptable (mm)

D : diamètre du réservoir (m)

Pour limiter les contraintes localisées des composantes du réservoir, le tassement différentiel maximum entre deux points consécutifs (ou flèche) n'excèdera pas 100 mm ou 1% de la distance entre deux points consécutifs

#### **Réservoir à toit flottant ou réservoirs à toit fixe de diamètre supérieur à 40 mètres équipés d'écran flottant**

Pour les réservoirs équipés de toit flottant ou les réservoirs à toit fixe équipés d'écran flottant, dont le diamètre est supérieur à 40 mètres, la flèche maximum acceptable entre deux points de mesures consécutifs est déterminée par la formule suivante :

$$D_{mes} \leq \frac{11000 \times dt^2 \times Rp}{2 \times E \times H}$$

où

$D_{mes}$  : flèche maximum acceptable entre 2 points consécutifs (mm)

$dt$  : distance entre 2 points de mesures consécutifs (m)

$R_p$  : limite d'élasticité de la tôle de fond périphérique (MPa)

$E$  : module d'élasticité d'Young (Mpa)

$H$  : hauteur totale de la robe du réservoir (m)

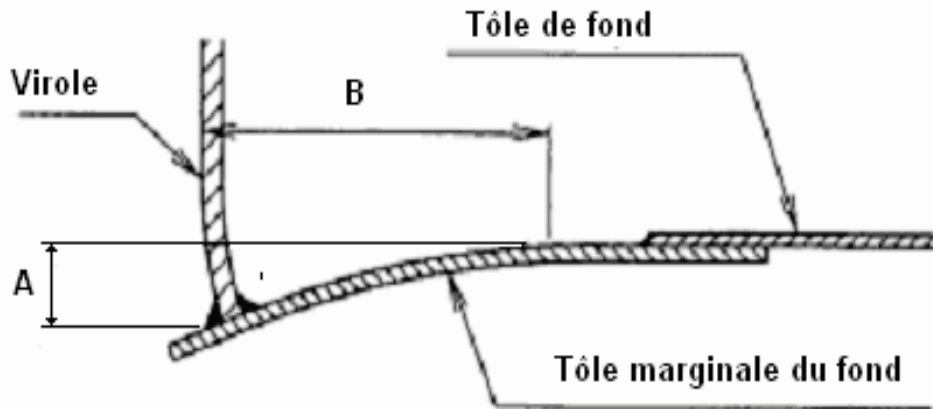
Cette flèche maximum doit également être évaluée en rapport avec l'inclinaison du réservoir et de la plage d'exploitation du joint de toit flottant.

Exigence complémentaire selon le CODRES 2009

Pour les réservoirs à toit flottant et les réservoirs à toit fixe munis d'écran flottant, le tassement différentiel maximum acceptable entre deux points quelconques de la circonférence ne doit pas excéder 200 mm.

#### Tassement localisé en bordure

Le tassement, lorsqu'il concerne la bordure périphérique, doit faire l'objet d'une analyse particulière du fond et de la soudure robe/fond. Les déformations induites par un tassement périphérique localisé du fond doivent être relevées selon la figure suivante :



**Tassement maximal acceptable des bords**

#### Evaluation selon l'EEMUA 159

Le tassement maximum acceptable des bords est de 125 mm (A) au niveau de la virole et sur une longueur maxi de 750 mm (B) en radial.

Une attention spéciale sera apportée quand le tassement se produit sur une relativement courte distance sur la circonférence car cela risque d'engendrer des contraintes locales élevées sur la soudure robe/fond. La pente n'excèdera pas 1 %.

#### Evaluation selon l'API 653 et le CODRES 2009

L'analyse proposée communément par l'API 653 annexes B.3.4 et le CODRES SIA3.3 repose sur des valeurs de tassement maximum admissibles selon que la zone concernée comprend des soudures à clin parallèles à la robe (à  $\pm 20^\circ$ ) ou non, lorsqu'il n'y a pas de soudure ou si celles-ci sont orientées perpendiculairement à la robe (à  $\pm 20^\circ$ ). Une formule d'ajustement est donnée pour les soudures orientées selon des angles intermédiaires par rapport à la robe.

Les graphes proposés donnent les valeurs admissibles du tassement en fonction de la longueur affectée en radial pour différents diamètres de réservoir.

#### Comparaison des seuils d'acceptabilité entre l'API 653 et le CODRES 2009

Les graphes proposés par chacun des deux documents sont quasiment semblables. Cependant il faudra veiller à utiliser les unités définies par chacun d'eux :

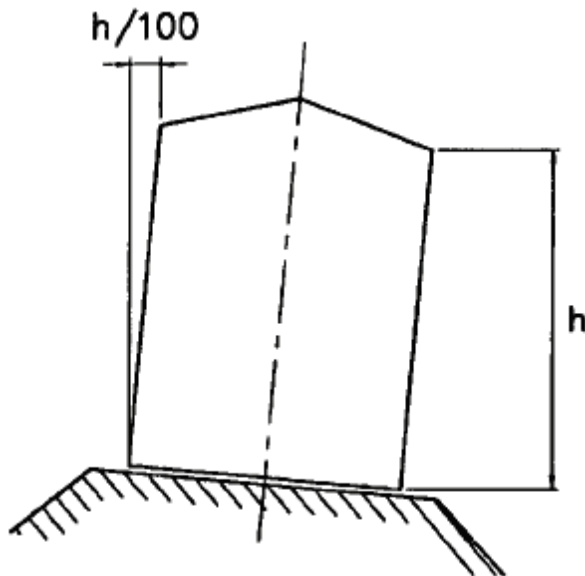
- B en pouces et R en pieds pour l'API
- Dadm et vtass en mm pour le CODRES

Si la valeur mesurée du tassement atteint 75 % de la valeur admise par les graphes, les soudures de la liaison robe/fond et de la zone soumise à tassement doivent faire l'objet d'un examen visuel et, en cas de doute, d'un contrôle complémentaire pour recherche de défaut de surface.

### Inclinaison du réservoir

#### Evaluation selon l'EEMUA 159 et le CODRES 2009

L'inclinaison maximale de la robe devra rester inférieure à  $h/100$ . A défaut, un programme de surveillance sera mis en place pour détecter une éventuelle évolution.



Une attention particulière est à prendre en appliquant cette méthode d'analyse aux fonds corrodés. Dans de tels cas, l'utilisation de facteurs supplémentaires de sécurité est à envisager.

### Tassement différentiel sur la périphérie du réservoir

#### Evaluation selon l'API 653 et le CODRES 2009

Une approche commune admise pour les relevés et l'évaluation des tassements différentiels est celle décrite dans l'API Standard 653 chapitre B.2.2. (Rev. 04-2009), et reprise dans le CODRES Div.2 Annexe SIA3 (Rev. 05-2009).

La méthode communément admise pour la détermination de l'inclinaison plane est la recherche de la courbe sinusoïdale optimum sous la forme suivante :

$$dcal = a + b \times \cos(\theta_i + c)$$

où :

a, b, c sont choisis pour minimiser la somme des carrés entre les tassements mesurés et les tassements prédéterminés

dcal = Tassement calculé

La fonction ainsi déterminée sera considérée comme suffisamment représentative si l'exigence suivante est respectée :

$$\frac{\sum (dm - dmes,i)^2 - \sum (dmes,i - dcal,i)^2}{(dm - dmes,i)^2} > 0,9$$

où :

dcal,i = Tassement calculé au point i

dm = Moyenne des tassements mesurés

dmes,i = Tassement mesuré au point i

Si la fonction déterminée est suffisamment représentative, le tassement différentiel acceptable entre deux points consécutifs est donné par la formule suivante :

$$dcal,i \leq \frac{11000 dt^2 \times Rp}{2 \times E \times H}$$

où :

dcal,i = Tassement différentiel pour chaque point de la périphérie (mm)

dt = Longueur d'arc entre 2 points de mesures (m)

Rp = Limite d'élasticité de la tôle de fond périphérique (MPa)

E = Module d'élasticité d'Young (Mpa)

H = Hauteur totale de la robe du réservoir (m)

Sachant que le tassement différentiel est calculé dans ce cas avec la formule suivante :

$$dcal,i = [dmes,i - dcal,i] - \frac{[(dmes,i-1 - dcal,i-1) + (dmes,i+1 - dcal,i+1)] \times 2}{2}$$

Evaluation simplifiée également proposée par le CODRES 2009

Selon la formule simplifiée, le tassement différentiel acceptable entre deux points consécutifs est donné par la formule suivante :

$$dcal,i \leq \frac{20 \times dt}{6}$$

dcal,i = Tassement différentiel pour chaque point de la périphérie (mm)

dt = Longueur d'arc entre 2 points de mesures (m)

Sachant que le tassement différentiel est calculé dans ce cas avec la formule suivante :

$$dcal,i = dmes,i - \frac{(dmes,i-1 + dmes,i+1)}{2}$$

Evaluation complémentaire proposée par l'API 653

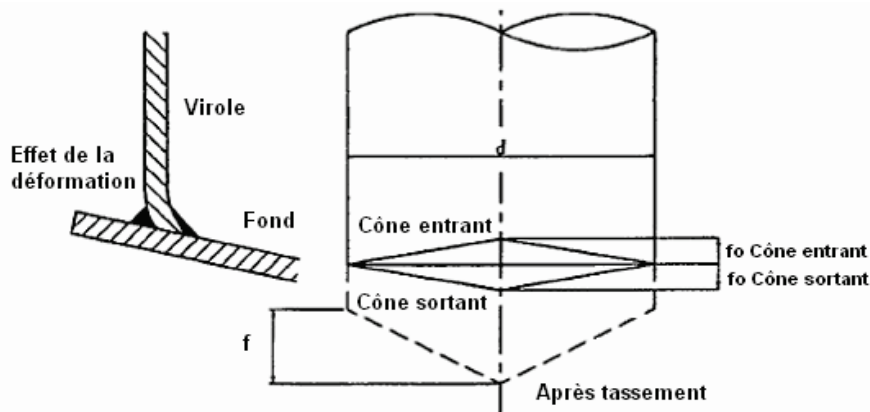
Pour le cas où une inclinaison plane ne peut être déterminée (ne satisfait pas les exigences de représentativité définies ci-dessus), et pour laquelle l'équation proposée de dcal,i ci-dessus est satisfaite, l'API 653 propose une méthode d'analyse complémentaire. L'annexe B paragraphes B.2.2.5 et B.3.2.2 décrit cette méthode d'analyse complémentaire.

### 8.1.2. Tassements du fond du réservoir

#### Tassement du fond

Lorsque la différence de tassement entre le centre du fond et la périphérie du réservoir est excessive, les contraintes agissant sur le fond tendent à tirer la jonction robe/fond vers l'intérieur et créent une contrainte de compression pouvant générer des déformations.

La flèche initiale du fond, qu'elle soit convexe ou concave n'est plus respectée.



#### **DIN 4119 Méthode de calcul**

##### Evaluation selon l'EEMUA 159

Pour les réservoirs existants la formule suivante extraite de la norme DIN 4119, peut être appliquée :

$$\mathbf{f \max = D/100 \times \sqrt{[(100f_0/D)^2 + 3280 \times K/E]}}$$

où:

$f_0$  = la flèche initiale convexe ou concave entre le centre et la périphérie (m)

$E$  = le module d'élasticité d'Young (MPa)

$K$  = la limite élastique de la tôle de fond (MPa)

$D$  = diamètre du réservoir (m)

##### Evaluation selon le CODRES 2009

Le différentiel de tassement entre la flèche mesurée et la flèche initiale doit respecter la formule suivante :

$$\mathbf{Df \leq 2 \times D}$$

Où

$Df$  = différentiel entre la flèche mesurée et la flèche initiale (cm)

$D$  = diamètre du réservoir (m)

Une attention particulière est à porter sur la soudure de liaison robe/fond. Cette liaison doit faire l'objet d'un contrôle visuel détaillé et, en cas de doute, de contrôles complémentaires de recherche de défauts de surface par une méthode appropriée (voir annexe).

##### Evaluation selon l'API 653

Le différentiel de tassement entre la flèche mesurée et la flèche initiale doit respecter la formule suivante :

$$\mathbf{B \leq 0,37 \times R}$$

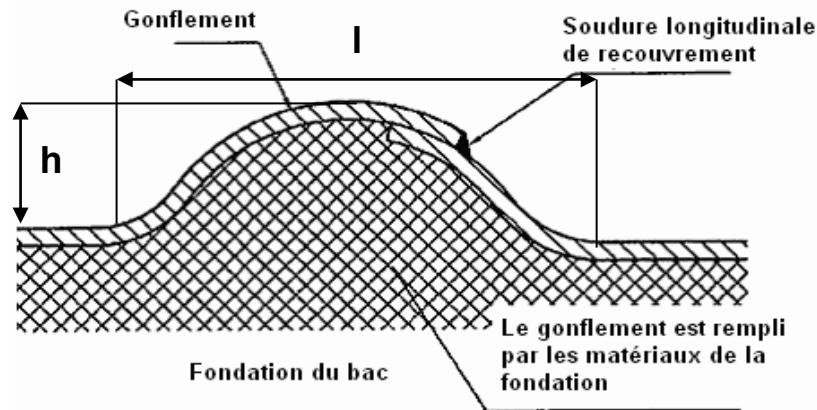
Où

$B$  = différentiel entre la flèche mesurée et la flèche initiale (pouce)

$R$  = rayon du réservoir (pied)

### Ondulations sur le fond

Lorsque le réservoir est composé d'un fond conique convexe le tassement entre le centre du fond et sa bordure périphérique tend à aplanir la forme du fond, générant un excès de longueur de tôles sur le diamètre. Cette matière en excès entraîne la formation d'ondulations sur les tôles centrales.



#### Evaluation selon l'EEMUA 159 et le CODRES 2009

Les ondulations sont acceptables lorsque les ratios de la hauteur (h) sur la longueur (l) de l'ondulation respectent la formule suivante :

Ondulation en appui sur fondation :  **$h/l \leq 0,15$**

#### Evaluation complémentaire selon EEMUA 159

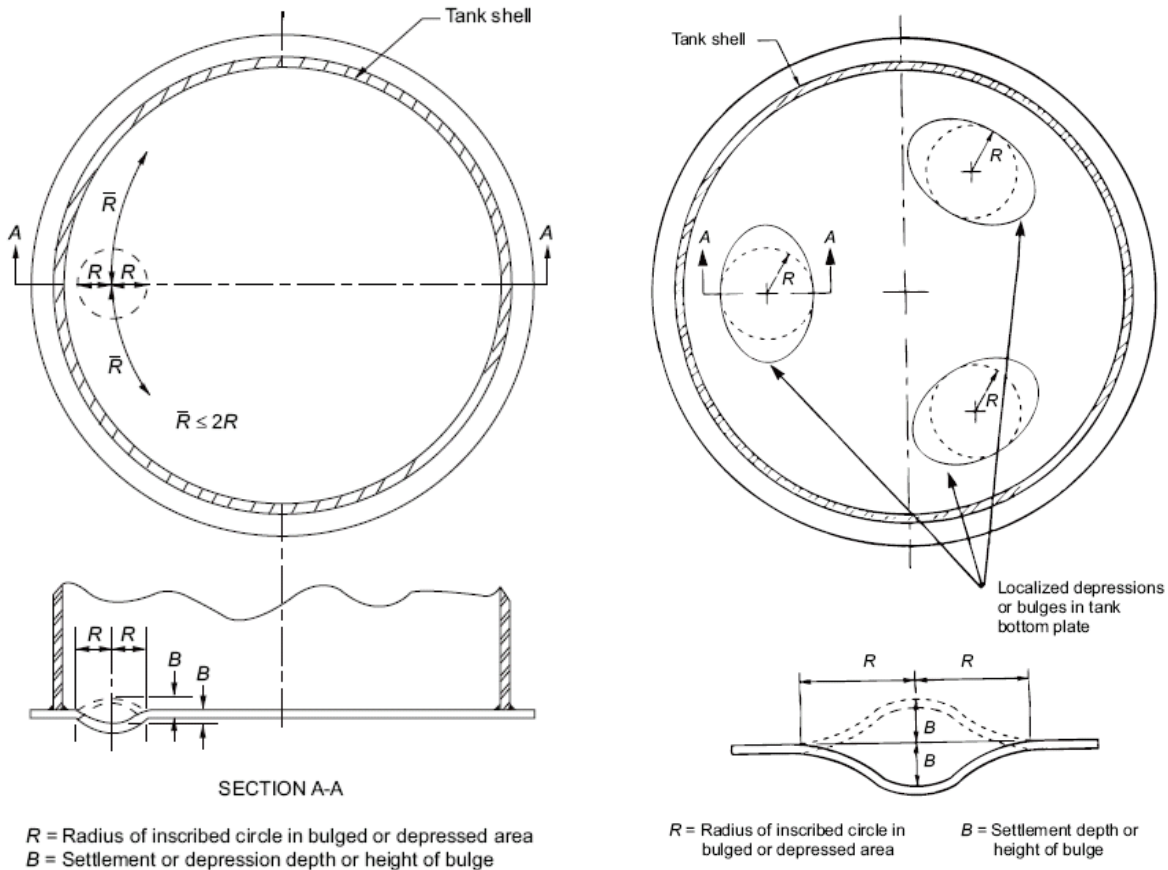
Ondulation sur vide :  **$h/l \leq 1/15$**

Des ondulations peuvent se former sur les lignes de soudures à clin dans le sens longitudinal. Il est important que ces ondulations ne forment pas de plis sévères (arêtes). Il faudra s'assurer de l'absence de fissuration locale de ces soudures

### Cloques sur le fond

Des cloques localisées peuvent se former sur le fond.

Une approche commune admise pour les relevés des tassements différentiels est celle décrite dans l'API Standard 653 chapitre B.2.5. (Rev. 04-2009), et reprise en partie dans le CODRES Div.2 Annexe SIA3 (Rev. 05-2009).



### Evaluation selon API 653

La taille maximum admise pour les cloques est donnée par la formule suivante :

$$BB = 0,37 R$$

Où

BB = hauteur ou creux maximum de la cloque (pouce)

R = rayon du cercle inscrit dans la cloque (pied)

### Evaluation selon CODRES 2009

Aucune cloque n'est acceptée sur le fond dans la zone comprise depuis la robe jusqu'à une distance de 1 mètre.

La taille maximum admise pour les cloques est donnée par la formule suivante :

$$Hr \leq 4 dr$$

Où

Hr = hauteur maximum de la cloque (cm)

dr = diamètre du cercle inscrit dans la cloque (m)

## 8.2. Corrosion

### 8.2.1. Corrosion du fond

Les critères d'acceptabilité de l'épaisseur mesurée des tôles de fond doivent prendre en compte la durée prévue du fonctionnement jusqu'à la prochaine inspection. Les codes construction définissent les valeurs minimum acceptables pour les tôles de fond.

Sauf dispositions particulières, l'épaisseur minimum des tôles de fond (tôles centrales) communément admise est 2,5mm.

L'épaisseur des tôles annulaires est définie en respect d'une analyse de contraintes et dépend des caractéristiques du matériau, de l'épaisseur adoptée pour la première virole, et des conditions de service (densité du produit, calcul au séisme,...).

L'épaisseur minimum admissible des tôles annulaires de réservoirs est déterminée en respect des règles établies dans les codes de construction ou dans les codes d'inspection et de maintenance associés.

#### Evaluation selon EEMUA 159

Pour les réservoirs construits selon le code BS2654, l'épaisseur minimum résiduelle des tôles annulaires est de 50% de l'épaisseur nominale requise à l'origine.

