

N°...../DTEH/2021

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université M'Hamed Bougara-Boumerdes
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Transport et Equipements des Hydrocarbures

Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydrocarbures

Option : Génie mécanique : Transport et distribution des hydrocarbures

Présenté par : Bougareche Mehnan et Boukerfa Oussama

THEME

***CONCEPTION D'UN BAC DE STOCKAGE A TOIT FLOTTANT A
DOUBLE DECK***

Devant le jury :

Tikobaini Mourad
Bouhafs Smail

Promoteur

Bouزيد Rachid

Boumerdès : 2021

Remerciements

Nous exprimons toute notre gratitude à l'encadreur Mr. Bouzid Rachid pour l'effort fourni, les conseils prodigués, sa patience et sa persévérance dans le suivi.

Nous présentons nos chaleureux remerciements aux enseignants du Département Transport pour leur aide et leurs orientations

Durant notre formation Nous remercions aussi

Nos remerciements enfin à toute personne qui a contribué de près ou de loin l'élaboration de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce Modest travail

*Aux deux être les plus chers, les plus honores et le plus
proches à mon cœur*

*Ceux qui ont veillé sur moi pour devenir ce qui je suis, et
ont sacrifié leurs bons moments pour m'Eclairer le chemin
du succès et la réussite. **Mes très chers parents***

A mon cher frère Et à ma chère sœur

*A tous mes chers amis chacun a son nom
(Spécialement Fouad, Abdou et Aymen)*

A Mon cher Binôme Bouga

Et à tous ceux qui j'ai oublié involontairement

Boukerfa Oussama

Dédicace

Je dédie ce Modest travail

*Aux deux être les plus chers, les plus honores et le plus
proches à mon cœur*

*Ceux qui ont veillé sur moi pour devenir ce qui je suis, et
ont sacrifié leurs bons moments pour m'Eclairer le chemin*

*du succès et la réussite. **Ma mère et Mon père***

*A mon cher frère Ahmed Et à mes chères sœurs (Zahra,
Gigi, Zina et Mimi)*

*A tous mes chers amis chacun a son nom (spécialement
Abdou, Fouad, Hmida, Mohamed, Ilyes, Sidou)*

A Mon cher Binôme Oussama

Et à tous ceux qui j'ai oublié involontairement

BOUGARECHE Mehnan

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Abreviations

Introduction 01

Chapitre I : Généralités sur les réservoirs

I.1	Introduction	02
I.2	But de stockage	02
I.3	Classification des reservoirs	02
I.4	Description et les équipements des bacs	03
I.5	Les types des reservoirs	03
I.5.1	Réservoirs cylindriques verticaux	03
I.5.1.1	Cuves ouvertes	04
I.5.1.2	Réservoirs à toit fixe	04
I.5.1.3	Réservoirs à toit flottant	05
I.5.2	Réservoirs cylindriques horizontaux.....	07
I.5.3	Réservoirs sphériques	08
I.5.4	Réservoirs sphéroïdaux sphériques	08
I.6	Les accessoires de réservoir à toit flottant	09
I.6.1	Accessoires de lutte contre la surpression	09
I.6.2	Accessoires de visite et nettoyage.....	10
I.6.3	Accessoires de contrôle.....	11
I.6.4	Accessoires de sécurité.....	12
I.7	Joint d'étanchéité pour toit flottant.....	14
I.7.1	Choix du type de joint.....	14

Chapitre II : Calcul et vérification de construction du bac de stockage

II.1	Géométries des réservoirs.....	16
II.1.1	Calcul de la hauteur de réservoir	16
II.1.2	Calcul du nombre des viroles	17
II.1.3	Choix des matériaux.....	17
II.2	Etude climatique.....	18
II.2 .1	Introduction.....	18
II.2.2	Étude du vent.....	18
II.2.3	Actions extérieurs.....	20
II.2.4	Actions intérieurs	22
II.2.5	Actions résultants unitaires sur les parois.....	22

II.2.6 Charge de vent	23
II.3 Calcul du fond	25
II.3.1 Tôles centrales	25
II.3.2 Tôles marginales.....	26
II.3.3 La soudure	27
II.4 Calcul de la robe	28
II.4.1 Calcul des épaisseurs de la robe.....	29
II.4.2 Le soudage	41
II.4.3 Cornière de rive	41
II.5 Calcul du Toit	42
II.5.1 Les équipements de toit.....	42
II.5.2 Calcul des événements sur toit.....	43
II.6 Joint d'étanchéité robe / toit flottant.....	46

Chapitre III : Stabilité et flottabilité

III.1 Vérification de stabilité du réservoir	47
III.1.1 Stabilité du réservoir sous le vent	47
III.1.2 Calcul de la poutre au vent.....	48
III.1.3 Stabilité du réservoir au vent	49
III.1.4 Stabilité du réservoir au séisme.....	52
III.2 Vérification de la flottabilité.....	55

Chapitre IV : Montage et soudage

IV.1 Montage de réservoir.....	57
IV.1.1 Préparation du chantier (travaux de génie civil)	57
IV.1.2 Technologie de montage	58
IV.1.2.1 La méthode industrielle.....	58
IV.1.2.2 La méthode tôle par tôle	58
IV.1.2.2 Exécution.....	58
IV.1.2.3 Préparation des tôles.....	58
IV.1.3 Montage du fond	59
IV.1.3.1 Séquences de montage	59
IV.1.3.2 Contrôles	60
IV.1.4 Montage de robe 3	60
IV.1.4.1 Séquences de montage	60
IV.1.4.2 Recommandations	61
IV.1.5 Montage toit flottant	62
IV.1.5 .1 Séquences de montage	62
IV.1.5 .2 Contrôles	63
IV.1.6 Montage et soudage de la cornière de rive.....	63
IV.1.7 Montage tubulures et accessoires.....	64
IV.1.8 Contrôles du réservoir.....	64
IV.2 Soudage	65

IV.2.1 Procèdes de soudage	65
IV.2.2 Métaux de base	65
IV.2.3 Métaux d'apport	66
IV.2.4 Stockage et étuvage des produits d'apport	66
IV.2.5 Préparation des joints	66
IV.2.6 Techniques de soudage	66
IV.2.6.1 Pointage	67
IV.2.6.2 Propreté des chanfreins et des cordons de soudure	67
IV.2.6.3 Technique de soudage	67
IV.2.7 Soudage des pièces d'attache provisoires	67
IV.2.7.1 Soudage	67
IV.2.7.2 Elimination	67
IV.2.7.3 Rechargement.....	68
IV.2.8 Réparation des défauts.....	68
IV.2.9 Qualification des soudeurs et operateurs.....	68
IV.3 Le soudage du fond.....	68
IV.4 Le soudage de la robe.....	69
IV.5 Le soudage de toit	70

Chapitre V: Essais et Protection

V.1 Contrôles et essais.....	72
V.1.1 Contrôle visuel et dimensionnels	72
V.1.2 Contrôle sous vide	72
V.1.3 Contrôle par kérosène	72
V.1.4 Contrôle radiographique.....	72
V.1.5 Contrôle de la verticalité du réservoir.....	72
V.1.6 Séquences des essais hydrostatiques.....	72
V.1.7 Inspections et examens.....	73
V.2 Système de Protection.....	74
V.2.1 Réseau d'alerte et de détection Gaz	74
V.2.2 Le système de refroidissement	74
V.2.3 Fonctionnement de la pomperie	74
V.2.4 Système à mousse	75
V.2.5 Système de mesure de niveau et de température	75
V.2.6 Vannes motorisées	75

Chapitre VI : Dégradation, Défaillance et les Dangers dans les bacs de stockage

VI.1 Introduction.....	76
VI.2 Phénomènes de dégradation et de défaillance du bac de stockage...	76
VI. 2.1. Corrosion.....	76
VI. 2.2. Affaissement et problèmes associés.....	76
VI.2.2.1. Tassement uniforme du réservoir.....	77
VI. 2.2.2.Inclinaison de l'ensemble du réservoir.....	77
VI.2.2.3. Tassements non uniformes.....	77
VI.2.3 Défaillance de structure du réservoir.....	78
VI.2.4 Dégradations liées au fonctionnement cyclique	79
VI. 2.5. Dégradation des assises.....	79
VI. 2.6. Fissuration.....	80
VI. 2.6.1.Fissuration par corrosion.....	80
VI. 3 Les Dangers potentiels sur le site.....	81
VI. 3.1 Fire Ball (Boule de feu) :.....	81
VI. 3.2.Pool Fire (Feu de nappe).....	81
VI. 3.3.Flash Fire (Feu éclair).....	81
VI. 3.4 Explosion (UVCE).....	81
VI. 3.5 Dispersion d'un nuage de vapeur inflammable.....	81
Conclusion.....	82

Liste des figures

I. Généralités sur les réservoirs :

Fig. I.1: Cuve ouverte.....	04
Fig. I.2: Réservoir à toit Fixe.....	05
Fig. I.3: Réservoir à toit flottant à deux ponts.....	06
Fig. I.4: Réservoir à toit flottant interne.....	06
Fig. I.5 : Réservoirs cylindriques horizontaux.....	07
Fig. I.6: Réservoir sphérique.....	08
Fig. I.7: Réservoir sphéroïdaux.....	09
Fig. I.8: les événements.....	10
Fig. I.9: Le trou d'homme.....	10
Fig. I.10: Escalier et l'échelle.....	11
Fig. I.11: Accessoires de contrôle des bacs.....	12
Fig. I.12 : La cuvette de rétention.....	12
Fig. I.13: Le réseau d'incendie.....	13
Fig. I.14: Injecteur de mousse.....	13
Fig.I.15: Joint secondaire.....	15

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

Fig.II.1: Le coefficient de pression C_e	21
Fig.II.2: Actions résultants unitaires sur les parois d'un Réservoir plein.....	22
Fig.II.3: Actions résultants unitaires sur les parois d'un Réservoir vide.....	23
Fig.II.4: Fond de bac.	25
Fig.II.5:Recouvrement a deux tôles.	25
Fig.II.6: Recouvrement des tôles marginales.	26
Fig.II.7: la soudure entre la tôle marginale et la robe.	27
Fig.II.8: La robe.	28

III. Stabilité de réservoir – Flottabilité de toit

Fig.III.1: raidisseur.	48
Fig.III.2: la poutre au vent.	48
Fig.III.3:Le toit.	55
Fig.III.4: Le toit avec le drain principal considéré comme inopérant.....	56

IV. Montage et soudage

Fig.IV.1: Fondation du bac.....	57
Fig.IV.2: Plate-forme du bac.	57
Fig.IV.3: Montage de fond.	59
Fig.IV.4: Montage de la robe.	61
Fig.IV.5: Montage du toit.	63
Fig.IV.6: Bac de stockage.	64

VI. Dégradation, Défaillance et les Dangers d'un bac de stockage

Fig. VI.1: Fatigue corrosion.	81
------------------------------------	----

Liste des tableaux

I. Généralités sur les réservoirs :

Tableau I.1 : Classification des réservoirs	02
---	----

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

Tableau II.1 : les Choix des matériaux pour la construction du réservoir	17
Tableau II.2 : Largeur de soudure.....	27
Tableau II.3 : Contrainte des matériaux	29
Tableau II.4 : épaisseur minimale des tôles de la robe.....	29
Tableau II.5 : Tableau récapitulatif du calcul des épaisseurs de la robe.....	41
Tableau II.6 : Les dimensions minimales de la cornière de rive.....	41

III. Stabilité de réservoir – Flottabilité de toit

Tableau III.1 : Hauteur des viroles.....	47
--	----

IV. Montage et soudage

Tableau IV.1 : Procédés de Soudage	65
Tableau IV.2 : Métaux d'apport.....	66

Abréviations

API : American Petroleum Institute
ASTM : American Society for Testing and Materials
D : diamètre du réservoir
r : rayon du réservoir
H : hauteur du réservoir
H₀ : hauteur maximal de remplissage
CA : surépaisseur de corrosion de la virole
T_s : température de service
T_c : température de calcul
P_s : pression de service
P_c : pression de calcul
V : vitesse du vent
F_y : limites élastique minimal
S_d : contrainte admissible de calcul
S_r : contrainte admissible pour l'essai hydrostatique
L_m : Largeur adoptée
CA_F : surépaisseur des tôles centrales du fond
CA_d : surépaisseur des tôles marginales du fond
t_d : épaisseur design de la virole
t_t : épaisseur teste hydrostatique de la virole
t_c : épaisseur calcul de la virole
t : épaisseur adoptée de la virole
t_u : épaisseur corrodée de la dernière virole.
V : la vitesse du vent
W_i : hauteur de la virole considérée
t_{si} : épaisseur corrodée de la virole considérée
t_{sb} : épaisseur de la tôle marginale corrodée
F_{by} : limite élastique minimale de la tôle marginale
Z : coefficient de la zone séismique (accélération sismique horizontale)
I : facteur d'importance
C_t : coefficient de l'effort sismique latéral
W_s : poids de la robe avec accessoires
X_s : hauteur du centre de gravité de la robe
W_r : poids du toit avec accessoire
W_T : poids du contenu du réservoir
S : coefficient de site
K : facteur de conversion
C₁ : coefficient de l'effort sismique latéral
F_{tr} : limite élastique minimale de la 1ère virole
α : facteur de la pression du poids du toit supporte par la robe
G : poids total du toit avec accessoires
SE : contrainte du a la surcharge d'exploitation
ρ : densité
NFPA : National Fire Protection Association
SMAW : Shielded Metal Arc Welding
ARH : Autorité de Régulation des Hydrocarbures
WPS : Procédure de soudage (Welding Procedure Specification)
PQR : Qualification de la procédure de soudage (Procédure Qualification Record)
NDE : Examen non destructive (Non Destructive Examination)
USD : united States dollar
UVCE : unconfined vapour cloud explosion

Introduction

Introduction :

L'industrie pétrolière a pour principale caractéristique la mise en œuvre de tonnage très important d'hydrocarbure. Sous forme liquide ou gazeuse, elle se trouve dans l'obligation de prévoir d'énormes capacités de stockage. Cette tendance va s'accroître avec l'augmentation mondiale de la consommation d'énergie.

Le stockage des ressources énergétiques est non seulement nécessaire pour compenser les fluctuations d'approvisionnement dues à toutes sortes d'aléas lors de la production, du transport et du raffinage, ou les variations de la consommation, qui dépendent notamment des conditions météorologiques. Il est aussi stratégique pour assurer un minimum d'autonomie énergétique du pays consommateur.

Et pour cela l'industrie a recours à des réservoirs de formes diverses et de conceptions différentes, étudiés pour s'adapter le plus rationnellement et le plus économiquement possible aux caractéristiques du produit à traiter.

Notre stage pratique a eu lieu au niveau de la région transport Est (RTE) Skikda qui est l'une des sept régions de la division exploitation de la branche TRC de l'entreprise SONATRACH, précisément au niveau du département d'exploitation liquide (EXO). Son Siège, implanté au sein de la zone industrielle des hydrocarbures, est situé à l'Est de la ville de Skikda. Le service terminal arrivé gère la réception du pétrole, et son stockage au niveau de deux parcs qui se compose de 14 bacs de pétrole brut et 05 bacs de condensât à toit flottant double deck. Cette solution technique permet d'obtenir l'élimination presque totale de l'espace vapeur au-dessus du liquide.

Ainsi, il nous a été demandé une conception et un calcul d'un bac de stockage de condensat de volume 51232 m^3 . Notre travail a été fait conformément aux normes et les règles édictées pour ce genre de stockage, à savoir : API 650 STD 11eme Edition, Euro code 3 NV65.

Le travail a été structuré comme suit :

Chapitre I :

Généralités sur les bacs de stockage et leur constitution.

Chapitre II :

Les calculs nécessaires pour le dimensionnement des éléments principal (robe, fond et toit).

Chapitre III :

La vérification des contraintes (renversement, étude dynamique, stabilité)

Chapitre IV :

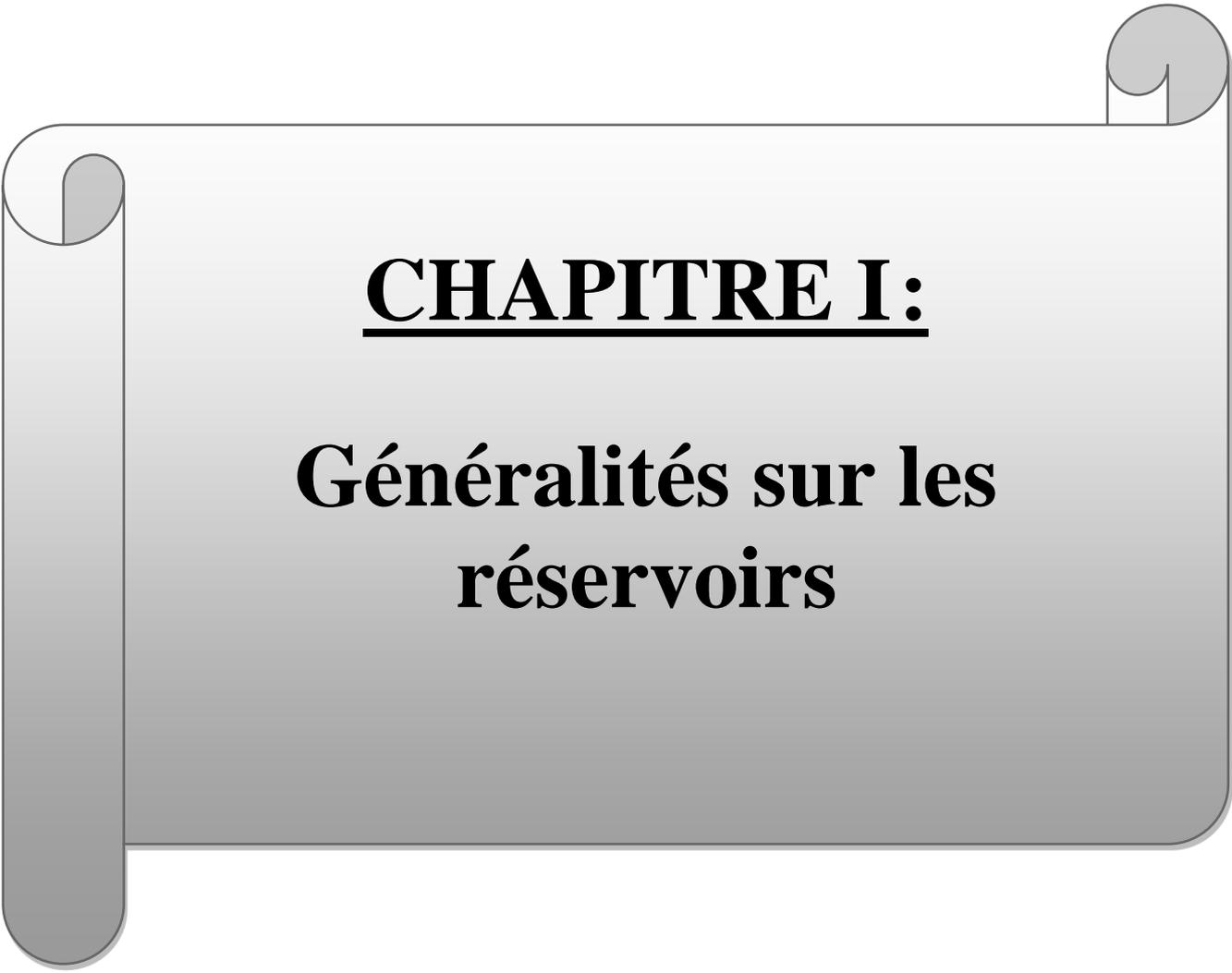
La description de la procédure de montage et soudage.

Chapitre V :

Les différents contrôles et essais à effectuer avant la mise en œuvre du bac d'une façon opérationnel.

Chapitre VI :

Et pour conclure on a fait signe aux risques et les dangers redoutés sur site pour le bac de stockage.



CHAPITRE I:

**Généralités sur les
réservoirs**

I .Généralités sur les réservoirs

I.1 Introduction :

Pour répondre à la grande variété des produits liquides industriels à stocker, les constructeurs ont recours à des réservoirs de formes diverses et de conceptions différentes, étudiés pour s'adapter le plus rationnellement et le plus économiquement possible aux caractéristiques du produit à traiter.

La configuration d'un réservoir dépend de deux impératifs essentiels qui sont, d'une part, la conservation du produit en limitant ou en interdisant les évaporations et d'autre part la tenue de la structure à la pression interne développée par le produit ou maintenue à un certain niveau pour faciliter l'exploitation.

Il existe une grande variété de réservoirs de stockage, ils peuvent être construits sur le sol, dans le sol et sous terre. De forme, ils peuvent être cylindriques verticaux, horizontaux cylindriques, sphériques ou rectangulaires,

La forme cylindrique est la plus courante en raison de sa simplicité de mise en Œuvre et de sa bonne résistance à la pression interne. Lorsque la pression interne est importante, on a recours à des formes sphériques mieux adaptées que les cylindres et qui permettent de réduire les épaisseurs de paroi.

Les réservoirs nécessitent plusieurs accessoires qu'ils assurent le bon fonctionnement

I.2 But de stockage :

- Le stockage du pétrole et du gaz consiste à immobiliser temporairement certains volumes de pétrole ou de gaz dans des capacités de stockage appelées appareils à pression ou réservoirs selon que le produit stocké est ou n'est pas sous pression.
- Permet la continuité de la production et de l'exploitation
- Permet de contrôler la qualité de produit expédié
- Permet le dégazage naturel pour l'élimination des gaz indésirables

I.3 Classification des reservoirs

Critères	classification
Matière utilise	Acier – Béton arme
Forme	Cylindrique verticale– Cylindrique horizontale –Sphérique–Sphéroïdique
Position par rapport Au niveau de sol	Aériens–Semi-enterrés–Souterrain
Leur exploitation	Fixes–Mobiles –Semi-fixe

Tableau I.1

I.4 Description et équipements des bacs :

- **La robe** : C'est une paroi verticale constituée de tôles cintrées au diamètre de réservoir
- **La virole** : C'est un anneau constitué de tôles dont la succession donne la robe.
- **La cuvette** : C'est un compartiment construit autour d'un bac ou d'un ensemble de bacs destinés à réserver le contenu du bac ou de l'ensemble de bacs en cas de fuite accidentelle.
- **Le fond** : C'est la base du réservoir, il est fait également d'un ensemble de tôles.
- **L'assise** : C'est la fondation sur laquelle repose le réservoir.
- **Le toit** : C'est la partie supérieure du réservoir, il est fait d'un assemblage de tôles . Il peut être fixe ou flottant
- **Équipement d'accès** : escaliers, gardes de corps et les échelles.
- **Équipement de visite** : trous d'homme.
- **Équipement de mesure de niveau de produits** : jaugeage est une technique de détermination de la hauteur du produit dans un réservoir (manuel ou automatique)
- **Équipement de sécurité** : les soupapes, les couronnes d'eau et de mousse, les paratonnerres

I.5 Les types des réservoirs

I.5.1 Réservoirs cylindriques verticaux :

Appelés communément réservoirs, ils reposent directement sur le sol ou sur une fondation par l'intermédiaire d'un fond plat.

Ils sont habituellement équipés soit d'un toit fixe conique ou sphérique, soit d'un toit flottant qui repose sur le liquide et coulisse dans le piston formé par la robe du réservoir. Dans quelques cas assez rares, ces réservoirs sont de simples cuves à ciel ouvert, sans toit, la surface du liquide stocké étant alors directement exposée à l'atmosphère.

Lorsque ces réservoirs doivent supporter une légère pression, leur toit est généralement de forme sphérique et leur fond en périphérie peut être ancré sur une fondation circulaire en béton. Pour éviter ces ancrages et la fondation qu'ils impliquent, le fond plat peut être remplacé par un fond sphérique concave qui équilibre les effets de la pression sur le toit.

I.5.1.1 Cuves ouvertes :

Ce type ne comporte pas de toit et leur emploi est limité aux quelques liquides que l'on peut exposer à l'air libre sans danger pour leur qualité ou pour l'environnement,

Ce type de réservoir est principalement destiné au stockage « d'eau d'incendie ou industrielle».

Ces cuves ouvertes sont constituées essentiellement d'un fond, d'une robe et d'une poutre raidisseurs au sommet de la robe.

Les cuves ouvertes sont des réservoirs de types aériens

En l'absence de toit, la partie haute de la robe doit être renforcée par une poutre raidisseuse, pour conserver sa rotondité sous l'action du vent.

Cette poutre est placée en principe à un mètre du sommet. Quand elle est assez large, elle est utilisée comme passerelle de circulation autour du réservoir.



Fig. I.1: Cuve ouverte.

I.5.1.2 Réservoirs à toit fixe:

Le toit fixe est d'une construction simple et, selon la taille du réservoir, il peut être de différentes formes :

Toit plat: Le toit plat est destiné aux réservoirs de stockage de petit diamètre sans aucun support.

Toit conique autoportant: Le toit est de forme conique, mais il est autoportant du fait de la rigidité offerte par la forme du toit.

Toit conique soutenu au centre: Le toit conique est soutenu au centre et est généralement utilisé pour les réservoirs de taille moyenne.

I .Généralités sur les réservoirs

Toit conique supporté: Le toit est supporté à plusieurs endroits, selon les besoins, pour prendre en charge la charge du toit ainsi que les autres charges mobiles et statiques attendues.

Toit conique supporté extérieurement: Le toit de ce type est supporté extérieurement même au moyen de colonnes extérieures à la coque de réservoir.



Fig. I.2: Réservoir à toit Fixe.

