



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



**UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA FACULTE DE  
TECHNOLOGIE DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention

D'un Diplôme de Master en Mécanique

Option : Fabrication Mécanique et productique

### **Thème**

**Étude et présentation du montage d'un réservoir  
de stockage de gasoil capacité 5700 m<sup>3</sup> avec la  
norme API 650**

Réalisé par :

- Meguetoui Youcef
- Hadjeras Younes

Promoteur

Hichème Ferdjani

Co-promoteur

Islem Zekraoui

Année Universitaire 2022/2023

## **REMERCIEMENT**

Avant tout, nous tenons à louer Allah le Tout-Puissant, le Très Miséricordieux et le Très Miséricordieux pour les bienfaits qu'il nous a accordés au cours de nos études et lors de la réalisation de cette thèse.

Notre gratitude va aux membres du jury qui ont accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous sommes redevables à notre promoteur, Mr. FERDJANI et Co-promoteur Mr. ZAKRAOUI Pour son patience, ses conseils et son soutien. Nous avons grandement bénéficié de la richesse de vos connaissances et de votre travail d'édition méticuleux. Nous vous sommes extrêmement reconnaissants de nous avoir acceptés en tant qu'étudiants, d'avoir accepté de superviser notre travail et d'avoir continué à nous faire confiance dans le cadre de ce projet.

Nous sommes reconnaissants à nos parents dont l'amour constant et le soutien sans faille nous permettent de rester motivés et confiants. Ils méritent également une mention spéciale pour leurs prières inséparables, nos réalisations et nos succès sont dus au fait qu'ils ont cru en nous. Merci de nous avoir toujours rappelé l'objectif final.

Enfin, nous voudrions remercier toutes les personnes qui ont joué un rôle important dans la réalisation de cette thèse, et nous excuser de ne pas avoir pu les citer toutes personnellement. Nous espérons que notre étude sera bénéfique et utile à toute personne intéressée par ce thème.

## RESUME

---

Ce travail présente l'étude et la présentation du montage d'un réservoir de stockage de 5700 m<sup>3</sup> conformément à la norme API 650. Il a été effectué avec la collaboration de la société CR métal. Nous commençons par la description du réservoir ainsi que le site. Nous détaillons ensuite toutes les étapes du calcul. Les calculs ont été effectués avec le logiciel AMETANK. Enfin nous présentons toutes les étapes du montage.

## ملخص

---

يقدم هذا العمل دراسة وعرض لجميع خزان تخزين بمساحة 5700 متر مكعب وفقا ل API 650. تم تنفيذه بالتعاون مع شركة CR métal. نبدأ بوصف الخزان وكذلك الموقع. ثم نقوم بتفصيل جميع خطوات الحساب. تم إجراء الحسابات باستخدام برنامج AMETANK. أخيرا نقدم جميع مراحل التجميع.