#### Evaluation selon API 653

Pour les réservoirs construits selon le code API 650, l'épaisseur minimum résiduelle des tôles annulaires est donnée par le chapitre 4.4.6 et la table 4.5 du code API 653. Sauf justification particulière, elle est calculée avec la formule suivante :

$$ec_{min} = \text{Mini} \{ 50\% \times ec_0, 50\% \times ev_{1min} \}$$

Où

$ec_{min}$  = épaisseur résiduelle minimum des tôles de la zone critique du fond

$ec_0$  = épaisseur d'origine (hors surépaisseur de corrosion) des tôles de la zone critique du fond

$ev_{1min}$  = épaisseur minimum acceptable de la virole inférieure

#### Evaluation selon CODRES 2009

Pour les réservoirs construits selon le code CODRES, l'épaisseur minimum résiduelle des tôles annulaires est donnée dans les chapitres SIA2.2.3 et SIA2.2.4 du CODRES 2009. Elle est donnée selon l'une des formules suivantes :

L'épaisseur minimum résiduelle des tôles de la zone critique des réservoirs de moins de 12,5 m de diamètre est :

- 4 mm pour les tôles en acier carbone ou carbone manganèse
- 5 mm pour les tôles en acier inoxydable

L'épaisseur minimum résiduelle des tôles de la zone critique des réservoirs de plus de 12,5 m de diamètre est :

$$ec_{min} = 2/3 \text{ MAX} \{ 3 + e_{1/3} ; ef_{min} \}$$

Où

$ec_{min}$  = épaisseur résiduelle minimum des tôles de la zone critique du fond lors de la prochaine inspection (mm)

$e_1$  = épaisseur de la virole inférieure surépaisseur de corrosion exclue (mm)

$ef_{min}$  = épaisseur résiduelle minimum mesurée des tôles de la zone courante du fond après réparation

### 8.2.2. *Corrosion de la robe*

#### Corrosion généralisée

#### Evaluation selon CODRES 2009, EEMUA 159 et API 653

L'épaisseur de retrait ( $t_R$ ) communément admise pour les tôles de viroles est établie à l'aide de la formule suivante :

$$t_R = \frac{D}{20 \times S \times E} [98 \times w (H - 0,3) + P]$$

Où :

$t_R$  = Epaisseur de retrait (mm) n'est pas inférieure à 2,5 mm ou 50% de l'épaisseur d'origine de la tôle

$D$  = Diamètre nominal (m)

$H$  = Hauteur de la zone examinée jusqu'à la hauteur maximale de remplissage (m)

$W$  = Densité spécifique du fluide stocké

$P$  = Pression nominale (mbar)

$S$  = Contrainte admissible (N/mm<sup>2</sup>). Si connue, utiliser 0,8 fois la limite apparente minimale d'élasticité ( $Y$ ). Sinon utiliser  $Y = 215$

$E$  = Coefficient de soudure du réservoir. Si  $E$  est inconnu, la valeur 0,85 pourra être utilisée. D'une façon générale, on peut utiliser 0,85 pour les réservoirs construits avant 1968, la valeur 1 est acceptable pour les réservoirs construits après cette date. Pour les zones suffisamment éloignées des soudures (distances supérieures à 25 mm ou 2 x épaisseur de la tôle), utiliser  $E = 1$ .

### Corrosion localisée

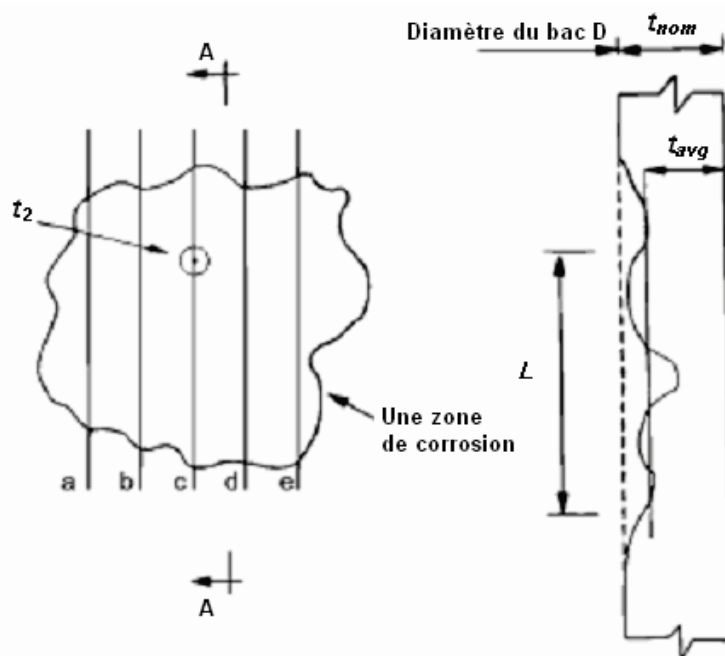
#### Evaluation selon CODRES 2009, EEMUA 159 et API 653

Les réservoirs souffrent le plus souvent de corrosion localisée. La règle habituelle de calcul pour établir l'épaisseur de retrait repose sur l'hypothèse d'une corrosion généralisée.

Dans les cas de corrosion localisée, les règles suivantes peuvent être utilisées :

- Pour chaque zone, déterminer l'épaisseur minimale  $t_2$  en tout point de la zone corrodée, hormis les piqûres largement dispersées

- La longueur critique  $L$  est ensuite calculée avec la formule  **$L = 0,034\sqrt{(D \times t_2)}$**



Où

$L$  = Longueur verticale maximale en mètres, au-dessus de laquelle les contraintes annulaires sont supposées s'égaliser sur les discontinuités locales (remarque : la longueur verticale réelle de la zone corrodée peut dépasser  $L$ ).

$D$  = Diamètre du réservoir en mètres.

$t_2$  = épaisseur mesurée minimale (mm), dans une zone de corrosion, hors piqûres.

Des mesures de profil sont faites le long de chaque plan vertical sur une distance  $L$ .

Pour chaque plan, au moins cinq mesures, également réparties, seront faites sur la longueur L pour déterminer l'épaisseur moyenne ( $t_{avg}$ ) la plus faible.

L'évaluation finale respecte les conditions suivantes :

- Si L est supérieur à 1 m et que l'épaisseur mesurée est inférieure à l'épaisseur de retrait ( $t_R$ ), la zone sera à réparer ou à remplacer
- Si L est inférieur à 1 m, il sera nécessaire de calculer l'épaisseur moyenne ( $t_{avg}$ )
  - o Si  $t_{avg}$  est inférieure à  $t_R$ , la zone sera à réparer ou à remplacer
  - o Si  $t_2$  est inférieur à 60% de  $t_R$ , la zone sera à réparer ou à remplacer

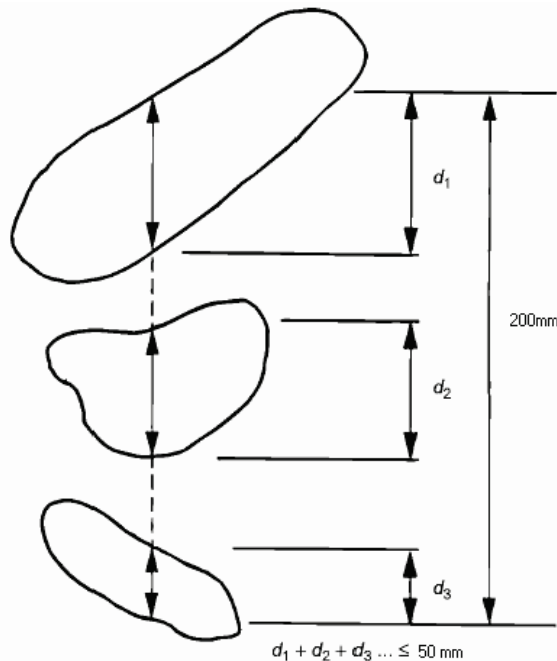
### **Corrosion par cratères**

Evaluation selon CODRES 2009, EEMUA 159 et API 653

En général, les cratères ne représentent pas une menace sérieuse pour l'intégrité structurelle globale des viroles, à moins qu'ils ne soient présents sous une forme sévère avec des cratères rapprochés. La règle suivante, communément admise, peut être appliquée.

Les cratères largement dispersés peuvent être ignorés sous réserve que :

- aucune profondeur de cratère ne rend l'épaisseur de virole restante inférieure à 50 % de l'épaisseur de retrait calculée ( $t_R$ ),
- la somme de leurs dimensions le long de toute ligne verticale ne dépasse pas 50 mm, mesurés sur une longueur de 200 mm.



### **Raidisseurs**

Pour les poutres principales au vent et les raidisseurs secondaires, il est important de conserver leur rôle de renfort annulaire.

Evaluation selon CODRES 2009

La valeur du module de section ne doit pas être inférieure à 75% de sa valeur requise à l'origine.

De plus, pour les poutres au vent utilisées comme passerelle, l'épaisseur moyenne sur une zone de 500 mm x 500 mm ne doit pas être inférieure à 3 mm.

#### **8.2.3. Corrosion du toit**

Si une inspection externe, par CND, a révélé une corrosion interne des tôles de toit, la charpente du toit est probablement affectée de manière similaire. Si une telle corrosion est détectée, une inspection interne détaillée des tôles du toit et de la charpente est programmée.

Il est communément admis que :

- si la corrosion a entraîné une perte de métal de 25% ou plus sur l'une des pièces de la charpente du toit, toutes ces pièces sont à réparer ou remplacer
- si les perforations sont dispersées et non généralisées, les tôles du toit peuvent être réparées par rapiéçage ; sinon, il faut les remplacer.

#### Evaluation des tôles de toit selon EEMUA 159

Les tôles de toit corrodées ayant une épaisseur moyenne inférieure à 2 mm dans une zone de 500 mm x 500 mm sont à réparer ou à remplacer.

#### Evaluation selon API 653

Les tôles de toit corrodées ayant une épaisseur moyenne inférieure à 0,09 pouce (2,28 mm) dans une zone de 100 pouces carrés (254 mm X 254 mm) sont à réparer ou à remplacer.

Les tôles et pontons de toit flottant présentant des fissures ou des percements sont à réparer ou remplacer.

#### Evaluation des tôles de toit selon CODRES 2009

Les tôles de toit fixe corrodées ayant une épaisseur moyenne inférieure à 2,5 mm dans une zone de 500 mm x 500 mm sont à réparer ou à remplacer.

Les épaisseurs minimales recommandées pour les tôles corrodées d'écran flottant ou de toit flottant sont :

- 2 mm pour les tôles supérieures des caissons et pontons
- 3 mm pour les autres tôles (écran flottant et tôles de toit flottant en contact avec le produit interne).

## **9. Personnels en charge du suivi des réservoirs**

### **9.1. Qualification**

#### **9.1.1. *Opérateurs***

Personnels internes ou externes dûment qualifiés pour les visites de routine

#### **9.1.2. *Inspecteurs***

Inspecteurs habilités des Services d'Inspection Reconnus par le préfet ou le ministre chargé du développement durable ; personnes compétentes, aptes à reconnaître des défauts susceptibles d'être rencontrés et à en apprécier la gravité, et désignées par l'exploitant ; inspecteurs extérieurs ou techniciens spécifiquement formés à l'inspection des réservoirs, et pouvant justifier de :

- 2 ans d'expérience minimum dans le domaine des réservoirs (maintenance, inspection, contrôle) ou en inspection des ESP
- Connaissances adaptées aux :
  - réglementation, codes, normes et guides techniques,
  - matériaux et métallurgie,
  - soudage,
  - conception des réservoirs et de leurs modes de dégradation
  - techniques de contrôle non destructif ;

Une liste nominative du personnel qualifié est établie pour le personnel interne.

Pour les inspecteurs extérieurs, il doit s'agir de prestataires extérieurs dûment qualifiés pour la réalisation de ce type d'inspection par l'entreprise utilisatrice sur la base d'un cahier des charges précisant le niveau de qualification requis et les limites de prestations.

#### **9.1.3. *Contrôleurs***

Techniciens spécifiquement formés et disposant de certifications COFREND ou équivalentes pour la réalisation des CND. Cette disposition ne concerne pas le contrôle visuel et les mesures d'épaisseur.

Personnel spécialisé pour les autres opérations (relevés géométriques ...).

## 9.2. Organisation

### 9.2.1. Elaboration des plans d'inspection

L'élaboration des plans d'inspection est réalisée suivant une méthodologie conforme aux exigences du présent guide par l'entité en charge de l'inspection.

De plus, dans le cas des plans d'inspection basés sur une étude de criticité, cette entité s'appuiera sur une équipe pluridisciplinaire réunissant les compétences nécessaires (exploitation, maintenance, sécurité, environnement...).

### 9.2.2. Mise en œuvre des plans d'inspection

Les différentes opérations prévues dans les plans d'inspections sont :

- Visites de routine réalisées par des opérateurs ;
- Inspections détaillées en/hors exploitation réalisées par des inspecteurs ;
- Contrôles non destructifs et mesures réalisés par des contrôleurs.

## 10. Réparations

Ce chapitre n'a pas pour vocation de se substituer aux codes de réparations retenus mais de les compléter éventuellement sur la base de bonnes pratiques.

### 10.1. Généralités

Ce chapitre propose des bonnes pratiques de réparation effectuées dans le cadre des travaux de maintenance nécessaires au retour en exploitation d'un réservoir après contrôles et inspections définies dans les chapitres précédents et en complément des codes, en considérant que :

- tous les défauts hors critères d'acceptabilité seront réparés ;
- toute modification devra faire l'objet d'une étude complète par une personne ou une ingénierie compétente et n'est pas traitée ici ;
- un code de référence (API 650-653, CODRES div. 1-div2...NFEN14015, EEMUA) est choisi et appliqué pour toutes les opérations de maintenance du réservoir considéré. Ces différents codes précisent également les contrôles à réaliser après réparation.

### 10.2. Méthodes de réparation

#### 10.2.1. Assises et fondations

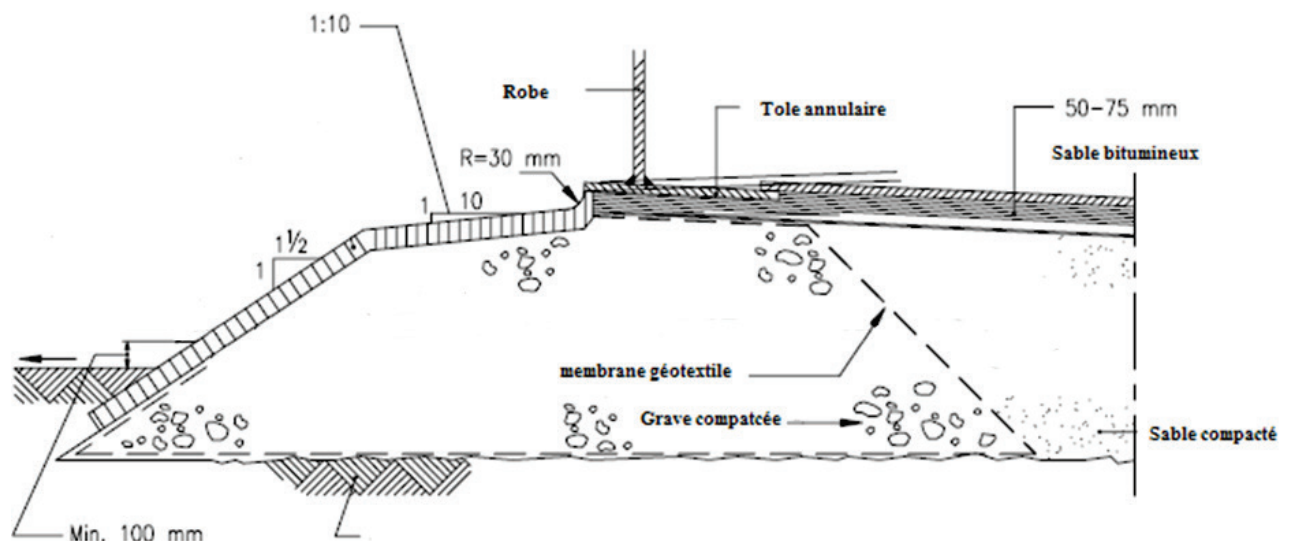


Schéma 10.2.1 schéma type pour exemple

#### Traitement des tassements externes ou en périphérie de réservoir

- Il convient de réparer ou d'aménager selon des méthodes appropriées le génie civil en pied de réservoir, et se remettre en conformité avec une assise stable, étanche et drainante
- Si l'affaissement est hors tolérance, il faut relever le réservoir à une hauteur suffisante pour permettre de reprendre la géométrie de l'assise et son compactage (5MPa au-dessus de 300 mm de profondeur de couche) depuis l'intérieur en retirant certaines tôles de fond
- En cas de réfection de la fondation du réservoir, l'épaulement est réajusté si celui existant n'est pas suffisamment large, solide ou stable

#### Traitement des tassements internes

Selon le cas, la fondation pourra être réparée :

- depuis l'intérieur en retirant certaines tôles de fond
- par relevage à une hauteur suffisante pour reniveler l'ensemble de la galette
- par levage et/ou déplacement du réservoir.

Remarques : en cas de réfection complète de l'assise, l'installation d'une membrane imperméable est fortement recommandée si elle n'est pas déjà existante.

#### **10.2.2. Réparation des Fonds de Réservoir**

Les tôles de fond peuvent être réparées par mise en place de placards, par remplacement des tôles ou parties de tôles ou par rechargement.

Toute soudure défectueuse sera meulée, réparée et contrôlée.

- On peut réparer des points de corrosion isolés par rechargement dès lors qu'il reste suffisamment de métal (une épaisseur d'environ 3 mm est généralement considérée comme suffisante) pour ne pas percer par brûlage
- Pour des zones plus étendues, on recourt généralement aux placards. Les données dimensionnelles exactes sont définies dans les codes de réparation (CODRES, API, EEMUA...) pris en référence. Pour rappel, les placards doivent :
  - avoir une taille minimum de 300 mm de coté.
  - avoir une épaisseur minimale de 6 mm (ou identique au fond existant)
  - être arrondis aux angles (R=50mm)
  - dépasser au moins de 75 mm de toutes parts du défaut qu'ils recouvrent
  - si possible respecter une distance minimale vis-à-vis des soudures existantes.

On peut en dernier lieu remplacer des tôles complètes ou un fond complet.

#### **10.2.3. Réparation de la robe de réservoir**

Le mode de réparation des défauts localisés tels que les pertes d'épaisseur, les défauts métalliques en général découverts au cours d'une inspection des viroles est défini au cas par cas :

- Par rechargement, selon les règles définies dans les codes, en s'appuyant sur des qualifications de soudage adéquates,
- Par inserts de tôles complètes ou partielles en découpant et en soudant bout à bout parallèlement aux soudures existantes. Pour rappel, les inserts doivent respecter les principes suivants :
  - L'épaisseur minimale des tôles de remplacement devra être égale à l'épaisseur nominale de la plus épaisse des tôles de la même virole et les nuances équivalentes ;
  - Les dimensions, distances entre soudures et formes des inserts sont donnés dans les codes pris en référence ;
  - Avant de souder les nouveaux cordons verticaux, les soudures horizontales doivent être découpées 300 mm au delà du cordon vertical ;
  - Les soudures verticales doivent être réalisées avant les soudures horizontales.

#### Réparation des poutres raidisseuses

Dans la mesure du possible, on répare la poutre raidisseuse par placards ou inserts. Il est conseillé d'appliquer un revêtement de protection afin de protéger la liaison poutre/robe.

#### **10.2.4. Réparation des toits fixes**

Dans le cas de percements isolés le toit est réparé par placards sur les zones définies.