I.5.1.3 Réservoirs à toit flottant

Ils présentent trois avantages :

- Réduction des pertes par évaporation
- Diminution des risques d'incendie
- Diminution de la pollution atmosphérique (odeurs)

Ceci est obtenu par l'élimination presque totale de l'espace vapeur au-dessus du liquide. Les pertes à l'atmosphère de produits volatils par "respiration" (vidange et remplissage alternatifs et changement de température entre le jour et la nuit) sont ainsi pratiquement éliminées.

- **RTF externe:**

***Toit à simple pont:** Ceci est commun pour un toit flottant pour des diamètres allant de 10 à 30 m. Le toit est simplement un pont en acier avec un compartiment annulaire qui assure la flottabilité.

***Toit à deux ponts:** Les toits à deux étages sont conçus pour une large gamme de diamètre, y compris ceux de plus de 30 m de diamètre. Ils sont très solides et durables grâce au double pont et conviennent donc aux réservoirs de grand diamètre.

I. Généralités sur les réservoirs

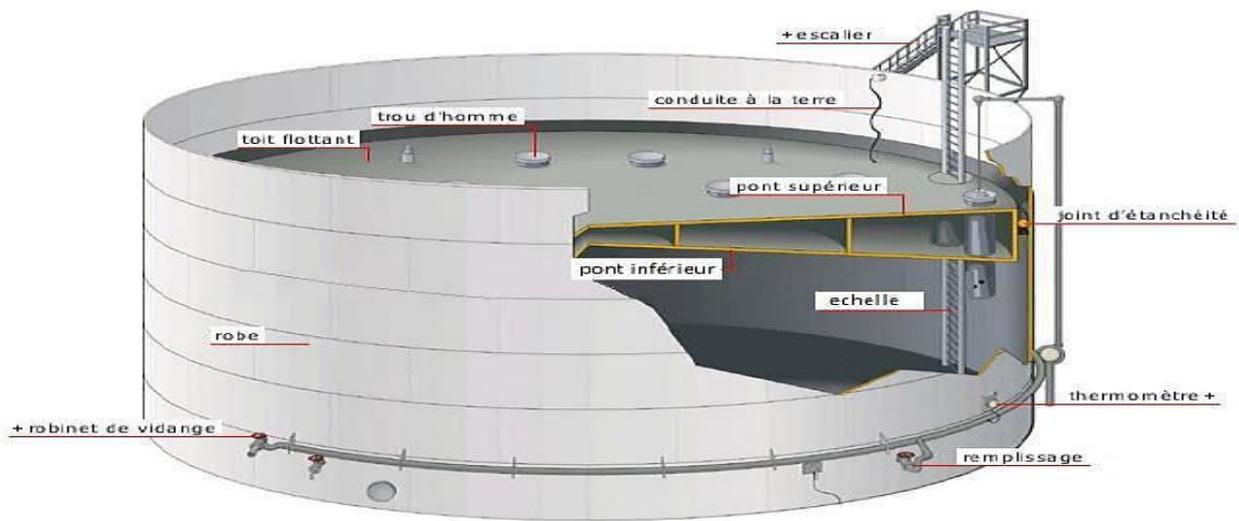


Fig. I.3: Réservoir à toit flottant à deux ponts.

- **RTF interne:**

Utilise pour le stockage de produit le plus volatils et les très dangereux, ce type est équipé d'un toi fixe et toi flottant repose directement sur le liquide donc il minimise les pertes par vaporisation

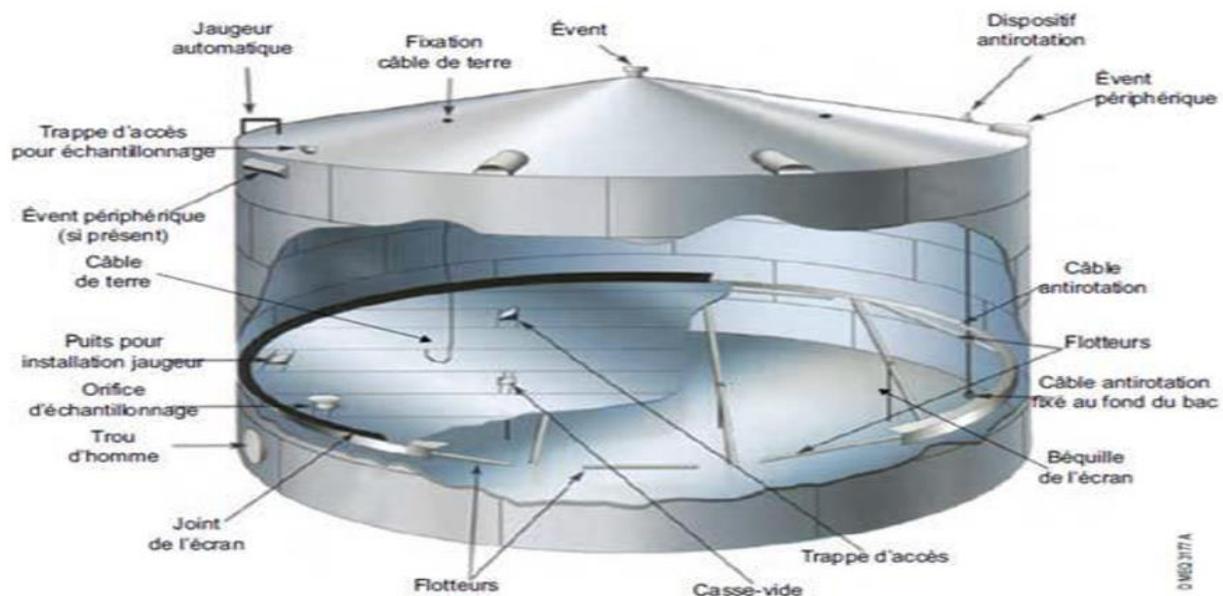


Fig. I.4: Réservoir à toit flottant interne.

I .Généralités sur les réservoirs

I.5.2 Réservoirs cylindriques horizontaux :

Ils sont installés au-dessus du sol sur des berceaux supports. Leurs extrémités sont terminées par des fonds emboutis hémisphériques, torisphériques ou elliptiques.

La majorité de ces réservoirs présente un diamètre de 1.5 m à 3 m et volume entre 100 à 2000 m³. Ces récipients sont destinés aux stockages sous forte pression, mais leur emploi est limité généralement à de faibles capacités. Ces réservoirs couvrent essentiellement le domaine du stockage sous forte pression des gaz liquéfiés.

Ces produits très volatils présentent à température ambiante des tensions de vapeur élevée.

Le stockage de ces gaz liquéfiés est effectué sous des pressions effectives qui restent en général inférieures à 30 bars, pour la plupart des gaz et pour une température maximale d'étude de l'ordre de 50° C.



Fig. I.5 : Réservoirs cylindriques horizontaux

II.5.3 Réservoirs sphériques :

Appelé aussi sphères, ce type est pour ce qui concerne les raffineries, sont stockés sous pression des produits sous phase liquide tel que le propane, le butane Leur rayon est compris entre 5 et 10 m, pour un volume de 500 à 4500 m³. La masse stockée varie selon la densité de la phase de liquide de produit stocké. Pour une sphère de 1000 m³ la masse varie de 400t (propane) à 700t (oxyde d'éthylène).L'épaisseur de la paroi est toujours supérieure à 10 mm .Ce réservoir doit résister a des pressions internes de 8 à 9 bars pour le butane jusqu'à 25 bars pour le propane.

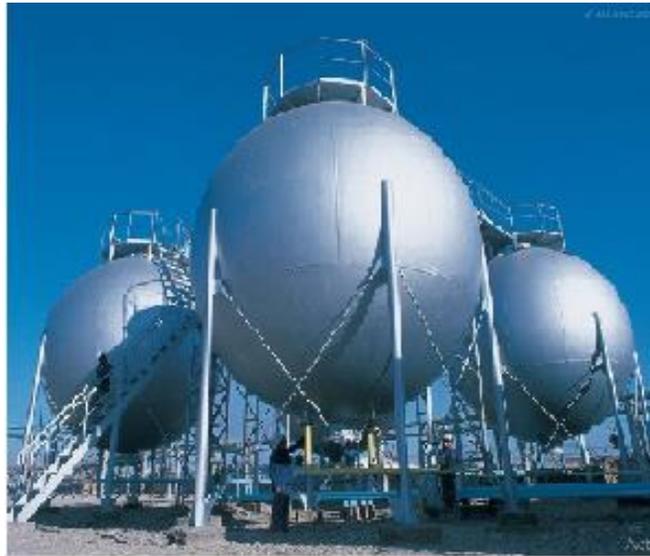


Fig. I.6: Réservoir sphérique.

II.5.4 Réservoirs sphéroïdaux :

Ils sont le plus souvent appelés sphéroïdes. Pour certains produits sous pression moyenne, on peut recourir à des formes sphéroïdales dont la partie inférieure repose directement sur le sol préalablement préparé pour épouser la forme du réservoir. Cette formule de stockage n'est cependant pratiquement plus employée en raison du faible intérêt économique qu'elle présente en regard des difficultés de construction.

Ces réservoirs stockent les mêmes produits que les ouvrages cylindriques verticaux, mais également des produits plus volatils comme, par exemple, l'isopentane. Ils sont aussi souvent utilisés sur les champs d'extraction pour le dégazage des pétroles bruts émulsionnés, à la sortie des puits.

Les capacités maximales mises en œuvre habituellement n'excèdent pas 6500 m³. Pour cette taille, le diamètre à l'équateur est de l'ordre de 25 m et la hauteur totale de 20 m.



Fig. I.7: Réservoir sphéroïdaux.

I.6 Les accessoires du réservoir à toit flottant :

I.6.1 Accessoire de lutte contre la surpression :

- **Les soupapes** : ce sont des dispositifs automatiques qui laissent s'échapper l'excédent de vapeur une fois la pression de la phase gazeuse à l'intérieur du réservoir atteint une valeur-limite ou critique. Cette pression est appelée pression de tarage.
- **Les événements** : ce sont des ouvertures permanentes situées dans la partie supérieure de réservoir destinées à évacuer l'excédent de vapeur d'hydrocarbure par temps chaud



Fig. I.8: les événements

I.6.2 Accessoires de visite et nettoyage :

- **Trous d'homme :**

Au moins un trou d'homme devra être prévu sur le réservoir.

Le trou d'homme sur la robe est utilisé pour effectuer des travaux à l'intérieur du réservoir : acheminer les équipements nécessaires et accès des opérations pour exécuter les opérations d'entretien et de nettoyage.



Fig. I.9: Le trou d'homme

I .Généralités sur les réservoirs

- **Un escalier et une échelle :**

Un escalier de forme hélicoïdale ou verticale, destinés aux opérations de vérification, de contrôle, de réparation et de nettoyage. L'échelle est celle-ci change de position lorsqu'un toit se déplace pour un toit flottant.



Fig. I.10: Escalier et l'échelle

I.6.3 Accessoires de contrôle :

- **Le manomètre:** Le manomètre d'indication de pression permet de contrôler la pression à l'intérieur du bac pour maintenir la pression d'épreuve constante.
- **Le dispositif de prise d'échantillon:** Celui-ci sert à prendre des échantillons, à mesurer la qualité du produit et relever la température.
- **Le dispositif de purge:** Il sert à évacuer les impuretés qui se trouvent mélangées avec le produit au fond du réservoir. Le liquide drainé sera acheminé dans les réseaux d'huiles, puis vers un séparateur.
- **L'indicateur de niveau:** Celui-ci permet de relever le niveau du liquide dans le réservoir et au comptage du volume du produit au remplissage et ou à la vidange de celui-ci. La détermination du niveau du produit dans le réservoir se fait avec les indicateurs de niveau à flotteur qui suit le niveau du liquide. Dans le cas où il n'y aurait pas de flotteur, on détermine le niveau du produit à l'aide d'une jauge manuelle.

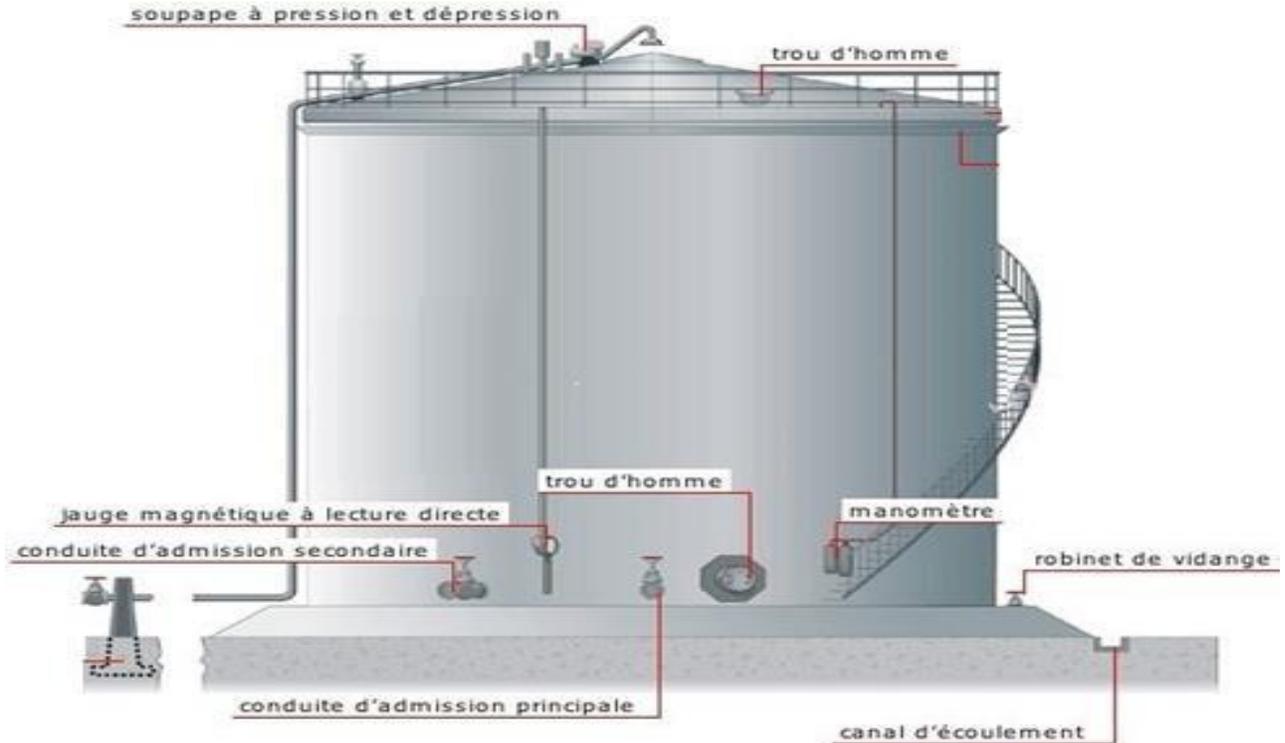


Fig. I.11: Accessoires de contrôle des bacs

I.6.4 Accessoires de sécurité :

- **La cuvette de rétention:**

Elle est destinée à recevoir le 75% du contenu du réservoir en cas des fuites. Les cuvettes qui contiennent plusieurs réservoirs, doivent être divisées en compartiments dont le nombre est déterminé en fonction de la capacité totale des réservoirs.



Fig. I.12 : la cuvette de rétention

I .Généralités sur les réservoirs

- **Les dispositifs d'alarme NH et NB:** Ceux-ci émettent un signal sonore dès que le produit atteint son niveau haut (NH) et son niveau bas (NB).
- **Les vannes de sécurité:** Elles sont destinées à protéger le réservoir contre les surpressions et les dépressions. Elles sont au nombre de deux (02). La vanne de sécurité pour la zone annulaire se trouve entre toit (flottant) et la robe et la vanne de décharge automatique.
- **Le réseau d'incendie:** Celui-ci est équipé par des conduites d'eau et de mousse refoulée sous pression par un système de pompes.



Fig. I.13: Le réseau d'incendie

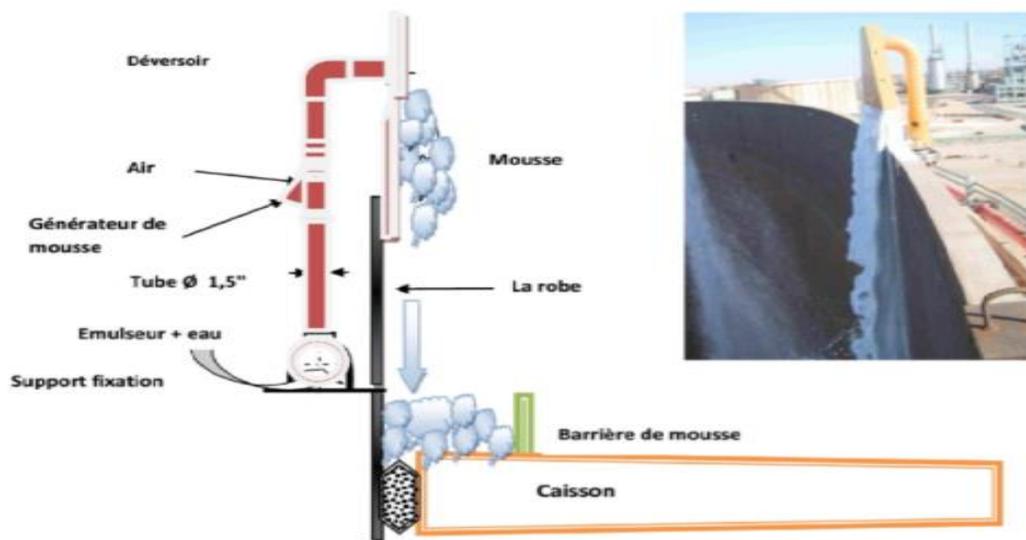


Fig. I.14: Injecteur de mousse

I.7 Joint d'étanchéité pour toit flottant :

Le composant le plus important d'un toit flottant est le joint d'étanchéité. Il est installé sur son périmètre, contre la robe du réservoir. Le joint doit à la fois fermer le plus efficacement possible l'espace annulaire compris entre la robe et le toit flottant, afin d'empêcher les évaporations, mais aussi permettre au toit de coulisser librement dans le réservoir pour suivre les fluctuations du liquide. Le joint doit aussi posséder une capacité de déformation radiale suffisante, afin de s'accommoder des défauts de rotondité et de verticalité de la robe, ainsi que des mouvements du toit, sous l'action d'une force latérale (vent, turbulences du produit).

L'espace annulaire est en principe de 200 mm pour les toits flottants externes, et jusqu'à 300 mm pour les diamètres supérieurs à 80 m. Pour les toits flottants internes, on a en général un espace de 150 mm, jusqu'à 200 mm pour les diamètres supérieurs à 50 m. Les joints sont de plus conçus pour permettre, en cas de nécessité, leur compression jusqu'à une largeur minimale de 75 mm en un point de la périphérie, tout en restant bien sûr en contact avec la robe sur toute sa longueur.

Principaux types de joints sont employés :

- Joint mécanique avec patins métalliques.
- Joint élastique en mousse ou avec liquide.
- Joint flexible à lèvre ou métallique.

Les joints sont un des points faibles des réservoirs à toit flottant. De ce fait, quelques réservoirs sont équipés de systèmes de détection des feux de joint. Ces systèmes sont constitués généralement autour du détecteur de flammes.

I.7.1 Choix du type de joint :

Un choix judicieux du type de joint particulier pour un bac ou un autre dépend essentiellement du type de produit stocké, et de la conception du toit.

Egalement, on doit tenir compte des défauts de verticalité de la robe, car dans ces cas-là, le joint métallique est déconseillé.

Pour notre réservoir on a choisi le système d'étanchéité constitué d'un joint unique appelé joint primaire. Cette étanchéité principale peut être complétée, pour réduire encore les pertes de produits, par un autre joint de conception plus simple, placé au-dessus, et appelé joint secondaire. Son installation s'est généralisée en raison des réglementations actuelles sur la limitation de la pollution atmosphérique.

I .Généralités sur les réservoirs

➤ Joint primaire :

Le joint primaire est composé principalement de mousse d'uréthane élastique comprimé, qui par son expansion assure un contact étanche entre la robe et le toit. Cette mousse est enveloppée dans un tissu caoutchouté.

L'état de surface de la face interne de la robe devra être exempt d'aspérités tranchantes risquant de couper l'enveloppe.

Ce joint peut être utilisé en phase liquide ou en phase gazeuse pour des pétroles bruts non paraffinés et des produits pétroliers raffinés. Sa conception permet son installation et son enlèvement à partir du dessus de la robe.

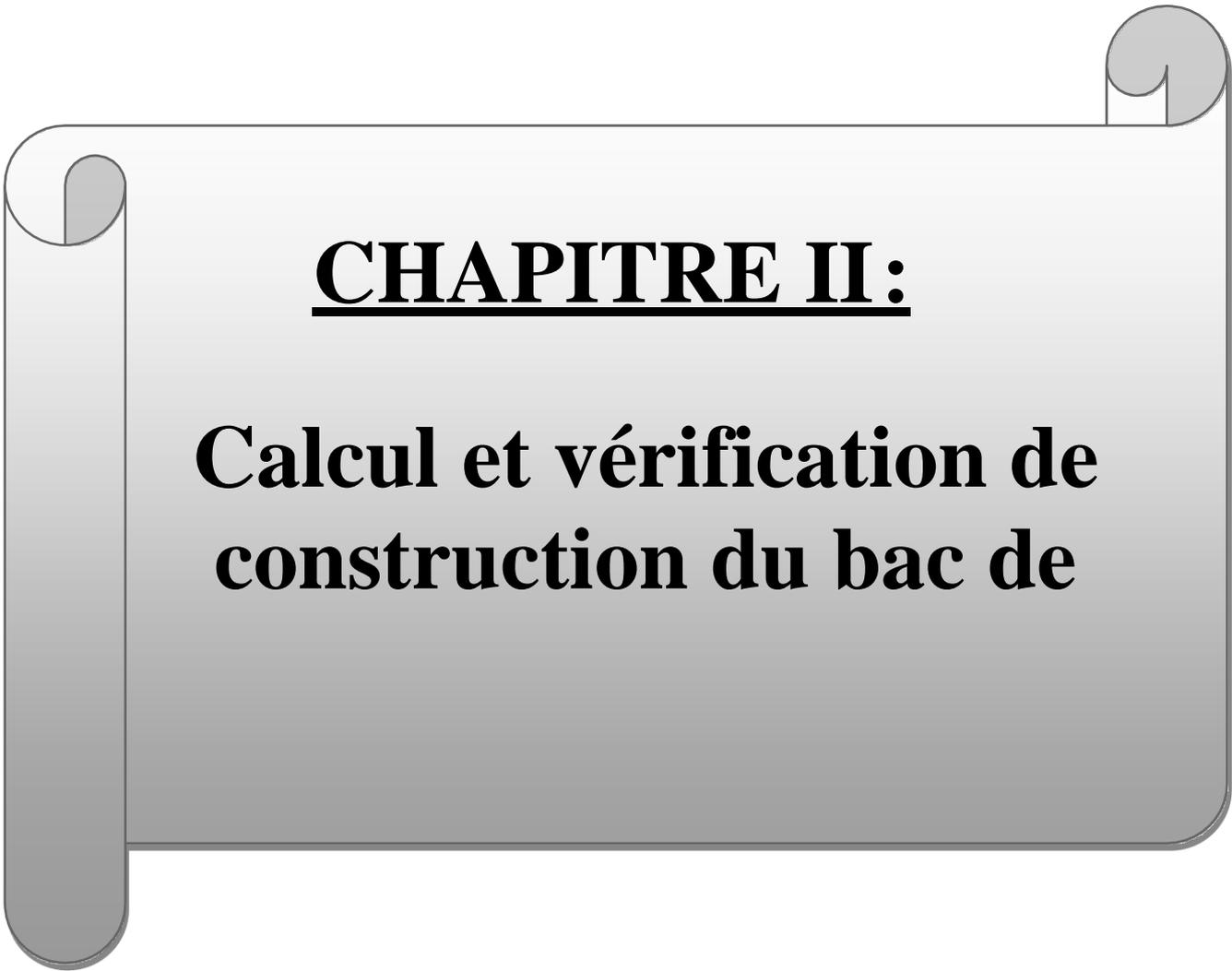
➤ Joint secondaire :

Ce joint est une barrière entre l'air ambiant et la phase vapeur du produit passant entre le joint principal et la robe.

C'est un joint flexible à lèvres, réalisé par une simple barrette en caoutchouc synthétique, comportant une armature métallique interne, ce joint est placé au-dessus du joint primaire et au-dessus de la bordure du toit flottant (Cette lèvre est plaquée en permanence contre la robe par flexion et assure l'étanchéité le long de robe.



Fig.I.15 : Joint secondaire

A decorative graphic of a scroll with a light gray gradient background and a dark gray border. The scroll is unrolled on the left and right sides, with the top corners curled up. The text is centered on the scroll.