## Liste des figures

### Chapitre 1

**Figure 1.1:** réservoir de stockage de GNL

**Figure 1.2 :** réservoir cylindrique de stockage sous pression.

**Figure 1.3 :** réservoirs sphériques de stockage sous pression.

**Figure 1.4 :** Réservoir à toit flottant.

**Figure 1.5 :** Réservoir à écran flottant interne.

**Figure 1.6 :** Réservoir à toit fixe.

**Figure 1.7:** réservoirs de stockage cylindriques horizontaux

**Figure 1.8 :** réservoirs de stockage cylindriques verticaux.

**Figure 1.9 :** Types Équipements de la structure des réservoirs.

**Figure 1.10 :** Logo de la société de CR métal

### Chapitre 2

**Figure 2.1 :** Logo de programme AMETANK

**Figure 2.2 :** Toit du réservoir

**Figure 2.3 :** données introduites et différents types de Toit

**Figure 2.4 :** cornière supérieure – détail B – (AMETANK)

**Figure 2.5 :** données introduites Cornière de rive (AMETANK)

**Figure 2.6 :** La robe du réservoir

**Figure 2.7 :** données introduites de la robe selon AMETANK

**Figure 2.8 :** Les viroles du réservoir

**Figure 2.9 :** Résumé de la conception de la robe sur AMETANK

**Figure 2.10 :** introduction des données du fond dans AMETANK

**Figure 2.11 :** Le fond du réservoir

**Figure 2.12 :** données introduites du Fond (AMETANK)

**Figure 2.13 :** Les chaises d'ancrages du réservoir

**Figure 2.14 :** dimension des chaises d'ancrages

**Figure 2.15 :** données introduites des chaises d'ancrages AMETANK

**Figure 2.16 :** La Conception finale du réservoir

## Chapitre 3

**Figure 3.1 :** construction du réservoir

**Figure 3.2 :** Installation du fond du réservoir de stockage (plaque par plaque)

**Figure 3.3 :** Installation du fond du serpentin du réservoir de stockage

**Figure.3.4 :** Assemblage de la robe du réservoir (plaque par plaque)

**Figure 3.5 :** Installation d'une robe enroulée

**Figure 3.6** Installation de toits fixes de réservoirs de stockage

**Figure 3.7 :** Installation du trou d'homme et des tuyaux de raccord

# *LISTE DES TABLEAUX*

## **CHAPTER 2**

<b>Tableau 2.1</b>	Caractéristiques géométriques du toit.
<b>Tableau 2.2</b>	Propriétés de la section de la cornière de rive.
<b>Tableau 2.3</b>	Propriétés des sections combinées des cornières de rive et de la robe.
<b>Tableau 2.4</b>	Résumé de la conception de la robe.
<b>Tableau 2.5</b>	Hauteurs des cours de la robe transformée.
<b>Tableau 2.6</b>	Résumé des cas de surélévation.
<b>Tableau 2.7</b>	Plaque supérieure Épaisseur minimale requise.
<b>Tableau 2.8</b>	Contrainte de la plaque supérieure.
<b>Tableau 2.9</b>	Capacités et poids des composants du réservoir.
<b>Tableau 2.10</b>	Récapitulatif des résultats des viroles.

## **CHAPTER 3**

<b>Tableau 3.1</b>	Les dimensions et formes de la robe.
<b>Tableau 3.2</b>	Les écarts extrêmes de taille et de forme du toit installé (toitures fixes).
<b>Tableau 3.3</b>	Les écarts extrêmes de taille et de forme du toit installé (toits flottants).
<b>Tableau 3.4</b>	positions sur le mur et le toit de l'installation des tuyaux de raccord et des plaques de trou d'homme.

# SOMMAIRE

## LISTE DES FIGUERS

## LISTE DES TABLEAUX

<b>INRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	1
<b>CHAPITRE.1: Généralités sur les réservoirs</b> .....	2
1.1. Introduction : .....	3
1.2. Différents types de réservoirs de stockage .....	4
1.2.1. Réservoirs de GNL.....	4
1.2.2.Réservoirs sous pression.....	5
1.2.3.Réservoirs à toit flottant .....	6
1.2.4.Réservoirs à toit fixe.....	9
1.2.5.Réservoir horizontal .....	10
1.2.6. Réservoirs cylindriques verticaux .....	11
1.3.Choix du type de réservoir de stockage.....	11
1.4.Équipements et accessoires des réservoirs de stockage.....	12
1.5.Matériaux de construction des réservoirs .....	12
1.6. Définition de la société de CR métal.....	13
<b>CHAPITRE.2: Étude du réservoir de stockage 5700 m<sup>3</sup>...</b> .....	14
2.1. Introduction .....	15
2.2. Présentation du programme AMETANK.....	15
2.3. La norme API 650 .....	16
2.4. Données et résultats.....	18
3.4.1. Données et résultats du Toit .....	19
2.4.1.1 Données.....	19
2.4.1.2. Résultats .....	20
2.4.1.3. Exigences de montage .....	20
2.4.2. Cornière de rive .....	21
2.4.2.1. Propriétés du matériau.....	21

2.4.2.2. Résultats .....	21
2.4.2.3. Propriétés des sections combinées de cornière de rive et de la robe .....	24
2.4.2.4. Exigences de montage .....	24
2.4.2.5. Pression interne .....	25
2.4.3. La robe.....	26
2.4.3.1. Méthode de conception des viroles .....	27
2.4.3.2. Résumé des résultats de la conception de la robe.....	38
2.4.3.3. Conception des raidisseurs intermédiaires .....	41
2.4.4. Le Fond.....	43
2.4.4.1. Données supplémentaires du fond.....	43
2.4.4.2. Calcul des contraintes.....	45
2.4.4.3. Poids du fond.....	46
2.4.4.4. Conception du fond due à la pression externe.....	47
2.4.5. Moment du vent.....	49
2.4.5.1. Pressions du vent .....	49
2.4.5.2. Renversement par le vent et stabilité au glissement.....	50
2.4.5.2.1. Moments de renversement .....	52
2.4.5.2.2. Résistance au renversement.....	53
2.4.5.2.3. Résistance au glissement .....	54
2.4.6 Caractéristiques des boulons d'ancrage .....	54
2.4.6.1. Exigences d'espacement des ancrages .....	56
2.4.6.2. Chevilles Espacement moyen (la moitié de la portée de chaque côté de la cheville) au cercle de boulons .....	57
2.4.6.3. Cas de charge de soulèvement. ....	57
2.4.6.3.1. Cas de remontée 1 : Pression de conception uniquement.....	57
2.4.6.3.2. Cas de soulèvement 2 : Pression d'essai uniquement .....	58
2.4.6.3.3. Cas de soulèvement 3 : Charge de vent uniquement .....	59
2.4.6.3.4. Cas de soulèvement 4 : Pression de calcul + charge de vent.....	60
2.4.6.3.5. Cas de soulèvement 5 : Pression de fragibilité .....	60