Lorsque l'on constate une trop grande perte d'épaisseur des tôles de toit, celles-ci sont changées par les méthodes classiques de construction décrites dans le code pris en référence.

Des réparations provisoires peuvent se faire en marche (résine ou tôles)

La corrosion de la charpente du toit est dangereuse pour l'ensemble de la structure. Si on constate une perte d'épaisseur hors tolérances, une étude spécifique de résistance doit être menée.

Elle peut conduire à un renforcement ou un remplacement des poutres défectueuses après supportage provisoire de l'ensemble durant les travaux.

Les réparations sont menées en accord avec le code pris en référence.

Pour la face inférieure du toit comme pour la charpente, en cas de corrosion, il peut être appliqué un revêtement interne (400 µm minimum) dans les zones concernées.

#### **10.2.5. Réparation des toits flottants et de leurs accessoires**

##### Réparation des zones corrodées

On répare un toit par placards pour des corrosions localisées. Lorsque les zones affectées sont trop importantes, on remplace les tôles afin d'éviter le surpoids.

Si les réparations conduisent à une importante augmentation du poids du toit du réservoir, il convient de vérifier sa flottabilité sur le produit stocké.

Un essai hydraulique partiel (mise en flottaison) peut être fait pour vérifier la bonne flottabilité du toit et la conformité des réparations.

On peut protéger un toit par application d'un revêtement adapté interne ou externe.

##### Remplacement des drains de toit flottant

Le système de drainage de toit flottant doit être maintenu en bon état.

Durant les inspections hors exploitation, les joints tournants sur les drains articulés ainsi que les parties flexibles d'un drain peuvent être changés préventivement.

##### Remplacement du joint de toit flottant

Le joint doit remplir sa fonction d'étanchéité quelle que soit la hauteur de remplissage du réservoir.

Une virole déformée nécessite l'installation d'un joint dont les caractéristiques permettent des variations dimensionnelles importantes.

##### Réparation des échelles mobiles de toit flottant

Les réparations simples comme le remplacement des roulements ou de quelques marches peuvent être effectuées réservoir en service. Les réparations plus importantes nécessitent l'arrêt du réservoir. Dans tous les cas on interviendra rapidement car une échelle défaillante peut entraîner le coulage du toit flottant par blocage sur son chemin de roulement.

### **10.3. Revêtements**

#### **10.3.1. Généralités**

Les systèmes de peintures représentent un moyen de protection contre la corrosion atmosphérique, y compris sous calorifuges et ignifuges. C'est également un moyen efficace de prévention de la corrosion interne. Les spécifications de qualification, d'application et de contrôle doivent être particulièrement étudiées et leur respect vérifié.

En construction, l'emploi de tôles pré-peintes en usine se généralise pour les réservoirs aériens verticaux. Le dessous des fonds peut être également revêtu d'une couche de peinture bitumineuse.

La majorité des défaillances prématurées d'un revêtement étant due à une mauvaise préparation de la surface, au choix d'un produit inadapté ou à une mauvaise application, la préparation et le contrôle de chaque phase du travail sont essentiels.

Il convient de vérifier le revêtement afin de détecter les bulles, les "trous" et les zones minces en utilisant un détecteur à étincelles haute tension ou une éponge humide basse tension pour les petites surfaces.

Des garanties minimales peuvent être obtenues via des organismes tels que l'OHGPI (Office d'Homologation et de Garantie des Peintures Industrielles); les niveaux de garantie obtenus peuvent contribuer à la détermination des facteurs de crédit (cas du recours à une méthodologie RBI).

### 10.3.2. *Revêtements extérieurs*

En plus de leur rôle principal de protection contre la corrosion atmosphérique, les revêtements extérieurs ont éventuellement un rôle esthétique et de réduction des pertes par évaporation.

#### Principaux facteurs guidant le choix :

- L'agressivité de l'environnement : ambiance rurale, industrielle, maritime, humidité, température. En extérieur, on peut utiliser des peintures à liant organique en phase solvant (tenant aux UV) ;
- La durée de vie recherchée : future maintenance prévisionnelle à long terme
- Les systèmes de durabilité élevée actuellement les plus utilisés sont à base de primaire au zinc et d'époxy ;
- Le coût : préparation de la surface, type de peinture, épaisseur de peinture ;
- La compétence des applicateurs de revêtement disponibles et les garanties proposées.

#### Dispositions particulières pour assurer la meilleure performance du revêtement :

- Bonne conception des détails structuraux pour minimiser la corrosion (par ex. soudure d'étanchéité pour les composants soudés par points comme des poutres principales au vent avant de peindre) ;
- Elimination des angles vifs, des surfaces de cordons de soudures trop irrégulières, des constructions attaches provisoires etc., où les effets de tension de surface conduisent à des zones où l'épaisseur de peinture est insuffisante ;
- Prescription d'une couche supplémentaire ou primaire, à la brosse sur toutes les soudures, angles et bords afin d'assurer une épaisseur suffisante de revêtement ;
- Respect des conditions météorologiques : fenêtre climatique pour la peinture.

#### **Notas**

1. De part l'évolution des contraintes environnementales et pour limiter les émissions de COV, l'application d'une couleur claire sur la robe et le toit pourra être sélectionnée.
2. Le dessous des fonds après réparation ou remplacement peut être également revêtu d'une couche de peinture bitumineuse mais la continuité aux soudures n'est dans tous les cas pas assurée.

### 10.3.3. *Revêtements intérieurs*

Les revêtements intérieurs sont appliqués pour prévenir les pertes d'épaisseur par corrosion interne ou pour éviter la contamination du produit stocké.

#### Principaux facteurs guidant le choix

Le choix du type de revêtement intérieur dépend de nombreux facteurs déjà cités pour les revêtements extérieurs et des suivants :

- Compatibilité avec le produit stocké ;
- Atmosphère de travail : en intérieur réservoir et pour limiter le port d'EPI spécifiques, on utilisera des peintures sans solvant qui changeront de couleur sur les parties de viroles exposées à l'atmosphère et à la lumière ;
- Pour les fonds de réservoirs, l'épaisseur du revêtement dépend principalement de l'état d'enroulement de la tôle ;
- Pour les revêtements de robe de réservoir à toit flottant : une certaine résistance à l'abrasion est nécessaire.

#### Dispositions particulières pour assurer la meilleure performance du revêtement :

- Une ventilation appropriée doit permettre la polymérisation des différentes couches appliquées ;
- Il convient d'éviter la condensation ou la pénétration d'eau de pluie ;
- Pour le pied de réservoir, il est important d'étendre le revêtement du fond du réservoir à la robe sur une faible hauteur, de manière à ce que la soudure robe/fond et la partie inférieure de la robe soient protégées de la phase aqueuse corrosive qui peut se déposer au fond du réservoir (pour les stockages de liquides inflammables, selon les dispositions de l'article 9 de l'arrêté du 3 octobre 2010 visé en préambule du présent guide) ;
- Le contrôle final du revêtement intérieur est nécessaire pour s'assurer que le revêtement est entièrement polymérisé avant de remettre le réservoir en service ;
- Des dispositions particulières comme la reprise de l'intégralité de la couche de fermeture après réparation permettent de réobtenir une garantie sur plusieurs années.

#### **10.4. Essai hydraulique après réparation ou modification**

Un essai hydraulique est généralement exigé après une intervention majeure de maintenance sur les parties essentielles de résistance du réservoir, par exemple :

- réalisation de réparation importante par soudage sur la robe du réservoir ou sur les tôles de la bordure annulaire,
- remplacement complet des tôles du fond et des tôles de bordure annulaire,
- soulèvement du réservoir et remise à niveau,
- reprise importante des fondations du réservoir.

Toutes ces réparations/modifications peuvent engendrer de nouveaux pics de contrainte qui seront écrêtés par un essai hydraulique.

Pour les piquages de petit diamètre, pour les réparations mineures ou pour des impossibilités techniques ou environnementales, l'essai hydrostatique peut être remplacé par des dispositions compensatoires définies dans les codes, comprenant notamment un contrôle volumique à 100% des soudures.

### **11. Gestion du retour d'expérience**

La prise en compte et le partage du retour d'expérience sont très importants pour l'élaboration des plans d'inspection. Plus les données d'expériences sont nombreuses et fiables, plus les plans d'inspection permettent de pratiquer des surveillances sûres et meilleure est la maîtrise de l'état des réservoirs.

L'expérience cumulée couvre des décennies de suivi de milliers de réservoirs. Ces expériences ont notamment été intégrées dans les documents tels que :

- les publications de l'API et de l'EEMUA, le CODRES, les guides professionnels (ex : guide UFIP de 2000),
- les standards des sociétés qui opèrent des réservoirs,
- les banques de données de retours d'expérience des sociétés qui opèrent des réservoirs.

L'expérience est réactualisée et consolidée en permanence par :

- les constats et résultats des inspections,
- les enseignements tirés des presque-accidents, notamment ceux qui auraient pu conduire à un incident grave,
- les enseignements tirés des incidents et des accidents vécus sur le site, et dans d'autres sites,
- les résultats d'investigations réalisées sur des appareils réformés et remplacés,
- les résultats des nouvelles techniques relatives aux évolutions technologiques dans la conception et les matériaux des réservoirs,
- l'évolution des méthodes de CND

Ces données sont échangées et consolidées à fin d'exploitation :

- au sein de chaque site et chaque société, au cours de rencontres, de diffusion de documentations et recommandations,
- dans le cadre des entités professionnelles et inter-professionnelles telles que le GESIP, l'UFIP, l'UIC/CTNIIC, l'USI, l'UNGDA, EDF.

Les journées de l'Inspection CTNIIC/UIC, les journées GEMER/UFIP constituent des plates-formes privilégiées d'échange d'expérience auxquelles les sociétés appliquant le présent guide apportent leur contribution.

Les données d'expérience qui peuvent avoir une incidence sur la criticité des réservoirs concernés et sur les modalités de suivi doivent être communiquées et prises en compte dans l'élaboration et la révision de leur plan d'inspection. Elles permettent d'affiner la criticité et en conséquence d'optimiser les modalités de suivi vers plus ou moins de sévérité, avec adaptation de certaines opérations de surveillance telles que :

- la fréquence des contrôles et visites,
- les intervalles entre inspections,
- l'étendue des CND,
- la sélection de zones témoins ainsi que les natures et étendues des contrôles à mettre en œuvre.

Le retour d'expérience ainsi obtenu sert également à faire évoluer les standards de chaque société.

Des fiches de retour d'expérience sont élaborées par l'UIC et l'UFIP et gérées par l'IFP Energies Nouvelles dans une banque de données accessible aux membres qui en font la demande. La liste des fiches est actualisée en temps réel. Ces fiches concernent également les incidents rencontrés sur les réservoirs de stockage. Les exploitants appliquent des procédures internes pour exploiter ces fiches.

Les fiches de retour d'expérience peuvent également concerner des expériences positives innovantes et exemplaires, comme la mise en œuvre de nouvelles techniques de contrôle.

Ce guide fera l'objet de révisions qui pourront être initiées par l'UFIP ou l'UIC pour intégrer les retours d'expérience significatifs. Une demande de révision de ce guide pourra également être initiée par l'administration.

## 12. **Délais de mise en application des révisions du guide**



Les plans d'inspection concernés par les révisions du guide seront, sauf disposition réglementaire contraire ou autre précision complémentaire, mis à jour dans un délai de 24 mois suivant la date de reconnaissance par l'administration du guide révisé.

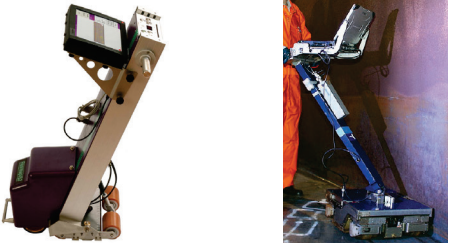

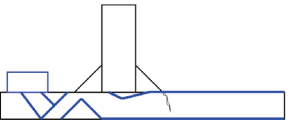
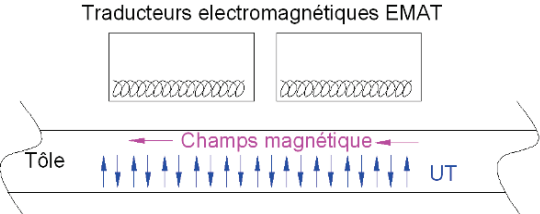
oooooooo

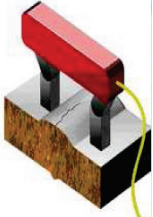


## ANNEXE 1

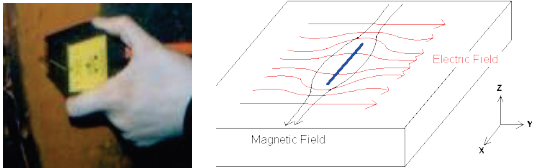
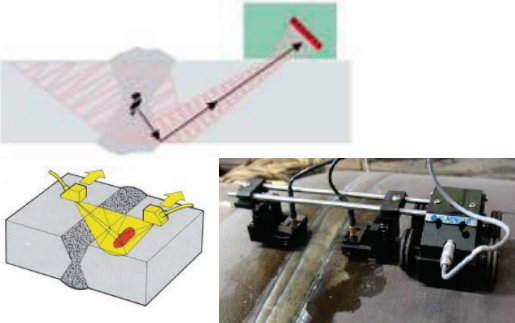
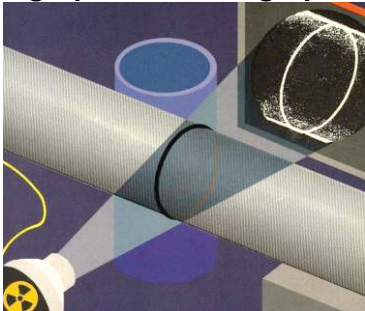
### Les principales méthodes de contrôle non destructif utilisées

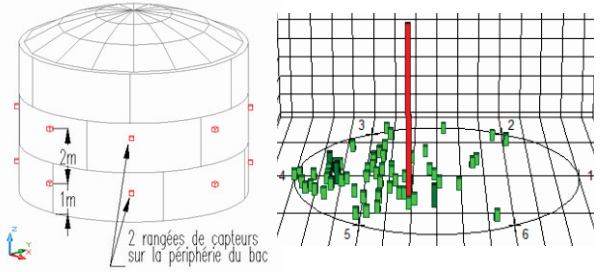
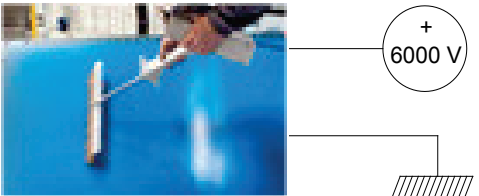
Cette liste de contrôle n'est pas exhaustive. Il revient à chaque inspecteur de faire évoluer les méthodes de contrôle par une veille technologique soutenue, afin d'utiliser des techniques adaptées.


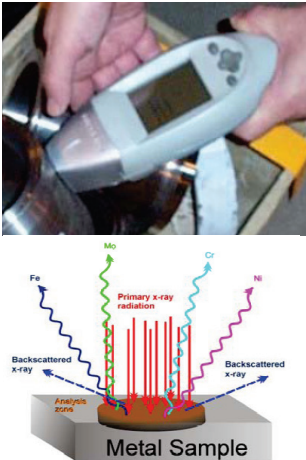
Définition	Remarque / Description	Domaine d'application
<b>Contrôles d'épaisseur des tôles</b>		
<p><b>Contrôle ponctuel d'épaisseur par ultrason</b></p> 	<p>Le contrôle par ultrasons est un examen échographique pour la mesure d'épaisseur des matériaux. L'appareil génère une onde ultrasonore qui traverse la tôle ; le temps mis par l'onde pour rebondir sur l'autre face de la tôle permet de déduire son épaisseur.</p> <p>Ces contrôles doivent donner l'épaisseur résiduelle de métal avec au moins 1 décimale et préciser l'incertitude de mesure du cas étudié. Ces mesures doivent tenir compte des anti-corrosions sur chacune des faces</p>	<p>→ Toutes les tôles du réservoir → Tubulures de robe</p>
<p><b>Robot équipé d'un capteur UT</b></p> 	<p>Un chariot motorisé et aimanté à la robe est équipé de capteur UT. Cet appareil permet de mesurer les épaisseurs de tôles dans les zones inaccessibles.</p>	<p>→ zones inaccessibles sur robe et toit</p>

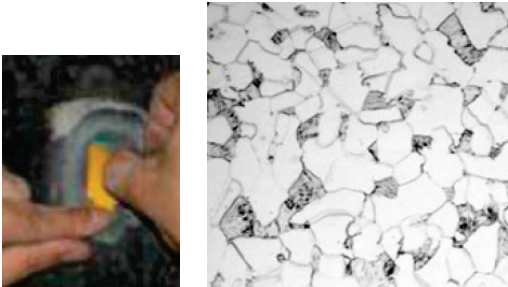



Définition	Remarque / Description	Domaine d'application
<p><b>Contrôle par scanner à perte de flux magnétique automatique</b></p>  <p><b>MFL</b>                      <b>Courants de Foucault</b></p>	<p>Mesure de l'épaisseur résiduelle d'une tôle de fond</p> <p>Après saturation magnétique d'une tôle, un capteur mesure la perte de flux magnétique et y associe une perte d'épaisseur. Une cartographie représente toutes les pertes d'épaisseur en couleur pour chaque tôle.</p> <p><b>Seuil d'acceptation</b> : selon vitesse de corrosion</p> <p><b>Il existe 2 type de SCANNER :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- les <b>MFL</b> fonctionnant à basse fréquence et basse tension, ils présentent l'avantage de fonctionner sur batteries</li> <li>- les <b>Courants de Foucault</b> fonctionnant à haute fréquence et souvent alimentés en 220V permettent de distinguer les corrosions internes et externes</li> </ul>	<p>→ Tôles de fond</p>
<p><b>Contrôle par scanner magnétique manuel</b></p> 	<p>Idem Scanner du fond, mais la cartographie est faite manuellement. <b>L'appareil est étalonné au préalable suivant le calcul d'ép. mini</b></p>	<p>→ Tôles de fond inaccessibles au MFL</p> <p>→ Tôles de robe sur les 150 mm en bas de V1</p> <p>→ Tôles avec chancres repérés visuellement sur la robe</p>
<p><b>Contrôle d'épaisseur par onde guidée</b></p> 	<p>Ce contrôle utilise la technologie des ondes de Lambs, basée sur la technologie UT, il permet d'inspecter une tôle non accessible à partir d'une zone accessible. Il permet par exemple le contrôle des tôles de fond en périphérie du réservoir à partie de la dépassée de marginale.</p>	<p>→ tôles marginales</p>
<p><b>Contrôle par Scanner EMAT</b> (<i>Electromagnetic Acoustic Transducer</i>)</p> <p>Traducteurs electromagnétiques EMAT</p> 	<p>Cette technologie récente consiste à utiliser des ondes ultrasonores guidées générées par des transducteurs électromagnétiques. Il s'agit de coupler les avantages des méthodes ultrasons et magnétiques afin de scanner des tôles comme les scanners magnétiques automatiques.</p> <p>Le principal intérêt de cette technique est la possibilité de scanner des tôles de forte épaisseur (&gt; 12 mm), des tôles en métal non ferromagnétiques comme l'INOX ainsi que des composites résines / fibres.</p>	<p>-&gt; Tôles de forte épaisseur</p> <p>-&gt; Matériaux composites</p> <p>-&gt; INOX et métaux non « magnétisables »</p> <p>-&gt; Matériaux composites</p>