CHAPITRE II:

**Calcul et vérification de
construction du bac de**

II.1 Géométries des réservoirs

Données de calcul:

Site : SKIKDA ; Nord-est de l'ALGERIE
Code : API Std 650 11^{ème} Edition [1]
Séisme : OUI
Neige : Non
Type de toit : Flottant-Double Deck
Produit stocké : Condensat

Type de réservoir : réservoir à toit flottant double Deck

Capacité du réservoir : 51232 m³

Diamètre du réservoir : 66.750 m (ce que permet l'espace réservé pour la construction du réservoir)

Densité du produit : 0.8

Températures données:

T_s: Service T_s = 55 °C T_c:
T_c: Calcul T_c = 93 °C

Pressions données :

P_s: Service P_s = Atmosphérique
P_c: calcul P_c = Atmosphérique

II.1.1 Calcul de la hauteur de réservoir :

$$V = \pi R^2 H$$

H : la hauteur de réservoir

R : Rayon de réservoir

V : Capacité de réservoir

Donc :

$$H = \frac{V}{\pi R^2} \longrightarrow H = \frac{51232}{3.14 (33.375)^2}$$

$$H = 14.92 \text{ m}$$

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

II.1.2 Calcul du nombre des viroles :

Diamètre de réservoir : 66,750m

Hauteur de réservoir : 14,64 m

Largeur de la virole : 2,42 m selon API 650

Rayon nominal de réservoir r : 33,3750m

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot H \Rightarrow H_r = V / \pi \cdot R^2 = 49\,341 / 3,14 \cdot (33,375)^2$$

$$H_r = 14,100 \text{ m. (Hauteur de remplissage)}$$

$$\eta_{\text{ viroles}} = H_r / L_{\text{ virole}} = 14,100 / 2,4250 = 5,81 \text{ viroles}$$

Donc $\eta_{\text{ viroles}} = 6 \text{ viroles.}$

II.1.3 Choix des matériaux :

Les conditions minimales des tôles d'acier destinées à être utilisées pour la construction de réservoir répondants à la Norme API.650.Std, sont :

Les choix des matériaux dépendent essentiellement des paramètres : Epaisseur des tôles et température théorique du métal.

Ils ne peuvent être utilisés que s'ils subissent avec succès les essais tels que :

- 1- l'analyse de vérification de la composition chimique.
- 2- les essais de caractéristiques mécaniques.

Toutes les matières destinées dans la construction du bac devront être examinées avant leur mise en œuvre afin de détecter autant que possible les défauts pouvant nuire à la sécurité du réservoir. On veillera plus particulièrement aux rives et autres parties des tôles laminées qui pourraient présenter de grave doublure, des fissures de cisaille ou d'autres défauts inacceptables.

Compte tenu des conditions énumérées ci-dessus, stipulées par la Norme API.650.Std Les choix retenus pour la construction du réservoir sont confinés dans le tableau suivant :

Les éléments	Matériaux utilisés	Limite élastique	Effort théorique S_d	Effort d'essai hydrostatique S_t
Tôle centrales	Acier A283 Gr	205	137	154
Tôle marginale	Acier A573 Gr 70	290	193	208
Tôle de la robe	Acier A573 Gr 70	290	193	208
Tôle de toit	Acier A283 Gr	205	137	154

Tableau II.1

II.2 Etude climatique :

II.2.1 Introduction :

Dans cette partie, il s'agit de déterminer les actions (les pressions) du vent agissant sur les parois de la structure, à ce propos on a utilisé les normes RNV65.

II.2.2 Étude du vent

- Zone d'implantation SKIKDA : zone II.
- Vitesse de vent : 180 km/h \longrightarrow 50m/s.
- Catégorie de construction : 06
- Catégorie de terrain : IIa.
- Coefficient de site : $K_s= 2$
- Coefficient de masque : $K_m=1$.

Le cas le plus défavorable au vent est quand le réservoir est vide

- **q : La pression dynamique daN/m², D'après (NV65Page 28 sur 224)**

$$q = \frac{v^2}{16,3} = 153,37 \text{ daN/m}^2.$$

- **Rapport de dimensions :**

Construction fermée catégorie VI (cylindre lisse a base circulaire sans nervure et possédant un poli spéculaire et durable), cylindre reposant sur sol.

$$\lambda = \frac{H}{D} = \frac{14.64}{66.50} = 0.22$$

$$\lambda = 0.22 < 1.0$$

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

➤ Coefficient global de traînée C_t :

Coefficient global de traînée C_t est donné par la formule suivante :

$$C_t = \gamma \cdot C_{t0}$$

Le coefficient C_{t0} dépend:

- de la rugosité de surface.
- Du nombre de REYNOLDS : $R_e = \frac{vd}{\nu}$

De telle sorte que l'expression : $d\sqrt{q} = 1,5$.

Avec : $R_e = 4,17.10^5$ et $\nu = 14,4.10^{-6}$ le coefficient de viscosité.

$$\text{On a : } q = \frac{v^2}{16,3}$$

$$\text{Et : } d\sqrt{q} = \frac{v}{\sqrt{16,3}} R_e = 1,487$$

$$\text{Donc : } d = 0,12.$$

On a un cylindre de catégorie VI, donc selon la norme RNV65 :

$$\begin{cases} d < 0,28 \\ 0,5 < d\sqrt{q} < 1,5 \end{cases}$$

$$\Rightarrow C_{t0} = 0,90 - 0,30 d\sqrt{q}$$

$$\Rightarrow C_{t0} = 0,90 - 0,30 \cdot 0,12\sqrt{153,37}$$

$$\Rightarrow C_{t0} = 0,454$$

II.2.3 Actions extérieurs :

- **coefficient de pression :**

Les coefficients de pression extérieure donnent l'effet du vent sur les surfaces extérieures des structures ; les coefficients de pression intérieure donnent l'effet du vent sur les surfaces intérieures des structures.

Les coefficients de pression extérieure sont répartis en coefficients globaux et en coefficients locaux. Les coefficients locaux donnent les coefficients de pression pour les surfaces chargées d'aire inférieure ou égale à 1 m², par exemple pour le calcul des éléments et des fixations de petites dimensions ; les coefficients globaux donnent les coefficients de pression pour les surfaces chargées d'aire supérieure à 10 m².

Les coefficients de pression nette donnent l'effet résultant du vent sur une structure, voire sur un élément ou un composant de ladite structure par unité d'aire.

- **coefficient de force :**

Les coefficients de force donnent l'effet global du vent sur une structure, un élément de structure ou un composant de la structure, considéré dans sa totalité, y compris le frottement, lorsqu'il n'est pas spécifiquement exclu.

- **coefficient de réponse quasi-statique :**

Coefficient de réponse quasi-statique tenant compte de l'absence de corrélation parfaite de la pression sur la surface de la structure.

- **coefficient de réponse résonante :**

Coefficient de réponse résonante, tenant compte de l'effet de la turbulence en résonance avec le mode de vibration.

Pour un cylindre de catégorie VI les actions extérieures sont données sous forme polaire

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

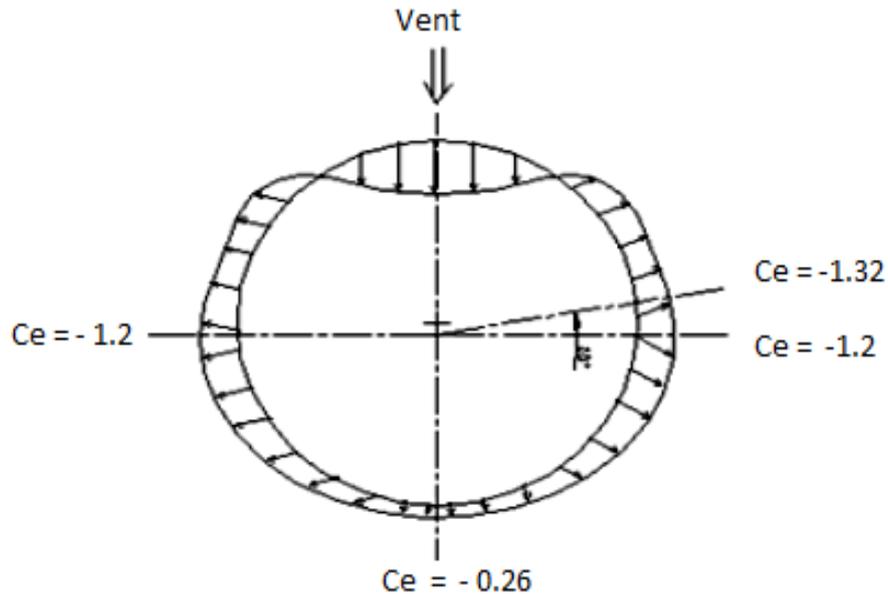


Fig. II.1

Le coefficient de pression C_e est donné en fonction de γ et de l'angle d'inclinaison $\square\square$ du plan tangent à la surface courbe sur la direction du vent.

Coefficient d'importance γ : A chaque catégorie d'importance est associé un coefficient d'importance, modulant le mouvement sismique à prendre en compte pour le dimensionnement des structures (accélérations de calcul). Plus ce coefficient est fort, plus l'exigence réglementaire de protection parasismique pour les structures est élevée.

Remarque:

Le coefficient de pression du vent externe est le paramètre qui détermine la distribution ou la traînée des vents sur les surfaces externes de la structure.

Le coefficient de pression extérieure est fonction de :

- l'étendue de la surface recevant le vent ;
- sa position (au vent, sous le vent ... et l'altitude).

Les valeurs de coefficient de pression du vent dépendent de la géométrie de la structure et de ses dimensions et sont obtenue expérimentalement.

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

II.2.4 Actions intérieures :

Les volumes intérieurs compris entre les parois peuvent être dans un état de surpression ou de dépression suivant l'orientation des ouvertures par rapport au vent et leur importance relative. Il en résulte sur les faces intérieures des actions dites actions intérieures.

Les actions intérieures sont essentiellement en fonction de la perméabilité.

On a deux cas :

Cas 1: réservoir plein :

Toutes les parois est étanches et constituent une enceinte complètement close, il n'existe pas d'action intérieure du fait de l'écoulement du vent et la construction se comporte comme si elle était pleine.

Construction fermée les parois ont une perméabilité : $\mu \leq 5\%$.

- Surpression : $C_i = 0,6(1,10 - C_{to}) = \mathbf{0,381}$
- Dépression : $C_i = - 0,6(1,10 - C_{to}) = \mathbf{- 0,381}$

Cas 2: réservoir vide ou à moitié plein

Une dépression intérieure comprise entre $-0,2 q$ et $-0,4 q$ lorsque le pourcentage des ouvertures par rapport à la surface totale des parois varie entre 0,03 et 5

Pour les constructions ouverts à leurs parties supérieures, on applique une dépression uniforme égale à : $- 0,3q$

II.2.5 Actions résultants unitaires sur les parois :

1- Réservoir plein :

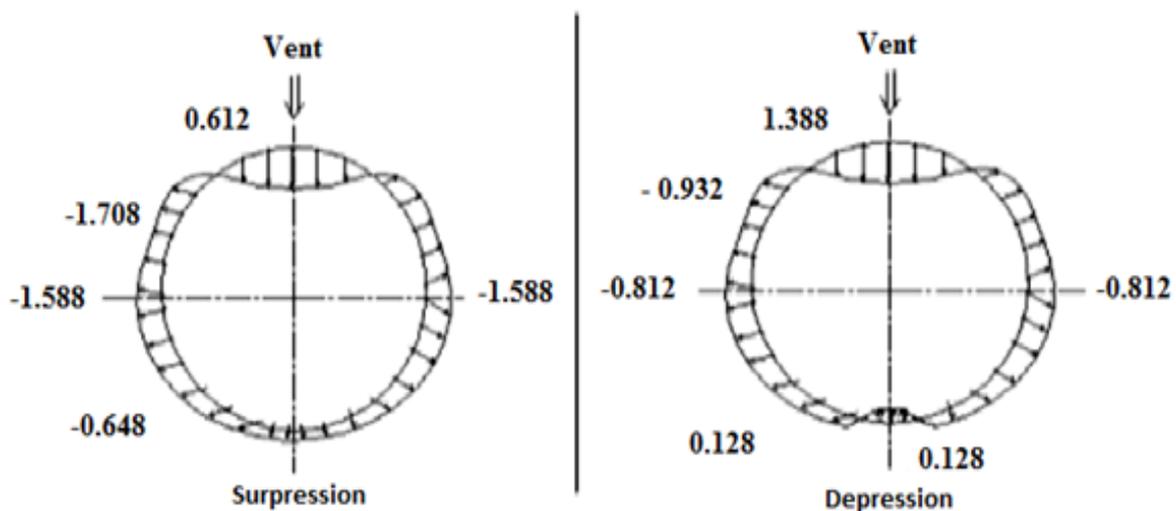


Fig.II.2

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

2- Réservoir vide :

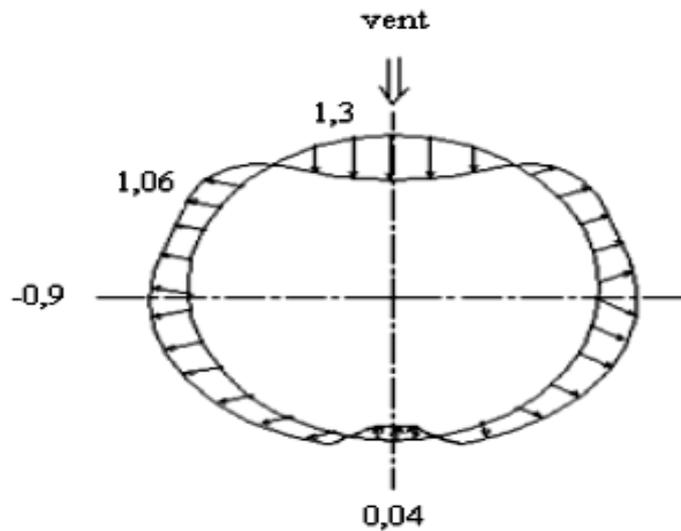


Fig.II.3

*les coefficients représentés sur le schéma sont les coefficients d'influence de vent sur petite surface.

Remarque :

Le cas le plus défavorable, car dans le 2^{em}cas (réservoir vide ou moitié remplis), le toit joue un rôle de raidisseur. De ce fait les contraintes de compression sont moins importantes
 $C = 1,708$

II.2.6 Charge de vent

$$Q_n = q_h \cdot k_s \cdot k_m \cdot C \cdot \delta \cdot \beta$$

- Q_n : la charge du vent

-Coefficient de site : $k_s = 2$.

-Coefficient de masque \Rightarrow pas d'effet de masque $\Rightarrow k_m = 1$

-Coefficient de majoration : $\beta = 1$.

- Coefficient de réduction δ des pressions dynamiques : (RNV65 Pag : 129).

$h = 14,64 < 30\text{m} \Rightarrow \delta = 0,81$.

Le cas le plus défavorable au vent est quand le réservoir est vide

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

q : La pression dynamique

$$q = \frac{v^2}{16,3} = 153,37 \text{ daN/m}^2$$

Soit q_h la pression dynamique agissant à la hauteur H au-dessus du sol exprimée en mètres,
 q_{10} la pression dynamique de base à 10 m de hauteur.

Pour H compris entre 0 et 500 m, le rapport entre q_h et q_{10} est défini par la formule :

$$q_h = 2,5q_{10} \frac{h + 18}{h + 60}$$

$$q_h = 2,5q_{10} \frac{h + 18}{h + 60} = 2,5 \cdot 153,37 \frac{14,64 + 18}{14,64 + 60} = 167,67 \text{ daN/m}^2$$

Donc : $Q_n = q_h \cdot k_s \cdot k_m \cdot C \cdot \delta \cdot \beta$

$$= 167,67 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1,708 \cdot 0,81 \cdot 1$$
$$= 463,93 \text{ daN/m}^2$$

$$Q_n = 463,93 \text{ daN/m}^2$$

Conclusion :

Afin d'augmenter la stabilité du réservoir on fait l'étude climatique pour déterminer, les charges du vent les plus défavorables agissant sur notre structure.

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

II.3 Calcul du fond :

Il existe une différence entre les tôles de bordure marginales (pourtour extérieur) et les tôles de membranes (centrales). Ceci est précisé sur la figure qui illustre la configuration classique du fond.

Le fond aura une pente de l'ordre de 1% vers la périphérie et sera muni de quatre (04) tubulures pour la purge et la vidange du bac.

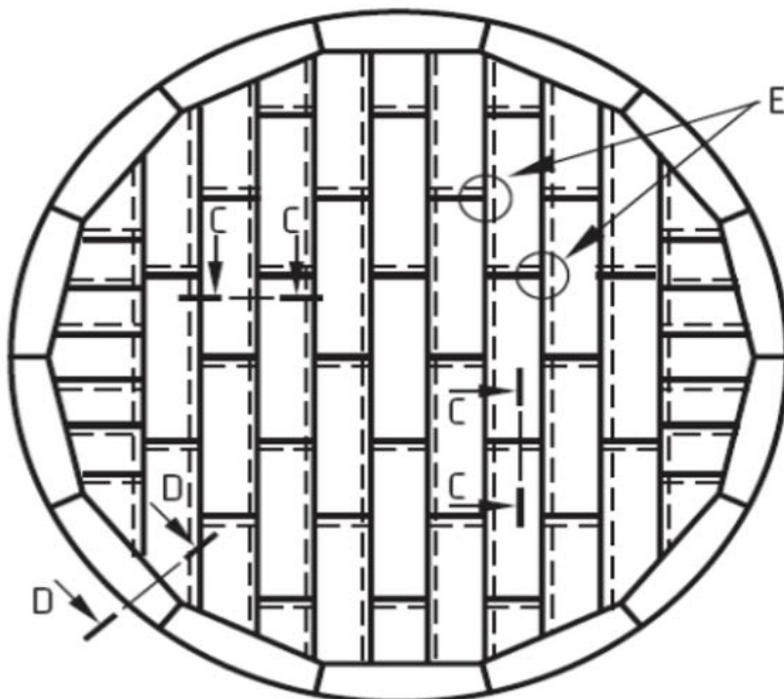


Fig.II.4: Fond de bac

II.3.1 Tôles centrales :

De format (9450 X2450 X 9), matière A 283 Gr (acier semi calmé out tellement calmé) soudée s'entre-elle séparé couverture puis protégées par un revêtement (bi-composant).

Les recouvrements des tôles défend devront avoir une largeur de 25mmà50mm

Epaisseur tôles Centrales :

$t_{FMin} = t_{minF} + CAF$ (épaisseur minimale + surépaisseur de corrosion)

$$t_{minF} = 6.0 \text{ mm}$$

$$CAF = 3.0 \text{ mm}$$

$$t_{FMin} = 9.0 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée : $t_f = 9.0 \text{ mm}$

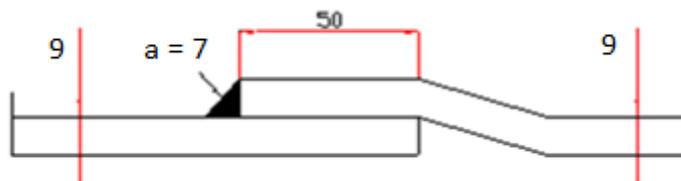


Fig. II.5

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

II.3.3 La soudure :

Tous les assemblages à recouvrement des tôles centrales et des tôles marginales, seront soudés sur la partie supérieure par une soudure d'angle continue.

Les tôles rectangulaires et les tôles marginales doivent être disposées à recouvrement sur la bordure annulaire et seront soudées sur la partie supérieure uniquement, par une soudure d'angle continue.

Etant donné que notre réservoir est muni d'une bordure annulaire, les assemblages radiaux des extrémités des tôles de bordure annulaire seront des assemblages bout à bout soudés à pleine pénétration. Un plat de soutien permanent sera placé.

La jonction entre le bord inférieur de la virole basse de la robe et les tôles marginales ou la bordure annulaire, sera réalisé par une soudure d'angle continue de chaque côté de la tôle de robe.

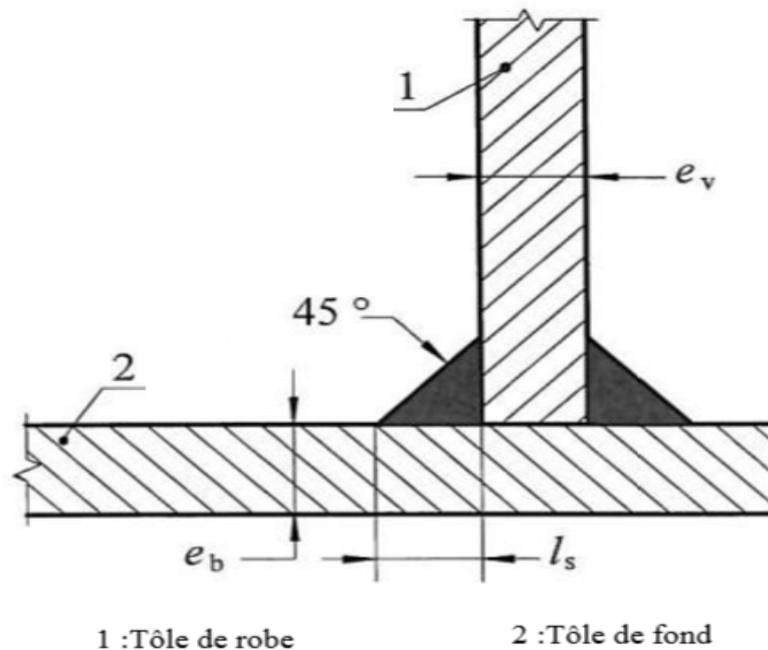


Fig. II.7

La valeur l_s est donnée par CODRES 2007

Tableau largeur de soudure

Epaisseur de la tôle de robe	L_s
5 mm	6 mm
≥ 6 mm	8 mm

Tableau II.2

Donc :

$L_s = 8$ mm

II.4 Calcul de la robe :

La robe est composée de viroles en acier constituée par un empilage vertical de bandes de tôles soudées bout à bout raidisseur la partie supérieure par une cornière de rive soudée et par une poutre au vent et un raidisseur intermédiaire

Les viroles sont soudées entre-elles par des joints horizontaux avec une soudure bout à bout.

Les tôles de chaque virole sont soudées entre-elles par des joints verticaux avec une soudure bout à bout.

La robe du réservoir sera pourvue d'une cornière de rive en acier.

La cornière de rive, de taille normalisée, sera placée à la partie supérieure de la robe. La cornière de rive joue deux fonctions :

-Rigidité de la robe.

-jonction entre le toit et celle-ci.

L'assemblage de la cornière de rive avec la robe sera exécuté par double soudage à recouvrement avec des joints de soudure d'angle droit.

L'assemblage des tronçons de la cornière de rive sera exécuté par un soudage bout à bout

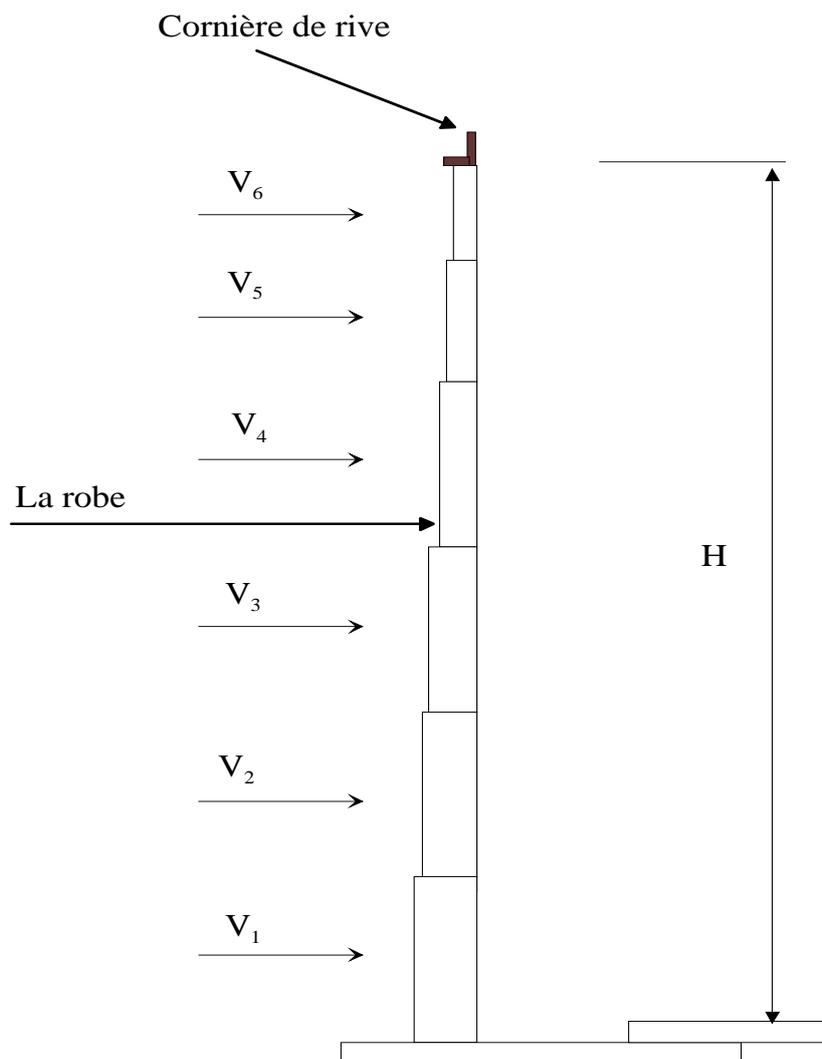


Fig.II.8: La robe.