2.4.6.4. Diamètres requis pour les boulons .....	61
2.4.7. Les chaises d'ancrages .....	62
2.4.7.1. Conception des chaises d'ancrage selon les données techniques des tôles . .....	62
2.4.7.2. Contrainte de robe à la fixation de l'ancrage .....	66
2.4.8. Capacités et poids.....	66
2.4.9. Résultats récapitulatifs .....	68
<b>CHAPITRE.3: Présentation du montage Du Réservoir de stockage...</b> .....	<b>71</b>
3.1. Introduction .....	72
3.2. Plan d'exécution des travaux.....	72
3.3. SOUDAGE ET AUTRES PROCÉDURES DE CONSTRUCTION DE RÉSERVOIRS DE STOCKAGE.....	74
3.3.1. EXIGENCES GÉNÉRALES POUR LE SOUDAGE .....	74
3.3.2. L'ordre de construction du réservoir .....	75
3.4. ASSEMBLAGE DU FOND DU RÉSERVOIR.....	76
3.4.1. MÉTHODE D'INSTALLATION PAR LE BAS PLAQUE PAR PLAQUE.....	76
3.4.2. ASSEMBLAGE DES FONDS ENROULÉS .....	79
3.4.3. Écarts extrêmes de taille et de forme de l'arrière-plan installé .....	80
3.4.4. Traitement préventif de la corrosion du fond .....	81
3.5. Assemblage et soudage d'une robe de réservoir de stockage.....	82
3.5.1. Assemblage de la robe du réservoir par la méthode plaque par plaque.....	82
3.5.2. Installation d'une robe enroulée .....	83
3.5.3. Écarts extrêmes de dimensions et de formes de la robe installée .....	86
3.6. Installation de la charpente du toit de réservoir.....	88
3.6.1. Assemblage et montage des profils de la charpente du toit.....	88
3.7. Installation des plaques de trou d'homme et des tuyaux de raccord .....	90
3.8. Conclusion.....	91
CONCLUSION GÉNÉRALE .....	93
Références .....	94

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les réservoirs sont des structures utilisées pour stocker des liquides ou des gaz dans divers domaines tels que l'approvisionnement en eau, l'industrie chimique, pétrolière et gazière. Ils sont conçus en tenant compte de plusieurs facteurs tels que la capacité de stockage requise, les propriétés des substances stockées, les charges environnementales et les réglementations en vigueur.

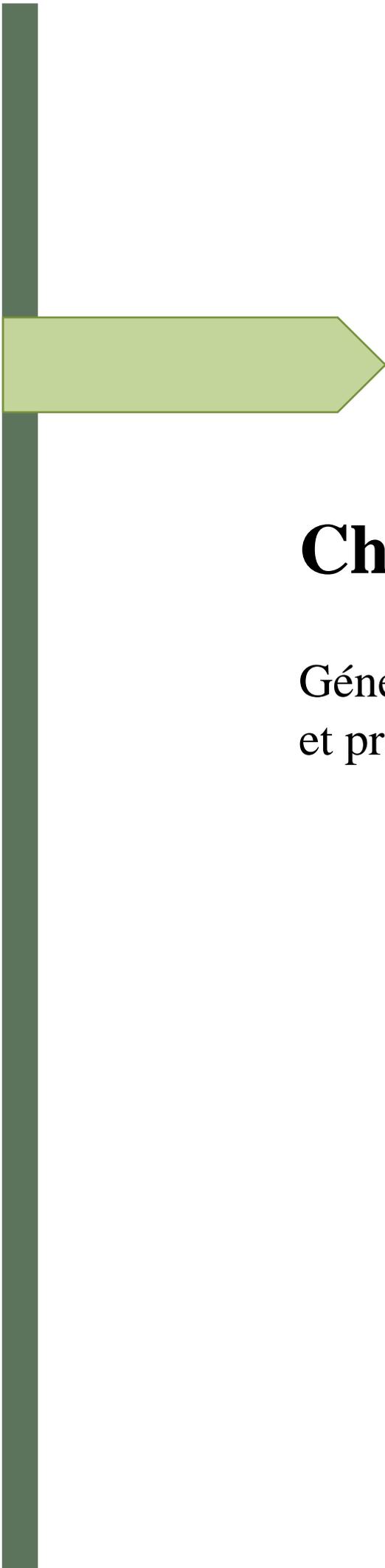
Pour garantir une conception optimale assurant la sécurité, l'intégrité structurelle, la conformité réglementaire et la performance opérationnelle du réservoir, son étude doit s'effectuer selon la norme API 560 E. L'objectif ultime de cette norme est de fournir un réservoir de stockage fiable, sûr et conforme aux normes de l'industrie pour le stockage efficace et sécurisé des liquides ou des gaz. Cette norme est intégrée au logiciel AMETANK.

Nous présentons dans ce mémoire l'étude et la présentation du montage d'un réservoir de stockage de gasoil d'une capacité de 5700 m<sup>3</sup>. L'étude a été réalisée selon la norme API 560 E avec le logiciel AMETANK. Le travail a été effectué en collaboration avec la société CR-METAL. Ce mémoire se divise en plusieurs chapitres :

- Le chapitre 1 présente des généralités sur les bacs de stockage, ainsi qu'une présentation de la société CR-Métal.
- Les données du problème fournies par CR\_METAL ainsi que le détail de tous les calculs sont présentées dans le chapitre 2.
- Nous terminons par une conclusion générale.