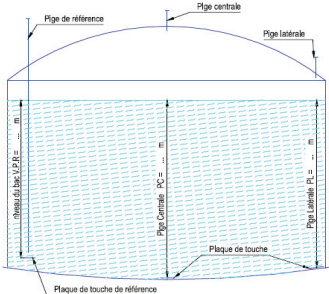
Définition	Remarque / Description	Domaine d'application
<b>Contrôle des soudures</b>		
<p><b>Contrôle par magnétoscopie</b></p> 	<p>La magnétoscopie consiste à créer un flux d'induction magnétique, des traceurs magnétiques déposés à la surface des matériaux mettent en évidence des défauts jusque 1 à 2 mm sous la surface.</p> <p><i>Avantage:</i> détection de défaut sous la surface possible  <i>Remarque :</i> acier magnétisable uniquement (pas d'INOX...).</p>	<p>→ Soudures sur robe et fond</p>
<p><b>Ressuage Classique avec révélateur</b></p> 	<p>Le ressuage consiste à appliquer un liquide coloré (le pénétrant) qui pénètre dans les défauts débouchants (fissures, porosités, piqûres...). Après un nettoyage de l'excédant, un révélateur aspire le liquide qui a pénétré et localise le défaut.</p>	<p>→ Soudures sur robe et fond</p>
<p><b>Ressuage au gazole</b></p>	<p>Il s'agit d'un contrôle d'étanchéité par ressuage sans révélateur. Les soudures à clin sont aspergées sur la face inférieure avec du gazole. Détection des fuites visuellement sur la face supérieure.</p>	<p>→ Soudures à clin d'écran flottant ou de toit flottant</p>
<p><b>Contrôle par boîte à vide</b></p> 	<p>Contrôle d'étanchéité. La ventouse applique une dépression de 0.5 bar env. sur une surface enduite d'eau savonneuse. La plaque transparente sur la ventouse permet de voir des bulles se former si un défaut traversant est détecté.</p>	<p>→ Soudures du fond</p>

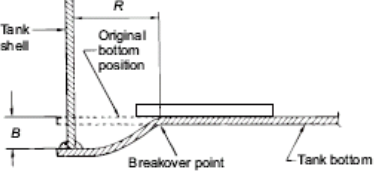
Définition	Remarque / Description	Domaine d'application
<p><b>Contrôle par ACFM</b> (Alternating Current Field Measurement)</p> 	<p>Cette méthode est une alternative à la magnétoscopie Contrôle de surface d'une soudure par perte de flux magnétique associée aux courants de Foucault La technique consiste à générer un champ magnétique par l'intermédiaire d'un courant induit et à mesurer la perturbation de ce champ lors du passage de la sonde au voisinage d'un défaut débouchant. Cette technique de contrôle est utilisable sans contact, ni agent de couplage et en présence d'un revêtement.</p>	<p>→ Soudures sur robe et fond sous anticorrosion.</p>
<p><b>Contrôle par ultrason</b></p>  <p><i>Exemple : scanner TOFD</i></p>	<p>Contrôle de soudure. Il s'agit de détecter des défauts de soudures à l'aide d'un capteur ultrason incliné (plusieurs orientations possibles). Lorsque les ondes ultrasons rencontrent un obstacle (défaut) elles sont réfléchies et transformées en signal électrique pour la détection.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôle manuel : il s'agit de passer le long d'une soudure avec un ou plusieurs capteurs inclinés différemment.</li> <li>- Contrôle avec sonde multiélément ou TOFD. Le capteur permet de balayer une plage angulaire. L'utilisation de plusieurs capteurs permet de contrôler une soudure en un seul passage. Les résultats sont présentés sous formes de cartographie</li> </ul>	<p>→ Soudures bout à bout → Tôles et / ou ZAT</p>
<p><b>Gammagraphie et Radiographie</b></p> 	<p>Ce contrôle consiste à traverser le métal avec des rayons X ou gamma. Un film placé derrière met en évidence les contrastes liés à la densité principalement.</p> <p>Les rayons gamma nécessitent une source radioactive, ils sont par contre transportables facilement. Les rayons X sont généralement des équipements lourds dédiés aux laboratoires, ils ne contiennent pas de source radioactives et donc n'émettent aucune onde lorsqu'ils sont éteints.</p> <p>Ce contrôle impliquant des risques particuliers lors des tirs sur sites industriels et du transport des sources radioactives, il est de plus en plus remplacé par les contrôles ultrason, TOFD ou phased ray.</p>	<p>→ Soudures bout à bout (accessibles des 2 côtés)</p>

Définition	Remarque / Description	Domaine d'application
<b>Contrôles d'intégrité / étanchéité</b>		
<p><b>Emission acoustique</b></p>  <p>2 rangées de capteurs sur la périphérie du bac</p>	<p>Contrôle de détection de fuite. Il s'agit de mesurer les 'bruits' dans le fond d'un réservoir grâce à de multiples capteurs placés autour du réservoir. Ces bruits résultent de la libération de l'énergie sous forme d'ondes élastiques transitoires dans un matériau soumis à des sollicitations.</p> <p>Les phénomènes générateurs d'ondes élastiques : déformation plastique, contraintes dans les soudures, propagation de fissures, corrosion, frottements, fuites.</p> <p>Le traitement numérique des ondes permet de localiser par triangulation les défauts.</p> <p>Pour interpréter et filtrer de manière précise les défauts, il faut disposer d'une documentation précise sur le réservoir.</p>	<p>→ Fond du réservoir lorsque celui-ci est plein</p>
<p><b>Essais hydrostatique</b></p>	<p>Contrôle d'intégrité du réservoir par remplissage complet en eau.</p>	<p>→ Tout le réservoir</p>
<b>Contrôles des revêtements internes</b>		
<p><b>Peigne diélectrique</b></p> 	<p>Contrôle de la porosité d'un revêtement</p> <p>Le fond est mis à la terre : on passe un balai (environ 6000 V) sur toute la surface du revêtement ; si une étincelle se produit, le revêtement est poreux et doit être réparé.</p>	<p>revêtement interne sur robe et fond</p>

Définition	Remarque / Description	Domaine d'application
<b>Contrôles métallurgiques</b>		
<p><b>Spectrographie par étincelage</b></p> 	<p>Analyse chimique de l'acier. Après polissage d'une surface de 3 cm<sup>2</sup> environ, l'appareil génère un arc électrique qui « évapore quelques particules d'acier ». Les 8 à 16 principaux composants de l'acier sont alors quantifiés. En complément d'un test de dureté (Vickers) ce test permet d'estimer avec une précision correcte la nuance de l'acier sans avoir à prélever de coupon ou de copeaux.</p>	<p>→ toutes les tôles</p>
<p><b>Positive matériel identification</b></p> 	<p>Analyse chimique de l'acier par fluorescence aux rayons X. La surface de l'acier est bombardée aux rayons X. Les atomes composants de l'acier excités deviennent temporairement fluorescents. Cette analyse donne de 4 à 8 des principaux composants de l'acier (Fe, Mo, Ni, Cr), elle est moins précise que la spectrographie.</p>	<p>→ toutes les tôles</p>

Définition	Remarque / Description	Domaine d'application
<p><b>Répliques métallographiques</b></p> 	<p>Analyse menée en laboratoire ou sur les sites, Elle consiste à photographier puis analyser les grains de l'acier à l'échelle microscopique afin de déterminer sa structure (martensite, bénite, ferrite...) ou les altérations de structure liées au soudage par exemple.</p>	<p>→ principalement les ZAT lors d'un contrôle destructif</p>
<p><b>Contrôles visuels et mesures géométriques</b></p>		
<p><b>Contrôle visuel détaillé</b></p> 	<p>Contrôle visuel détaillé d'un ou de plusieurs éléments du réservoir. Elle permet de détecter : le niveau de corrosion, l'état d'éventuels revêtements anticorrosion, les déformations.</p>	<p>→ Tout le réservoir</p>
<p><b>Contrôle à la jauge de profondeur</b></p> 	<p>Méthode de mesure manuelle des pertes d'épaisseur. Une jauge étalonnée et précise au 1/10<sup>ème</sup> de mm permet de mesurer la profondeur d'un chancre de corrosion par exemple. Ce contrôle est complété par une mesure d'épaisseur par UT juste à proximité de manière à calculer l'épaisseur de métal résiduelle en fond de chancre. Un peigne métallique permet de reproduire un profil pour une zone plus étendue de corrosion.</p>	<p>→ Cratères et chancres de corrosion sur tôles</p>
<p><b>Contrôle de l'absence de vide sous les tôles de fond</b></p> 	<p>Il s'agit d'une inspection. Lors de la visite, des tôles flottantes peuvent être décelées. Le contrôle classique consiste à taper avec un marteau (en bronze) sur les tôles à la recherche de cavité sous les tôles.</p>	<p>→ Fond du réservoir</p>

Définition	Remarque / Description	Domaine d'application
<p><b>Endoscopie</b></p> 	<p>Le contrôle par endoscopie permet d'examiner à distance l'intérieur de capacités, de tuyauteries, au moyen d'un système optique souple ou rigide. L'image est observée soit directement à travers un objectif, soit sur un écran vidéo.</p>	<p>→ caisson de TF, espace annulaire</p>
<p><b>Thermographie infrarouge</b></p> 	<p>Il s'agit de mesurer grâce aux infrarouges des contrastes de température. L'image obtenue peut être archivée par photographie ou par enregistrement vidéo. La gradation des couleurs est modulée pour faciliter l'interprétation. Les valeurs absolues des températures ne sont obtenues que par étalonnage préalable d'un point ou d'une zone de référence, les valeurs relatives sont interprétables directement. Cette méthode permet de suivre en particulier l'efficacité des calorifuges ou des frigorifuges.</p>	<p>→ Calorifuge / frigorifuge</p>
<p><b>Contrôle verticalité, rotundité et nivellement</b></p> 	<p>Mesures géométriques de la robe</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- à l'aide d'un fil à plomb, il s'agit de mesurer la verticalité du réservoir</li> <li>- à l'aide d'un théodolite Il s'agit de mesurer précisément la verticalité et la rotundité du réservoir, ainsi que le nivellement de la dépassée du fond</li> <li>- cette méthode est applicable pour vérifier la verticalité des poteaux.</li> </ul> <p>Ce contrôle est réalisé de préférence sur bac rempli.</p>	<p>→ Géométrie de la robe et du fond</p>
<p><b>Contrôle de la forme du fond</b></p> 	<p>Contrôle géométrique. Il s'agit de mesurer l'assiette et la flèche du fond grâce aux jauges auxiliaires et de références. Un suivi de la flèche du fond du réservoir peut renseigner sur des tassements de l'assise.</p>	<p>→ Fond du réservoir</p>

Définition	Remarque / Description	Domaine d'application
<p><b>Contrôle de la géométrie du fond (interne)</b></p> 	<p>Il s'agit d'un contrôle géométrique de la partie interne du fond</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- à l'aide d'une règle, on peut mesurer les déformations et enfoncements locaux du fond</li><li>- à l'aide d'un théodolite, on obtient une cartographie de l'altitude du fond permettant d'analyser toutes les déformations et enfoncements du fond</li></ul>	<p>→ Fond du réservoir</p>



## ANNEXE 2

### Adéquation des techniques de contrôle aux mécanismes de dégradation

Techniques de contrôle	Type de défauts recherchés / Degré d'efficacité des méthodes de contrôles								
	Fond				Robe - Toit fixe				Piquages
	corrosion interne	corrosion externe	Fissures	déformations	corrosion interne	corrosion externe	Fissures	Déformations	Corrosion
Examen visuel	P	NA (P en périphérie)	P	P	P (si paroi accessible)	P (si paroi accessible)	P	P	P
Examen visuel après sablage	M à TB	NA (P en périphérie)	P	P	M (si paroi accessible)	M (si paroi accessible)	P	P	P
UT spot	M (associé à examen visuel)	P	NA	NA	M à TB (associé à examen visuel)	M à TB (associé à examen visuel)	NA	NA	M
UT selon génératrice	M	M	NA	NA	M à TB	M à TB	NA	NA	M à TB
UT ondes guidées	M	M	P	NA	NA	NA	NA	NA	NA
TOFD	P	P	M à TB	NA	P	P	M à TB	NA	NA
Hand-scan MFL	TB	TB	NA	NA	TB	TB	NA	NA	NA
Floor-Scan MFL	TB	TB	NA à TB (selon outil)	NA	TB	TB	NA	NA	NA
Floor-scan UT	TB	TB	NA	NA	TB	TB	NA	NA	NA
Boîte à vide	NA	NA	TB	NA	NA	NA	TB	NA	NA
Magnétoscopie	NA	NA	TB	NA	NA	NA	TB	NA	NA
ACFM	NA	NA	TB	NA	NA	NA	TB	NA	NA
Ressuage	NA	NA	TB	NA	NA	NA	TB	NA	NA
Radiographie - Gammagraphie	NA	NA	NA	NA	NA	NA	TB	NA	TB
Emission Acoustique en service	M à TB	M à TB	M	NA	P	P	P	NA	NA
Contrôles géométriques	NA	NA	NA	TB	NA	NA	NA	TB	NA

Légende des annotations :  
P = Possible :  
M = Moyenne :  
TB = Très Bonne :  
NA = Non applicable :

La méthode de contrôle peut être utilisée, mais elle peut ne pas être fiable  
La méthode de contrôle peut être utilisée, sa sensibilité est moyenne, des défauts naissants peuvent ne pas être détectés  
La méthode de contrôle est la plus adaptée à la détection du défaut recherché.  
La méthode de contrôle n'est normalement pas adaptée à la recherche du type de défaut.



## ANNEXE 3

### Exemple d'application de la méthodologie RBI

#### → Caractéristiques du réservoir

- Réservoir de pétrole brut à faible teneur en soufre
- Date de construction 1990
- Dernière inspection hors service : 2000
- Niveau des dernières inspections réalisées hors service
  - Fond niveau A (selon définition paragraphe 7)
  - Robe niveau A (selon définition paragraphe 7)
  - Toit niveau C (selon définition paragraphe 7)
- Durée de vie résiduelle calculée : 19 ans pour le fond, 19 ans pour la robe, 20 ans pour le toit
- Réservoir suivi par émission acoustique, les résultats de la dernière campagne réalisée sont de niveau b

#### → Détermination de la criticité

La criticité est déterminée pour chacune des sections du réservoir en fonction de la matrice exemple du paragraphe 5-2

Fond

Conséquences	gravité
Sécurité et santé	moyenne
Environnement	moyenne
Pertes financières	basse
Gravité retenue	moyenne
Probabilité de défaillance	basse
Criticité du fond	moyenne

Robe

Conséquences	gravité
Sécurité et santé	basse
Environnement	basse
Pertes financières	négligeable
Gravité retenue	basse
Probabilité de défaillance	négligeable
Criticité de la robe	négligeable

Toit

Conséquences	gravité
Sécurité et santé	négligeable
Environnement	négligeable
Pertes financières	négligeable
Gravité retenue	négligeable
Probabilité de défaillance	négligeable
Criticité du toit	négligeable

La criticité retenue pour le réservoir est **moyenne**

#### → Durée de vie résiduelle

RL =19 ans pour le réservoir considéré



--- Robe du réservoir

La robe du réservoir étant de criticité basse la valeur de  $K_0$  est prise à 0.8

Facteurs correctifs

Dernière inspection hors service de niveau A → facteur de crédit  $Cr_1 = 0.1$

D'où la valeur de  $K = K_0 + Cr_1 = 0.9$

--- Toit du réservoir

Le toit du réservoir étant de criticité négligeable la valeur de  $K_0$  est prise à 0.9

Facteurs correctifs

Pas de facteur correctif

D'où la valeur de  $K = K_0 = 0.9$

→ **Calcul de l'intervalle de la prochaine inspection**

Intervalle de la prochaine inspection =  $RL \times K$

Soit pour le fond du réservoir

$I = 19 \times 0.85 = 16.15$  ans

Soit pour la robe du réservoir

$I = 19 \times 0.9 = 17.1$  ans

Soit pour le toit du réservoir

$I = 20 \times 0.9 = 18$  ans

Ce qui conduit à fixer la prochaine inspection hors service en 2016



## ANNEXE 4

### Exemple de fiche de visite de routine

<b>REPERE DU RESERVOIR :</b>	<b>Localisation :</b>	<b>N° Fiche :</b>
Type de réservoir :		
Visité par :	Date :	Signature :
Validé par :	Date :	Signature :

VERIFICATION	Toit Fixe	Toit Flottant	Constatations / Commentaires	Plan d'action	
				O	N
<b>Assise</b>					
absence de signes de fuites entre l'assise et la tôle de fond	■	■			
<b>Robe</b>					
pied de robe visible, dégagé de toute gêne à la vérification	■	■			
absence de signes de fuites sur pied de robe	■	■			
mises à la terre connectées	■	■			
absence de fuites sur tôles de robe	■	■			
absence de retenue d'eau sur poutre raidisseuse	■	■			
absence de fuite au niveau des piquages et trous d'homme de la robe	■	■			
absence de fuite sur tuyauteries et robinetterie au niveau des brides et autour des boulons	■	■			
absence d'écoulement de produit en sortie de piquage de drain de toit flottant		■			
absence de fuite sur garniture ou bride des mélangeurs	■	■			
tôles de calorifuge correctement fixées et liaison robe-toit étanche	■	■			
<b>Moyens d'accès</b>					
absence de détérioration aux supports d'escaliers	■	■			
absence de corrosion entre les supports de la passerelle et le toit	■				
absence de corrosion/dégradation entre les supports de l'échelle à crinoline et la robe	■	■			
<b>Toit fixe</b>					
absence de déformation/retenue d'eau sur tôles de toit	■				
tôles de calorifuge correctement fixées	■				
bon état des grilles des événements de respiration	■				
absence de colmatage des grilles des événements de respiration	■				
bon fonctionnement de l'ouverture des couvercles d'événements de secours	■				
absence de vapeurs explosives au dessus de l'écran flottant	■				

VERIFICATION	Toit Fixe	Toit Flottant	Constatations / Commentaires	Plan d'action	
				O	N
<b>Toit flottant</b>					
absence de déformation/retenu d'eau sur tôles de toit		■			
absence de dépôt sur toit		■			
couvercles des caissons en place		■			
absence de vapeurs explosives dans les caissons		■			
absence de liquide dans les caissons		■			
contact correct des joints avec la robe		■			
absence de détérioration des joints		■			
absence de dégradation sur l'échelle roulante		■			
chemin de roulement droit et correctement aligné par rapport à l'échelle roulante		■			
absence de dégradation du couvercle de trou d'homme		■			
absence de dégradation de la boulonnerie du trou d'homme		■			
bon fonctionnement de l'ouverture de la soupape <b>cassee vide</b>		■			
absence de dégradation de la tôle du barrage à mousse		■			
absence de déformation du tube guide de toit et de dégradation des rouleaux de guidage		■			
bon état de propreté du puisard de purge de toit		■			
Drain de secours <i>bon état</i>					
béquilles dans la position voulue, toutes hautes ou toutes basses y compris cassee vide		■			
présence de toutes les goupilles sur les béquilles		■			
continuité électrique réalisée au niveau toit/échelle		■			
continuité électrique réalisée au niveau toit/robe		■			
<b>Equipements de sécurité</b>					
absence de fuites des couronnes d'arrosage et des moyens de protection incendie pouvant provoquer des corrosions sur le réservoir		■			
<b>Autres constatations</b>					

## ANNEXE 5

### Retour d'expérience de l'émission acoustique

Connue depuis plusieurs décennies, l'écoute des phénomènes conduisant à l'émission d'ondes élastiques (émission acoustique) est largement utilisée dans le monde comme un outil de contrôle non destructif permettant une évaluation globale des équipements ou partie d'équipements testés. Cette méthode est largement utilisée pour les appareils à pression pour détecter et localiser les sources d'émission acoustique liées au développement de corrosions actives, de fissures et autres endommagements mécaniques.