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

II.4.1 Calcul des épaisseurs de la robe :

Données :

Densité du produit Condensat : $G = 0,8$

Nombre de viroles : $n_{\text{viroles}} = 6$

Epaisseur du Fond : $t_f = 3,0 \text{ mm}$

Surépaisseur de corrosion CA :

Il est indiqué dans API 650 (5.3.2 Surépaisseur de corrosion) que sous l'effet du liquide stocké, de la vapeur au-dessus du liquide et de l'environnement atmosphérique (sel de la mer) les surépaisseurs données sont :

- pour les viroles v_1, v_2, v_3 : CA= 3,0mm
- pour les viroles v_4, v_5, v_6 : CA = 1,5mm

Diamètre : $D = 66750,0 \text{ mm} = 66,7500 \text{ m}$

Rayon : $r = 33375,0 \text{ mm} = 33,3750 \text{ m}$

Hauteur bac : $H = 14650,0 \text{ mm} = 14,6500 \text{ m}$

Hauteur remplissage : $H_0 = 14100,0 \text{ mm} = 14,1000 \text{ m}$

- Matériaux utilisés : V1 ; V2 ; V3 ; V4 A 573Gr 70
- V5 ; V6 : A 283 Gr C

Contrainte des matériaux :

F_y : Limite élastique minimale

Sd : contrainte admissible de calcul

St : Contrainte admissible pour l'essai hydrostatique

	A 283 Gr C	A 573 Gr 70
/	[Mpa]	[Mpa]
F_y	205	290
Sd	137	193
St	154	208

Tableau II.3

➤ Remarque :

Selon API Std 650 Para 5.6.1.1, épaisseur minimale des tôles de la robe (surépaisseur de corrosion incluse) $t_{\text{minV}} = 10 \text{ mm}$

D	t_{minV}
(m)	(mm)
$D < 15$	5
$15 \leq D < 36$	6
$36 \leq D \leq 60$	8
$D > 60$	10

Tableau II.4

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

Calcul de l'épaisseur par la méthode du point variable (the variable design point méthode) : Selon API Std 650 Para 5.6.4

Le calcul des épaisseurs des viroles de la robe s'établi à l'aide de la formule suivante d'après l'API 650, on choisit la plus grande valeur entre l'épaisseur théorique et hydrostatique.

1^{ère} virole V1 :

$$t_{1Calc} = \text{Max} (t_{d1} ; t_{1t} ; t_{minV})$$

Données :

$H_1 = 14100,0 \text{ mm} = 14,1000 \text{ m}$	$D = 66750,0 \text{ mm} = 66,7500 \text{ m}$	
$h_1 = 2425,0 \text{ mm} = 2,4250 \text{ m}$	$r = 33735,0 \text{ mm} = 33,7350 \text{ m}$	
$CA = 3,0 \text{ mm}$	$t_{minV} = 10,0 \text{ mm}$	
$Sd = 193,0 \text{ MPa}$	$G = 0,8$	$St = 208,0 \text{ MPa}$

Desing t_{1d} :

$$t_{pd} = 4,9 D (H_1 - 0,3) G/Sd + CA = 4,9 * 66750 (14100 - 0,3) 0,8 / 193,0 = 21,71 \text{ mm}$$

$$t_{d10} = [1,06 - (0,0696 * D/H_1)] * (H_1 * G/Sd) / 2 * [4,9 * H_1 * D * G/Sd] + CA = 21,74 \text{ mm}$$

$$t_{1d} = \text{min} (t_{pd}; t_{d10}) = \text{min} (21,71; 21,74) = 21,71 \text{ mm}$$

Hydrostatique t_{1t} :

$$t_{pt} = 4,9 D (H_1 - 0,3) / St = 4,9 * 66750 (14100 - 0,3) / 208,0 = 21,70 \text{ mm}$$

$$t_{t10} = [1,06 - (0,0696 * D/H_1)] * (H_1 / St) / 2 * [4,9 * H_1 * D / St] = 21,60 \text{ mm}$$

$$t_{1t} = \text{Min} (t_{pt}; t_{t10}) = \text{min} (21,60 ; 21,70) = 21,60 \text{ mm}$$

$$\text{Epaisseur calculée : } t_{1calc} = \text{max} (t_{1d} ; t_{1t} ; t_{minV}) = 21,71 \text{ mm}$$

$$\text{Epaisseur adoptée : } t_1 = 22,0 \text{ mm}$$

Vérification : API 650 Para 5.6.4.1 :

$$L / H \leq 1000 / 6 \quad \text{Tel que} \quad L = (500 Dt)^{0,5}$$

Avec :

$$t = t_{1ds} = t_1 - CA = 19,00 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow L = (500 * 66,75 * 19)^{1/2} = 796,32$$

$$\Rightarrow L / H = 796,32 / 14,100 = 56,48 \leq 1000 / 6 = 166,6$$

La méthode du point variable est applicable API 650 Std Para 5.6.4.1

API 650 Para 5.6.4.5 : Pour le calcul de V2

$$\text{Calcul du ratio : } h_1 / (r * t)^{1/2}$$

Design

$$t = t_{1ds} = t_1 - CA = 22 - 3 = 19,00 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow h_1 / (r * t)^{1/2} = 2425 / (33735 * 19)^{0,5} = 3,045 \geq 2,625$$

$$\Rightarrow t_{2ds} = t_{2a}$$

Hydrostatique :

$$t = t_1 = 22,00 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow h_1 / (r * t)^{1/2} = 2425 / (33735 * 22)^{0,5} = 2,830 \geq 2,625$$

$$\Rightarrow t_{2t} = t_{2a}$$

t_{2a} : Epaisseur de V2 suivant API 650 Std Para 5.6.4.6 (Upper Shell course)

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

2^{ème} virole V2 :

$$t_{2\text{calc}} = \text{Max} (t_{2d} ; t_{2t} ; t_{\text{minV}})$$

Données :

$$\begin{aligned} H_2 &= 14\,100 - 2425 = 11675,0 \text{ mm} = 11,6750 \text{ m} & D &= 66750,0 \text{ mm} = 66,7500 \text{ m} \\ h_2 &= 2425,0 \text{ mm} = 2,4250 \text{ m} & r &= 33375,0 \text{ mm} = 33,3750 \text{ m} \\ CA &= 3,0 \text{ mm} & t_{\text{minV}} &= 10,0 \text{ mm} \\ Sd &= 193,0 \text{ MPa} & G &= 0,8 & St &= 208,0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Design t_{2d} :

1^{ère} Itération :

$$\begin{aligned} t_L &= t_1 - CA = 22 - 3 = 19,00 \text{ mm} \\ t_u &= t_{d20} = 4,9D (H_2 - 0,3) G/Sd = 4,9 * 66,750 (11,675 - 0,3) 0,8/193,0 = 15,42 \text{ mm} \\ K &= t_L / t_u = 1,2320 \\ C &= K^{1/2} (k-1) / (1+k^{1.5}) = 1,2320^{1/2} (1,2320-1) / (1+1,2320^{1.5}) = 0,1088 \\ x_1 &= 0,61(rt_u)^{1/2} + 320CH_2 = 0,61(33,375 * 15,42)^{1/2} + 320 * 0,1088 * 11,675 = 844,0475 \\ x_2 &= 1000 CH_2 = 1000 * 0,1088 * 11,675 = 1270,05 \\ x_3 &= 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,375 * 15,42)^{1/2} = 875,2582 \\ x/1000 &= \text{Min}(x_1; x_2; x_3) / 1000 = 0,8440 \\ t_{d21s} &= 4,9D[H_2 - (x/1000)]G/Sd = 4,9 * 66,750 [11,675 - 0,8440] 0,8/193 = 14,68 \text{ mm} \end{aligned}$$

2^{ème} Itération :

$$\begin{aligned} t_L &= t_1 - CA = 19,00 \text{ mm} \\ t_u &= t_{d20s} = 14,68 \text{ mm} \\ K &= t_L / t_u = 1,2939 \\ C &= K^{1/2} (k-1) / (1+k^{1.5}) = 1,2939^{1/2} (1,2939-1) / (1+1,2939^{1.5}) = 0,1353 \\ x_1 &= 0,61(rt_u)^{1/2} + 320CH_2 = 0,61(33,375 * 14,68)^{1/2} + 320 * 0,1353 * 11,675 = 932,3560 \\ x_2 &= 1000 CH_2 = 1000 * 0,1353 * 11,675 = 1579,1270 \\ x_3 &= 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,375 * 14,68)^{1/2} = 854,0707 \\ X/1000 &= \text{Min}(x_1; x_2; x_3) / 1000 = 0,8541 \\ t_{d22s} &= 4,9D[H_2 - (x/1000)]G/Sd = 4,9 * 66,750 [11,675 - 0,8541] 0,8/193 = 14,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

3^{ème} Itération :

$$\begin{aligned} t_L &= t_1 - CA = 19,00 \text{ mm} \\ t_u &= t_{d22s} = 14,67 \text{ mm} \\ K &= t_L / t_u = 19/14,67 = 1,2951 \\ C &= K^{1/2} (k-1) / (1+k^{1.5}) = 1,2951^{1/2} (1,2951-1) / (1+1,2951^{1.5}) = 0,1358 \\ x_1 &= 0,61(rt_u)^{1/2} + 320CH_2 = 0,61(33,375 * 14,67)^{1/2} + 320 * 0,1358 * 11,675 = 934,0341 \\ x_2 &= 1000 CH_2 = 1000 * 0,1358 * 11,675 = 1584,9888 \\ x_3 &= 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,375 * 14,67)^{1/2} = 853,6754 \\ x/1000 &= \text{Min}(x_1; x_2; x_3) / 1000 = 0,8537 \\ t_{d23s} &= 4,9D[H_2 - (x/1000)]G/Sd = 4,9 * 66750 [11,675 - 0,8537] 0,8/193 = 14,67 \text{ mm} \\ t_{2a} &= t_{d23s} = 14,67 \text{ mm} \\ t_{2ds} &= t_{2a} = 14,67 \text{ mm} \\ t_{2ds} &= t_{2ds} + CA = 14,67 + 3 = 17,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

Hydrostatique t_{2t} :

1ère Itération :

$$tL = t1t = 21,60 \text{ mm}$$

$$tu = tt20 = 4,9D (H2-0,3)/St = 4,9*66,7500(11,675-0,3)/208,0 = 17,89 \text{ mm}$$

$$K = tL / tu = 1,2076$$

$$C = K^{1/2} (K-1) / (1+k1.5) = 1,2076^{1/2} (1,2076-1)/(1+1,2076^{1.5}) = 0,0980$$

$$x1 = 0,61(rtu)^{0.5} + 320 CH2 = 0,61(33,735*15,42)^{0.5} + 320*0,0980*11,675 = 837,5675$$

$$x2 = 1000 CH2 = 1000*0,0980*11,675 = 1144,5495$$

$$x3 = 1,22(rtu)^{0.5} = 1,22(33,735*15,42)^{0.5} = 942,6233$$

$$X/1000 = \text{Min}(x1;x2;x3)/1000 = 0,8376$$

$$tt21 = 4,9D[H2-(x/1000)]/St = 4,9*66,750[11,675-0,8376]/208 = 17,04\text{mm}$$

2ème Itération :

$$tL = t1t = 21.60 \text{ mm}$$

$$tu = tt21 = 17,04 \text{ mm}$$

$$K = tL / tu = 1,2675$$

$$C = K^{1/2} (K-1)/(1+k1.5) = 1,2675^{1/2} (1,2675-1)/(1+1,2675^{1.5}) = 0,1241$$

$$x1 = 0,61(rtu)^{0.5} + 320 CH2 = 0,61(33,735*17,04)^{1/2} + 320*0,1241*11,675 = 923,6269$$

$$x2 = 1000 CH2 = 1000 CH_2 = 1000*0,1241*11,675 = 1148,7087$$

$$x3 = 1,22(rtu)^{0.5} = 920,0802$$

$$X/1000 = \text{Min}(x1;x2;x3)/1000 = 0,9201$$

$$tt22 = 4,9D [H2-(x/1000)]/St = 4,9*66,750[11,675-0,8376]/208 = 16,91\text{mm}$$

3ème Itération :

$$tL = t1t = 21,60 \text{ mm}$$

$$tu = tt22 = 16,91 \text{ mm}$$

$$K = tL / tu = 21,6/16,91=1,2772$$

$$C = K^{1/2} (K-1)/(1+k1.5) = 1,2772^{1/2} (1,2772-1)/(1+1,2772^{1.5}) = 0,1282$$

$$x1 = 0,61(rtu)^{0.5} + 320 CH2 = 0,61(33,735*16,91)^{1/2} + 320*0,1358 *11,675 = 937,3170$$

$$x2 = 1000 CH2 = 1000*0,1358 *11,675 = 1496,9737$$

$$x3 = 1,22(rtu)^{0.5} = 1,22 (33,735*16,91)^{1/2} = 916,5709$$

$$X/1000 = \text{Min}(x1;x2;x3)/1000 = 0,9166$$

$$tt23 = 4,9D[H2-(x/1000)]/St = 4,9*66750[11,675-0,9166]0,8/193 = 16,92 \text{ mm}$$

$$t2a = tt23 = 16,92 \text{ mm}$$

$$t2t = t2a = 16,92 \text{ mm}$$

Epaisseur calculée : $t_{2\text{calc}} = \text{Max}(t_{2d} ; t_{2t} ; t_{\text{minV}}) = 17,67 \text{ mm}$

Epaisseur adoptée : $t_2 = 18,0 \text{ mm}$

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

3^{ème} Virole V3

$$T_{3\text{calc}} = \text{Max} (t_{3d} ; t_{3t} ; t_{\text{minV}})$$

Données :

$$\begin{aligned} H_3 &= 11675,0 - 2425 = 92500 \text{ mm} = 9,2500 \text{ m} & D &= 66750,0 \text{ mm} = 66,7500 \text{ m} \\ h_3 &= 2425,0 \text{ mm} = 2,4250 \text{ m} & r &= 33375,0 \text{ mm} = 33,3750 \text{ m} \\ CA &= 3,0 \text{ mm} & t_{\text{minV}} &= 10,0 \text{ mm} \\ Sd &= 193,0 \text{ MPa} & G &= 0,8 & St &= 208,0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Design t_{3d} :

1^{ère} Itération :

$$\begin{aligned} t_L &= t_{2ds} = 14,67 \text{ mm} \\ t_u &= t_{t30} = 4,9D(H_3 - 0,3)/St = 4,9 \cdot 66,750(9,25 - 0,3)0,8/193,0 = 12,13 \text{ mm} \\ K &= t_L / t_u = 1,2091 \\ C &= K^{1/2} (k-1)/(1+k^{1.5}) = 1,2091^{1/2} (1,2091-1)/(1+1,2091^{1.5}) = 0,0987 \\ x_1 &= 0,61(rt_u)^{1/2} + 320CH_3 = 0,61(33,735 \cdot 12,13)^{1/2} + 320 \cdot 0,0987 \cdot 9,25 = 680,3239 \\ x_2 &= 1000 CH_3 = 1000 \cdot 0,0987 \cdot 9,25 = 912,9250 \\ x_3 &= 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,735 \cdot 12,13)^{1/2} = 776,3758 \\ x/1000 &= \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,6803 \\ t_{d31s} &= 4,9D[H_3 - (x/1000)]G/Sd = 4,9 \cdot 66,750[9,25 - 0,6803]0,8/193 = 11,62 \text{ mm} \end{aligned}$$

2^{ème} Itération :

$$\begin{aligned} t_L &= t_{2ds} = 14,67 \text{ mm} \\ t_u &= t_{d31s} = 11,62 \text{ mm} \\ K &= t_L / t_u = 1,2627 \\ C &= K^{1/2} (k-1)/(1+k^{1.5}) = 1,2627^{1/2} (1,2627-1)/(1+1,2627^{1.5}) = 0,1221 \\ x_1 &= 0,61(rt_u)^{1/2} + 320CH_3 = 0,61(33,735 \cdot 11,62)^{1/2} + 320 \cdot 0,1221 \cdot 9,25 = 741,1397 \\ x_2 &= 1000 CH_3 = 1000 \cdot 0,1221 \cdot 9,25 = 1129,0287 \\ x_3 &= 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,735 \cdot 11,62)^{1/2} = 759,7010 \\ x/1000 &= \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,7411 \\ t_{d32s} &= 4,9D[H_3 - (x/1000)]G/Sd = 4,9 \cdot 66,750[9,25 - 0,7411]0,8/193 = 11,54 \text{ mm} \end{aligned}$$

3^{ème} Itération:

$$\begin{aligned} t_L &= t_{2ds} = 14,67 \text{ mm} \\ t_u &= t_{d32s} = 11,54 \text{ mm} \\ K &= t_L / t_u = 1,2718 \\ C &= K^{1/2} (k-1)/(1+k^{1.5}) = 1,2718^{1/2} (1,2718-1)/(1+1,2718^{1.5}) = 0,1259 \\ x_1 &= 0,61(rt_u)^{1/2} + 320CH_3 = 0,61(33,735 \cdot 11,54)^{1/2} + 320 \cdot 0,1259 \cdot 9,25 = 751,1848 \\ x_2 &= 1000 CH_3 = 1000 \cdot 0,1259 \cdot 9,25 = 1164,6391 \\ x_3 &= 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,735 \cdot 11,54)^{1/2} = 757,0005 \\ x/1000 &= \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,7512 \\ t_{d33s} &= 4,9D[H_3 - (x/1000)]G/Sd = 4,9 \cdot 66,750[9,25 - 0,7512]0,8/193 = 11,52 \text{ mm} \\ t_{3ds} &= t_{d33s} = 11,52 \text{ mm} \\ t_{3d} &= t_{3ds} + CA = 14,52 \text{ mm} \end{aligned}$$

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

Hydrostatique t_{2t} :

1^{ère} Itération :

$$t_L = t_{2t} = 16,92 \text{ mm}$$

$$t_u = t_{d30} = 4,9D(H_3 - 0,3)G/Sd = 12,13 \text{ mm}$$

$$K = t_L / t_u = 1,2021$$

$$C = K^{1/2} (K-1)/(1+k^{1.5}) = 1,2021^{1/2} (1,2021-1)/(1+1,2021^{1.5}) = 0,0956$$

$$x_1 = 0,61(rt_u)^{0.5} + 320 CH_3 = 0,61(33,735 * 12,13)^{1/2} + 320 * 0,0956 * 9,25 = 700,9664$$

$$x_2 = 1000 CH_3 = 1000 * 0,0956 * 9,25 = 884,0663$$

$$x_3 = 1,22(rt_u)^{0.5} = 1,22(33,735 * 12,13)^{1/2} = 836,1304$$

$$X/1000 = \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,7010$$

$$t_{t31} = 4,9D[H_3 - (x/1000)]/St = 4,9 * 66,750 [9,25 - 0,7010] / 208 = 13,44 \text{ mm}$$

2^{ème} Itération :

$$t_L = t_{2t} = 16,92 \text{ mm}$$

$$t_u = t_{t31} = 13,44 \text{ mm}$$

$$K = t_L / t_u = 1,2584$$

$$C = K^{1/2} (K-1)/(1+k^{1.5}) = 1,2584^{1/2} (1,2584-1)/(1+1,2584^{1.5}) = 0,1202$$

$$x_1 = 0,61(rt_u)^{0.5} + 320 CH_3 = 0,61(33,735 * 13,44)^{1/2} + 320 * 0,1202 * 9,25 = 764,4191$$

$$x_2 = 1000 CH_3 = 1000 * 0,1202 * 9,25 = 1111,9562$$

$$x_3 = 1,22(rt_u)^{0.5} = 1,22(33,735 * 13,44)^{1/2} = 817,1861$$

$$X/1000 = \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,7644$$

$$t_{t32} = 4,9D[H_3 - (x/1000)]/St = 4,9 * 66,750 [9,25 - 0,7644] / 208 = 13,34 \text{ mm}$$

3^{ème} Itération :

$$t_L = t_{2t} = 16,92 \text{ mm}$$

$$t_u = t_{t32} = 13,34 \text{ mm}$$

$$K = t_L / t_u = 1,2678$$

$$C = K^{1/2} (K-1)/(1+k^{1.5}) = 1,2678^{1/2} (1,2678-1)/(1+1,2678^{1.5}) = 0,1242$$

$$x_1 = 0,61(rt_u)^{0.5} + 320 CH_3 = 0,61(33,735 * 13,34)^{1/2} + 320 * 0,1242 * 9,25 = 774,8135$$

$$x_2 = 1000 CH_3 = 1000 * 0,1242 * 9,25 = 1149,1862$$

$$x_3 = 1,22(rt_u)^{0.5} = 1,22(33,735 * 13,34)^{1/2} = 814,1478$$

$$X/1000 = \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,7748$$

$$t_{t33} = 4,9D[H_3 - (x/1000)]/St = 4,9 * 66,750 [9,25 - 0,7748] / 208 = 13,33 \text{ mm}$$

$$t_{3t} = t_{t33} = 13,33 \text{ mm}$$

Epaisseur calculée : $t_{3\text{calc}} = \text{Max}(t_{3d}; t_{3t}; t_{\text{minV}}) = 14,52 \text{ mm}$

Epaisseur adoptée : $t_3 = 15,0 \text{ mm}$

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

4^{ème} virole V4 :

$$T_{4\text{calc}} = \text{Max} (t_{4d} ; t_{4t} ; t_{\text{minV}})$$

Données :

$$\begin{aligned} H_4 &= 92500-2425 = 6825,0 \text{ mm} = 6,8250 \text{ m} & D &= 66750,0 \text{ mm} = 66,7500 \text{ m} \\ h_4 &= 2425,0 \text{ mm} = 2,4250 \text{ m} & r &= 33375,0 \text{ mm} = 33,3750 \text{ m} \\ CA &= 1,5 \text{ mm} & t_{\text{minV}} &= 10,0 \text{ mm} \\ Sd &= 193,0 \text{ MPa} & G &= 0,8 & St &= 208,0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Design t_{4d} :

1^{ère} Itération :

$$\begin{aligned} t_L &= t_{3ds} = 11,52 \text{ mm} \\ t_u &= t_{d40} = 4,9D(H_4 - 0,3)G/Sd = 4,9 \cdot 66,7500(6,825 - 0,3)/193 = 8,85 \text{ mm} \\ K &= t_L / t_u = 1,3025 \\ C &= K^{1/2} (k-1)/(1+k^{1.5}) = 1,3025^{1/2} (1,3025-1)/(1+1,3025^{1.5}) = 0,1388 \\ x_1 &= 0,61(rt_u)^{1/2} + 320CH_4 = 0,61(33,735 \cdot 8,85)^{1/2} + 320 \cdot 0,1388 \cdot 6,825 = 634,6861 \\ x_2 &= 1000 CH_4 = 1000 \cdot 0,1388 \cdot 6,825 = 947,6064 \\ x_3 &= 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,735 \cdot 8,85)^{1/2} = 662,9042 \\ x/1000 &= \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,6347 \\ t_{d41s} &= 4,9D[H_4 - (x/1000)]G/Sd = 4,9 \cdot 66,7500[6,825 - 0,6347]0,8/193 = 8,39 \text{ mm} \end{aligned}$$

2^{ème} Itération :

$$\begin{aligned} t_L &= t_{3ds} = 11,52 \text{ mm} \\ t_u &= t_{d41s} = 8,39 \text{ mm} \\ K &= t_L / t_u = 1,3729 \\ C &= K^{1/2} (k-1)/(1+k^{1.5}) = 1,3729^{1/2} (1,3729-1)/(1+1,3729^{1.5}) = 0,1675 \\ x_1 &= 0,61(rt_u)^{1/2} + 320CH_4 = 0,61(33,735 \cdot 8,39)^{1/2} + 320 \cdot 0,1675 \cdot 6,825 = 688,6641 \\ x_2 &= 1000 CH_4 = 1000 \cdot 0,1675 \cdot 6,825 = 1143,2016 \\ x_3 &= 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,735 \cdot 8,39)^{1/2} = 645,6792 \\ x/1000 &= \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,6457 \\ t_{d42s} &= 4,9D[H_4 - (x/1000)]G/Sd = 4,9 \cdot 66,7500[6,825 - 0,6457]0,8/193 = 8,38 \text{ mm} \end{aligned}$$

3^{ème} Itération :

$$\begin{aligned} t_L &= t_{3ds} = 11,52 \text{ mm} \\ t_u &= t_{d42s} = 8,38 \text{ mm} \\ K &= t_L / t_u = 1,3754 \\ C &= K^{1/2} (k-1)/(1+k^{1.5}) = 1,3754^{1/2} (1,3754-1)/(1+1,3754^{1.5}) = 0,1685 \\ x_1 &= 0,61(rt_u)^{1/2} + 320CH_4 = 0,61(33,735 \cdot 8,38)^{1/2} + 320 \cdot 0,1685 \cdot 6,825 = 690,4950 \\ x_2 &= 1000 CH_4 = 1000 \cdot 0,1685 \cdot 6,825 = 1149,8192 \\ x_3 &= 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,735 \cdot 8,38)^{1/2} = 645,1057 \\ x/1000 &= \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,6451 \\ t_{d43s} &= 4,9D[H_4 - (x/1000)]G/Sd = 4,9 \cdot 66,7500[6,825 - 0,6451]0,8/193 = 8,38 \text{ mm} \\ t_{4ds} &= t_{d43s} = 8,38 \text{ mm} \\ t_{4d} &= t_{4ds} + CA = 9,88 \text{ mm} \end{aligned}$$

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

Hydrostatique t_{4t} :

1^{ère} Itération :

$$t_L = t_{3t} = 13,33 \text{ mm}$$

$$t_u = t_{t40} = 4,9D(H_4 - 0,3)/St = 4,9 * 66,7500(6,825 - 0,3)/208 = 10,26 \text{ mm}$$

$$K = t_L / t_u = 1,2989$$

$$C = K^{1/2} (K-1)/(1+k^{1.5}) = 1,2989^{1/2} (1,2989-1)/(1+1,2989^{1.5}) = 0,1373$$

$$x_1 = 0,61(rt_u)^{0.5} + 320 CH_4 = 0,61(33,735 * 10,26)^{1/2} + 320 * 0,1373 * 6,825 = 656,8971$$

$$x_2 = 1000 CH_4 = 1000 * 0,1373 * 6,825 = 937,2953$$

$$x_3 = 1,22(rt_u)^{0.5} = 1,22(33,735 * 10,26)^{1/2} = 713,9252$$

$$X/1000 = \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,6569$$

$$t_{t41} = 4,9D[H_4 - (x/1000)]/St = 4,9 * 66,750[6,825 - 0,6569]/208 = 9,70 \text{ mm}$$