Le Chapitre.3 contient une présentation du montage du Réservoir de stockage la présentation du montage d'un réservoir de stockage vise à fournir une communication claire, à partager des connaissances, à impliquer les parties prenantes, à suivre le planning et le budget, à gérer les risques, à garantir la qualité et à promouvoir la confiance. Elle joue un rôle essentiel dans la réussite du projet de construction du réservoir de stockage en assurant une compréhension commune et une collaboration efficace.

En conclusion, l'étude et la conception d'un réservoir de stockage de 5700 m<sup>3</sup> selon la norme API 650 nécessitent une analyse détaillée des facteurs structurels, environnementaux et opérationnels. L'utilisation du logiciel AMETANK facilite ce processus en fournissant des outils avancés pour la modélisation, la vérification et la génération de rapports. La conformité à la norme API 650 garantit la sécurité et la fiabilité du réservoir, offrant une solution optimale pour le stockage de liquides à grande échelle.

A dark green vertical bar runs down the left side of the page. A light green arrow points to the right, overlapping the bar.

# **Chapitre 1 :**

Généralités sur les réservoirs  
et présentation de CR-Métal

## **1. 1. Introduction** [3]

La société dépend des produits pétroliers tels que les plastiques, les peintures, les lubrifiants, les carburants et d'autres produits, de sorte que la croissance de l'industrie pétrolière se reflète dans le besoin de structures de réservoirs de stockage capables de contenir ces produits. Un moyen économique et sûr sans risque de mort pour le personnel et les installations industrielles environnantes.

Dans le domaine de l'ingénierie, la construction de réservoirs de stockage cylindriques verticaux a pour but : de stocker ces produits, de résister à l'énorme pression interne due au volume occupé par le liquide, et à la pression externe due aux facteurs climatiques dans lesquels le réservoir est situé. La densité du produit affecte directement les dimensions de l'épaisseur de la coque qui composent le corps et le fond du réservoir. Par conséquent, il est nécessaire d'effectuer la conception dimensionnelle des réservoirs de stockage répondant aux exigences selon la procédure décrite dans la norme API 650 qui est la plus largement utilisée dans ce domaine ; et d'effectuer les contrôles de stabilité pertinents sur les réservoirs de stockage selon les influences climatiques et sismiques de leurs régions. [1]

La norme API 650 spécifie les exigences minimales pour les matériaux, la conception, la construction et les essais des réservoirs de stockage cylindriques verticaux, fermés ou ouverts, soudés, de différentes tailles et capacités, et soumis à une pression interne. Cette norme est à utiliser uniquement pour des réservoirs de service non refroidis avec un fond uniforme et une température de fonctionnement maximale de 93 ° C. De plus, il fournit à l'industrie des réservoirs de stockage sûrs et raisonnablement économiques pour stocker du pétrole, des produits pétroliers et d'autres produits liquides sans limiter leur taille.

## **1.2. Différents types de réservoirs de stockage [6]**

La production, la fabrication et le raffinage dans les industries chimiques et pétrochimiques reposent tous sur des réservoirs de stockage. Un réservoir de stockage adapté protège aussi bien le produit que le matériel, l'environnement et le personnel.

Les réservoirs de stockage sont utilisés pour contenir des liquides, des vapeurs et des gaz et sont conçus pour contenir les déversements et réduire les risques et les dommages causés par les ruptures et les fuites. En choisissant le bon type de réservoir, vous pouvez augmenter l'efficacité de votre chauffe-réservoir et mieux maintenir l'intégrité du produit.

### **1.2.1. Réservoirs de GNL [6]**

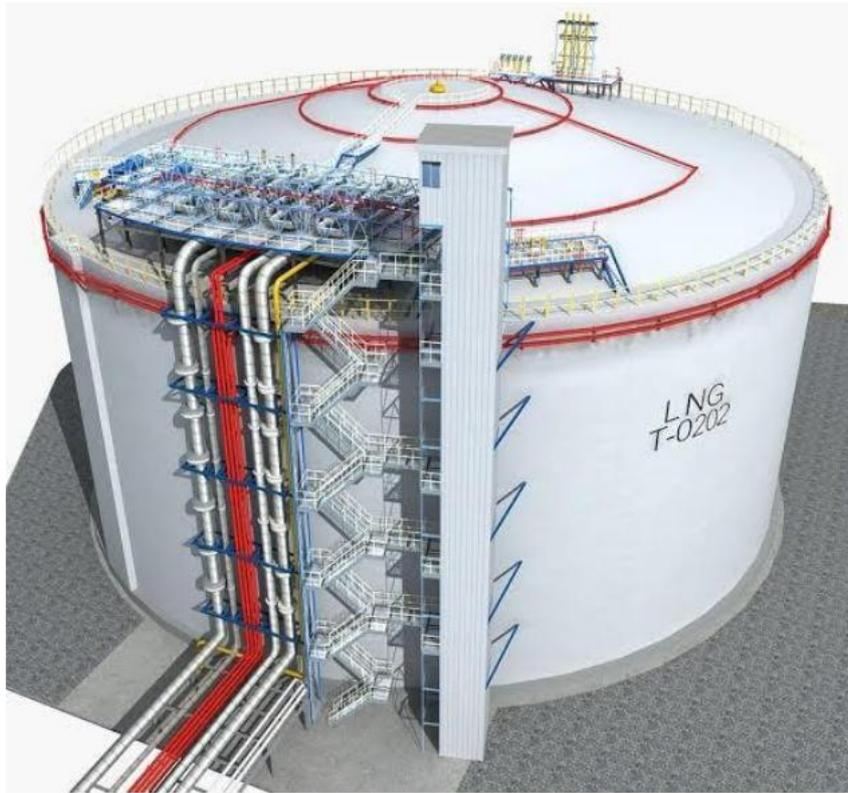
Les réservoirs de gaz naturel liquéfié (GNL) sont spécialement conçus pour stocker des produits tels que le méthane. Le GNL est stocké à des basses températures, ce qui convertit le gaz en un état liquide. Le résultat est un produit qui occupe 1/600 de l'espace de son état naturel, tout en réduisant les risques de transport et de stockage.