Pour les réservoirs, cette méthode est utilisée depuis le début des années 1990 et permet d'obtenir des éléments complémentaires aux autres contrôles afin de mieux évaluer l'état des fonds de réservoirs et de programmer ainsi les mises hors service pour contrôles et interventions de réparations. Pour les réservoirs, cette méthode est utilisée pour détecter et localiser :

- les fuites actives;
- les corrosions actives (bruit provenant des produits ou du processus de la corrosion) sur et sous le fond ainsi que sous calorifuge.

#### **Principe de la méthode**

L'installation sur la robe d'une série de capteurs appropriés à ce type de signaux, placés à intervalles réguliers sur une circonférence de la première virole à environ 1 mètre au-dessus du fond des réservoirs verticaux préalablement remplis au maximum permet un classement de la sévérité des corrosions actives et la localisation des sources les plus intenses. Le nombre de capteurs employés dépend du diamètre du réservoir.

Les signaux émis par la rupture des produits de corrosion et par les fuites du fond du réservoir sont transmis par le liquide et détectés par les capteurs installés sur la robe. Le traitement des informations fournies par les capteurs localise les sources génératrices de bruits.

Les données sont filtrées et analysées afin :

- d'éliminer les signaux dus aux bruits environnants,
- d'identifier les signaux d'émission acoustique générés par l'endommagement du fond du réservoir (corrosion active, fuites, etc.).

Un algorithme spécial détermine les positions probables des sources d'émission acoustique et visualise la localisation de l'activité de l'émission acoustique du fond du réservoir.

L'évaluation est liée à la cinétique d'endommagement en cours au moment de l'examen. En ce qui concerne les corrosions, il faut toujours garder à l'esprit qu'il ne faut pas changer les conditions prévalant lors du service normal du réservoir (fluide stocké, protection cathodique, etc.).

L'ensemble de l'activité de l'émission acoustique d'un réservoir permet de détecter les probabilités de fuites et de classer son état général de corrosion active.

Pour toute analyse ultérieure, l'ensemble des documents recueillis au cours de l'examen est conservé ainsi que les données d'émission acoustique.

#### **Exigences requises pour obtenir des résultats fiables de l'examen**

- le diagnostic est établi pour le niveau de remplissage lors de l'examen ;
- la condition optimale pour détecter avec une bonne sensibilité les anomalies recherchées sur un réservoir est le remplissage du réservoir à son niveau maximum de service ;
- maintenir les réchauffeurs en service jusqu'à 24 heures avant l'examen afin de maintenir une bonne fluidité du contenu ;
- stabiliser le réservoir : aucun mouvement de produit dans les heures précédant l'examen, vannes d'isolement fermées, agitateurs et réchauffeurs arrêtés. Les valeurs indicatives de la période de repos sont de 24 h pour le pétrole brut et, pour les autres produits, de 6 h pour les réservoirs de moins de 15 m de diamètre et de 12 h pour les plus de 15 m ;
- pour un réservoir calorifugé, réaliser des fenêtres d'accès ( $\varnothing = 200$  mm) pour chaque capteur ;
- vérifier l'absence d'eau sur les toits flottants et les caissons ; purger si nécessaire ;
- en cas de difficultés d'acquisition des données, les opérations de transfert des réservoirs voisins peuvent être arrêtées.

**Conditions de validité de la méthode**

Outre les contraintes de viscosité et de température, les conditions importantes de validité de la méthode sont les suivantes :

- Le diagnostic « fuite » est établi en tenant compte des conditions suivantes :
  - la fuite doit être active au moment de l'examen sous l'effet du niveau de remplissage. Sa détection dépend du niveau de liquide,
  - la présence de dépôts ou de corrosion importante peut obstruer temporairement l'orifice de la fuite,
  - dans le cas d'un fond de réservoir endommagé, un diagnostic "non fuyard" a une validité de courte durée (dépendant de la vitesse de corrosion,...),
  - une opération de nettoyage, de sablage, ... peut faire apparaître des trous non traversants ne se traduisant pas par une fuite en service.

**Nota : quand un fond de réservoir est fuyard, des sources peuvent également provenir de l'interaction entre le fluide, le fond et les fondations sous le fond. Ceci peut avoir pour conséquences, soit une localisation imprécise, soit des concentrations qui ne sont pas directement liées aux fuites.**

- Le diagnostic « corrosion » est établi lorsque les conditions électrochimiques d'utilisation du réservoir sont en service et vérifiées avant l'examen.

**Nota : Les actions (facteurs électriques et électrochimiques) pouvant influencer les phénomènes de corrosion doivent être disposées et leurs branchements vérifiés (mise à la terre, protection cathodique du fond...)**

**Analyse des données**

- Corrosion active

La société de contrôle doit mettre à profit son expérience validée pour classer l'état général de corrosion active (interne ou externe) suivant le tableau 1. Le rapport donne une cartographie indicative des sites de corrosions.

**Tableau 1 : Classement de l'état général de corrosion**

Classe	Etat de fond
a	Bon
b	Endommagement Mineur
c	Endommagement Intermédiaire
c	Endommagement Significatif
e	Endommagement Majeur

- Fuites et corrosions localisées

Un filtrage des données est réalisé, en temps différé, afin d'extraire du fichier les salves d'émission acoustique ayant des caractéristiques de corrosion localisée et/ou de fuites. L'algorithme de localisation est alors appliqué avec ces signaux pour identifier la position la plus probable des sites de corrosion les plus actifs et/ou de fuite potentielle. Une méthode de classification de la sévérité de l'activité de ces concentrations (classe 0 à 5 par activité croissante) permet d'évaluer la probabilité de fuite du réservoir.

Dans le cas où la localisation fait apparaître des concentrations d'activité (clusters), les caractéristiques suivantes sont fournies :

- Repère de la source,
- Coordonnées X et Y du barycentre des points constituant la source,
- Classe de fuite potentielle (de 1 à 5).

En cas de détection d'une fuite importante, sa localisation peut nécessiter une nouvelle série de mesures avec un niveau de remplissage inférieur pour une meilleure localisation. Si l'état général de corrosion active

est classé d ou e, le diagnostic "non fuyard" doit donc être considéré avec précaution, la présence de dépôts ou de produits de corrosion pouvant obstruer la fuite temporairement ou non.

Pour les examens comportant plusieurs sources locales d'émission acoustique, la classe de la source la plus sévère est retenue pour la classification du réservoir.

- Examen non concluant

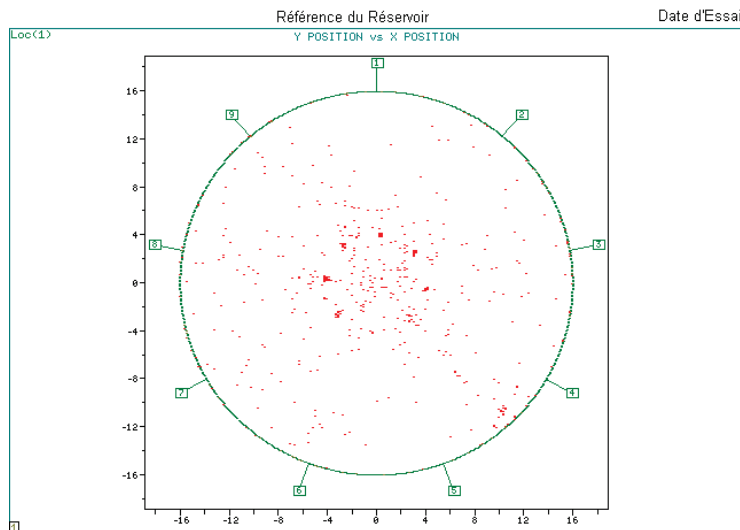
Le diagnostic est réalisé à partir d'un seuil d'évaluation. Des conditions particulières d'examen (intempérie, bruit environnant) ou certaines conditions préalables à l'examen non respectées ne permettent l'acquisition des données qu'à un seuil supérieur au seuil d'évaluation. L'examen est alors déclaré hors procédure ; les résultats sont donnés à titre indicatif et un nouvel examen par émission acoustique doit être réalisé.

### **Rapport d'examen**

Le rapport d'examen doit être présenté sous la forme d'un procès verbal. Il doit donner la synthèse des diagnostics : " état général du fond du réservoir " (classe a à e) et " fuite potentielle " (classe 0 à 5) en prenant comme diagnostic de fuite potentielle la classe la plus sévère de toutes les concentrations. Ce diagnostic est accompagné des commentaires nécessaires. Il doit comporter au minimum :

- une figure donnant l'activité générale localisable sur le fond du réservoir, avant filtrage. Un exemple de réservoir classé c4 est donné en figure 2,
- une figure donnant la localisation la plus probable des sites de corrosion active et/ou des fuites potentielles, après filtrage. Un exemple de réservoir classé en c4 est donné en figure 3.

***Dans les cas où une meilleure visualisation des sources d'émission les plus actives est nécessaire, une représentation 3D doit être fournie, associée à une représentation en densité spatiale à l'aide d'un code couleur. Un exemple est donné en figure 4.***



**Figure 2 : Activité générale d'un fond de réservoir (classé c4)**

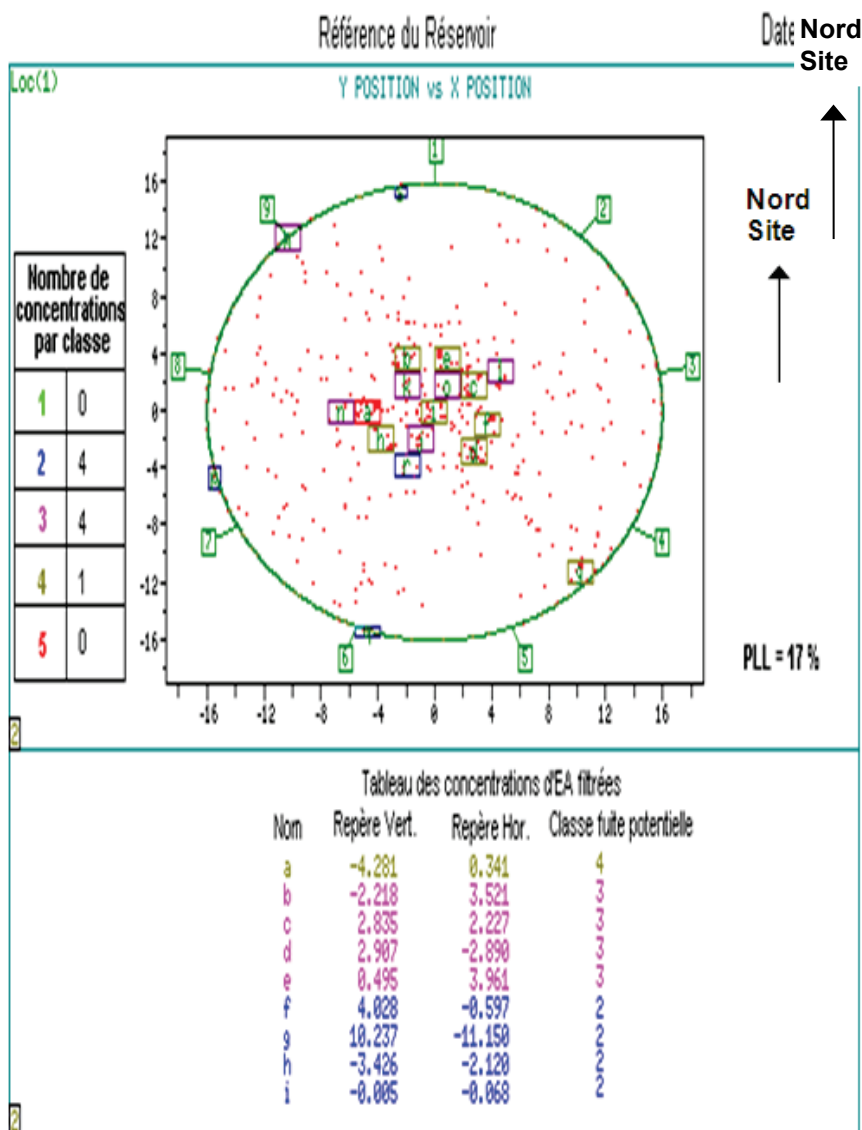


Figure 3 : Localisation des sources d'émission acoustique après filtrage (réservoir classé c4)

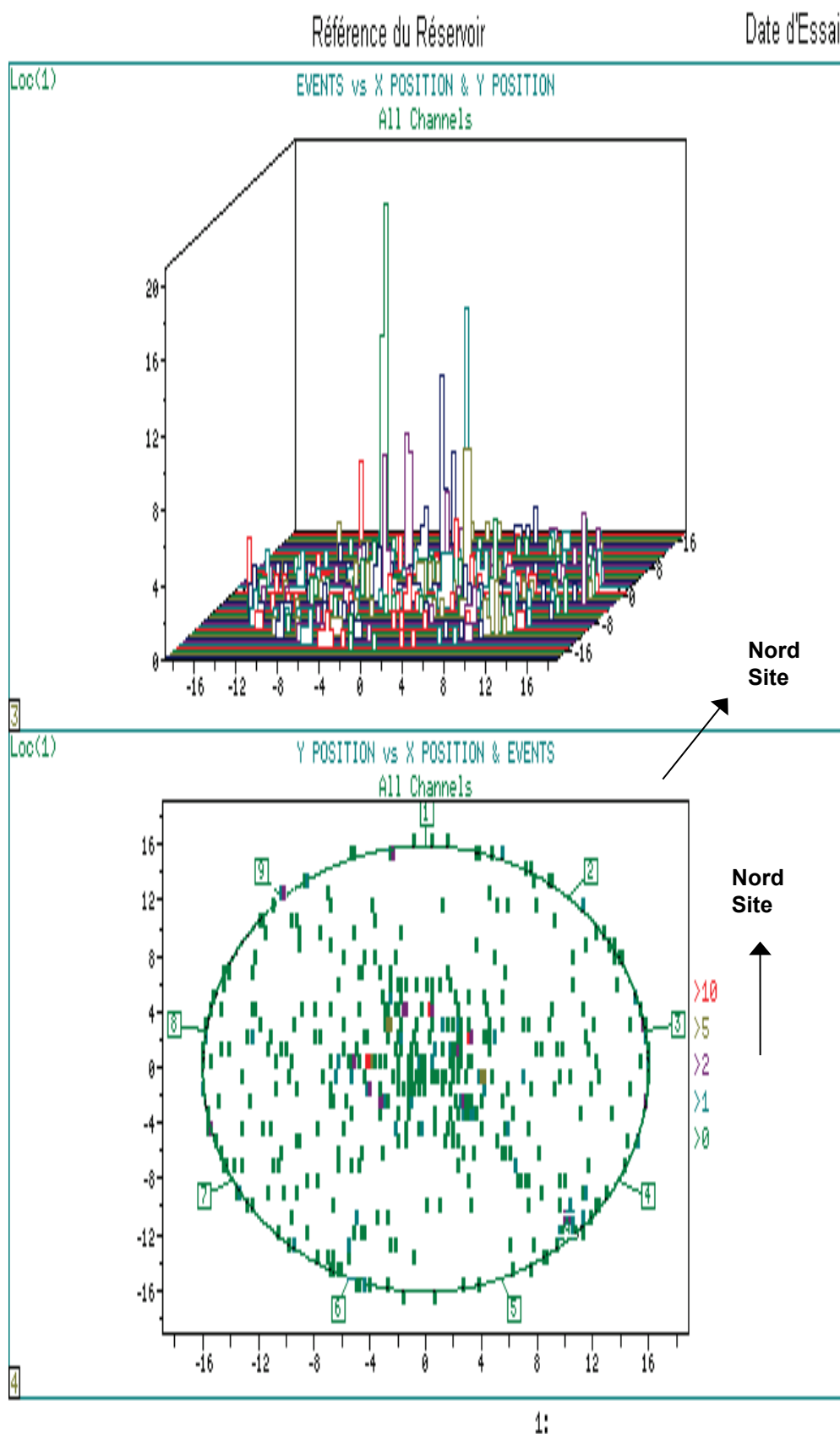


Figure 4 : Représentation 3D de l'activité générale du fond de réservoir associée à une représentation de densité spatiale

**Prise en compte du retour d'expérience**

Ce retour d'expérience s'appuie sur une recommandation technique, écrite dans le cadre du GEMER (Groupement pour l'Étude des Matériaux en Raffinerie) sous la direction de l'IFPEN et formalisant les objectifs, les procédures et les limitations de cette méthode.

L'exploitation des résultats des émissions acoustiques de réservoirs se distingue suivant le cas :

- 1- Pas d'utilisation d'une méthodologie RBI : les résultats des examens par émission acoustique constituent un complément à l'inspection détaillée externe.
- 2- Utilisation d'une méthodologie RBI : les résultats des examens par émission acoustique sont pris en compte dans la détermination de la criticité et du facteur de confiance ou la probabilité

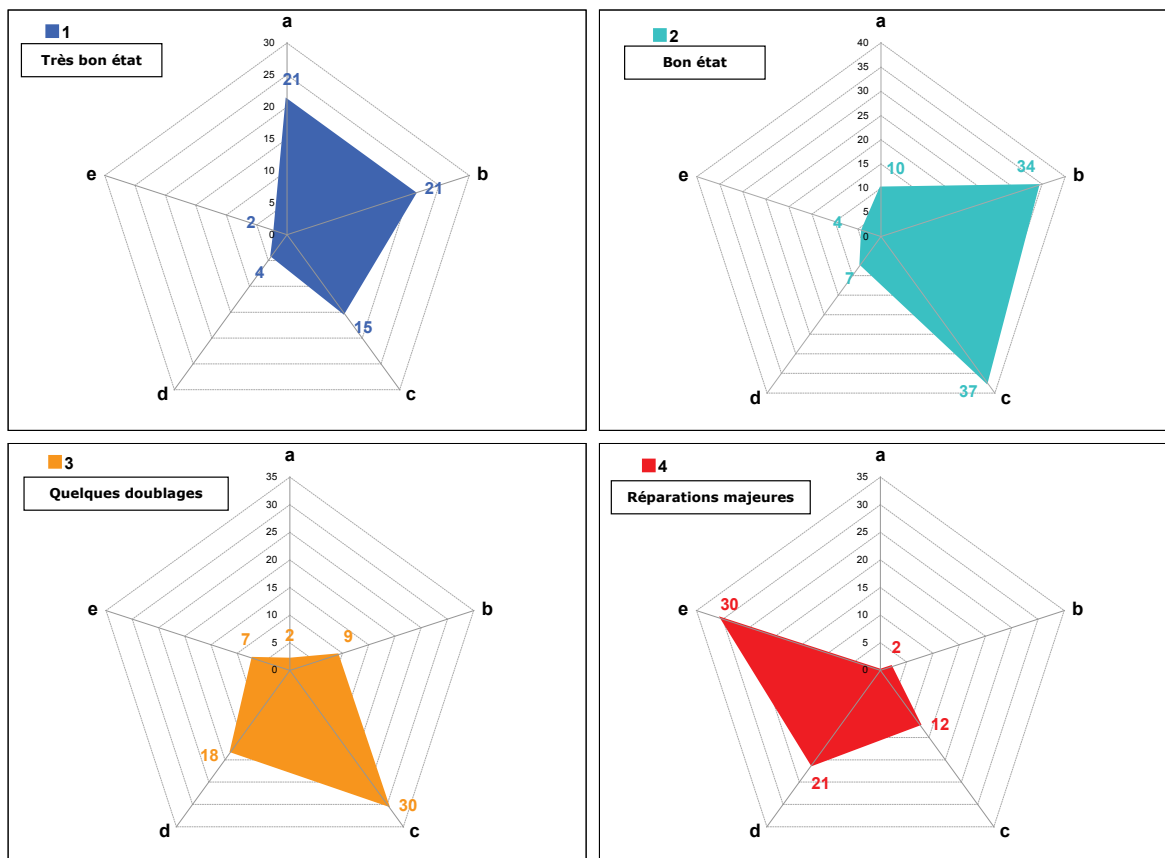
L'expérience accumulée sur plusieurs centaines de réservoirs conforte la pertinence de l'aide apportée par l'émission acoustique. Depuis la mise en place de la recommandation GEMER, il est demandé à tous les industriels procédant à l'émission acoustique des réservoirs de compléter la base de données, à la base du retour d'expérience. Cette base recense l'ensemble des éléments de chaque réservoir : produit, diamètre, le niveau d'émission acoustique et l'état du fond à l'ouverture (FU : follow up) :

<b>FU</b>	<b>Etat réservoir</b>
<b>1</b>	<b>Très bon état</b>
<b>2</b>	<b>Bon état</b>
<b>3</b>	<b>Quelques doublages nécessaires</b>
<b>4</b>	<b>Réparations majeures nécessaires</b>

**Tableau 6: Codification de l'état du fond à l'ouverture (FU 1 à FU 4)**

La collecte de ce retour d'expérience a permis de bâtir des corrélations entre l'état général du réservoir à l'ouverture et son niveau d'émission acoustique. On constate sur les éléments recueillis (tableau 7) que l'adéquation est relativement bonne et que les résultats d'émission acoustique peuvent être pris en compte pour affiner la connaissance de l'état des réservoirs lors de la mise au point de l'analyse de risques.