2^{ème} Itération :

$$t_L = t_{3t} = 13,33 \text{ mm}$$

$$t_u = t_{t41} = 9,70 \text{ mm}$$

$$K = t_L / t_u = 1,3740$$

$$C = K^{1/2} (K-1)/(1+k^{1.5}) = 1,3740^{1/2} (1,3740-1)/(1+1,3740^{1.5}) = 0,1679$$

$$x_1 = 0,61(rt_u)^{0.5} + 320 CH_4 = 0,61(33,735 * 9,70)^{1/2} + 320 * 0,1679 * 6,825 = 713,8529$$

$$x_2 = 1000 CH_4 = 1000 * 0,1679 * 6,825 = 1146,2186$$

$$x_3 = 1,22(rt_u)^{0.5} = 1,22(33,735 * 9,70)^{1/2} = 694,1259$$

$$X/1000 = \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,6941$$

$$t_{t42} = 4,9D[H_4 - (x/1000)]/St = 4,9 * 66,750[6,825 - 0,6941]/208 = 9,64 \text{ mm}$$

3^{ème} Itération :

$$t_L = t_{3t} = 13,33 \text{ mm}$$

$$t_u = t_{t42} = 9,64 \text{ mm}$$

$$K = t_L / t_u = 1,3824$$

$$C = K^{1/2} (K-1)/(1+k^{1.5}) = 1,3824^{1/2} (1,3824-1)/(1+1,3824^{1.5}) = 0,1712$$

$$x_1 = 0,61(rt_u)^{0.5} + 320 CH_4 = 0,61(33,735 * 9,64)^{1/2} + 320 * 0,1712 * 6,825 = 720,0178$$

$$x_2 = 1000 CH_4 = 1000 * 0,1712 * 6,825 = 1168,7619$$

$$x_3 = 1,22(rt_u)^{0.5} = 1,22(33,735 * 9,64)^{1/2} = 692,0280$$

$$X/1000 = \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,6920$$

$$t_{t43} = 4,9D[H_4 - (x/1000)]/St = 4,9 * 66,750[6,825 - 0,6920]/208 = 9,64 \text{ mm}$$

$$t_{4t} = t_{t43} = 9,64 \text{ mm}$$

Epaisseur calculée : $t_{4calc} = \text{Max}(t_{4d}; t_{4t}; t_{minV}) = 10,00 \text{ mm}$

Epaisseur adoptée : $t_4 = 10,0 \text{ mm}$

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

5^{ème} virole V5 :

$$T5_{scale} = \text{Max} (t5d ; t5t ; t_{minV})$$

Données :

$$\begin{aligned} H_5 &= 6825-2425 = 4400,0 \text{ mm} = 4,4000 \text{ m} & D &= 66750,0 \text{ mm} = 66,7500 \text{ m} \\ h_5 &= 2425,0 \text{ mm} = 2,4250 \text{ m} & r &= 33375,0 \text{ mm} = 33,3750 \text{ m} \\ CA &= 1,5 \text{ mm} & t_{minV} &= 10,0 \text{ mm} \\ Sd &= 137,0 \text{ MPa} & G &= 0,8 & St &= 154,0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Design t_{5d} :

1^{ère} Itération :

$$\begin{aligned} t_L &= t_{4ds} = 8,38 \text{ mm} \\ t_u &= t_{d50} = 4,9D(H_5 - 0,3)G/Sd = 4,9 * 66,7500(4,4 - 0,3)/137 = 7,83 \text{ mm} \\ K &= t_L / t_u = 1,0699 \\ C &= K^{1/2} (k-1)/(1+k^{1.5}) = 1,0699^{1/2} (1,0699-1)/(1+1,0699^{1.5}) = 0,0343 \\ x_1 &= 0,61(rt_u)^{1/2} + 320CH_5 = 0,61(33,735 * 7,83)^{0.5} + 320 * 0,0343 * 4,4 = 360,1986 \\ x_2 &= 1000 CH_5 = 1000 * 0,0343 * 4,4 = 151,1005 \\ x_3 &= 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,735 * 7,83)^{0.5} = 623,6929 \\ x/1000 &= \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,1511 \\ t_{d51s} &= 4,9D[H_5 - (x/1000)]G/Sd = 4,9 * 66,750[4,4 - 0,1511]0,8 / 137 = 8,12 \text{ mm} \end{aligned}$$

2^{ème} Itération :

$$\begin{aligned} t_L &= t_{4ds} = 8,38 \text{ mm} \\ t_u &= t_{d51s} = 8,12 \text{ mm} \\ K &= t_L / t_u = 1,0324 \\ C &= K^{1/2} (k-1)/(1+k^{1.5}) = 1,0324^{1/2} (1,0324-1)/(1+1,0324^{1.5}) = 0,0161 \\ x_1 &= 0,61(rt_u)^{1/2} + 320CH_5 = 0,61(33,735 * 8,12)^{0.5} + 320 * 0,0161 * 4,4 = 340,1133 \\ x_2 &= 1000 CH_5 = 1000 * 0,0161 * 4,4 = 70,7959 \\ x_3 &= 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,735 * 8,12)^{0.5} = 634,9172 \\ x/1000 &= \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,0708 \\ t_{d52s} &= 4,9D[H_5 - (x/1000)]G/Sd = 4,9 * 66,750[4,4 - 0,0708]0,8 / 137 = 8,27 \text{ mm} \end{aligned}$$

3^{ème} Itération :

$$\begin{aligned} t_L &= t_{4ds} = 8,38 \text{ mm} \\ t_u &= t_{d52s} = 8,27 \text{ mm} \\ K &= t_L / t_u = 1,0133 \\ C &= K^{1/2} (k-1)/(1+k^{1.5}) = 1,0133^{1/2} (1,0133-1)/(1+1,0133^{1.5}) = 0,0066 \\ x_1 &= 0,61(rt_u)^{1/2} + 320CH_5 = 0,61(33,735 * 8,27)^{0.5} + 320 * 0,0066 * 4,4 = 329,7735 \\ x_2 &= 1000 CH_5 = 1000 * 0,0066 * 4,4 = 29,1529 \\ x_3 &= 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,735 * 8,27)^{0.5} = 640,8891 \\ x/1000 &= \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,0292 \\ t_{d53s} &= 4,9D[H_5 - (x/1000)]G/Sd = 4,9 * 66,750[4,4 - 0,0292]0,8 / 137 = 8,35 \text{ mm} \\ t_{5ds} &= t_{d53s} = 8,35 \text{ mm} \\ t_{5d} &= t_{5ds} + CA = 9,85 \text{ mm} \end{aligned}$$

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

Hydrostatique t_{5t} :

1^{ère} Itération :

$$t_L = t_{4t} = 9,64 \text{ mm}$$

$$t_u = t_{50} = 4,9D(H_5-0,3)/St = 4,9*66,7500(4,4-0,3)/154 = 8,71 \text{ mm}$$

$$K = t_L / t_u = 1,1075$$

$$C = K^{1/2} (K-1)/(1+k^{1.5}) = 1,1075^{1/2} (1,1075-1)/(1+1,1075^{1.5}) = 0,0522$$

$$x_1 = 0,61(rt_u)^{0.5} + 320 CH_5 = 0,61(33,735*8,71)^{1/2} + 320*0,0522*4,4 = 402,4065$$

$$x_2 = 1000 CH_5 = 1000*0,0522*4,4 = 229,8692$$

$$x_3 = 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,735*8,71)^{1/2} = 657,6968$$

$$X/1000 = \text{Min}(x_1;x_2;x_3)/1000 = 0,2299$$

$$t_{51} = 4,9D[H_5-(x/1000)]/St = 4,9*66,750[4,4-0,0292]/154 = 8,86 \text{ mm}$$

2^{ème} Itération :

$$t_L = t_{4t} = 9,64 \text{ mm}$$

$$t_u = t_{51} = 8,86 \text{ mm}$$

$$K = t_L / t_u = 1,0889$$

$$C = K^{1/2} (K-1)/(1+k^{1.5}) = 1,0889^{1/2} (1,0889-1)/(1+1,0889^{1.5}) = 0,0434$$

$$x_1 = 0,61(rt_u)^{0.5} + 320 CH_5 = 0,61(33,735*8,86)^{1/2} + 320*0,0434*4,4 = 392,7756$$

$$x_2 = 1000 CH_5 = 1000*0,0434*4,4 = 191,0209$$

$$x_3 = 1,22(rt_u)^{0.5} = 1,22(33,735*8,86)^{1/2} = 663,2979$$

$$X/1000 = \text{Min}(x_1;x_2;x_3)/1000 = 0,1910$$

$$t_{52} = 4,9D[H_5-(x/1000)]/St = 4,9*66,750[4,4-0,191]/154 = 8,94 \text{ mm}$$

3^{ème} Itération :

$$t_L = t_{4t} = 9,64 \text{ mm}$$

$$t_u = t_{52} = 8,94 \text{ mm}$$

$$K = t_L / t_u = 1,0788$$

$$C = K^{1/2} (K-1)/(1+k^{1.5}) = 1,0788^{1/2} (1,0788-1)/(1+1,0788^{1.5}) = 0,0386$$

$$x_1 = 0,61(rt_u)^{0.5} + 320 CH_5 = 0,61(33,735*8,94)^{1/2} + 320*0,0386*4,4 = 387,5532$$

$$x_2 = 1000 CH_5 = 1000*0,0386*4,4 = 169,8846$$

$$x_3 = 1,22(rt_u)^{0.5} = 1,22(33,735*8,94)^{1/2} = 666,3803$$

$$X/1000 = \text{Min}(x_1;x_2;x_3)/1000 = 0,1699$$

$$t_{53} = 4,9D[H_5-(x/1000)]/St = 4,9*66,750[4,4-0,1699]/154 = 8,98 \text{ mm}$$

$$t_{5t} = t_{53} = 8,98 \text{ mm}$$

Epaisseur calculée : $t_{5calc} = \text{Max}(t_{5d} ; t_{5t} ; t_{minv}) = 10,00 \text{ mm}$

Epaisseur adoptée : $t_5 = 10,0 \text{ mm}$

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

6^{ème} virole V6 :

$$T_{6\text{calc}} = \text{Max} (t_{6d} ; t_{6t} ; t_{\text{minV}})$$

Données :

$$\begin{aligned} H_6 &= 4400 - 2424 = 1975,0 \text{ mm} = 1,9750 \text{ m} & D &= 66750,0 \text{ mm} = 66,7500 \text{ m} \\ H_6 &= 2425,0 \text{ mm} = 2,4250 \text{ m} & r &= 33375,0 \text{ mm} = 33,3750 \text{ m} \\ CA &= 1,5 \text{ mm} & t_{\text{minV}} &= 10,0 \text{ mm} \\ Sd &= 137,0 \text{ MPa} & G &= 0,8 & St &= 154,0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Design t_{6d} :

1^{ère} Itération :

$$\begin{aligned} t_L &= t_{5ds} = 8,35 \text{ mm} \\ t_u &= t_{d60} = 4,9D(H_6 - 0,3)G/Sd = 4,9 \cdot 66,7500(1,975 - 0,3)/137 = 3,20 \text{ mm} \\ K &= t_L / t_u = 2,6095 \\ C &= K^{1/2} (k-1)/(1+k^{1.5}) = 2,6095^{1/2} (2,6095-1)/(1+2,6095^{1.5}) = 0,4985 \\ x_1 &= 0,61(rt_u)^{1/2} + 320CH_6 = 0,61(33,735 \cdot 3,2)^{1/2} + 320 \cdot 0,4985 \cdot 1,975 = 514,3841 \\ x_2 &= 1000 CH_6 = 1000 \cdot 0,4985 \cdot 1,975 = 984,5675 \\ x_3 &= 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,735 \cdot 3,2)^{1/2} = 398,6449 \\ x/1000 &= \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,3986 \\ t_{d61s} &= 4,9D[H_6 - (x/1000)]G/Sd = 4,9 \cdot 66,750[1,975 - 0,3986]0,8/137 = 3,01 \text{ mm} \end{aligned}$$

2^{ème} Itération :

$$\begin{aligned} t_L &= t_{5ds} = 8,35 \text{ mm} \\ t_u &= t_{d61s} = 3,01 \text{ mm} \\ K &= t_L / t_u = 2,7728 \\ C &= K^{1/2} (k-1)/(1+k^{1.5}) = 2,7728^{1/2} (2,7728-1)/(1+2,7728^{1.5}) = 0,5255 \\ x_1 &= 0,61(rt_u)^{1/2} + 320CH_6 = 0,61(33,735 \cdot 3,01)^{1/2} + 320 \cdot 0,5255 \cdot 1,975 = 525,4964 \\ x_2 &= 1000 CH_6 = 1000 \cdot 0,5255 \cdot 1,975 = 1037,9135 \\ x_3 &= 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,735 \cdot 3,01)^{1/2} = 386,7282 \\ x/1000 &= \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,3867 \\ t_{d62s} &= 4,9D[H_6 - (x/1000)]G/Sd = 4,9 \cdot 66,750[1,975 - 0,3867]0,8/137 = 3,03 \text{ mm} \end{aligned}$$

3^{ème} Itération :

$$\begin{aligned} t_L &= t_{5ds} = 8,35 \text{ mm} \\ t_u &= t_{d62s} = 3,03 \text{ mm} \\ K &= t_L / t_u = 2,7520 \\ C &= K^{1/2} (k-1)/(1+k^{1.5}) = 2,752^{1/2} (2,7520-1)/(1+2,752^{1.5}) = 0,5222 \\ x_1 &= 0,61(rt_u)^{1/2} + 320CH_6 = 0,61(33,735 \cdot 3,03)^{1/2} + 320 \cdot 0,5222 \cdot 1,975 = 524,1421 \\ x_2 &= 1000 CH_6 = 1000 \cdot 0,5222 \cdot 1,975 = 1031,4013 \\ x_3 &= 1,22 (rt_u)^{1/2} = 1,22(33,735 \cdot 3,03)^{1/2} = 388,1872 \\ x/1000 &= \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,3882 \\ t_{d63s} &= 4,9D[H_6 - (x/1000)]G/Sd = 4,9 \cdot 66,750[1,975 - 0,3882]0,8/137 = 3,03 \text{ mm} \\ t_{6ds} &= t_{d63s} = 3,03 \text{ mm} \\ t_{6d} &= t_{6ds} + CA = 4,53 \text{ mm} \end{aligned}$$

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

Hydrostatique t_{6t} :

1^{ère} Itération :

$$t_L = t_{5t} = 8,98 \text{ mm}$$

$$t_u = t_{t60} = 4,9D(H_6-0,3)/St = 4,9D(H_5-0,3)/St = 4,9*66,7500(1,975-0,3)/154 = 3,56 \text{ mm}$$

$$K = t_L / t_u = 2,5254$$

$$C = K^{1/2} (K-1)/(1+k^{1.5}) = 2,5254^{1/2} (2,5254-1)/(1+2,5254^{1.5}) = 0,4835$$

$$x_1 = 0,61(rt_u)^{0.5} + 320 CH_6 = 0,61(33,735*3,56)^{1/2} + 320*0,4835 * 1,975 = 515,7902$$

$$x_2 = 1000 CH_6 = 1000*0,4835 * 1,975 = 955,0019$$

$$x_3 = 1,22(rt_u)^{0.5} = 1,22(33,735*3,56)^{1/2} = 420,3792$$

$$X/1000 = \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,4204$$

$$t_{t61} = 4,9D[H_6-(x/1000)]/St = 4,9*66,750[1,975-0,4204] / 154 = 3,30 \text{ mm}$$

2^{ème} Itération :

$$t_L = t_{5t} = 8,98 \text{ mm}$$

$$t_u = t_{t61} = 3,30 \text{ mm}$$

$$K = t_L / t_u = 2,7210$$

$$C = K^{1/2} (K-1)/(1+k^{1.5}) = 2,7210^{1/2} (2,7210-1)/(1+2,7210^{1.5}) = 0,5171$$

$$x_1 = 0,61(rt_u)^{0.5} + 320 CH_6 = 0,61(33,735*3,30)^{1/2} + 320*0,5171*1,975 = 529,3957$$

$$x_2 = 1000 CH_6 = 1000*0,5171*1,975 = 1021,5621$$

$$x_3 = 1,22(rt_u)^{0.5} = 1,22(33,735*3,30)^{1/2} = 404,9916$$

$$X/1000 = \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,4050$$

$$t_{t62} = 4,9D[H_6-(x/1000)]/St = 4,9*66,750[1,975-0,4050] / 154 = 3,33 \text{ mm}$$

3^{ème} Itération :

$$t_L = t_{5t} = 8,98 \text{ mm}$$

$$t_u = t_{t62} = 3,33 \text{ mm}$$

$$K = t_L / t_u = 2,6943$$

$$C = K^{1/2} (K-1)/(1+k^{1.5}) = 2,6943^{1/2} (2,6943-1)/(1+2,6943^{1.5}) = 0,5129$$

$$x_1 = 0,61(rt_u)^{0.5} + 320 CH_6 = 0,61(33,735*3,33)^{1/2} + 320*0,5129*1,975 = 527,6362$$

$$x_2 = 1000 CH_6 = 1000*0,5129*1,975 = 1012,9399$$

$$x_3 = 1,22(rt_u)^{0.5} = 1,22(33,735*3,33)^{1/2} = 406,9910$$

$$X/1000 = \text{Min}(x_1; x_2; x_3)/1000 = 0,4070$$

$$t_{t63} = 4,9D [H_6-(x/1000)]/St = 4,9*66,750 [1,975-0,407] / 154 = 3,33 \text{ mm}$$

$$t_{6t} = t_{t63} = 3,33 \text{ mm}$$

Epaisseur calculée : $t_{6calc} = \text{Max}(t_{6d} ; t_{6t} ; t_{minV}) = 10,00 \text{ mm}$

Epaisseur adoptée : $t_6 = 10,0 \text{ mm}$

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

Tableau récapitulatif du calcul des épaisseurs de la robe

VIROLE	H	H	CA	t _d	t _t	t _c	t
	[m]	[m]					
V1	2,4250	14,1000	3,0	21,71	21,60	21,71	22,0
V2	2,4250	11,6750	3,0	17,67	16,92	17,67	18,0
V3	2,4250	9,2500	3,0	14,52	13,33	14,52	15,0
V4	2,4250	6,8250	1,5	9,88	9,64	10,00	10,0
V5	2,4250	4,4000	1,5	9,85	8,98	10,00	10,0
V6	2,4250	1,9750	1,5	4,53	3,33	10,00	10,0

Tableau II.5

II.4.2 Le soudage :

Tous les assemblages verticaux et horizontaux des tôles de robe doivent être des assemblages soudés bout à bout à pleine pénétration. Pour la cornière de rive les soudures d'angle de ces composants doivent être continues en partie supérieure. Les soudures d'angle en partie inférieure peuvent être discontinues.

II.4.3 Cornière de rive :

Les dimensions minimales de la cornière de rive ne doivent pas être inférieures à celles indiquées dans le tableau ci-dessous.

Diamètre de réservoir D (m)	Dimensions minimale de cornière de rive (mm)
$D \leq 20$	80 X 80 X 10
$20 < D \leq 36$	100 X 100 X 10
$36 < D \leq 48$	100 X 100 X 12
$48 < D$	150 X 150 X 12

Tableau II.6

Donc les dimensions minimales de cornière de rive : 150 X 150 X 12

II.5 Calcul du toit :

II.5.1 Les équipements de toit

- Le toit flottant sera à double deck compartimenté, constitué par 02 couches de tôles d'acier séparées par un espace vide compartimenté en caissons indépendants renforçant la structure de toit et conforme au standard API 650 (annexe C).
 - Le pont inférieur du toit est conçu pour reposer et être supporté en permanence par le produit stocké dans le réservoir excepté lors d'un remplissage.
 - Les deux ponts sont composés de tôles de format 9450 x 2450 x 5
 - Les tôles sont en acier au carbone A 283 Gr C soudées entre-elles par recouvrement.
 - Le pont supérieur aura une pente de 1/50. Le toit doit être équipé de :
 - Béquille pour permettre le positionnement du toit (position exploitation et position entretien).
 - Tubulures jauge manuelle
 - Tubulure de guidage (télé jauge)
 - Tubulure sonde de température
 - Tubulure de jauge avec tampon de jauge à pédale
 - Barrage à mousse
 - Trous d'homme d'accès aux caissons
 - Trous d'homme accès au toit
 - Des soupapes automatiques
 - Tubulure de drainage toit muni de crépine
 - Drain de secours
 - Trop plein
 - Un joint d'étanchéité à mousse
 - Soupape de sécurité
 - Chemin de roulement pour escalier roulant
 - Joint secondaire
 - Tubulure de téléjauge.
- Les toits flottants doivent avoir une flottabilité suffisante pour se maintenir à flot sur liquide d'une densité de 0.7.
- Toutes les tôles du tablier devront avoir une épaisseur nominale minimum

Épaisseur tôles de toit : Selon API Std 650 Para 5.10.2

$$t_{\min T} = t_{\min T} + CAT \quad CAT = 0.0 \text{ mm}$$

$$t_{\min T} = 5,0 \text{ mm}$$

$$t_{T\min} = 0,0 \text{ mm}$$

Épaisseur adoptée $t_T = 5,0 \text{ mm}$

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

II.5.2 Calcul des événements sur toit :

Données :

Ø : diamètre du réservoir	Ø = 66,7500 m
Toit : type de toit	flottant
H : hauteur considérée du produit dans le bac	H = 2,1 m
V _{TK} : capacité relatif à H	V _{TK} = 7 348,72 m ³
Q _R : débit max. de remplissage	Q _R = 5 200,00 m ³ /h
Q _S : débit max. de soutirage	Q _S = 5 200,00 m ³ /h
P _{LP} : pression limite du bac a la surpression	P _{LP} = 250,0 N/m ²
P _{Ld} : pression limite du bac a la dépression	P _{Ld} = 250,0 N/m ²
Produit : condensat	
T _S : température de stockage	T _S = 55 °C

Calcul des capacités d'aérations du a la surpression et la dépression selon API Std 2000

Capacité d'aération totale due à la surpression (remplissage) :

$$Q_P = Q_{P1} + Q_{P2}$$

Avec :

Q_{P1} : capacité d'aération due a l'entrée du produit

$$Q_{P1} = Q_R * 1,01 \quad \Rightarrow \quad Q_{P1} = 5 252,00 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Q_{P2} : capacité d'aération due à la surpression thermique

$$Q_{P2} = Y * V_{TK}^{0,9} * R_i$$

Avec :

Y : facteur dépendant de la latitude Y = 0,32

API Std 200 para 4.3.2.3.2

V_{TK} : volume du produit dans le bac V_{TK} = 7 348,72 m³

R_i : facteur de réduction due au calorifugeage R_i = 1,0

API Std 2000 PARA 4.3.2.3 .2

$$\Rightarrow Q_{P2} = 965,47 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\Rightarrow Q_p = 6 217,47 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

Capacité d'aération totale due à la dépression (soutirage) :

$$Q_d = Q_{d1} + Q_{d2}$$

Avec :

Q_{d1} : capacité d'aération due à la sortie du produit

$$Q_{d1} = Q_S \quad \Rightarrow Q_{d1} = 5\,200,00 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Q_{d2} : capacité d'aération due à la dépression thermique

$$Q_{d2} = C * V_{TK}^{0,7} * R_i$$

Avec :

C : facteur dépendant de la latitude, de la pression de vapeur et de la température de stockage suivant API Std 2000 para 4.3.2.3.3 $C = 6,50$

V_{TK} : Volume de bac $V_{TK} = 348,72 \text{ m}^3$

R_i : facteur de réduction du au calorifugeage $R_i = 1,0$

Suivant API Std 2000 para 4.3.2.3 .2

$$\Rightarrow Q_{d2} = 3\,305,69 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\Rightarrow Q_d = 8\,505,69 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Section totale requise : selon la formule de TORRICELLI (mécanique du fluide)

$$S_{Req} = Q / (K * (2 * g * h)^{0,5})$$

Avec :

Q : débit total d'air nécessaire

$$\text{-Suppression} \quad Q_p = 6\,217,47 \text{ m}^3/\text{h} \quad \Rightarrow Q_p = 1,7271 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{- Dépression} \quad Q_d = 8\,505,69 \text{ m}^3/\text{h} \quad \Rightarrow Q_d = 2,3627 \text{ m}^3/\text{s}$$

K : coef d'ajustage $K = 0,62$

g : la pesanteur $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

h : hauteur d'air équivalente à la pression intérieure

tel que : $h = P / m_a$

$$\Rightarrow S_{Req} = (Q / K) * (m_a / (2 * g * P))^{0,5}$$

Avec :

II. Calcul et vérification de construction du bac de stockage

ρ_a : densité de l'Air $\rho_a = 1,3$
 m_a : masse spécifique de l'Air $m_a = \rho_a * g \Rightarrow m_a = 12,7530$
 N/m^3 $S_{ReqP} = (Q_p/K) * (m_a / (2 * g * P_{LP}^{0,5}))$
 $\Rightarrow S_{ReqP} = 0,1420386 \text{ m}^2$

$S_{Reqd} = (Q_d/K) * (m_a / (2 * g * P_{LP}))^{0,5} \Rightarrow S_{Reqd} = 0,194313 \text{ m}^2$

$S_{Req} = \text{Max} (S_{ReqP} ; S_{Reqd}) \Rightarrow S_{Req} = 0,194313 \text{ m}^2$

Section totale disponible : Event : Tube Φ 12" Sch .40

Φ_e : diamètre extérieur du tube $\Phi_e = 323,80 \text{ mm}$

t : épaisseur du tube $t = 10,31 \text{ mm}$

S : section du tube $S = \pi(\Phi_e - 2t)^2 / 4 = 0,0721923 \text{ m}^2$

Φ_{eP} : diamètre extérieur du tube porteur $\Phi_{eP} = 73,00 \text{ mm}$

S_P : section du tube porteur $S_P = \pi \Phi_{eP}^2 / 4 = 0,0041854 \text{ m}^2$

$S_{P'}$: section des plats $S_{P'} = 3 * L * e = 0,0006 \text{ m}^2$

S_R : section reel $S_R = S - S_P - S_{P'} = 0,0674069 \text{ m}^2$

Cf : coef de correction de S_R $Cf = 0,80$

S_d : section disponible $S_d = S_R * Cf = 0,0539255 \text{ m}^2$

N_{Min} : nbr minimal d'évent $N_{Min} = S_{Req} / S_d = 3,6$ On
 adopte : $N = 4$

Vitesse d'écoulement de l'air :

$$Q_e = V_e * S_e \Rightarrow V_e = Q_e / S_e$$

Avec : 20 m/s = débit maximal admissible

Dépression :

$$Q_e = Q_d / N = 0,6 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow V_e = 11,0 \text{ m/s} < 20 \text{ m/s} \text{ vérifie}$$

Suppression:

$$Q_e = Q_p / N = 0,4 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow V_e = 0,8 \text{ m/s} < 20 \text{ m/s} \text{ vérifie}$$

II.6 Joint d'étanchéité robe / toit flottant:

L'étanchéité entre la robe et le toit flottant sera assurée par un joint double composé d'un joint primaire et un joint secondaire, ayant les caractéristiques suivantes :

- Tôles de compression étanches à la vapeur au moyen d'une membrane continue (en PTFE pour le joint primaire et nitrile pour le joint secondaire).
- Les tôles de compression de joint secondaire sont en acier inoxydable.
- Fixation jointoyées par des bandes d'étanchéité.
- Les tôles de compression et la lèvre d'étanchéité profilée ne se retournent pas lors des mouvements du toit en raison de la forme spéciale de la lèvre.
- Résistance à une variation locale de +/- 102 mm (8'') entre le toit flottant et la robe du bac, selon API 650.
- Température admissible de stockage des liquides jusqu'à 80°C pour les joints primaires et 60°C pour les joints secondaires.
- Compatibilité avec les essences, pétrole brut et tout hydrocarbure.
- Une mise à la terre assurée par des plats en acier inoxydable fixés à l'extrémité des tôles de compression.
- Conformité aux normes suivantes: API 650, API 653, EN 14015, NFPA 11 et ATEX. Le joint doit satisfaire aux exigences techniques suivantes:
 - Diamètre du réservoir: $\varnothing = 66\,750\text{mm}$
 - Nature du produit: condensat
 - Espace nominal annulaire: $J = 200\text{mm}$Hauteur du caisson du toit flottant: $H = 918,07\text{mm}$

A decorative graphic of a scroll with a light gray gradient background and a dark gray border. The scroll is unrolled from the top right and bottom left corners, with the unrolled portion extending downwards on the left side. The text is centered on the unrolled portion.