Les réservoirs de stockage de GNL sont capables de contenir des produits à des températures allant jusqu'à 323 °F (162 °C). La température est maintenue grâce à l'isolation du réservoir et à l'utilisation de doubles parois pour éviter les fuites ou la contamination. Les réservoirs sont généralement fixes ou mobiles.

Les réservoirs fixes de stockage de GNL (Figure 1.1) peuvent être hors sol ou souterrains.

Selon leur conception et leur taille, les réservoirs fixes de stockage de GNL ont généralement une capacité comprise entre 1 000 mètres cubes et 160 000 mètres cubes. Il existe même des réservoirs de 200 millions de litres déjà fabriqués.

Les réservoirs mobiles de GNL peuvent être transportés par camion, train ou bateau. Ils sont dotés de dispositifs de sécurité, tels que des dispositifs d'arrêt, et doivent être conformes aux réglementations du ministère des Transports ou d'autres réglementations nationales ou internationales.



**Figure 1.1:** réservoir de stockage de GNL. [6]

### 1.2.2. Réservoirs sous pression [6]

Contrairement aux réservoirs de stockage de GNL, ceux-ci sont construits pour maintenir le produit sous pression. Les récipients sous pression présentent un risque potentiel plus élevé en cas d'explosion de vapeur d'expansion de liquide bouillant en raison d'une surchauffe ou de dommages.

Pour atténuer ces risques, les réservoirs de stockage sous pression doivent être conformes au code ASME sur les chaudières et les réservoirs sous pression. Le code ASME aide à sélectionner le matériau, la forme et le but appropriés du récipient sous pression.

Les fluides à haute pression sont généralement stockés dans des récipients sphériques sous pression (Figure 1.3). La forme sphérique répartit la pression uniformément sur le récipient, évitant les points faibles de la structure. Cette forme réduit également la surface, réduisant ainsi le transfert de chaleur depuis l'environnement extérieur.

Pour les fluides à basse pression, les réservoirs cylindriques (Figure 1.2) sont plus couramment utilisés, bien qu'ils n'aient pas l'intégrité structurelle des sphères. De plus ils sont moins chers.