Il est à noter que les évaluations d'état par émission acoustique et l'état à l'ouverture peuvent être décalées dans le temps.



FU	a	b	c	d	e	Total
FU1	21	21	15	4	2	63
FU2	10	34	37	7	4	92
FU3	2	9	30	18	7	66
FU4		2	12	21	30	65
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>66</b>	<b>94</b>	<b>50</b>	<b>43</b>	<b>286</b>

Tableau 7: Comparaison entre niveau d'émission acoustique (lettre a à e) avec état du fond à l'ouverture (FU 1 à FU 4)

L'alimentation du retour d'expérience doit être permanente afin d'enrichir la base et mieux prendre en compte les résultats obtenus dans la connaissance de l'état des fonds des réservoirs.



## ANNEXE 6

### Spécificités des réservoirs en acier inoxydable

Le processus décrit dans les paragraphes 2 à 11 du corps du guide pour définir et appliquer un plan d'inspection s'applique également aux réservoirs en acier inoxydable. L'objet de cette annexe est de mettre en évidence quelques particularités propres à l'inox qui sont :

- type de corrosion (voir paragraphe 2 de la présente annexe)
- adaptation éventuelles des méthodes d'inspection et de contrôle (voir paragraphe 5 de la présente annexe)

Les aciers inoxydables utilisés sont généralement les aciers austénitiques mais l'utilisation d'aciers inoxydables austéno-ferritiques (duplex) se développe du fait d'une ensemble de propriétés intéressantes telles qu'une grande résistance mécanique permettant des réductions d'épaisseur, une résistance à la corrosion élevée du fait d'une teneur en chrome élevée et un coût modéré du fait d'une teneur en nickel faible

**Remarque : à partir d'un retour d'expérience positif des inspections réalisées notamment en application du plan de modernisation, une révision du guide pourra être initiée en vue de permettre une périodicité plus grande des inspections hors exploitation des réservoirs en acier inoxydable**

#### 1 - Réservoirs et composants

Les réservoirs en acier inoxydable sont généralement des réservoirs à toit fixe.

#### 2 - Mécanismes de dégradation et défaillance

Les mécanismes de dégradation et de défaillance sont généralement identiques à ceux des réservoirs en acier au carbone. Cependant, des mécanismes particuliers de corrosion leur sont néanmoins spécifiques, bien qu'une des principales raisons d'utilisation des aciers inoxydables soit une assez bonne résistance à la corrosion, tant atmosphérique que générée par les fluides contenus.

La corrosion peut être éliminée ou très sensiblement minimisée par :

- un choix judicieux des matériaux mis en œuvre,
- l'optimisation et le suivi scrupuleux des modes opératoires de fabrication et maintenance,
- le suivi des conditions opératoires éventuelles (ex : teneur en eau, chlorures).

Les principaux types de corrosion rencontrés sont les suivants :

- Corrosion uniforme
- Corrosion par piqûres/crevasses
- Corrosion sous contrainte
- Corrosion inter granulaire
- Corrosion galvanique

- **Corrosion uniforme**

La corrosion uniforme de l'acier inoxydable est un phénomène qui peut se rencontrer dans le cas particulier de stockage d'acides forts.

- **Corrosion par piqûres/crevasses**

Ce type de corrosion localisée peut se produire en cas de concentration d'ions chlorures notamment renforcée par un pH bas. La résistance à ce type de corrosion dépend de la composition de l'acier.

En pratique, c'est surtout la corrosion cavernieuse qui est rencontrée c'est-à-dire en présence simultanée de dépôts et de chlorures.

- **Corrosion sous contrainte**

Corrosion résultant de la combinaison de contraintes et de la présence de produits corrosifs internes ou externes (ex : chlorures, calorifuge contenant des chlorures, atmosphère marine), notamment accentuée en température élevée.

- **Corrosion inter granulaire**

La corrosion inter granulaire est une forme de corrosion relativement rapide et localisée associée à une microstructure défectueuse due à la précipitation de carbures de chrome aux joints de grains. Ce type de corrosion peut être observé lorsque l'acier a été exposé à forte température, dans les zones affectées thermiquement des soudures par exemple.

En pratique, l'utilisation d'aciers à basse teneur en carbone permet d'éliminer ce type de corrosion.

- **Corrosion galvanique**

Ce type de corrosion peut se produire lorsque l'acier inoxydable est en liaison métallique (contact direct ou indirect) avec un métal très éloigné dans la série galvanique et qu'un électrolyte (ex : eau) est interposé entre les deux parties métalliques.

### **3 – Inspection basée sur la criticité**

Le principe est le même que celui décrit dans le § 5 du guide en appliquant les mécanismes de dégradation retenus pour les différents composants du réservoir.

### **4 – Mise en œuvre du plan d'inspection**

Le principe est le même que celui décrit dans le § 6 du guide en appliquant les mécanismes de dégradation retenus dans le plan d'inspection.

Si la corrosion uniforme n'a pas été retenue dans ces mécanismes de dégradation, le contrôle de l'épaisseur pourra être sensiblement allégé et s'appuiera essentiellement sur les constats visuels.

### **5 – Méthodes d'inspection et de contrôle**

Le principe est le même que décrit dans le § 7 du guide.

Les tableaux sont adaptés en fonction des mécanismes de dégradation retenus dans le plan d'inspection. Par exemple, si la corrosion uniforme n'a pas été retenue dans ces mécanismes de dégradation, les contrôles d'épaisseur ne seront pas prévus, quel que soit le niveau d'inspection retenu (tableaux 7.1.1, 7.2.1, 7.3)

Les corrosions spécifiques aux aciers inoxydables et retenues dans le plan d'inspection seront recherchées et évaluées. Par exemple, la recherche de corrosion sous contrainte et de corrosion inter granulaire sera traitée dans les contrôles de soudure (tableaux 7.1.2, 7.2.2).

Les contrôles applicables aux matériaux magnétiques pourront être remplacés par le contrôle électromagnéto-acoustique (EMAT) décrit dans l'annexe 1.

L'annexe 2.2 précise l'adéquation des techniques de contrôle aux mécanismes de dégradation pour les aciers inoxydables.

Par ailleurs, en cas de dégradation localisée rencontrée sur certains types de réservoirs en acier inoxydable (ex piqûres ou fissures), des essais d'écoute acoustique réalisés avec ou sans sollicitation mécanique de la structure peuvent être effectués et donner des éléments d'appréciation de l'état de dégradation des éléments des réservoirs et de l'évolution de cette dégradation.

## ANNEXE 7

### Spécificités des réservoirs composites et thermoplastiques

#### 1 - Introduction et domaine d'application

Cette annexe traite des spécificités des réservoirs en matériaux composites et thermoplastiques.

Elle est basée sur une analyse des mécanismes de défaillance propres à ce type d'équipements et intègre les méthodes d'inspection éprouvées.

#### Définition du matériau composite

Il existe deux grands types de matériaux utilisés : les thermoplastiques et les matériaux composites.

#### Les réservoirs en thermoplastiques

Ils sont essentiellement réalisés, de manière industrielle courante, en PE (polyéthylène) et en PP (polypropylène). Ces cuves sont généralement fabriquées par enroulement et soudage de bandes continues à chaud. Comme les thermoplastiques sont des matériaux chaudronnables, des cuves peuvent être réalisées à façon dans d'autres matériaux mais cela reste très rare (PVC, PVDF ...).

#### Les réservoirs en composites

La résistance mécanique des thermoplastiques est faible et leur coefficient de dilatation thermique élevé. Pour ces raisons, on utilise des matériaux composites qui sont l'association d'une résine thermodurcissable et de renforts mécaniques fibreux. Les fibres utilisées sont essentiellement des fibres de verre, d'où le nom SVR donné à ces matériaux (Stratifié Verre Résine). Dans certains cas particuliers, des fibres de carbone ou d'aramide sont utilisées.

Ces réservoirs en SVR sont généralement utilisés pour des produits très corrosifs comme des acides, pour lesquels aucun matériau métallique n'est acceptable. Les produits stockés ne doivent donc jamais être en contact direct avec la partie structurale du composite c'est-à-dire la partie à forte densité de fibres qui assure la résistance mécanique. Il faut une barrière anti-corrosion.

Il existe deux familles de matériaux composites utilisés suivant la nature de la barrière anti-corrosion :

- Barrière anti-corrosion en matériaux thermoplastique (PE, PP, PVC, PVDF ...), souvent dénommés « thermoplastiques frettés SVR ». L'épaisseur typique habituelle est de 4 mm. Ce liner thermoplastique est fabriqué par chaudronnage classique c'est-à-dire formage et soudage.
- Barrière anti-corrosion en résine thermodurcissable (souvent de même nature que la partie structurale). Ces matériaux sont souvent dénommés SVR massifs. L'épaisseur de la couche anti-corrosion est généralement comprise entre 3 mm et 6 mm.

Pour précision, le vocabulaire anti-corrosion ne fait pas référence à une protection contre une perte d'épaisseur : il s'agit d'une barrière d'étanchéité visant à isoler la partie structurale, qui assure la résistance mécanique, du produit contenu dans le réservoir.

#### Référentiels

##### Référentiels de construction :

Ces réservoirs sont généralement construits selon les référentiels suivants :

- NFT 57900 complété du Cahier de Sécurité UIC n°7 (France) ;
- Guide UIC DT15 ;
- BS 4994 : Specification for the design and construction of vessels and storage tanks in reinforced plastics ;
- API SP 12P : Specification for Fiberglass Reinforced Plastic Tanks ;
- NF EN 13121- 3 : Réservoirs et récipients en PRV pour applications hors sol Partie 3 : Conception et exécution ;
- ASME X : Fiber-Reinforced Plastic Pressure Vessels ;
- DVS 2205 Allemand parties 1, 2 et 4 ;
- NF EN 12573.

Pour précision, les référentiels de construction mentionnés ci-dessus intègrent tous un facteur de sécurité qui conduit à une épaisseur de 6 à 8 fois supérieure à l'épaisseur minimale requise pour la tenue mécanique.

#### Référentiels d'inspection et de maintenance :

Les référentiels pour ce type de réservoir sont nettement moins développés que pour les réservoirs métalliques, on peut néanmoins citer :

- NF EN 13121- 4 : Réservoirs et récipients en PRV pour applications hors sol ; livraison, installation et maintenance ;
- HSL/2006/21 - Specification and Inspection of Thermoplastic Storage Tanks 2002 ;
- Glass reinforced plastic vessels and tanks Guidance - Note PM75 (Second edition).

Ces références sans être des codes d'inspection et de maintenance aussi détaillés que ceux existant pour les réservoirs métalliques sont une source utile.

## **2 - Mécanismes de dégradation et de défaillance**

Les principaux modes de dégradations de ce type de réservoirs sont :

- **Attaque chimique**

Les attaques chimiques sont de différentes natures et dépendent du matériau. A titre d'exemple, on peut citer :

- attaque par les acides, les bases et les solvants organiques, qui peuvent se traduire par du cloquage, ramollissement, durcissement ... ;
- Stress Corrosion Cracking, principalement rencontré sur les soudures des thermoplastiques (contraintes résiduelles) dans les milieux oxydants (acide nitrique, javel, eau oxygénée ... ) ;
- attaque uniforme et parfois fissures dans l'acide sulfurique au-delà d'une certaine concentration ;

Ces attaques chimiques peuvent indifféremment attaquer, simultanément ou non, les différents constituants de la matrice (ex : dissolution de la résine sans attaque des fibres).

- **Exposition aux UV**

Les plastiques usuellement utilisés nécessitent une protection contre les UV.

Pour les réservoirs en thermoplastiques massifs, le matériau est traité dans la masse et c'est le fabricant du thermoplastique qui garantit la tenue dans le temps aux UV par la formulation du matériau.

Pour les SVR (massifs ou avec liner thermoplastique), la couche de finition externe doit contenir des produits anti-UV pour éviter l'attaque et la mise à nu des fibres de la partie structurale du SVR.

La pigmentation de cette couche de finition externe n'est pas nécessaire et il est même recommandé de ne pas l'effectuer car cela facilite l'inspection de l'équipement, soit lors de sa réception, soit en service, par visite externe.

Il existe des cas où cette pigmentation doit être maintenue (milieux contenant du chlore, milieux où la lumière peut favoriser le développement d'algues interne...).

- **Endommagement d'origines mécaniques ou thermomécaniques**

Un réservoir calculé suivant un code de conception reconnu ne présente pas de fissuration mécanique liée aux cycles de remplissages / vidanges, car des coefficients de sécurité importants sont intégrés à la conception du réservoir.

Des endommagements thermomécaniques des couches anti-corrosion (soit en résine, soit en thermoplastique) sont toutefois possibles quand un produit chaud est injecté de manière cyclique.

Sur les couches anti-corrosion en résine, cela se traduit par un faïençage tandis que sur les couches anti-corrosion en thermoplastique, cela se traduit par une fissuration le long de certains cordons de soudure. Ces deux types d'endommagements sont détectés par les techniques de CND appropriées lors des inspections internes hors exploitation (voir §4).

Des endommagements mécaniques sont également possibles, lors des interventions (coups, échafaudages...), lors des épreuves hydrauliques si la pression admissible est dépassée, sous des effets de poinçonnement provenant des accessoires du bac (passerelle, échelle...), sous l'effet de tassement de

l'assise, et d'une manière générale lors d'une évolution des paramètres de fonctionnement dépassant les conditions de conception de l'équipement.

Dans la mesure où les réservoirs composites et thermoplastiques sont de petit diamètre et sont positionnés sur une assise en béton, les endommagements liés aux tassements de l'assise sont limités comparativement à ceux potentiellement observables sur des réservoirs métalliques.

\*Par tassement, nous entendons toute altération du massif béton qui supporte l'équipement, comme par exemple une attaque chimique du béton par coulures d'acide.

- **Combinaison contraintes mécaniques / attaques chimiques**

Les zones sous contraintes sont plus sensibles aux attaques chimiques. La combinaison des deux facteurs conduit généralement à la formation de fissures profondes. Ce phénomène, également appelé « Stress Corrosion Cracking », se rencontre principalement au niveau des soudures de matériaux thermoplastiques.

- **Délaminage**

Ce mode de dégradation est possible mais il est rarement rencontré et ses conséquences sont minimes sur l'intégrité mécanique.

- **Perméation**

La perméation, ou diffusion de produit, est toujours un phénomène à prendre en considération lorsqu'on met en contact des produits ou mélanges de produits chimiques avec les plastiques.

Selon la nature de la molécule qui diffuse et le matériau en contact, les effets peuvent être divers :

- formation de cloques à différentes profondeurs ;
- ramollissement ou, au contraire, durcissement du plastique ;
- décoloration ;
- extraction de constituants du plastique ;
- attaque sélective sur les SVR (par exemple migration de soude qui va attaquer préférentiellement les fibres de verre).

- **Biodégradation**

Attaque par moisissures, champignons sur matrices polyuréthane ou polyester entraînant la mise à nu des fibres.

- **Erosion / abrasion**

En présence de liquides chargés, les plastiques peuvent subir une abrasion. Il est possible d'améliorer la situation en utilisant des plastiques chargés de particules dures ou avec un design qui minimise les effets de turbulence.

- **Commentaire général sur les modes de dégradation**

Contrairement aux matériaux métalliques, les critères déclenchant une réparation ne sont jamais basés sur une mesure d'épaisseur mais essentiellement sur un contrôle visuel. Les modes de dégradation sont le plus souvent associés à la perméation et en particulier à l'attaque en profondeur qui peut en résulter.

### **3 - Mise en œuvre du plan d'inspection**

#### **3-1 Visite de routine**

L'objet de cette visite est de détecter tout signe de dégradation visible. Ces signes comprennent plus particulièrement :

- Changement de l'état de surface bulle, cratère, piqure, peau d'orange, retassure, cloque, coulure, décollement, ondulation... ;
- Ramollissement (ou durcissement) de la surface du matériau ;
- Fissures en étoile ;
- Fibre apparente ;
- Gonflement local ;

- Zones de coloration ou de décoloration ;
- Gouttes de liquide traversant la surface (phénomène d'osmose) ;
- Fissures.

Lors de cette visite une attention particulière est à apporter aux points suivants :

- Jonction fond/robe ;
- Piquages (y compris trou d'homme, surtout en partie basse) ;
- Présence et bon état des supports d'accessoires montés sur piquages pour lesquels l'absence, ou le mauvais état peut entraîner un travail en contrainte pouvant générer un risque de fissuration ou de rupture de ces piquages ( ex : vanne de fond de cuve).
- Points d'ancrage du réservoir ;
- Fondation du réservoir.

La visite de routine a pour but de constater le bon état général du réservoir et de son environnement ainsi que les signes extérieurs liés aux modes de dégradation possible.

Elle est réalisée par des personnels qualifiés (voir chapitre 9 du guide) et renouvelée chaque année. Les écarts relevés font l'objet d'une analyse.

### **3-2 Inspection externe en exploitation**

Cette inspection, permet de s'assurer de l'absence d'anomalie remettant en cause la date prévue de la prochaine inspection. Elle comprend a minima :

- une revue des visites de routine ;
- une inspection visuelle externe approfondie des éléments constitutifs du réservoir et de ses accessoires ;
- une inspection visuelle de l'assise ;
- une inspection de la jonction robe fond de façon visuelle ; une inspection de la partie visible des soudures pour les cuves en MTP ;
- une vérification visuelle des déformations géométriques éventuelles du réservoir et notamment de la verticalité, de la déformation de la robe et du toit, de la présence de tassements ;
- l'inspection des ancrages si le réservoir en est pourvu ;
- des investigations complémentaires concernant les défauts révélés par l'inspection visuelle s'il y a lieu.