CHAPITRE III:

Stabilité et flottabilité

III.1 Vérification de stabilité du réservoir :

III.1.1 Stabilité du réservoir sous le vent :

1. **La hauteur maximale non raidie de la robe :** Selon API Std 650 Para 5.9.7.1

$$H_R = 9,47 * t_u * (t_u / D)^{3/2} * (190 / V)^2$$

Avec :

t_u : Epaisseur corrodée de la dernière virole $t_u = 8,50$ mm
 D : Diamètre intérieur du réservoir $D = 66,7500$ m
 V : Vitesse du vent $V = 180,00$ Km/h
 $\Rightarrow H_R = 9,47 * 8,5 * (8,5 / 66,75)^{3/2} * (190 / 180)^2 = 4,0755$ m

2. **La hauteur transformée de la robe :** Selon API Std 650 Para 5.9.7.2

$$W_{tr} = \sum W_{tri} \text{ tel que : } W_{tri} = W_i * (t_u / t_{si})^{5/2}$$

W_i : Hauteur de la virole considérée
 t_i : Epaisseur corrodée de la virole considérée

$$\Rightarrow W_{tr} = 8109,8 \text{ mm} = 8,1098 \text{ m}$$

On constate que $W_{tr} > H_R$ donc
Le raidisseur intermédiaire est requis

Nombres de raidisseur :
 $N = \text{ENT} (W_{tr} / H_R) = 1$

Virole	t_{si}	W_i	W_{tri}
V1	19,00	2425,00	324,62
V2	15,00	2425,00	586,18
V3	12,00	2425,00	1024,01
V4	8,50	2425,00	2425,00
V5	8,50	2425,00	2425,00
V6	8,50	1325,00	1325,00

Tableau III.1

1. **Module d'inertie minimal requis pour le raidisseur intermédiaire :**

Selon API Std 650 Para 5.9.7.6 $Z_{Rmin} = (D^2 * HR' / 17) (V / 190)^2$

Avec :

D : Diamètre intérieur du réservoir $D = 66,7500$ m
 V : Vitesse du vent $V = 180,00$ Km/h
 HR' : Distance verticale entre la poutre au vent et le raidisseur

Selon API Std 650 Para 5.9.7.3.1:

$$HR' = \sum W_{tr} (i) / 2 \quad \Rightarrow HR' = 8,1098 / 2 = 4,055 \text{ m}$$

On adopte donc la position $H_{R'} = 4,055$ m

D'où le module d'inertie minimal requis pour les raidisseurs intermédiaires

$$\Rightarrow Z_{Rmin} = (66,75^2 * 4,055 / 17) (180 / 190)^2 = 953,85 \text{ cm}^3$$

2. Module d'inertie du raidisseur intermédiaire :

$$AR = 2 * (13,4 (D t)^{0,5}) + 13 = 651,37 \text{ m}$$

$$\Rightarrow ZR = 9774,5/9,37 = 1042,23 \text{ cm}^3$$

$$ZR > ZR_{\min} \text{ Vérifié}$$

Alors la résistance de la robe est vérifiée

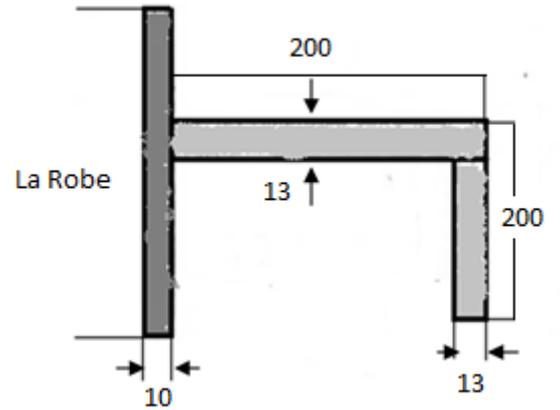


Fig.III.1

III.1.2 Calcule de la poutre au vent : Selon API Std 650 Para 5.6.9.1

1. Module d'inertie minimal requis pour la poutre au vent :

$$ZP_{\min} = (D^2 * H/17) (V/190)^2$$

Avec :

D : Diamètre intérieur du réservoir D = 66,7500 m

H : Hauteur totale du réservoir H = 14,6400 m

V : Vitesse du vent V = 180,00 Km/h

$$ZP_{\min} = 3443,76 \text{ cm}^3$$

2. Module d'inertie de la poutre au vent :

$$AP = (2 * 16 t) + 8 = 280,00 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ZP = 3449,11 \text{ cm}^3$$

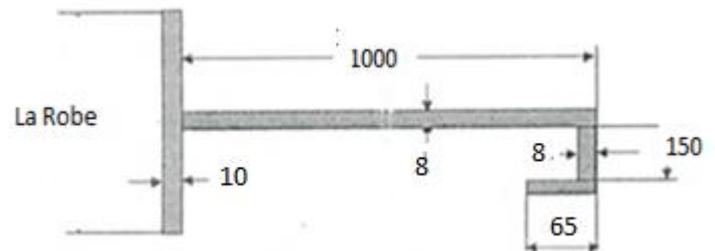


Fig. III.2

Puisqu'on a $ZP > ZP_{\min}$ alors la résistance de la poutre est vérifiée

III. Stabilité de réservoir – Flottabilité de toit

III.1.3 Stabilité du réservoir au vent :

Selon API Std 650 Para5.11

Pour un bac non ancré, il faut satisfaire les conditions suivantes :

$$0,6 M_W + M_{pi} < M_{DL} / 1.5 + M_{DLR} \quad (1)$$

$$M_W + F_p M_{pi} < (M_{DL} + M_F) / 2 + M_{DLR} \quad (2)$$

Avec :

M_W : Moment de renversement dû à : la pression du vent horizontale et Verticale

M_{pi} : Moment de renversement dû à : la pression interne d'étude

M_{DL} : Moment de résistance due au poids de la robe (tôles + accessoires robe)

+ La partie du poids de la charpente supportée par la robe et non liée au toit

M_{DLR} : Moment résistant du au : poids du toit (tôles + accessoires toit)

+ La partie du poids de la charpente liée au toit

M_F : Moment résistant dû au : poids du liquide W_L défini selon API Std 650 ParaE.2.2

Données :

t_{s1} : Epaisseur de la 1ère virole corrodée

$$t_{s1} = t_1 - CA_1 = 21 - 3 = 19,0 \text{ mm}$$

t_{sb} : Epaisseur de la tôle marginale corrodée

$$t_{sb} = t_b - CA_b = 10 - 3 = 7,0 \text{ mm}$$

F_{by} : Limite élastique minimale de la tôle marginale

$$F_{by} = 290 \text{ Mpa}$$

P_s : Pression de service

P_s = pression atmosphérique

P_c : Pression de calcul

P_c = pression atmosphérique

P_i : Pression interne effectif

$$\Rightarrow P_i = 0 \text{ P}$$

F_p : Facteur de combinaison de pression ; voir API 650 App. R

$$F_p = P_s / P_c \geq 0 \quad \Rightarrow F_p = 1,0$$

S_{pT} : Surface horizontale projetée du toit $S_{pT} = \pi * D^2 T / 4 = 3,14 * 66,352^2 / 4 = 3457,58 \text{ m}^2$

W_{pi} : Poids engendré par la pression interne $W_{pi} = P_i * S_{pT} \Rightarrow W_{pi} = 0 \text{ KN}$

W_{DL} : Poids de la robe (tôles + accessoires robe) + la partie du poids de la charpente supportée par la robe et non liée au toit $W_{DL} = 3940,46 \text{ KN}$

W_{DLR} : Poids du toit (tôles + accessoires toit) + la partie du poids de la charpente liée au toit

$$W_{DLR} = 3611,38 \text{ KN}$$

On définit :

M_{WR} : Moment de renversement dû à la pression du vent horizontale

M_{WT} : Moment de renversement dû à la pression du vent verticale

III. Stabilité de réservoir – Flottabilité de toit

1. Calcul des moments de renversement du réservoir :

1) Calcul du moment M_W :

$$M_W = M_{WR} + M_{WT}$$

$$\text{Tel que : } M_{WR} = P_{VX} * S_{pX} * L_x$$

Avec :

P_{VX} : Pression du vent

S_{pX} : Surface projetée

L_x : Distance relative au point d'application

✓ Moment de renversement dû à la pression du vent horizontale :

$$\begin{aligned} P_{VR} &= \text{Pression du vent } P_{VR} = 0,86 * (V/190)^2 & P_{VR} &= 0,86 * (180/190)^2 = 0,772 \text{ KPa} \\ S_{pR} &= \text{Surface verticale projetée de la robe} & S_{pR} &= D * H = 66,75 * 14,64 = 977,22 \text{ m}^2 \\ L_R &= \text{Hauteur du centre de gravité de la robe} & L_R &= 6,005 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow M_{WR} = 0,772 * 977,22 * 6,005 = 4529,74 \text{ KN.m}$$

✓ Moment de renversement dû à la pression du vent verticale :

$$\text{Toit flottant} \quad \Rightarrow M_{WT} = 0,00 \text{ KN.m}$$

$$\Rightarrow M_W = 4529,74 \text{ KN.m}$$

2) Calcul du moment M_{pi} :

$$M_{pi} = W_{pi} D / 2 \quad \Rightarrow M_{pi} = 0,00 \text{ KN.m}$$

2. Calcul des moments résistant au renversement du réservoir :

1) Calcul du moment M_{DL} :

$$M_{DL} = W_{DL} * D / 2 = 3940,46 * 66,75 / 2 = 131512,81 \text{ KN.m}$$

2) Calcul du moment M_{DLR} :

$$\text{Toit flottant} \quad \Rightarrow M_{DLR} = 0.00 \text{ KN.m}$$

3) Calcul du moment M_F :

$$M_F = W_F * D / 2$$

III. Stabilité de réservoir – Flottabilité de toit

Avec : $P = \pi * D$ $P = 209,70 \text{ m}$

P : périmètre circonférentiel du réservoir

W_F : Poids du liquide Tel que : $W_F = W_L P$

Avec : $W_L = \text{Min} (W_{L1} ; W_{L2})$

Tel que : $W_{L1} = 59 t_{sb} (F_{by} * H)^{1/2}$, $W_{L2} = 140,8 * H_0 * D$

$\Rightarrow W_{L1} = 59 * 7 (290 * 14,64)^{1/2} = 26409,40 \text{ N/m}$

$\Rightarrow W_{L2} = 140,8 * 14,1 * 66,75 = 132517,44 \text{ N/m}$

$\Rightarrow W_L = 26409,40 \text{ N/m}$

$\Rightarrow W_F = 26409,40 * 209,70 = 5538,09 \text{ KN}$

$\Rightarrow MF = 184833,64 \text{ KN/m}$

3. Vérifications:

$t_{sb} = t_b - CA_b \leq t_{s1} = t_1 - CA_1$

$t_{sb} = 7.00 \text{ mm} \leq t_{s1} = 19.00 \text{ mm}$ **Vérifie**

b. $t_b = 10.00 \text{ mm} > t_f = 9.00 \text{ mm}$ **Vérifie**

$L_b \geq \text{Max} (L_{b1} ; 0,45) \leq L_{b2}$

Avec :

L_b : Projection radiale de la tôle marginale à l'intérieur du bac $L_b = 925,0 \text{ mm}$

Tel que :

$L_{b1} = 0,0291 * t_{sb} * (F_{by} / H_0)^{1/2}$ $\Rightarrow L_{b1} = 0,9238 \text{ m}$

$L_{b2} = 0,035 * D$ $\Rightarrow L_{b2} = 2,3363 \text{ m}$

$\Rightarrow \text{Max} (L_{b1}; 0,45) = 0,9238 \text{ m} = 923,8 \text{ mm}$

$L_b \geq \text{Max} (L_{b1} ; 0,45) \leq L_{b2}$

$925,0 \text{ mm} \geq 923,8 \text{ mm} \leq 2336,3 \text{ mm}$ **VERIFIE**

Les conditions à satisfaire pour la stabilité du réservoir :

(1) - - - - - $0,6 M_W + M_{pi} < M_{DL} / 1,5 + M_{DLR}$
 $2717,85 \text{ KN.m} < 87675,21 \text{ KN.m}$ **la condition est vérifiée**

(2) - - - - - $M_W + M_{pi} < (M_{DL} + M_F) / 2 + M_{DLR}$
 $4529,74 \text{ KN.m} < 158173,23 \text{ KN.m}$ **la condition est vérifiée**

Donc le réservoir est stable au vent, l'ancrage n'est pas requis

III. Stabilité de réservoir – Flottabilité de toit

III.1.4 Stabilité du réservoir au séisme : selon (API 650 APP.E)

Données :

Z: Coef de la zone sismique (accélération sismique horizontale)

Pour le Site : SKIKDA zone : IIa $Z = 0,20$

I : Facteur d'importance $I = 1,25$

C1 : Coef 1 de l'effort sismique latéral $C1 = 0,60$

WS : Poids de la robe avec accessoires $WS = 3940458,8 \text{ N}$

XS : Hauteur du centre de gravité de la robe $XS = 6,0054 \text{ m}$

Wr : Poids du toit avec accessoires $Wr = 3611379,5 \text{ N}$

WT : Poids du contenu du réservoir $WT = 387228,17 \text{ N}$

W1 : Poids de la masse effective du contenu du réservoir qui suit les déplacements de la robe

$$W1 / WT = 0,25 \quad \Rightarrow W1 = 96807,04 \text{ N}$$

W2 : Poids de la masse effective du contenu du réservoir en oscillation de premier mode

$$W2 / WT = 0,65 \quad \Rightarrow W2 = 251698,31 \text{ N}$$

X1 : Hauteur de la partie inférieure de la robe au centre de la force sismique latérale appliquée à W1

$$X1/H = 0,36 \quad \Rightarrow X1 = 5,0760 \text{ m}$$

X2 : Hauteur de la partie inférieure de la robe au centre de la force sismique latérale appliquée à W2

$$X2/H = 0,54 \quad \Rightarrow X2 = 7,6140 \text{ m}$$

S : Coef de site $S = 2$

K : coefficient tiré du graphe III.1 ; (Pag : 89 API650) en fonction du rapport D/H.

$$D/H = 4,55 \Rightarrow K = 0,74 \text{ voir graphe}$$

T : Période propre de l'oscillation de 1er mode

$$T = 1,81 K * (D)^{1/2} \quad \Rightarrow T = 10,94 \text{ s}$$

C2 : Coef 2eme de l'effort sismique latéral

$$T > 4,5 \Rightarrow C2 = 3,375 * S / T^2 \quad \Rightarrow C2 = 0,06$$

Fty : Limite élastique minimale de la 1ère virole $Fty = 290,00 \text{ Mpa}$

III. Stabilité de réservoir – Flottabilité de toit

Moment de renversement appliqué au fond du bac :

$$M = Z \cdot I \cdot [C1.Ws.Xs + C1.Wr.Ht + C1.W1.X1 + C2.W2.X2]$$

$$\Rightarrow M = 1,158 \cdot 10^7 \text{ N.m}$$

Résistance au renversement:

$$W_L = \text{Min} (W_{L1}; W_{L2})$$

$$\text{Tel que : } W_{L1} = 99 t_{bm} (F_{by} G H_0)^{1/2} \quad \text{Et} \quad W_{L2} \leq 196 G H_0 D$$

Avec:

$$t_{bm} : \text{Epaisseur définit en API 650 Para E.4.2} \quad t_{bm} = 6,0 \text{ mm}$$

$$F_{by} : \text{Limite élastique minimale de la tôle marginale} = 290 \text{ Mpa}$$

$$H_0 : \text{la hauteur de remplissage} = 14,1 \text{ m}$$

$$D : \text{diamètre intérieur du réservoir} = 66,7500 \text{ m}$$

$$\Rightarrow W_{L1} = 99 * 6 (290 * 0,8 * 14,1)^{1/2} = 33973,48 \text{ N/m}$$

$$\Rightarrow W_{L2} = 196 * 14,1 * 66,7500 = 147576,24 \text{ N/m}$$

$$\Rightarrow W_L = 33973,48 \text{ N/m}$$

Vérification : Selon API Std 650 Para E.6.2.1.1.2

$$t_{sb} \leq t_{s1}$$
$$t_{sb} = 7,0 \text{ mm} \leq t_{s1} = 19,0 \text{ mm}$$

Vérifié

$$\text{Si : } t_b = 10,0 \text{ mm} > t_f = 9,0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow L_b \geq \text{Max} (L_{b1}; 0,45) \leq L_{b2}$$

Avec :

$$L_b : \text{Projection radiale de la tôle marginale à l'intérieur du bac} \quad L_b = 925,0 \text{ mm}$$

Tel que:

$$L_{b1} = 0,01723 * t_{sb} * (F_{by} / (H_0 * G))^{1/2} = 0,01723 * 6 * (290 / (14,1 * 0,8))^{1/2} = 0,6115 \text{ m}$$

$$L_{b2} = 0,035 * D = 0,035 * 66,75 = 2,3363 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \text{Max}(L_{b1}; 0,45) = 0,6115 \text{ m} = 611,5 \text{ mm}$$

$$L_b \geq \text{Max} (L_{b1}; 0,45) \leq L_{b2}$$

$$925,0 \text{ mm} \geq 611,5 \text{ mm} \leq 2336,3$$

Vérifié

III. Stabilité de réservoir – Flottabilité de toit

Compression max du bas de la robe : Selon API 650 Para E.5.1

$$W_t = (W_s + \alpha W_r) / \pi * D$$

Avec :

α : Facteur de la portion du poids du toit supporté par la robe $\alpha = 0,00$

$$\Rightarrow W_t = (3940458,8 + 0) / 3,14 * 66,75 = 18790,82 \text{ N/m}$$

$$M / [D^2 * (W_t + W_L)] = 1,158.10^{+7} / [66,75^2 * (18790,82 + 33973,48)] = 0,05 \leq 0,79$$

$$\text{Donc: } b = W_t + (1,273 M / D^2) = 18790,82 + (1,273 * 1,158.10^{+7} / 66,75^2) = 22099,61 \text{ N/m}$$

Compression maximale admissible de la robe : selon API Std 650 Para E.5.3

$$F_a = \text{Min} (F_{a1} ; F_{a2})$$

$$G H D^2 / ts_1^2 = 0,8 * 14,1 * 66,75^2 / 19^2 = 139,22 \geq 44 \Rightarrow F_{a1} = 83 ts_1 / D$$

$$\text{Et: } F_{a2} \leq 0,5 * F_{ty}$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 83 * 19 / 66,75 = 23,625 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow F_{a2} = 0,5 * 290 = 145,00 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow F_a = 23,625 \text{ MPa}$$

Conditions de résistance : Selon API Std 650 Para E.5.1

Conditions de stabilité du réservoir au séisme

:

$$b / (1000 ts_1) \leq F_a$$

$$22099,61 / (1000 * 19) = 1,163$$

$$1,163 \text{ MPa} \leq 23,625 \text{ MPa}$$

Le réservoir est stable au séisme

Conclusion :

De ces résultats, on conclut alors que le réservoir ainsi conçu est « Auto stable » à vide et en charge et ne nécessite donc pas de système d'ancrage au sol.

III. Stabilité de réservoir – Flottabilité de toit

III.2 Vérification de la flottabilité

Données :

Poids du toit : $G = 380$ Tonne

Rayon du toit : $R_0 = 33.170$ m

Densité de calcul : $\gamma = 0.7$

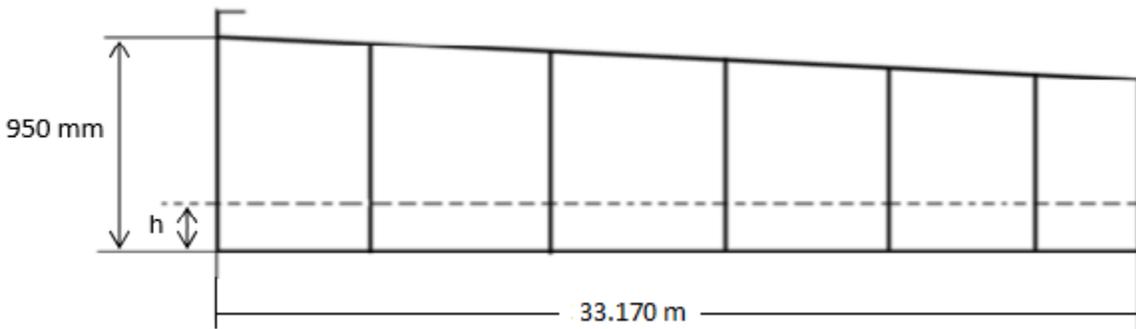


Fig.III.3

1^{er} cas :

On a seulement le poids de toit G

La condition de flottabilité : $\gamma V_r \geq G$

Avec : G : poids de toit

V : volume de produit repoussé

γ : (0,7) densité de calcul pour le toit donné par API 650

$$\gamma V_r - G = 0 \quad \longrightarrow \quad V_r = \frac{G}{\gamma} = \frac{380}{0.7} = 542,86 \text{ m}^3$$

$$V_r = \pi R_0^2 h = 3454,78 h = 542,86 \text{ m}^3$$

$$h = 157,13 \text{ mm} < 950 \text{ mm}$$

Est suffisant pour maintenir le toit en flottation.