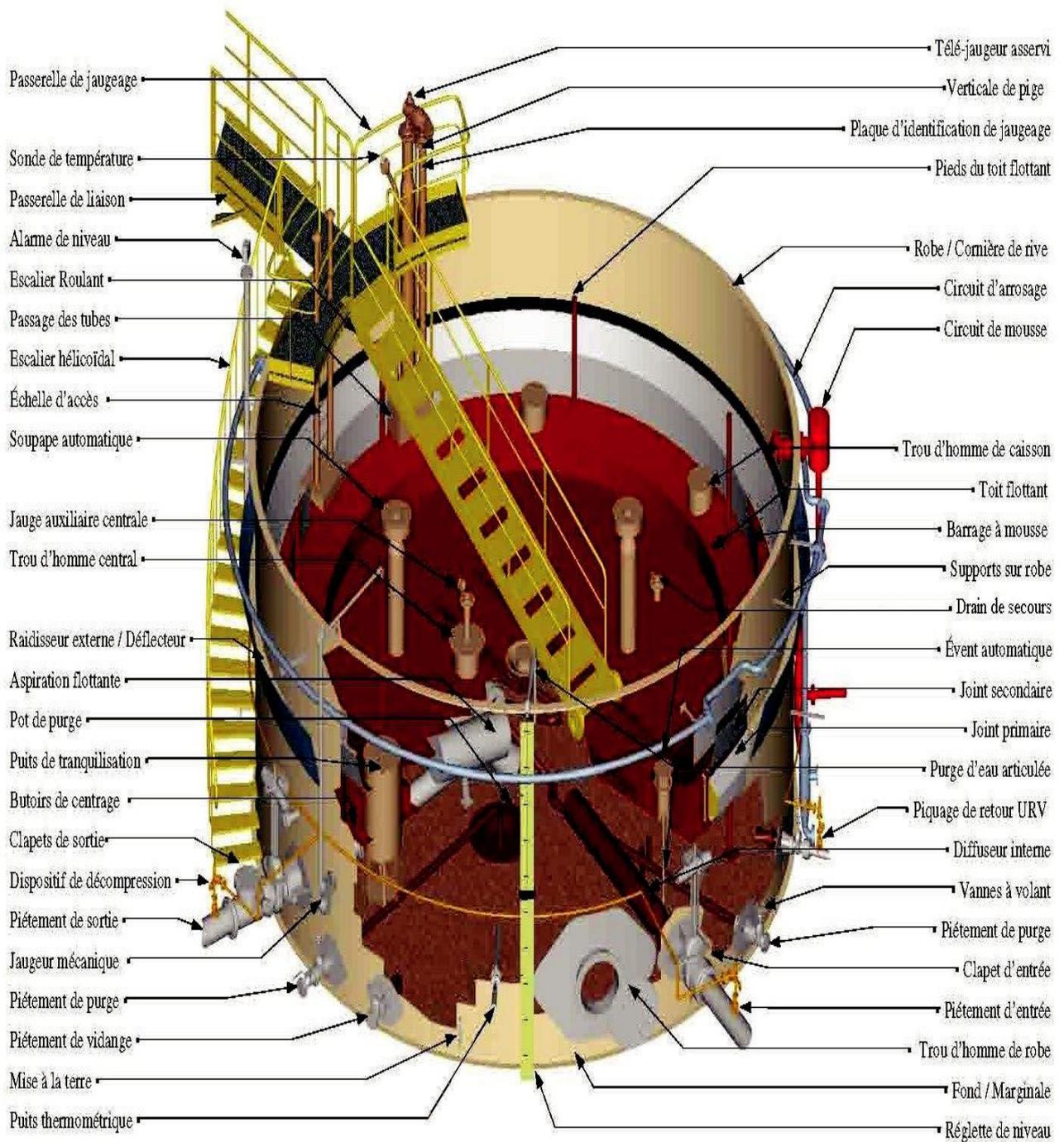
**Figure 1.2 :** réservoir cylindrique de stockage sous pression. [2]



**Figure 1.3 :** réservoirs sphériques de stockage sous pression. [2]

### **1.2.3. Réservoirs à toit flottant (Figure 1.4) [5]**

Les réservoirs à toit flottant (Figure 1.4) sont conçus pour réduire les émissions de vapeur et le volume à l'intérieur du réservoir. Pour cela, le toit flotte à la surface du liquide à l'intérieur du réservoir. Le toit monte et descend avec le niveau du liquide, empêchant la vapeur de s'accumuler à l'intérieur.



**Figure 1.4** : Réservoir à toit flottant. [2]

### 1.2.3.1 Réservoir à toit flottant Interne (écran flottant)

Un réservoir à toit flottant interne possède deux toits. Le toit flottant est le composant interne, flottant sur le liquide. Au-dessus, il y a un toit fixe au sommet de la cuve de stockage.

### 1.2.3.2 Réservoir à toit flottant Externe

Le réservoir à toit flottant externe n'a qu'un seul toit. Les toits des réservoirs sont ouverts et un seul toit flotte sur le liquide ou sur un flotteur de niveau.

Certains réservoirs à toit flottant sont conçus en forme de dôme. Cette conception est utilisée pour bloquer le vent, plutôt que la vapeur. [5]