Cette inspection est réalisée au moins tous les 5 ans. Une fréquence différente peut toutefois être prévue par arrêté préfectoral pour les réservoirs liés à des unités de fabrication.

Les méthodes utilisées et le niveau d'inspection sont décrits dans le paragraphe 4 de cette annexe en tenant compte des contraintes d'exploitation et de sécurité et du fait que seul l'extérieur du réservoir est accessible.

Note : comme précisé au chapitre 2 le mode de dégradation généralement rencontré est la perméation.

Le contrôle visuel est le plus adapté pour rechercher le type de défaut résultant de ce mode de dégradation. (car ce type de défaut ne génère pas de perte d'épaisseur). Le contrôle de l'épaisseur de la robe notamment près du fond n'est donc pas effectué.

### **3-3 Inspection hors exploitation**

Cette inspection, en plus des contrôles visuels et de l'inspection externe, permet par l'accès à l'intérieur du réservoir un contrôle détaillé de son fond et des équipements inaccessibles lorsqu'il est en exploitation. Elle comprend a minima :

- l'ensemble des points prévus pour l'inspection externe en exploitation détaillée ;
- une inspection visuelle interne approfondie du réservoir et des accessoires internes ;
- le contrôle interne des assemblages (soudures, collages), a minima la jonction robe- fond ;
- des investigations complémentaires concernant les défauts révélés par l'inspection visuelle s'il y a lieu.

**Note :** contrairement aux réservoirs métalliques, les mesures d'épaisseur par l'extérieur ne sont pas pertinentes pour évaluer la tenue mécanique du réservoir et prévenir les pertes de confinement.

Les inspections adaptées correspondent aux recherches de fissures, de faïençage, de cloquages, ou de changements locaux de couleur.

Comme mentionné ci-avant, le délaminage est un mode de dégradation rarement rencontré et ses conséquences sont minimales sur l'intégrité mécanique.

Pour mesurer les effets de l'abrasion la perte d'épaisseur est effectuée par l'intérieur à l'aide de comparateurs. Une mesure par des US n'est pas adaptée pour évaluer les pertes d'épaisseur de couches anti-corrosion.

Les inspections hors exploitation sont réalisées aussi souvent que nécessaire et au moins tous les dix ans.

Les méthodes utilisées et le niveau d'inspection seront déterminés sur la base des éléments décrits dans le paragraphe 4 de la présente annexe. L'inspecteur pourra utiliser les exemples de fiches d'inspection disponibles dans les codes d'inspection et de maintenance cités précédemment.

## 4 - Méthodes d'inspection et de contrôle

Note préliminaire : les méthodes de contrôle non destructif ne sont pas aussi développées que pour les matériaux métalliques.

L'inspection visuelle détaillée intéresse tous les éléments visibles et accessibles c'est-à-dire tous les items inspectables sur la structure, les accès et les accessoires du réservoir. Pour les matériaux plastiques, l'observation visuelle reste très importante et peut déclencher l'emploi de mesures complémentaires (dureté, ressuage ...).

Les contrôles détaillés dans le tableau ci-dessous correspondent à des contrôles visuels complétés si nécessaire de méthodes de CND en fonction de la nature et de l'ampleur des défauts visuels observés.

A noter que cette liste de contrôle n'est pas exhaustive et doit être complétée ou adaptée si nécessaire, notamment en cas de situation atypique. Les techniques et les étendues de contrôles mentionnées peuvent être remplacées par d'autres aux performances équivalentes.

<b>Type de cuve</b>	MTP :	Cuve en matériau thermoplastique massif (PE, PP, PVDF, ECTFE, ...)
	SVR :	Cuve stratifié verre résiné = GRP (Glass Reinforced Plastic) = FRP (Fiber Reinforced Plastic)
	MTP/SVR :	Cuve en SVR avec couche anticorrosion par liner intérieur MTP

<b>Type de visite</b>	en exploitation :	tous les 5 ans
	hors exploitation :	tous les 10 ans si > 100 m <sup>3</sup>

	Applicable par type de cuve			Contrôles à effectuer	A effectuer selon type de visite	
	MTP	MTP /SVR	SVR		en exploitation	hors exploitation
4-1-1 Contrôles du fond	X	X	X	Contrôle interne : recherche de défauts tels que déformations, planéité, liaison avec massif (test sonore), dégradations, fissuration, changement de coloration, fibres déliées (pour SVR)	non	oui
	X	X	X	Contrôle interne : absence de dégradation sur le piquage de fond		
4-1-2 Accessoires divers internes	X	X	X	Contrôle interne : absence de dégradation	non	oui
	X	X	X	Test fonctionnel des éléments mobiles		
	X	X	X	Eléments métalliques : absence de corrosion		
4-1-3 Liaison fond/robe	X	X	X	Contrôle externe : recherche de défauts tels que dégradation, fissuration, suintement, changement de coloration, fibres déliées (pour SVR)	oui	oui
	X	X	X	Contrôle interne : recherche de défauts tels que dégradation, fissuration, changement de coloration, fibres déliées (pour SVR)	non	oui

	Applicable par type de cuve			Contrôles à effectuer	A effectuer selon type de visite	
	MTP	MTP /SVR	SVR		en exploitation	hors exploitation
4-1-4 Robe	X	X	X	Contrôle de la verticalité, rotondité, gonflement local	oui	oui
	X	X	X	Contrôle externe : recherche de défauts tels que dégradation, fissuration, suintement, changement de coloration, fibres déliées (pour SVR)	oui	oui
	X	X	X	Contrôle interne : recherche de défauts tels que dégradation, attaque localisée chimique, fissuration, changement de coloration, fibres déliées (pour SVR)	non	oui
	non applicable	X	X	Contrôle interne : recherche de défauts sur la barrière anticorrosion	non	oui
	X	X	non applicable	Contrôle interne : recherche de fissuration des soudures	non	oui
4-1-5 Liaison robe/toit	X	X	X	Contrôle externe : recherche de défauts tels que dégradation, fissuration, suintement, changement de coloration, fibres déliées (pour SVR)	oui	oui
	X	X	X	Eléments métalliques externes : absence de corrosion	oui	oui
	X	X	X	Eléments métalliques internes : absence de corrosion	non	oui
	X	X	X	Contrôle interne : recherche de défauts tels que dégradation, attaque localisée chimique, fissuration, changement de coloration, fibres déliées (pour SVR)	non	oui
	non applicable	X	X	Contrôle interne : recherche de défauts sur la barrière anticorrosion	non	oui
	X	X	non applicable	Contrôle interne : recherche de fissuration des soudures	non	oui
4-1-6 Toit	X	X	X	Contrôle externe : recherche de défauts tels que dégradation, fissuration, suintement, changement de coloration, fibres déliées (pour SVR), fissuration et/ou fuite au niveau des piquages	oui	oui
	X	X	X	Contrôle interne : recherche de défauts tels que dégradation, attaque localisée chimique, fissuration, changement de coloration, fibres déliées (pour SVR), fissuration et/ou fuite au niveau des piquages	non	oui
	non applicable	X	X	Contrôle interne : recherche de défauts sur la barrière anticorrosion	non	oui
4-1-7 Assise/ancrages	X	X	X	Contrôle externe : état du génie civil, planéité, tassement, état des ancrages, continuité de la protection des éléments métalliques	oui	oui
4-1-8 Moyens d'accès	X	X	X	Contrôle externe : absence de corrosion des points d'attache, absence de poinçonnement localisé, vérification de la mise à la terre des éléments métalliques	oui	oui

## 5 - Méthodes de contrôle

Les principales méthodes de contrôle (liste non exhaustive) applicables aux réservoirs en composite et selon les phénomènes de dégradations sont les suivantes :

Type de défaut	Méthodes de contrôles possibles
Fissures	Visuel / ressuage / Contrôle diélectrique des soudures MTP/SVR si tresses carbone à l'origine
Faïençage	Visuel (éclairage rasant ou en transparence pour SVR)
Etoilage	Visuel (éclairage rasant ou en transparence pour SVR)
Ecaillage	Visuel (éclairage rasant ou en transparence pour SVR)
Rayures	Visuel
Cloques	Visuel / Thermographie IR
Impact	Visuel
Fibres apparentes (SVR)	Visuel
Brûlures	Visuel
Changement de coloration	Visuel
Gonflement	Visuel + si nécessaire Dureté Barcol (pour SVR) /Shore (pour thermoplastiques) / Test sonore
Ramollissement/Durcissement	Visuel + si nécessaire Dureté Barcol (pour SVR)/Shore (pour thermoplastiques) / Test sonore
Délamination MTP/SVR	Visuel / Thermographie IR
Intégrité Mécanique	EA

Précisions :

- Ressuage : applicable sur jonction robe et fond (précautions à prendre car les solvants des colorants peuvent ne pas être compatibles avec les matériaux du réservoir) ;
- Peigne diélectrique essentiellement sur les soudures des liners thermoplastiques, à condition qu'une tresse de carbone ait été positionnée, à la construction, entre le liner et le SVR ;
- Dureté Barcol pour SVR, Shore pour thermoplastiques ;
- Emission Acoustique : le document AFIAP « Guide des Bonnes Pratiques pour le contrôle par Emission Acoustique » et son annexe 7 « Méthodologie à appliquer pour l'élaboration d'une procédure applicable aux équipements sous pression en matériaux composites » peut être utilisé.

## 6 - Critères d'acceptabilité des défauts

### 6-1 Fissures

Fond :

- Pour les réservoirs thermoplastiques massifs, la fissure interne ne doit pas dépasser 1/3 de l'épaisseur.
- Pour les réservoirs SVR dans le cas de fissure interne, la couche anti-corrosion ne doit pas être traversée.

Robe :

- Pour les réservoirs thermoplastiques massifs, la fissure interne ou externe ne doit pas dépasser 1/3 de l'épaisseur
  - Quart inférieur : la fissure interne ou externe présente une longueur inférieure à 50 mm
  - Reste de la robe : la fissure interne ou externe présente une longueur inférieure à 100 mm
- Pour les réservoirs SVR :
  - Fissure interne, la couche anti-corrosion ne doit pas être traversée.
  - Fissure externe : sa profondeur ne doit pas dépasser 1/3 de l'épaisseur de tenue mécanique :
    - Quart inférieur : la longueur de fissure est inférieure à 50 mm
    - Reste de la robe : la longueur de fissure est inférieure à 100 mm

Ces critères sont indicatifs ; il est en effet parfois difficile d'estimer la profondeur d'une fissure pour les bacs en Thermoplastiques massifs. Pour ceux en SVR, leur caractère anisotrope peut compliquer l'interprétation des mesures ultrasons.

Rappelons que les critères d'acceptabilité sont à examiner au regard d'un cycle supplémentaire de fonctionnement (5 ou 10 ans).

Dès que la profondeur estimée d'une fissure découverte excède ces critères, la fissure doit être réparée par stratification (SVR) ou par soudure (Thermoplastiques massifs).

### **6-2 Fragilité ou ramollissement**

- Absence sur le quart inférieur de la robe.

Ces phénomènes sont essentiellement dus à la migration de produits dans le matériau ; la profondeur et l'effet sur les caractéristiques mécaniques sont parfois difficiles à apprécier.

### **6.3 Fibres apparentes**

Lorsque l'inspection visuelle (interne ou externe) révèle des fibres ordonnées (tissus, roving ou enroulement), la couche concernée (Anti-Corrosion interne ou topcoat externe) doit être réparée selon les règles de l'art avec appréciation par des personnels qualifiés.

### **6.4 Autres défauts**

Pour les autres défauts, il n'est pas possible de définir des critères d'acceptation généraux tant les situations peuvent être différentes. Une analyse sera menée par des personnels qualifiés.

## **7 - Réparations**

Les réparations seront effectuées selon les préconisations du constructeur ou des personnels qualifiés. Pour les SVR, le guide UIC DT15 constitue un premier guide de référence.

### **BIBLIOGRAPHIE BACS COMPOSITES**

- (1) *API SP 12P-Specification for Fiberglass Reinforced Plastic Tanks 3° edition October 2008*
- (2) *NF EN 1312-4-Réservoirs et récipients en PRV pour applications hors sol Partie 4 : livraison, installation et maintenance*
- (3) *NF EN 13121-3-Réservoirs et récipients en PRV pour applications hors sol Partie 3 : Conception et exécution ;*
- (4) *HSL/2006/21-Specification and Inspection of Thermoplastic Storage Tanks 2002*
- (5) *Glass reinforced plastic vessels and tanks Guidance Note PM75 (Second edition)*
- (6) *DT 32- guide pour l'établissement des plans d'inspection rev2 de juin 2008*
- (7) *DER-16 / Five-Year Inspection of Plastic Tanks DEC Program Policy – 11/9/07*
- (8) *Reichhold An inspection guide for Fiber-Reinforced Plastic Equipment*
- (9) *NF EN 12573-1Cuves statiques soudées en matières thermoplastiques sans pression Partie 1 : Principes généraux*
- (10) *NF EN 15857 Émission acoustique — Essai des polymères renforcés par des fibres Méthodologie spécifique et critères d'évaluation généraux*
- (11) *Guide UIC DT15*
- (12) *Document Ashland « Derakane Composite Polymers : fabricating tips »*

## ANNEXE 8

### Présentation des méthodes EEMUA 159 et API 580/581

#### **Annexe 8-1 EEMUA 159**

##### Champ d'application

L'EEMUA 159 : Guide d'utilisation pour l'inspection, la maintenance et la réparation des réservoirs métalliques aériens cylindriques. Ce document est spécifique aux réservoirs. Il est complet et ne nécessite pas l'utilisation d'autres documents complémentaires. Il couvre tous les éléments permettant d'établir des plans d'inspection basés sur la criticité.

##### Principe de la méthodologie RBI de l'EEMUA 159

##### **Étape 1 : Détermination de la probabilité de défaillance**

Pour chaque partie du réservoir : fond, robe et toit, la probabilité de défaillance est déterminée en prenant en compte les critères suivants :

##### Fond de réservoir

→ Actions visant à limiter ou prévenir la corrosion :

- Système de protection cathodique,
- Revêtement interne ou externe,
- Présence d'un revêtement époxy renforcé de fibre de verre au niveau du fond et au bas de la première virole.

→ Facteurs influençant la corrosion :

- Température de stockage,
- Configuration du fond (convexe, concave, plat),
- Réchauffeurs dans le réservoir,
- Corrosivité du produit.

→ Efficacité du système de drainage pour prévenir l'entrée d'eau sous le fond du bac :

- Type de fondation,
- Hauteur de fondation par rapport au niveau de la nappe d'eau,
- Efficacité du drainage de l'eau à proximité du réservoir,
- Largeur et pente du solin du réservoir.

##### Robe du réservoir

→ Actions visant à limiter ou prévenir la corrosion :

- Revêtement interne ou externe.

→ Facteurs influençant la corrosion :

- Température de stockage,
- Réchauffeurs dans le réservoir,
- Corrosivité du produit,
- Corrosivité des vapeurs du produit,
- Isolation externe de la robe (corrosion sous calorifuge).

##### Toit du réservoir

→ Actions visant à limiter ou prévenir la corrosion :

- Revêtement interne ou externe.

→ Facteurs influençant la corrosion :

- Température de stockage,
- Corrosivité des vapeurs du produit,
- Système d'inertage,
- Position interne des supports de toit,
- Position externe des supports de toit,
- Isolation externe du toit (corrosion sous calorifuge).

Les probabilités ainsi déterminées sont classées en 4 niveaux :

- Haut H ;
- Moyen M ;
- Basse B ;
- Négligeable N.

**Etape 2 : Détermination des conséquences**

Pour chaque partie du réservoir : fond, robe et toit, les conséquences de défaillance sont déterminées en prenant en compte les critères suivants :

- Aspect économique,
- Sécurité et santé,
- Impacts environnementaux.

→ Aspect économique

Les éléments suivants sont pris en compte :

- Coûts directs et indirects d'une défaillance.

→ Sécurité et Santé

Les éléments suivants sont pris en compte :

- Possibilité d'atteinte aux personnes,
- Caractéristiques d'inflammabilité des produits,
- Toxicité des produits,
- Implantation du parc de stockage (zone peuplée, pente, zone non peuplée).

Nota : Le mode de calcul décrit dans l'EEMUA 159 est générique et peut être adapté sur la base d'une législation plus sévère en s'appuyant sur les données issues d'une étude de dangers notamment.

→ Environnement :

- Conséquence environnementale pour les sols et les eaux,
- Emission de vapeur.

Les conséquences ainsi déterminées sont classées en 4 niveaux :

- Haut H ;
- Moyen M ;
- Basse B ;
- Négligeable N.

Nota :

- Pour chaque critère de conséquence, le niveau retenu est le niveau le plus élevé pour chaque partie du réservoir ;
- Le niveau de conséquence global du réservoir est le niveau de conséquence le plus élevé de chaque partie du réservoir.

**Etape 3 : Détermination de la criticité du réservoir**

Pour chacune des parties du réservoir, la criticité est déterminée en combinant le niveau des conséquences et des probabilités de défaillance sur la matrice suivante :

		B	H	E	E
	Haute	B	M	H	E
Probabilité	Moyenne	N	B	M	H
	Basse	N	N	B	M
	Négligeable				
		Négligeable	Basse	Moyenne	Haute
			GRAVITE		

**Etape 4 : Détermination la durée de vie résiduelle**

La durée vie résiduelle est définie comme :

Durée de vie résiduelle (RL)= (tM – tR) / vitesse de dégradation, où :

tM : dernière épaisseur minimale mesurée

tR : épaisseur de retrait

L'épaisseur de retrait peut être prédéterminée ou déduite de calculs appropriés contenus dans les codes de conception et de réparation (voir § 8 du présent guide : Critères d'acceptabilité des défauts).

**Etape 5 : Détermination du facteur de confiance et de l'intervalle de la prochaine inspection****5-1 Détermination du facteur de confiance**

Le niveau de criticité de chaque partie du réservoir permet d'attribuer une valeur initiale au facteur de confiance, K0, pour chacune de ces parties selon la matrice suivante

			0,8	0,6	0,5	0,5
		Haute	0,8	0,7	0,6	0,5
		Moyenne	0,9	0,8	0,7	0,6
Probabilité		Basse	0,9	0,9	0,8	0,7
		Négligeable				
			Négligeable	Basse	Moyenne	Haute
					GRAVITE	

Pour chacune des parties du réservoir, le facteur de confiance est ajusté en tenant compte de facteur de crédit ou de facteur de débit qui dépendent de:

- Fiabilité de la mesure de la dégradation (efficacité d'inspection),
- Fréquence d'inspection (historique d'inspection),
- Type de composant du réservoir (tôles de fond, de virole et de toit).

Pour chacune des parties du réservoir la somme des crédits et des débits est ajoutée au facteur de confiance initial sans que celui-ci puisse dépasser la valeur de 1.

**5-2 Détermination de l'intervalle de la prochaine inspection**

Pour chacune des parties du réservoir la durée de vie résiduelle de cette partie est multipliée par le facteur de confiance relatif à cette partie, il en résulte trois valeurs d'intervalle I1, I2, I3.

L'intervalle de la prochaine inspection est égal au minimum de I1, I2, I3

**Annexe 8-2 API580/581****Champ d'application :**

**API 580 Inspection basée sur la criticité :** Cette pratique recommandée (RP) fournit des recommandations pour développer un programme d'inspection basée sur la criticité (RBI) pour les équipements et les tuyauteries dans les industries pétrolières et chimiques. Elle est basée sur la connaissance et l'expérience des ingénieurs, des inspecteurs, des analystes de risque, et de tout autre personnel dans ces industries. Cette pratique est prévue pour compléter l'API 653 en ce qui concerne les réservoirs.