III. Stabilité de réservoir – Flottabilité de toit

2^{em} cas:

Le drain principal considéré comme inopérant

$$V = \pi (R_2^2 - R_1^2) \frac{h_2}{3} + \pi R_1^2 (h_1 + h_2)$$

Avec :

$$h_1 = 500 \text{ mm}$$

$$h_2 = 250 \text{ mm (hauteur de l'eau pluviale jusqu' à l'évacuation de source Selon API 650$$

C.3.4.1)

$$R_1 = 400 \text{ mm}$$

$$R_2 = 16667 \text{ mm (La pente de pont supérieure est de 1,5% et } R_2 = H_2/0,015)$$

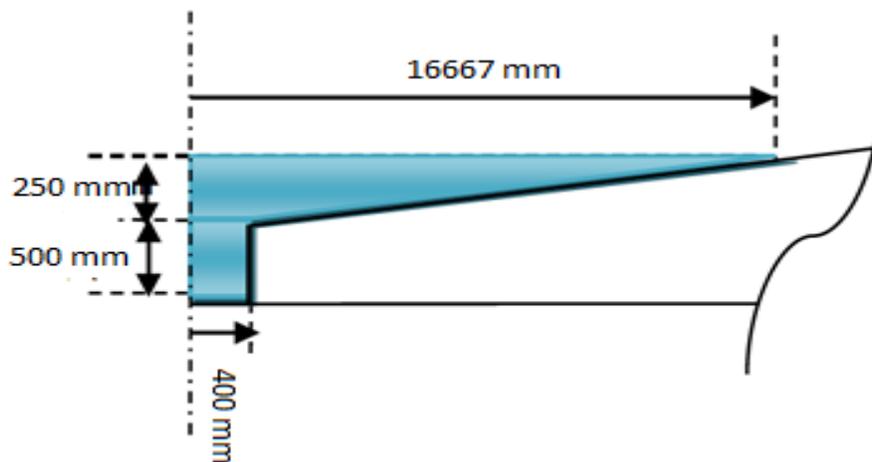


Fig.III.4:

$$V = \pi (16,667^2 - 0,4^2) \frac{0,25}{3} + \pi 0,4^2 (0,25 + 0,5) = 73,06 \text{ m}^3$$

$$\text{Donc : } P_{\text{eau}} = 73,06 \text{ tonne}$$

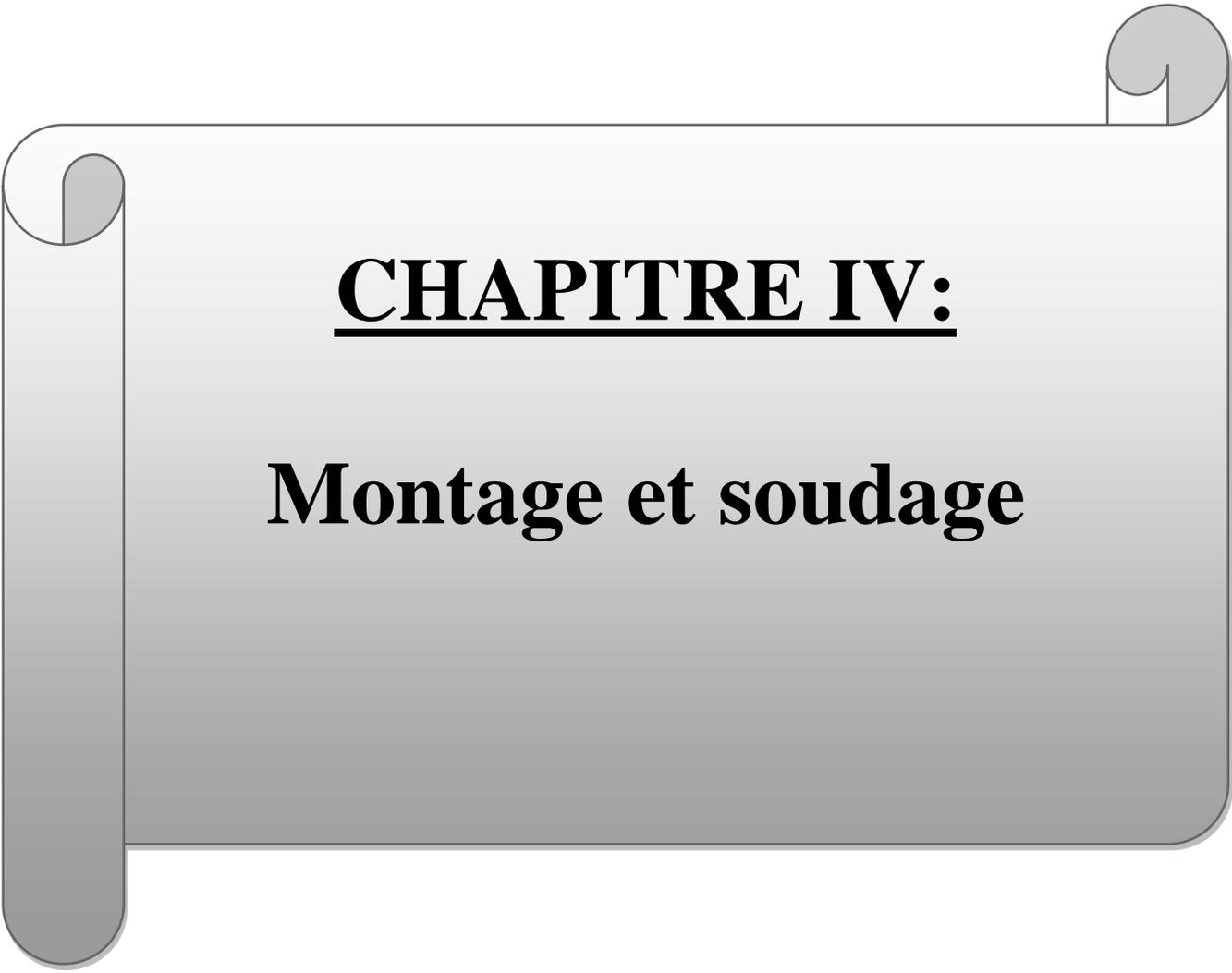
La condition de flottabilité :

$$\begin{aligned} \gamma V_r &\geq P_t + P_{\text{eau}} \\ \gamma V_r &= 0,7 \cdot 3454,78 h = 380 + 73,06 \\ h &= 140,20 \text{ mm} < 950 \text{ mm} \end{aligned}$$

Est suffisant pour maintenir le toit en flottation.

Conclusion:

Comme la condition de flottabilité est satisfaite dans les deux cas on peut conclure que le toit peut opérer sans aucun souci.

A decorative graphic of a scroll with a light gray gradient and rounded corners. The scroll is partially unrolled, with the top edge curving upwards and the bottom edge curving downwards. The text is centered on the scroll.

CHAPITRE IV:

Montage et soudage

IV. Montage et soudage

IV.1 Montage de réservoir :

Toutes les opérations concernant la construction et le montage du bac devront être exécutées Conformément aux spécifications du code API Std.650, et à la norme ASME Section IX. (WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS)

En plus, le réalisateur est tenu de respecter également, les plans d'engineering du bac, les plans d'exécution, plans des fondations, et les tolérances dimensionnelles fournies par le bureau d'étude

IV.1.1 Préparation du chantier (Travaux De Génie Civil) :

Avant le début du montage, il est indispensable d'effectuer la réception des ouvrages de Génie civil suivants :

- Fondation du bac ;

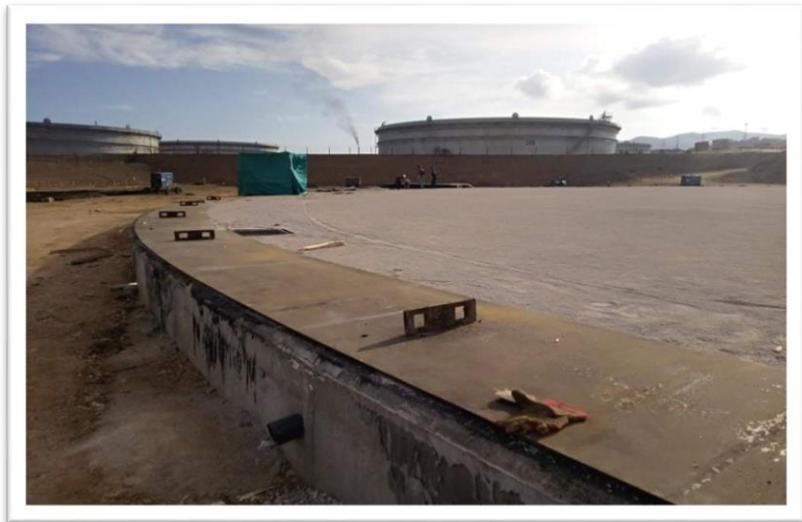


Fig. IV.1

- Plate-forme autour du bac.



Fig. IV.2

IV. Montage et soudage

IV.1.2 Technologie de montage :

Il existe deux méthodes de montage des réservoirs cylindrique verticaux :

- A. La méthode industrielle.
- B. La méthode tôle par tôle

IV.1.2.1 La méthode industrielle :

Elle prévoit la fabrication du fond et de la robe à l'usine et leur transport sur chantier sous forme de rouleaux ou l'on procède à l'assemblage des rouleaux développés et leur soudage.

Cette méthode est plus moderne et permet d'effectuer le montage d'un réservoir pendant quelques semaines. Son avantage est qu'elle permet un gain de temps.

IV.1.2.2 La méthode tôle par tôle :

Elle prévoit la construction du réservoir sur chantier par l'assemblage et le soudage des tôles élémentaires.

La durée du montage peut être de 4 à 6 mois. Son avantage est qu'elle permet d'effectuer le montage de différentes capacités.

Dans notre étude, nous adoptons la méthode tôle par tôle, car elle est le plus utilisée en Algérie.

IV.1.2.2 Exécution

Toutes les opérations concernant la construction et le montage du bac exécutées conformément à la spécification du code API 650.

IV.1.2.3 Préparation des tôles

Pour faciliter le montage, il est nécessaire de procéder aux opérations suivantes :

- Effectuer le cintrage et le chanfreinage des tôles.
- Repérage des tôles suivant leur ordre de montage.
- Repérage et traçage des tôles pour la fixation des accessoires de montage.
- Préparation de tous les accessoires de montage.
- Préparation de l'échafaudage.

IV. Montage et soudage

IV.1.3 Montage du fond

IV.1.3.1 Séquences de montage :

- Vérifier que les formats des tôles du fond sont conformes au plan du fond (les tolérances de l'aciériste demeurent acceptables)
- En respectant ce qui est prévu sur le plan du fond, poser les tôles et les souder par points entre elles en laissant libre le joint entre la marginale du fond et les tôles de fond.
- Compléter la pose des tôles rectangulaires en respectant les recouvrements.
- Souder par point en suivant la séquence prévue.
- La soudure des tôles de fond sera faite manuellement ou en semi-automatique en accord avec la spécification de soudure relative.
- Sur la base du plan d'orientation du réservoir, poser les tôles de la marginale du fond en commençant par celle de la tôle de la porte de nettoyage.
- Respecter la distance de soudure prévue.
- Souder les parties périphériques (200 mm) de la marginale du fond et effectuer le contrôle radiographique
- La soudure du joint de la marginale du fond sera ensuite complétée après le montage de la première virole
- Compléter la soudure entre les tôles marginales et les tôles du fond en respectant les recouvrements.



Fig.IV.3

IV. Montage et soudage

IV.1.3.2 Contrôles

- Tout le travail sera suivi par le chef d'équipe soudeur et par le superviseur de la soudure.
- Les tôles marginales doit être réalisé avant la pose de la première virole.
- Une fois que la soudure est achevée, il faudra exécuter le contrôle visuel et le contrôle avec « Vacuum box » de tous les joints à recouvrement y compris les soudures des tubulures sur fond selon API 650, para 7.3.3. et conformément à la procédure de contrôle d'étanchéité.

IV.1.4 Montage de robe :

IV.1.4.1 Séquences de montage :

- Vérifier que les formats des tôles de la robe sont conformes au plan de la robe.
- Préparer les tôles avec tous les points d'attache prédisposés pour le montage et, en respectant le plan d'orientation, et monter la première virole en commençant par la tôle de la porte de nettoyage.
- Respecter les axes et positions des tôles avec piquages
- Un système de fixation et rapprochement des tôles, pour chaque soudure verticale seront prédisposés.
- Vérifier la rotondité et la verticalité de la virole montée, en tenant compte des tolérances dimensionnelles du code API 650.
- Si des différences par rapport aux plans d'exécution ne sont pas relevées ; procéder au soudage des joints verticaux.
- Se préparer pour le montage de la deuxième virole
- Monter la deuxième virole.
- Préparer et souder tous les joints verticaux manuellement.
- Préparer le joint circonférentiel pour le soudage.
- Vérifier la rotondité et la verticalité des viroles montées, en tenant compte des tolérances dimensionnelles du code API 650.
- Les joints circonférentiels seront soudés seulement après avoir compléter la soudure des joints verticaux.
- Souder le joint circonférentiel.
- Suivre la même séquence pour monter successivement les autres viroles.

IV. Montage et soudage



Fig.IV.4

IV.1.2.2 Recommandations :

Lorsque le soudage est exécuté manuellement, les soudures de pointage utilisées dans l'assemblage des joints verticaux des tôles de robe, ne doivent pas subsister dans le joint définitif.

Lorsque la méthode de soudage est automatique ou semi-automatique, les soudures de pointage peuvent subsister à condition qu'elles soient totalement débarrassées de son laitier et soigneusement meulées.

Les soudures de pointage doivent être exécutées par des soudeurs qualifiés conformément aux exigences du code ASME section IX.

Avant Soudage et si la température est inférieure à 5°C, il faut prévoir le préchauffage des bords, cela est valable pour les Viroles 1, 2, 3, et 4.

IV. Montage et soudage

IV.1.5 Montage toit flottant

IV.1.5.1 Séquences de montage :

Le montage du toit sera effectué dans une position qui correspond au niveau de maintenance ($h = 2100$ mm).

Le montage du toit flottant doit être effectué après le montage au minimum des deux premières viroles de la robe et après avoir achevé le montage et le soudage du fond y compris la soudure du pied de bac (robe marginale) et tous les essais nécessaires.

Le montage du toit doit être effectué sur un support en structure métallique temporaire réalisé sur site avec une hauteur $h = 2100$ mm

Vérifier que les formats des tôles du toit sont conformes au plan du toit (les tolérances de l'aciériste demeurent acceptables)

On commencera avec l'assemblage des tôles inférieures du toit respectant les recouvrements prévus dans les plans d'exécution et la distance entre la robe et le toit (200 mm).

- On procédera au pointage de la toiture inférieure,
 - en commençant par les côtés courts (largeurs) des tôles du centre vers la périphérie (robe)
 - et puis les côtés longs (longueurs) des tôles du centre vers la périphérie. On cherchera à niveler le plus possible les tôles.
- Après le pointage des tôles, on peut commencer le soudage des joints coté- largeur et ensuite les joints côté- longueur.
- Le soudage des joints coté- longueur commencera de la périphérie vers le centre.
- Après le soudage de la toiture inférieure, on peut entamer l'assemblage des cloisons, des couronnes et des raidisseurs suivant les séquences suivantes :
 - L'assemblage de couronne extérieure (rim plate)
 - La tolérance de montage pour la distance entre la robe et la couronne extérieure du toit ne doit pas dépasser ± 13 mm.
 - L'assemblage et le soudage des couronnes internes
 - L'assemblage et le soudage des cloisons et des raidisseurs.
- Après le soudage des raidisseurs, on peut entamer l'assemblage, le pointage et le soudage des tôles supérieures du toit.

IV. Montage et soudage



Fig. .Montage de toit

IV.1.5.2 Contrôles

On procédera à l'examen visuel du toit, en prenant un soin particulier pour :

- Les déformations des toitures éventuelles causées par le soudage
- Les points de soudure qui doivent être éliminés par meulage
- Les soudures seront contrôlées avec « Vacuum box » des toitures du toit (inférieur et supérieur).
- la jonction Deck inférieur / jupe du toit doit être contrôlée au ressuage de type gasoil – chaux.

IV.1.6 Montage et soudage de la cornière de rive:

-La cornière de rive doit avoir le cintrage correspondant et un chanfrein comme indiqué sur les plans.

-Le procédé retenu est le soudage manuel avec l'électrode E7018.

-On soude d'abord les éléments du profilé entre eux ensuite avec la dernière virole.

IV. Montage et soudage

IV.1.7 Montage tubulaires et accessoires

Toutes les tubulures sur robe, sur fond et sur toit doivent être montées suivant les plans d'exécution. Les orientations de ces tubulures doivent être conformes aux plans d'orientation des réservoirs. Après avoir monté les tubes supports du toit, on doit démonter les supports temporaires. Tous les accessoires des réservoirs (joint d'étanchéité du toit, drainage du toit etc..) seront montés et inspectés en accord aux indications techniques des fournisseurs. Les soudures des renforts des tubulures sur robe seront contrôlées par un test pneumatique en atelier conformément au code API 650 para 7.3.4 et la procédure de test des renforts des tubulures sur robe.

IV.1.8 Contrôles du réservoir

Quand le réservoir sera terminé au niveau mécanique, il doit être contrôlé visuellement. Après ce contrôle, il faudra préparer le système de remplissage pour exécuter les essais hydrostatiques.

Les essais hydrostatiques seront exécutés conformément à la procédure des essais hydrostatiques, par remplissage jusqu'au niveau maximum prévu et par vidange du réservoir.



Fig.IV.6

IV. Montage et soudage

IV.2 Soudage

Le soudage est un procédé suivant lequel deux ou plusieurs pièces de métal sont assemblées par chauffage

Le soudage est une opération très importante dans la construction des réservoirs, on ce qui concerne la sécurité et la résistance de projet.

Elle comprend :

- Le soudage des tôles : fond, robe, toit, cornière de rive et des accessoires des bacs
- Les contrôles des soudures

➤ Définitions et abréviations

On appliquera, dans le cadre de la présente procédure, les définitions et abréviations suivantes :

- Maître de l'ouvrage : SONATRACH
- Entrepreneur : EPE ENCC Spa Unité METALENG
- ARH : Autorité de Régulation des Hydrocarbures
- WPS : Procédure de soudage (Welding Procedure Specification)
- PQR : Qualification de la procédure de soudage
- NDE : Examen non destructif (Non Destructive Examination)

IV.2.1 Procédés de Soudage :

Domaine		Type de joint	Type de joint
ROBE	Virole de robe	Bout à bout horizontal	SMAW
		Bout à bout vertical	
FOND	Tôles centrales	Recouvrement (angle)	
	Tôles marginales	Bout à bout (à plat)	
TOIT	Tôles centrales	Recouvrement (angle)	
	Cloison & Couronnes	Recouvrement (angle)	
		Bout à bout vertical	
ACCESSOIRES	Tube	Soudure d'angle	
	Autres	Soudure d'angle	

Tableau IV.1

IV. Montage et soudage

IV.2.2 Métaux de base

Fond:

- Tôles centrales : A283 gr C suivant norme ASTM
- Tôles marginales : A573 gr 70 suivant norme ASTM

Robe:

- Tôles V1 à V4 : A573 gr 70 suivant norme ASTM
- Tôles V5 et V6 : A283 gr C suivant norme ASTM

Toit:

- Tôles : A283 gr C suivant norme ASTM

Accessoires

- Tube : A 106 Gr B ou API 5L
- Bride : A 105 suivant norme ASTM
- Profilé : S235 JR suivant normes EN 10025 ou équivalent

IV.2.3 Métaux d'apport

Les métaux d'apport ont été sélectionnés de telle sorte que les caractéristiques mécaniques du métal déposé soient en tout point conformes aux exigences.

Procédé	Métaux d'apport	Classification
SMAW	E 7018	AWS 5.1

Tableau IV.2

IV.2.4 Stockage et étuvage des produits d'apport

Tous les produits (électrodes) sont stockés au sec sous abri.

Les électrodes subiront un étuvage à 250/280°C pendant 2 heures minimum avant toute utilisation sur le chantier et à 60/80°C pendant le soudage.

Le nombre d'électrodes retirées des étuves par chaque soudeur devra correspondre à la quantité nécessaire pour un poste de travail n'excédant pas 4 heures, soit environ 50 électrodes.

Les électrodes restantes en fin de poste seront replacées dans l'étuve (60/80°C).

IV.2.5 Préparation des joints

La préparation des bords à souder est indiquée sur le plan et le mode opératoire de soudage. Les joints sont préparés par oxycoupage, rabotage ou gougeage arc-air et suivi systématiquement d'un meulage dans le cas d'oxycoupage ou gougeage arc-air.

IV. Montage et soudage

IV.2.6 Techniques de soudage

IV.2.6.1 Pointage :

Le pointage s'effectuera avec les électrodes de même type que celles utilisées pour le soudage. D'une façon générale les points seront réalisés côté opposé aux premières passes de soudage et de ce fait seront éliminés au gougeage avant la reprise.

IV.2.6.2 Propreté des chanfreins et des cordons de soudure :

Pour tous les chanfreins protégés par un « weldable primer » aucune préparation particulière ne sera exécutée compte tenu de l'élimination systématique au soudage. Pour tous les autres chanfreins n'ayant reçu cette protection, ils seront brossés, si nécessaire, à l'aide de brosses métalliques juste avant le soudage.

IV.2.6.3 Technique de soudage :

La technique de soudage correspondra aux conditions des essais d'agrément des procédés de soudage.

L'amperage, le voltage et la vitesse d'avance pourront varier de $\pm 15\%$ par rapport à l'essai de qualification.

Le courant de soudage utilisé est le courant continu polarité inverse (+ à la pince)

IV.2.7 Soudage des pièces d'attache provisoires

IV.2.7.1 Soudage :

Les pièces d'attache seront soudées sur la tôle en soudage manuel avec des électrodes basiques. L'amorçage se fera sur la tôle de base à la racine de la pièce d'attache de telle sorte que la zone soit recouverte par le cordon de soudure.

Le desamorçage se fera systématiquement sur la pièce provisoire

IV.2.7.2 Elimination:

Afin qu'un léger coup de marteau suffise à enlever la pièce d'attache, la section de la soudure sera réduite par meulage. Toutefois, si l'élimination de la pièce d'attache sans amincissement préalable de la section de soudure ne provoque pas d'arrachement systématique de la tôle, ce meulage sera supprimé.

- Après enlèvement de la pièce d'attache, le reliquat de soudure sur la tôle sera meulé au niveau de cette tôle sans toutefois l'amincir.
- Contrôle visuel.
- Contrôle par ressuage dans le cas d'arrachement de métal

IV. Montage et soudage

IV.2.7.3 Rechargement:

- Les arrachements en surface des tôles seront rechargées avec des électrodes de même nuance et de même type que celles utilisées pour le soudage.
- Le rechargement sera suivi d'un meulage, contrôle visuel et ressuage.
- **Note :** Pour les pièces d'attache définitives et des accessoires :
On utilisera des électrodes de plus gros diamètre p

IV.2.8 Réparation des défauts

- Elles seront du même type que celles utilisées pour le remplissage des joints bout à bout.
- Elimination des défauts par gougeage arc-air et meulage (défaut interne) ou meulage (défaut superficiel).
- L'élimination des défauts est effectuée du côté où ils sont supposés se trouver jusqu'à une profondeur des 2/3 de l'épaisseur. Si le défaut n'est pas éliminé à cette profondeur, le joint sera reconstitué et l'on procédera au gougeage côté opposé.
- Reconstitution du joint par soudage manuel à l'électrode enrobée suivant les fiches de qualification correspondant au joint considéré.
- Contrôle : Identique à celui effectué avant la réparation pour le joint considéré

IV.2.9 Qualification des soudures et opérateurs

Les soudeurs et opérateurs présenteront un certificat de qualification en cours de validité suivant ASME IX en présence de l'ARH ou de son représentant dûment mandaté.

Il sera attribué à chaque soudeur qualifié un repère (lettre ou chiffre) qui permettra d'identifier les soudures qu'il aura réalisées sur la robe du réservoir.

IV.3 Le soudage du fond

➤ Mise en place du fond :

L'assemblage des tôles du fond devra être réalisé conformément aux plans en tenant compte de la réalisation du recouvrement ainsi que les bordures des longitudinaux soudées bout à bout.

À la cour de montage le risque de retrait est écarté par le biais d'un système de fixation provisoire, de même pour les tôles marginales un système de fixation provisoire est prévu pour avoir une bonne précision de soudage.

➤ Pointage du fond

Le pointage des fonds est à effectuer par le procédé de soudage à l'arc manuel avec les électrodes suivant la qualification AWS 5-1 de qualité E 7018.

L'ordre de pointage des tôles du fond sera comme suit :

IV. Montage et soudage

- Pointer et souder les tôles marginales, pointer deux tôles centrales adjacentes à leur largeur.
- Le pointage des tôles dans le sens longitudinal ne sera effectué qu'après le soudage des points transversaux.
- La longueur d'un pointage individuel est de : 40 à 50mm et l'entraxe entre deux pointages est de : 300mm.

➤ Soudage du fond

Le soudage du fond du bac doit être effectué par le procédé de soudage à l'arc manuel. Avant le début du soudage, les chanfreins doivent être nettoyés de toutes les impuretés (graisses, humidité, corrosion, poussière, etc.)

La largeur de la zone devant être nettoyée est au minimum de 30mm de chaque côté de la soudure. Il faut commencer par souder d'abord les transversales c'est à dire celles se raccordant sur les largeurs des tôles.

Après cela on effectue les soudures longitudinales à partir du centre vers la périphérie des fonds.

IV.4 Le soudage de la robe

➤ Mise en place de la première virole :

Les jeux de joints de soudage figurant sur le mode opératoire de soudage doivent être scrupuleusement respectés.

Dans le cas où la longueur de la dernière tôle est plus grande, il faut l'adapter au montage.

➤ Pointage et soudage de la première virole

Le pointage des tôles de la 1^{ère} virole ne sera exécutée que sur les joints verticaux
-Il ne sera admis aucun pointage de la tôle de première virole avec le fond du bac.
-Tous les pointages sont à effectuer, par le procédé de soudage à l'arc manuel, avec électrode basique enrobée d'un diamètre de 3,25mm.

La longueur du pointage sera de 40 à 50 mm et l'entraxe entre deux pointages sera de 500 mm environ. Le soudage vertical est à exécuter par le procédé à l'arc manuel dans la position verticale montante. On réalise d'abord le soudage sur la face extérieure puis on effectue le meulage de l'envers sur la face intérieure du bac.

➤ Mise en place de la deuxième virole :

Utilisant un clamp soudé sur la virole inférieure et des chutes de cornière et un axe de tige fileté le bon soudage des viroles et une bonne exécution est assurée

IV. Montage et soudage

➤ **Pointage et soudage de la deuxième virole**

Le pointage des tôles de la 2ème virole doit être effectué d'abord sur les joints verticaux

-Le pointage sur le joint horizontal, entre la première et la deuxième virole ne doit être effectué qu'après le soudage définitif des soudures verticales de la deuxième virole.