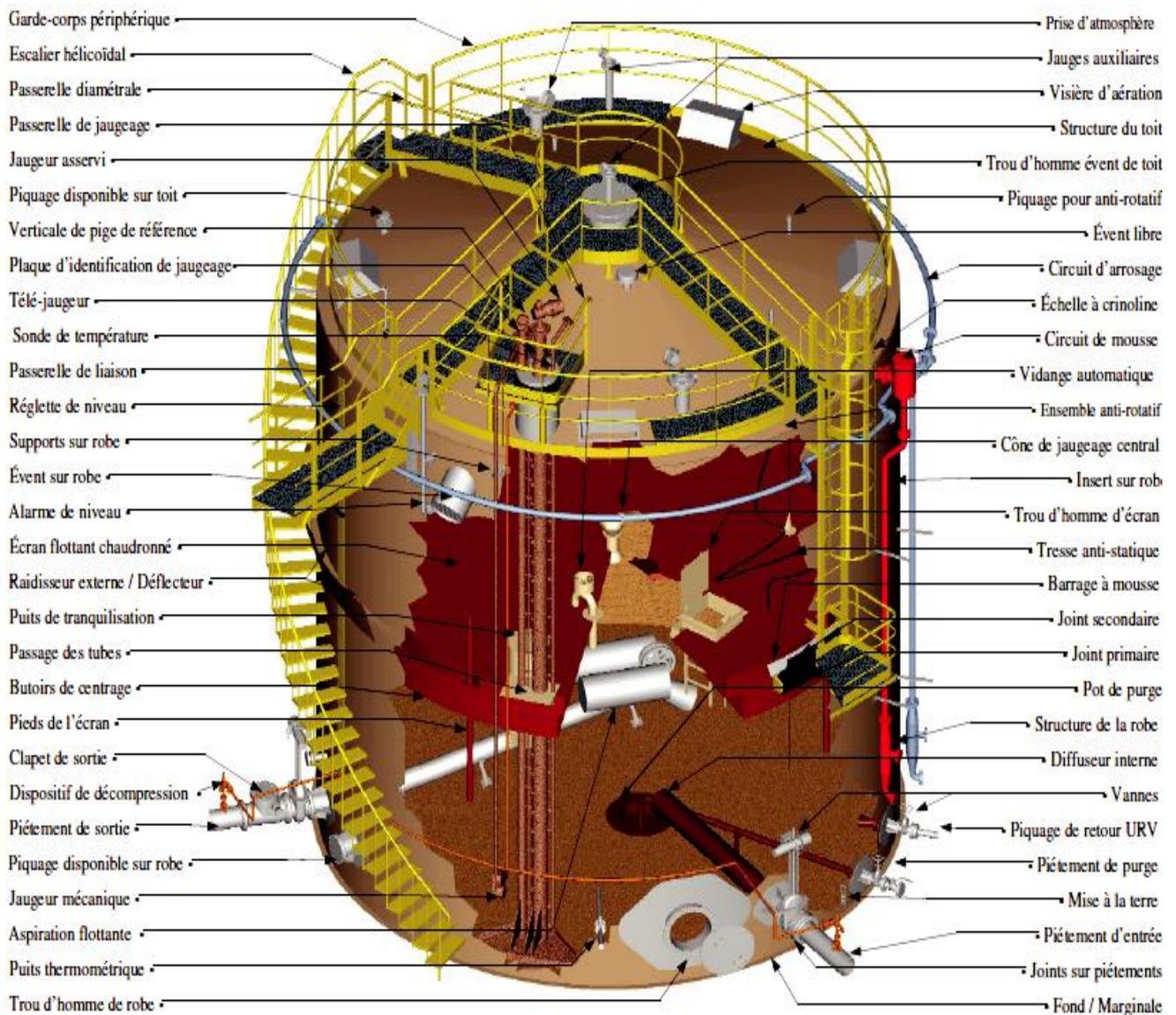
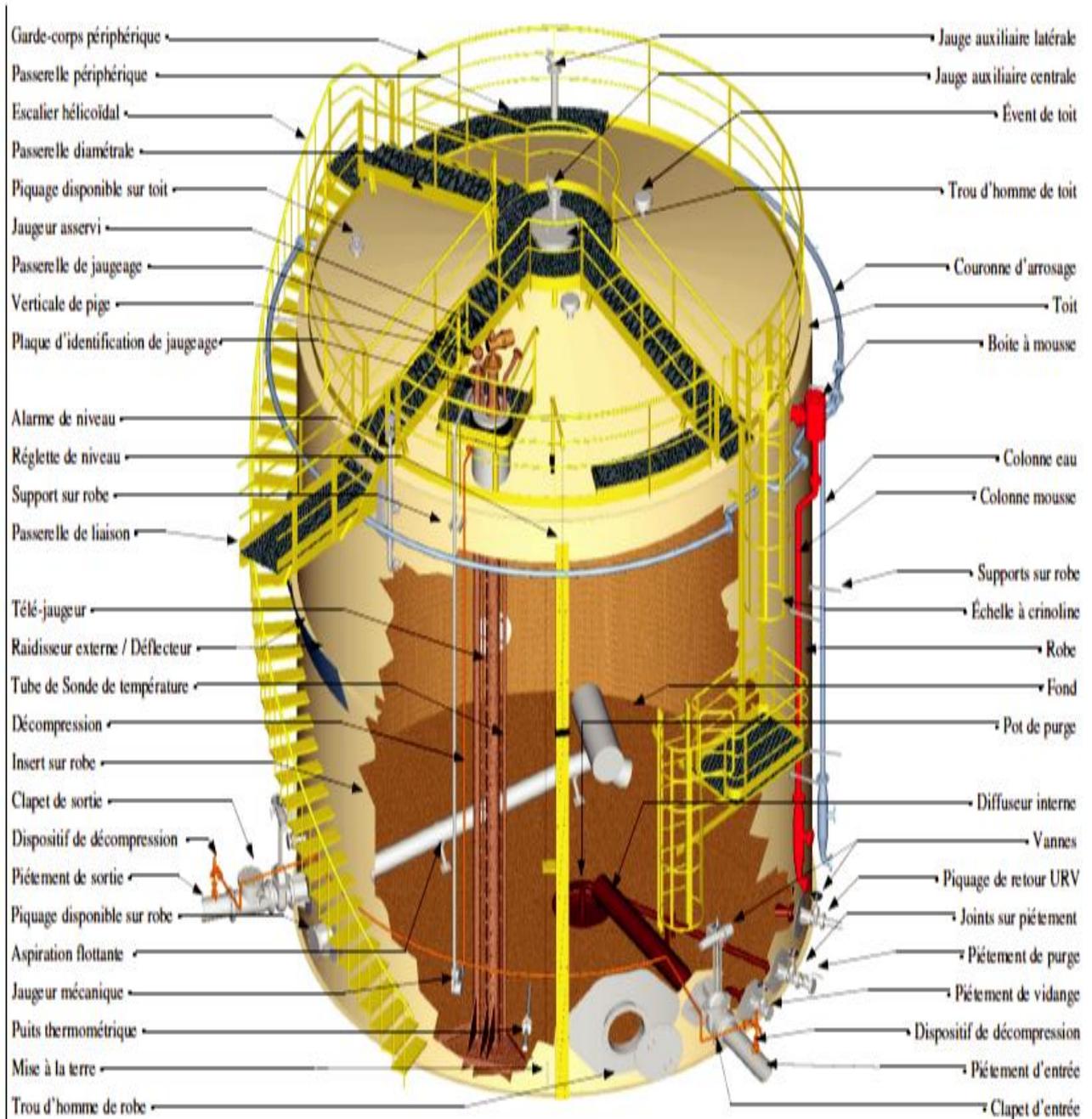