**API 581 Technique d'inspection base sur la criticité.** Cette publication fournit des procédures quantitatives pour établir un programme d'inspection basée sur la criticité des équipements fixes : équipements sous pression (récipients, tuyauteries, accessoires sous pression, échangeurs, ...) et réservoirs. Ce document doit être employé en complément de l'API 580. Il fournit des méthodes quantitatives de calcul pour déterminer un plan d'inspection utilisant une méthodologie d'inspection basée sur la criticité

#### Principe de la méthodologie RBI API580/API581

##### **Etape 1 : Détermination de la probabilité de défaillance**

La probabilité de défaillance est définie comme une fonction du temps t de la façon suivante

$$P_f(t,le) = gff \times D_f(t) \times F_{MS} \text{ où :}$$

gff: Facteur générique de fréquence de défaillance

$D_f(t)$  : Facteur de dommage

$F_{MS}$  : Facteur du système de management de l'intégrité mécanique

le : Efficacité des inspections

Le facteur générique de fréquence de défaillance est la probabilité de perte de confinement par an qui peut être issue soit de données de la littérature soit de la table 4-1 de la partie 2 de l'API 581.

##### Facteur de dommage

Pour les bacs de stockage, le facteur de dommage généralement pris en compte est la perte d'épaisseur généralisée ou localisée. Cependant, si cela est nécessaire d'autres facteurs de dommage peuvent être calculés.

Le calcul de chaque facteur de dommage prend en compte :

- Les facteurs influant la dégradation
- Le niveau d'efficacité des inspections réalisées
- Le nombre d'inspections réalisées

→ Les facteurs influant sur la dégradation sont dans le cas des réservoirs (robe et fond)

- Système de protection cathodique
- Revêtement interne ou externe
- Température de stockage
- Réchauffeurs dans le réservoir
- Type de fondation
- Corrosivité du sol
- Corrosivité du produit
- Corrosivité des vapeurs du produit
- Isolation externe de la robe (corrosion sous calorifuge)

→ Le niveau d'efficacité des inspections réalisées

Ce niveau est apprécié en tenant compte à la fois de l'étendue des contrôles et de leur nature, les inspections réalisées prises en compte sont des inspections internes et externes. Le classement des niveaux d'efficacité va de A (niveau le plus élevé) à E (niveau le moins élevé – absence d'inspection)

*Nota : Ces niveaux d'efficacité tels que décrits dans l'API 581 Part2 chapitre 5 sont à rapprocher des niveaux d'inspections décrits dans le paragraphe 7 du présent guide de la façon suivante :*

Catégorie API 581	Niveau paragraphe 7
A	A
B	B
C	C
D	Non retenu
E	Absence d'inspection

→ Le nombre des inspections

Le nombre des inspections réalisées est pris en compte en intégrant le niveau d'efficacité de chacune.

**F<sub>MS</sub> : facteur du système de management de l'intégrité mécanique**

Facteur prenant en compte le système de management de l'intégrité mécanique du site.

Ce facteur permet d'intégrer la probabilité que l'accumulation de dommages, qui pourraient conduire à des pertes de confinement, sera découverte à temps. Ce facteur est directement proportionnel à la qualité du programme d'intégrité mécanique du site.

La probabilité ainsi déterminée est une fonction du temps et du niveau d'efficacité des inspections. Le niveau de probabilité est classé de 1 (probabilité la moins élevée) à 5 (probabilité la plus élevée)

**Nota :** La prise en compte de l'efficacité des inspections, de leur nombre ainsi que du facteur de management est une démarche similaire à celle de la détermination du facteur de confiance utilisé dans le cas de l'EEMUA 159.

**Etape 2 : Détermination des conséquences**

Les conséquences prises en compte de façon générale sont :

- Aspect économique,
- Sécurité et santé,
- Impact environnemental.

**Nota :**

- Le mode de calcul décrit dans l'API 581 est générique et peut être adapté sur la base d'une législation plus sévère en s'appuyant sur les données issues d'une étude de dangers notamment ;
- Le niveau de conséquence global du réservoir est le niveau de conséquence le plus élevé de chaque conséquence.

Dans le cas des bacs de stockage l'accent est plus particulièrement mis sur les conséquences environnementales.

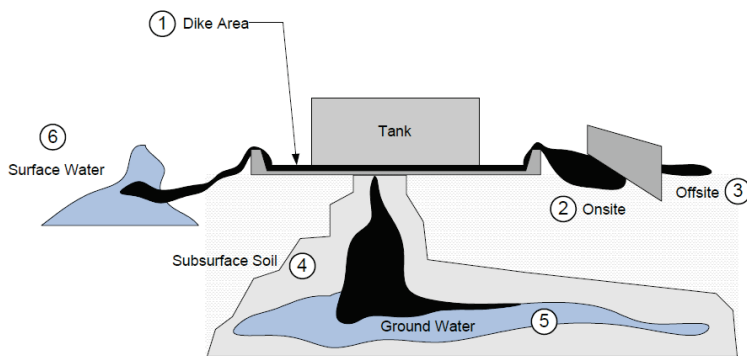


Figure 7.1 – Tank Consequence

Le niveau de conséquence est classé de A (niveau de conséquences le moins élevé) à E (niveau de conséquences le plus élevé).

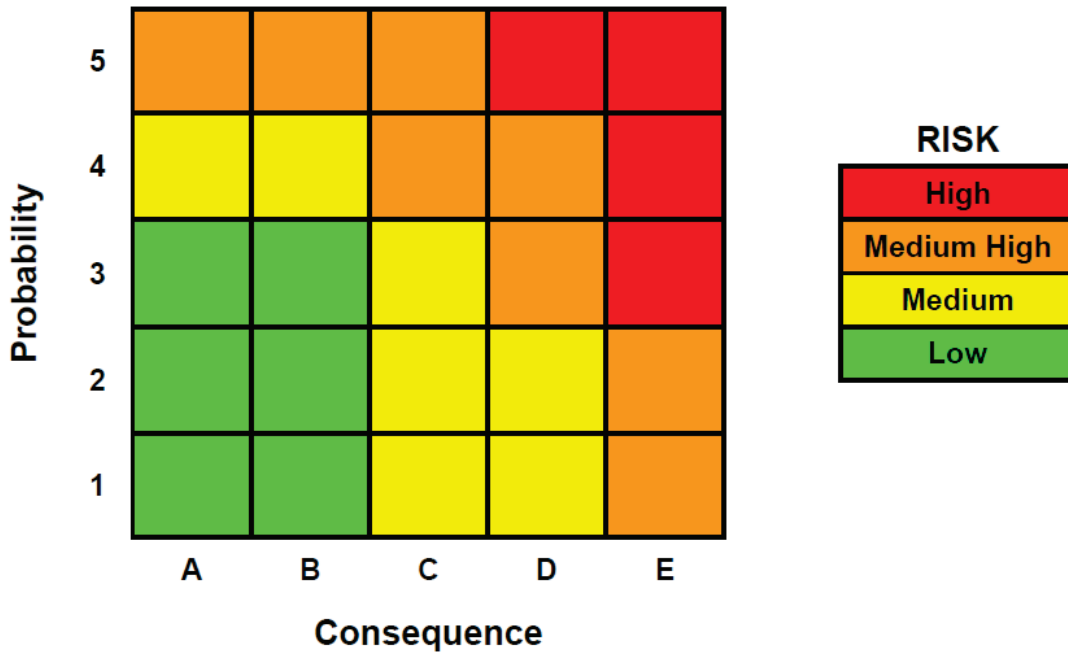
Le niveau de conséquences est considéré comme constant dans le temps.

**Etape 3 : Détermination du risque**

Le niveau de risque en fonction du temps et de l'efficacité des inspections est défini de la façon suivante :

$$R(t,le) = Pf(t,le) \times C$$

et peut être représenté sous forme matricielle



Nota : Les niveaux de probabilité (1 à 5 probabilité croissante) et de conséquences (gravité croissante de A à E) sont des notations propres à l'API 580 et à l'API 581. L'utilisation de ces notations pouvant prêter à confusion la matrice ci-dessus peut être représentée de la façon suivante

							RISQUE
	Très haute	Medium High	Medium High	Medium High	High	High	HAUT
	Haute	Medium	Medium	Medium High	Medium High	High	MOYEN HAUT
PROBABILITE	Moyenne	Low	Low	Medium	Medium High	High	MOYEN
	Basse	Low	Low	Medium	Medium	Medium High	BAS
	Négligeable	Low	Low	Medium	Medium	Medium High	
		Négligeable	Basse	Moyenne	Haute	Très haute	
				GRAVITE			

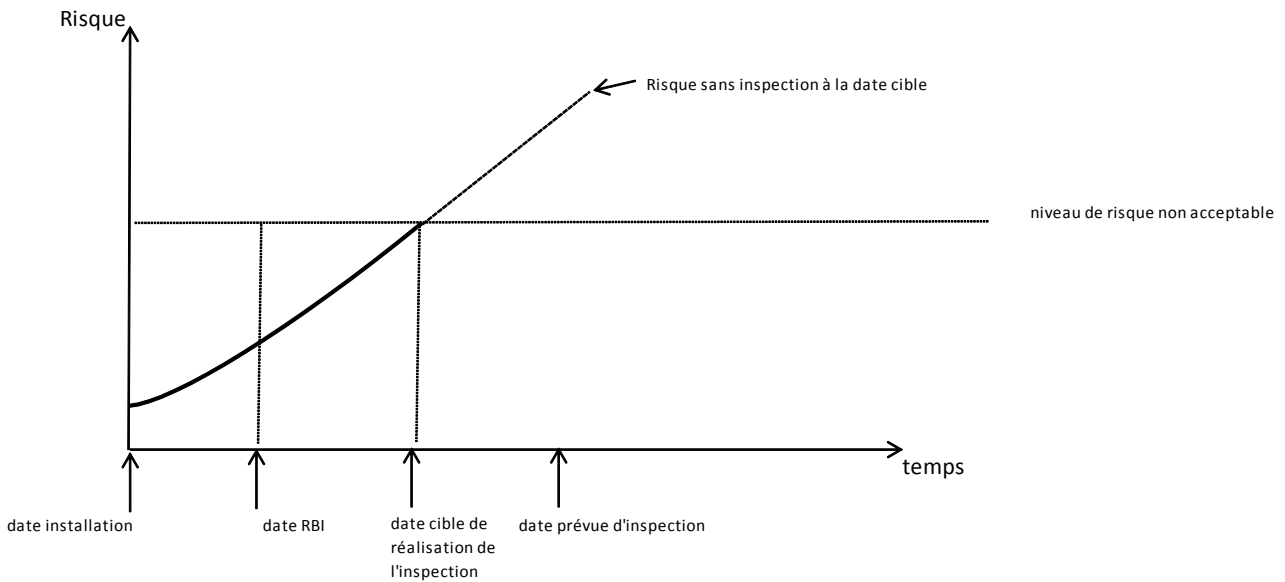
**Étape 4 : Détermination de l'intervalle d'inspection**

Principe :

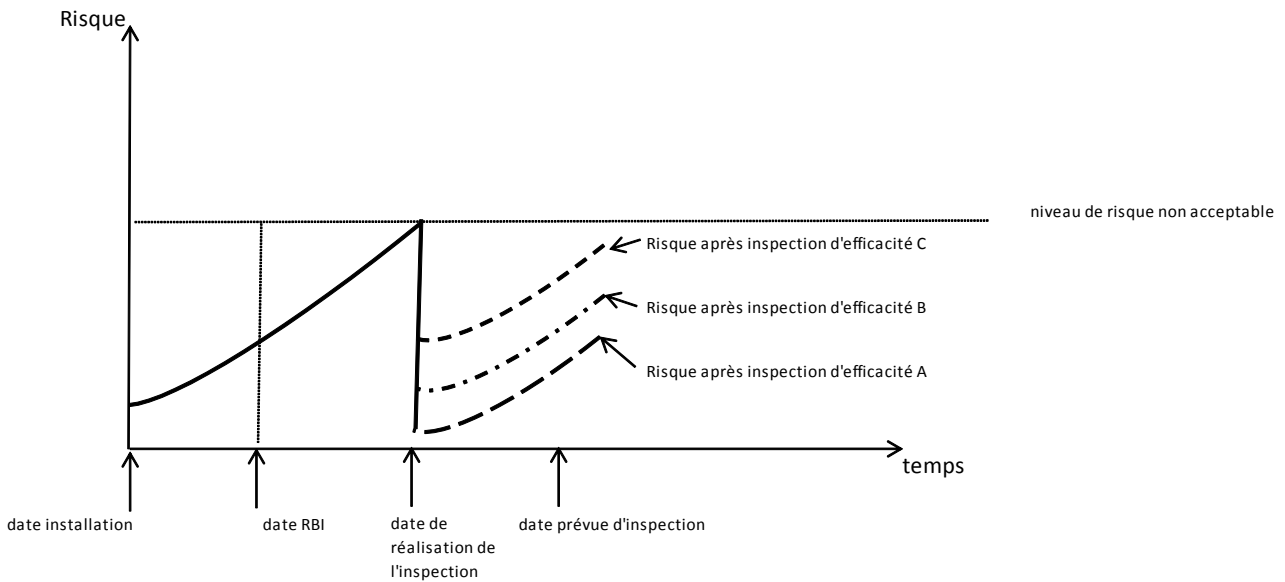
- Représenter l'évolution du risque en fonction du temps :  $R(t,le) = Pf(t,le) \times C$
- Positionner le niveau de risque non acceptable (généralement haut ou moyen haut)
- L'inspection doit être réalisée au plus tard à la date à laquelle le risque non acceptable est atteint

L'intervalle d'inspection est déterminé en considérant 3 cas de figure :

**Cas 1°**



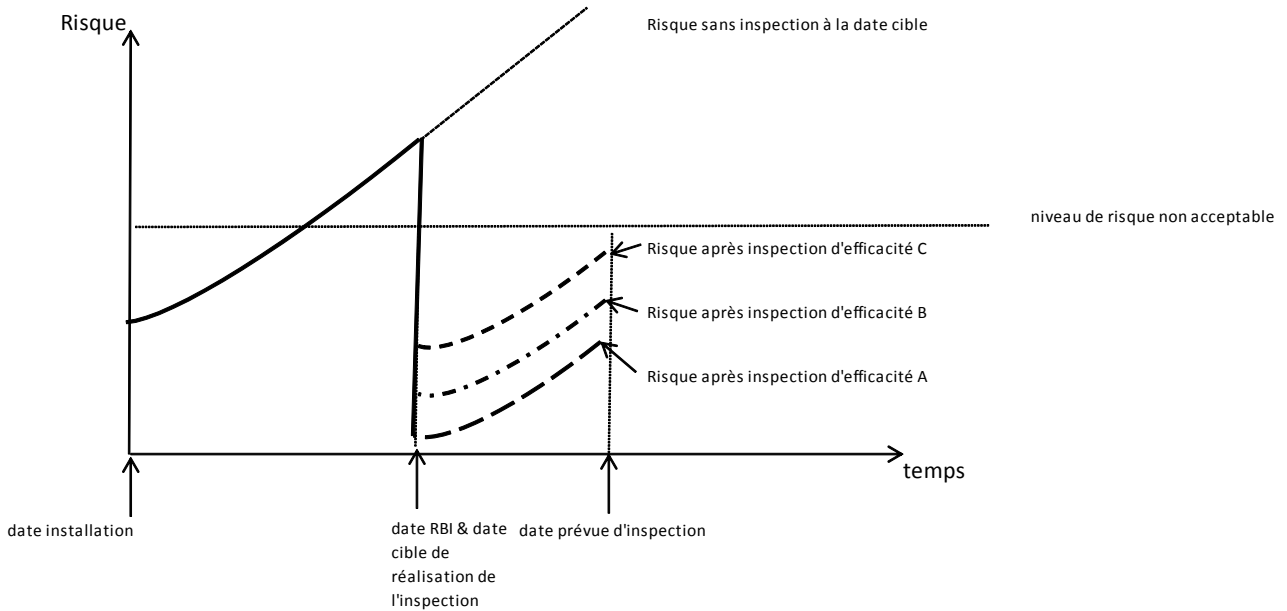
L'inspection doit être réalisée à la date à laquelle le niveau de risque non acceptable est prévu d'être atteint, c'est-à-dire avant la date prévue au plan d'inspection.



Cette inspection est réalisée avec un des niveaux d'efficacité précédemment défini (A, B, etc.), il en résulte une nouvelle valeur du risque en fonction du temps  $R(t,le) = Pf(t,le) \times C$ .

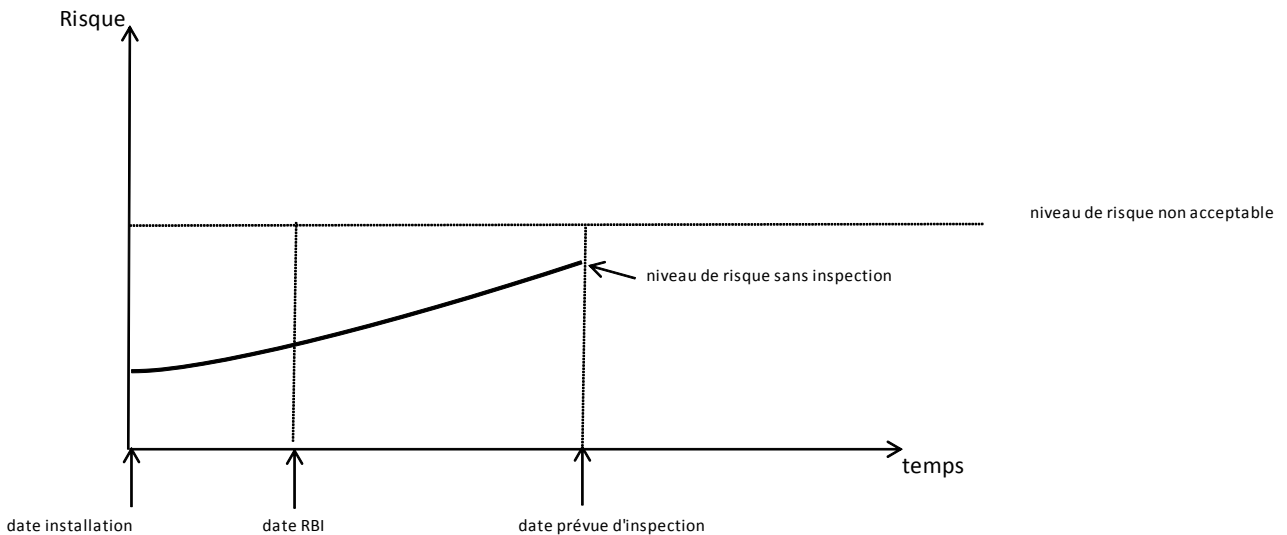
Le niveau de risque à un instant t est d'autant plus bas que le niveau d'efficacité de l'inspection est élevé (courbe post inspection indexées A,B,C etc. )

**Cas 2°**



L'inspection doit être réalisée au plus tôt car le niveau de risque atteint à la date de réalisation de l'analyse RBI est supérieur au risque non acceptable. Après réalisation de l'inspection la valeur du risque revient à une valeur inférieure au risque non acceptable et d'autant plus basse que l'efficacité de l'inspection est élevée.

**Cas 3**



A la date prévue de l'inspection le niveau de risque est inférieur au risque non acceptable, l'inspection peut être réalisée au-delà de la date prévue par le plan d'inspection.