-Comme pour la première virole, les pointages sont à faire sur la face externe du réservoir

- Les soudures verticales de la deuxième virole, doivent être effectuées par le procédé à l'arc manuel.

-Le sens du soudage sera montant. Le soudage est à effectuer de la même manière que la première virole.

➤ **Pointage et soudage du joint horizontal entre la première et la deuxième virole:**

-Le pointage ne sera exécuté qu'à la fin du soudage de tous les joints verticaux de la première et de la deuxième virole.

-Le pointage doit toujours être effectué sur la face extérieure.

-Le soudage est à effectuer par le procédé à l'arc manuel.

-Le soudage doit être effectué par deux, quatre ou huit soudeurs exécutant la première passe, puis les autres passes.

-Après cela on effectue le meulage sur la face interne et la reprendre.

➤ **Soudage du fond et de la première virole :**

Ce soudage ne peut commencer qu'après le soudage complet de la première et deuxième virole du bac.

L'exécution est à faire simultanément par 04 soudeurs au minimum.

Afin d'avoir une bonne précision, l'utilisation d'un clavier et une barre d'acier est primordiale

IV.5 Le soudage de toit

➤ **Tablier inférieur**

-Les toitures inférieures seront assemblées par recouvrement maintenues en position par les cornières d'attaches identiques à celles utilisées pour le fond.

-Le pointage des tôles du toit, commence à partir du milieu vers l'extrémité du bac.

-Le procédé retenu est l'arc manuel avec l'électrode de E7018 (basique) il faut d'abord commencer par le pointage des soudures transversales.

-La longueur du pointage est d'environ 50 mm, avec un espacement d'environ 300 mm.

-Il faut nettoyer les abords sur une largeur de 30 mm au minimum des deux côtés du joint.

-Le pointage et soudage des joints longitudinaux doivent être effectués après les soudures transversales, le soudage complet doit s'effectuer du centre vers la périphérie.

IV. Montage et soudage

➤ **Couronnes cloisons radiales et raidisseurs :**

Les couronnes seront montées sur le tablier inférieur suivant le traçage qui est effectué sur ce dernier.

On commence le soudage des joints verticaux, ensuite les joints avec le tablier inférieur, ensuite en passe à la fixation des cloisons afin d'obtenir des compartiments étanches, le renforcement des tabliers est effectué via des raidisseurs horizontaux et verticaux.

➤ **Tablier supérieur :**

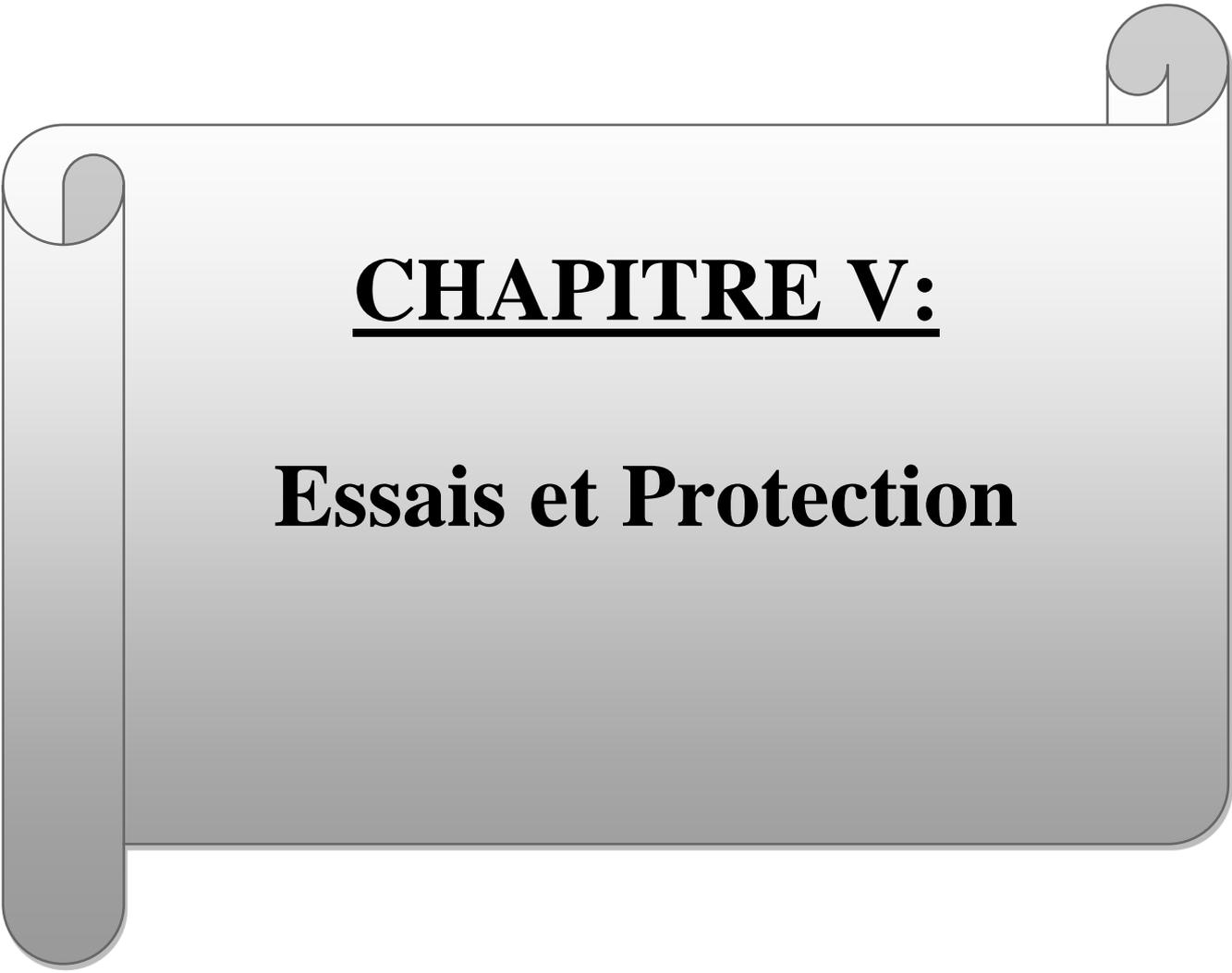
On commence le montage du tablier supérieur après l'exécution de toutes les soudures sur le toit inférieur, couronnes, cloisons, chevrons et raidisseur Les tôles seront assemblées par recouvrement

➤ **Soudage de la cornière de rive:**

-La cornière de rive doit avoir le cintrage correspondant et un chanfrein comme indiqué sur les plans.

-Le procédé retenu est le soudage manuel avec l'électrode E7018.

-On soude d'abord les éléments du profilé entre eux ensuite avec la dernière virole



CHAPITRE V:

Essais et Protection

V. 1 Contrôles et essais

Quand le réservoir sera terminé au niveau mécanique, après la préparation du système de remplissage et avant de procéder aux tests hydrostatiques les contrôles suivants, doivent être effectués :

V.1.1 Contrôle visuel et dimensionnels :

Le control visuel s'effectue pendant toutes les phases de montage du réservoir. Cela consiste à Contrôler :

- L'aspect des joints de soudures
- La verticalité du réservoir pendant les différentes étapes du montage
- Des dimensions de réservoir (diamètre, hauteur)
- L'alignement des joints verticaux et horizontaux avant et après soudage.

V.1.2 Contrôle sous vide :

Le fond et le toit de réservoir devront être exécutés par une boite sous vide, il se fera conformément au code API 653.

Une fois tous les contrôles terminent, on procédera à la signature de réception provisoire du Réservoir.

V.1.3 Contrôle par kérosène :

Il se base sur la pénétration rapide du kérosène à travers les microfissures du joint, il se fera conformément au code API 653. S'il y a des microfissures on aura des taches de kérosène sur la couche de craie.

V.1.4 Contrôle radiographique :

C'est un examen efficace, il se fera conformément au code API 653. Il permet de détecter tous les défauts que ne peuvent être vue à l'œil. On utilise les rayons X .cette méthode est appliquée sur les joints de la robe.

V.1.5 Contrôle de la verticalité du réservoir :

L'opération consiste à vérifier la verticalité par l'intermédiaire soit par un fil à plomb ou d'un Appareil à niveau (théodolite).

La verticalité de la robe ne doit pas dépasser la tolérance requise.

V.1.6 Séquences des essais hydrostatiques

Les séquences des essais hydrostatiques sont :L'essai hydrostatique sera fait à l'eau par remplissage complet et graduel du réservoir en maintenant les orifices du toit ouvert .Cette mesure évitera tout risque de pression excessive

L'eau doit être propre et exempte de toutes traces d'hydrocarbure.

Le remplissage du réservoir sera exécuté de la façon suivante :

V. Essais et Protection

- Remplissage graduel jusqu'à $1/4 H$. (H : la hauteur max. de remplissage).
- Maintenir ce niveau ($1/4 H$) pendant douze (12) heures.
- Remplissage graduel de $1/4 H$ jusqu'à $2/4 H$.
- Maintenir ce niveau ($2/4 H$) pendant douze (12) heures.
- Remplissage graduel de $2/4 H$ jusqu'à $3/4 H$.
- Maintenir ce niveau ($3/4 H$) pendant douze (12) heures.
- Remplissage graduel de $3/4 H$ jusqu'à $4/4 H$.
- Maintenir ce niveau ($4/4 H$) pendant vingt quatre (24) heures.

V.1.7 Inspections et examens

Les différentes inspections et examens sont :

Durant toute la période d'essai, des inspections des tôles et des soudures seront faites pour déceler les suintements éventuels. Cet examen étant fait par temps sec et sur toiles sèches (non mouillées par la pluie ou humide)

Les défauts, criques ou fuites, décelés dans les joints de soudure, devront être réparés conformément aux exigences du Standard API 650 paragraphe 8.1.7.

Contrôle de tassement de la fondation du réservoir :

Le maître de l'œuvre vérifiera la tenue des fondations soit La stabilité de la fondation par repère ou nivellement à la lunette avec les mesures faites:

Avant remplissage

Après chaque phase de remplissage($1/4$, $2/4$ et $3/4$)

Après remplissage($4/4$)

Si le repérage se fait aux moyens d'appareils fixés au sol. La fixation de ces derniers sera de un (01) mètre de la robe.

On fixera chaque trois (03) mètres sur le fond autour du réservoir. On observera à chaque palier de stabilisation leurs cotes pendant l'essai hydrostatique. Toutes les lectures seront effectuées avec une approximation de ± 1 mm.

Durant toutes les phases de l'essai hydraulique. La fondation sous la robe devra conserver son horizontalité avec une tolérance maximum de ± 3 mm tous les neuf (09) mètres de circonférence et de ± 6 mm sur la circonférence totale (par rapport à la planéité moyenne).

L'écart maximum de verticalité de la partie supérieure de la robe par rapport à la base ne devra pas excéder $1/200$ de la hauteur totale du réservoir.

Après les essais hydrostatiques, la longueur de chaque support du toit flottant doit être vérifié et adapté, si nécessaire, au fond du réservoir.

V.2 Système de Protection

V.2.1 Réseau d'alerte et de détection Gaz

La détection est l'étape première de toute action ultérieure d'évacuation ou d'intervention. Elle doit, en principe, combiner deux aspects. D'une part, le système de détection doit pouvoir donner l'alarme avec le plus de rapidité et d'exactitude possible. D'autre part, le système de détection ne doit pas engendrer de fausses alarmes, c'est-à-dire indiquer un feu alors qu'il n'y en a pas. Cette détection sera assurée par des détecteurs de gaz installés dans la cuvette de rétention des bacs de stockage: ils signalent la présence des hydrocarbures dans l'air dans une cellule d'analyse, lorsque les gaz y pénètrent. Cette détection est prévue, dans les zones où sont susceptibles de s'accumuler des vapeurs explosibles, par l'installation de détecteurs de gaz (FGD) au voisinage des bacs de stockages.

Le personnel présent dans l'entrepôt doit pouvoir donner l'alerte en cas de détection de présence de gaz inflammable. L'alarme doit être relayée par un système sonore et éventuellement visuel à tous les membres du personnel du site. Les actions à entreprendre alors (par exemple, interdiction de circuler en véhicule, évacuation de personnel) doivent être discutées au préalable avec les services de secours au sein d'un Plan d'Opération Interne (POI).

V.2.2 Le système de refroidissement

Le système de refroidissement automatique des parois de la robe du bac S124 raccordé au réseau anti-incendie existant sera réalisé par quatre (04) demi couronnes superposées bridées identiques réalisées en tube en acier diamètre 3'', deux (02) demi couronnes situées sur la partie supérieure de la robe et les deux autres situées au milieu, couvrant ainsi toute sa circonférence. Ces demi-couronnes seront dotées de demi-manchons pour la fixation des pulvérisateurs à eau répondant aux normes NFPA. Chaque deux demi-couronne seront alimentées en eau par une colonne montante à part réalisée en tube en acier diamètre 6'', sur la partie inférieure des colonnes montantes seront prévues des vannes de purge. Les branchements de la tuyauterie alimentant les couronnes de refroidissement et seront dotées de vannes électro-pilotées avec des by-pass

V.2.3 Fonctionnement de la pomperie

La pomperie décrite ci-dessus permet de garder un niveau de pression constant et uniforme dans tout le réseau pendant l'arrêt et pendant le fonctionnement du système d'extinction. Le fonctionnement de la pomperie est contrôlé par le niveau de pression dans le réseau et par le niveau d'eau dans le réservoir d'eau anti-incendie mise en jeu. Si le système d'extinction du feu est mis en marche, la pression de l'eau dans tout le réseau chute et en particulier au niveau du collecteur de refoulement des pompes équipé des pressostats suivants : f

- Pression haute (PSH).
- Pression très haute (PSHH). *f*
- Pression basse (PSL). *f*
- Pression très basse (PSLL).

V.2.4 Système à mousse

La mousse physique est obtenue en mélangeant par un moyen mécanique de l'eau, un produit moussant ou émulseur et de l'air

L'extinction mousse des feux pour le bac S124 sera assurée par deux USD de 1500 L sur toute la circonférence, de manière à déverser de la mousse dans l'espace annulaire compris entre la robe du réservoir et les caissons du toit.

Le système d'extinction est composé des chambres à mousse qui seront fixées sur les robes des bacs (le nombre des chambres à mousse sera choisi en conformité à la norme NFPA11), ces chambres à mousse seront alimentées par des colonnes montantes, ces dernières seront raccordées aux couronnes à mousse qui sont branchées sur le réseau mousse.

Les branchements de la tuyauterie alimentant les couronnes à mousse seront dotés de vannes électro-pilotées avec des by-pass.

Les systèmes d'extinction des bacs (colonnes montantes et couronnes) seront bridés à distance régulière.

Les supports des couronnes et colonnes seront prévus en nombre suffisant et ne seront pas soudés directement sur la robe.

V.2.5 Système de mesure de niveau et de température :

Pour la gestion du bac, il est nécessaire de connaître avec précision et à tout moment le stock qu'il contient ; pour ce faire, il est nécessaire d'équiper bac de stockage d'un système de mesure de niveau.

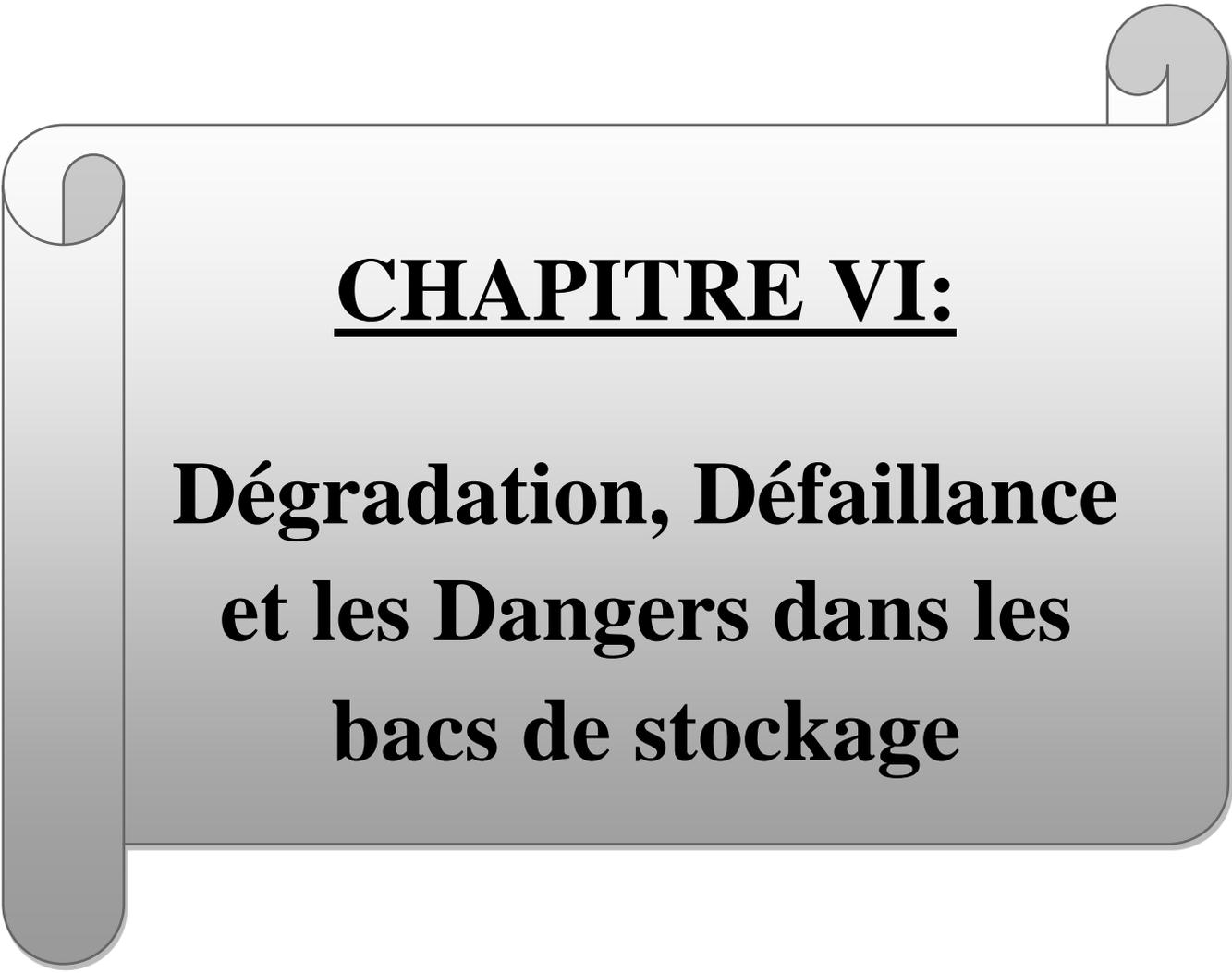
Le système doit permettre la mesure du niveau, de la température moyenne, l'interface eau/produit au fond de bac, Le jaugeur est constitué de :

- D'une sonde multi température associée à une détection de fond d'eau.
- D'un indicateur au pied de bac.

Cet ensemble installé sur le bac devra communiquer les informations acquises vers un système centralisé de gestion des bacs au niveau de la salle de contrôle via un bus de terrain,

V.2.6 Vannes motorisées :

Elles seront installées à l'entrée et sortie du bac et seront également installées en aspiration et refoulement des pompes. Elles seront dotées de commande locale et à distance à partir du circuit de commande

A decorative graphic of a scroll with a light gray background and a dark gray border. The scroll is unrolled on the left and right sides, with the top corners curled up. The text is centered on the scroll.

CHAPITRE VI:

Dégradation, Défaillance et les Dangers dans les bacs de stockage

VI.1 Introduction:

Dans ce chapitre, on rappelle les principaux phénomènes de dégradation et de défaillance ainsi que les dangers potentiels rencontrés dans un bac de stockage.

VI.2 Phénomènes de dégradation et de défaillance du bac de stockage:

Les principaux phénomènes 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.

VI. 2.1. 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.

VI. 2.2. 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 général entraînant l'instabilité du 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.

VI. Dégradation, Défaillance et les Dangers dans les bacs de stockage

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, ainsi que des blocages des toits flottants.

VI.2.2.1. 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.

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.

VI. 2.2.2. Inclinaison de l'ensemble du réservoir:

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

VI.2.2.3. Tassements non uniformes:

- **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.

- **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.

VI. Dégradation, Défaillance et les Dangers dans les bacs de stockage

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.

➤ 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.

VI.2.3. Défaillance de la 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
- Défaut de verticalité des poteaux de support de la charpente

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 rotondité.

VI. 2.4. 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 3,6 10⁴. Pour un stockage de dépôt, le nombre de cycles est au moins divisé par 10, soit inférieur à 3.103.

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.

VI. 2.5. 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 :

- Tassements différentiels ;
- Déformation du fond du fait des contraintes générées.

VI. 2.6. 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.

VI. 2.6.1. Fissuration par corrosion:

On constate souvent que la corrosion aqueuse attaque les métaux de manière localisée autant que ou plutôt uniforme, et ceci peut conduire à la rupture d'une pièce beaucoup plus rapidement que ce qui supposerait d'après les vitesses moyennes de corrosion.

La contrainte et la corrosion agissant simultanément peuvent être particulièrement nocives, et produire des fissures qui se propagent rapidement et de façon imprévisible. Deux types de fissuration par corrosion conduisent couramment à des dégâts imprévus. Ce sont :

➤ **Fissuration par corrosion sous contrainte :**

Elle se produit sous l'action simultanée de contraintes et 'un milieu corrosif, et provoque la Fissuration inter-granulaire ou Transe granulaire du métal souvent sous forme ramifiée.

➤ **Fatigue - corrosion:**

La fatigue représente la tendance du métal à se fracturer sous l'action répétée d'un cycle de contraintes. La fissuration apparaît normalement au-dessous de la limite élastique. La "corrosion sous fatigue" est une réduction de la résistance à la fatigue due à la présence d'un milieu corrosif.



Fig. VI.1

VI. 3 Les dangers potentiels sur le site :

VI. 3.1 Fire Ball (Boule de feu) :

L'effet de boule de feu peut résulter d'un violent boil-over ou d'une explosion par pressurisation d'un bac de brut à toit fixe. Une colonne riche en vapeurs inflammables s'élève alors rapidement dans l'atmosphère jusqu'à une altitude où un apport d'air par brassage va permettre sa combustion. Une masse de feu en forme de tore, de champignon ou de boule va se développer et brûler très rapidement, accompagnée d'un accroissement soudain du rayonnement émis par la masse en feu.

VI. 3.2. Pool Fire (Feu de nappe) :

Le risque de feu de nappe est consécutif à une perte de confinement se traduisant par de l'émission directe de pétrole brut sur le sol et la formation d'une flaque à la suite d'une fuite au niveau des réservoirs de stockage, de la canalisation, d'une bride, d'une vanne ou d'un piquage d'instrumentation sur une ligne de procédé qui serait suivi d'une ignition immédiate ou retardée

VI. 3.3. Flash Fire (Feu éclair) :

Un Flash Fire est un feu qui se propage rapidement dans un combustible dispersé sans production de surpression nuisible. La longueur de flamme d'un Flash Fire est donc la distance à la Limite Inférieure d'Explosivité.

Le Flash Fire est un phénomène très court, les effets sont limités au nuage lui-même. La distance d'effet, tant pour les effets critiques que pour les effets irréversibles, est égale à la distance de la limite inférieure d'explosivité (LIE).

Ainsi, les effets à l'intérieur de la LIE auront une gravité élevée (toute personne se trouvant dans cette zone sera considérée comme décédée) alors qu'au-delà de la distance à la LIE les effets seront considérés comme nuls.

VI. 3.4 Explosion (UVCE) :

L'explosion est la libération très rapide, sous forme de gaz à haute pression et à haute température, d'une énergie stockée sous un volume réduit

VI. 3.5 Dispersion d'un nuage de vapeur inflammable :

Le risque de dispersion d'un nuage de gaz inflammable est consécutif à une émission directe à l'atmosphère à la suite d'une fuite au niveau de la canalisation, d'une bride, d'une vanne ou d'un piquage d'instrumentation sur une ligne de procédé.

Conclusion

Les réservoirs sont parmi les moyens de stockage les plus utilisés dans de nombreuses industries, et ils sont plus complexes en matière de dimensionnement, d'étude et de prise en charge du volet sécurité. Ils sont en interaction avec le produit stocké, l'environnement extérieur tel que les conditions climatiques. Et pour cela ils nécessitent un savoir-faire pointu pour répondre aux exigences de la norme et de la réglementation en vigueur.

Afin de concevoir une structure en toute sécurité, l'analyse de son comportement sous différentes variétés de chargement est importante. La première étape pour analyser le comportement de la structure face aux différentes charges est l'analyse de contraintes (renversement, étude dynamique, stabilité).

La prise en charge du volet sécurité est primordiale et nécessite des réflexions qui dépassent l'étude à l'utilisation finale pour se rendre compte de toutes les éventualités et éviter la défaillance.

BIBLIOGRAPHIE

- API Std 650 11ème Edition (Américain Petroleum Institute)
- API 653.
- CODRES 2007
- Euro code 3 NV65
- Normes ASME.
- l'électrode E7018
- RNV99 : Règlement Neige et Vent 99.
- Normes ANSI.
- Note de calcul de réalisation d'un bac de stockage de condensat (DOCUMENT
○ M.E.S SPA 2014)
- Cours stockage des produits pétrolier, du Mr Tikobaini 2019 / 2020 FHC.
- Cahier de charge de construction d'un bac de stockage RTE Skikda
- Calcul de structures métallique selon L'Eurocode 3
- Guide d'inspection et de maintenance des réservoirs aériens cylindriques verticaux.
- Guide de réparation Fait par Dr. BENMOUNAH Amar, Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie Université de Boumerdes.