Figure 1.5 : Réservoir à écran flottant interne.[2]

### 1.2.4. Réservoirs à toit fixe (Figure I.6) [6] :

Le toit d'une citerne à toit fixe ne bouge pas. C'est une housse solide qui se fixe directement sur la jupe. Selon l'âge et la conception, ces réservoirs peuvent ou non être étanches à l'air et aux liquides. Ces réservoirs répondent aux exigences minimales pour stocker la plupart des liquides et sont les moins coûteux à construire.

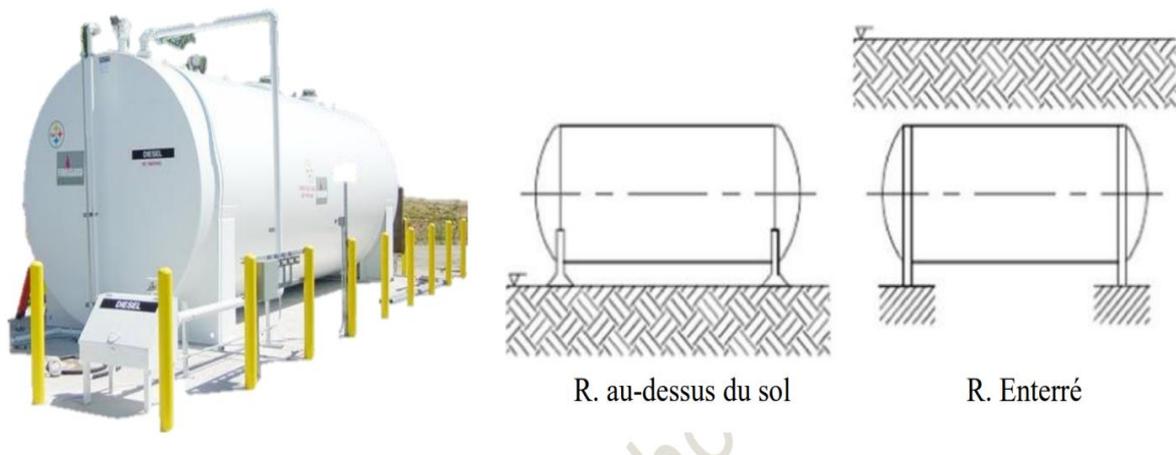


**Figure 1.6 :** Réservoir à toit fixe. [2]

### 1.2.5. Réservoir horizontal (Figure 1.7) [4] :

Les réservoirs de stockage horizontaux sont construits pour le service souterrain et aérien. Le réservoir horizontal est généralement en acier, en acier revêtu de fibre de verre ou en polyester renforcé avec de la fibre de verre. Les réservoirs horizontaux sont généralement de petits réservoirs de stockage.

Les réservoirs horizontaux sont construits de manière à ce que leur longueur ne dépasse pas six fois leur diamètre pour assurer leur intégrité structurelle. Les réservoirs horizontaux sont généralement équipés d'évents de vide sous pression, de trappes d'instrumentation et de puits d'échantillonnage, ainsi que de trous d'huile qui permettent d'accéder à ces réservoirs. De plus, les réservoirs de stockage souterrains peuvent être protégés cathodiquement pour empêcher la corrosion de l'enveloppe du réservoir. La protection cathodique est obtenue en plaçant ou en utilisant des anodes sacrificielles dans le réservoir connecté au système à courant imposé. Cependant, la protection cathodique interne n'est plus largement utilisée dans l'industrie pétrolière en raison de la présence d'inhibiteurs de corrosion dans la plupart des produits pétroliers raffinés aujourd'hui.



**Figure 1.7:** réservoirs de stockage cylindriques horizontaux. [2]

### 1.2.6. Réservoirs cylindriques verticaux (Figure 1.8) [4] :

Communément appelés réservoirs, ils reposent soit directement sur le sol, soit à fond plat sur la fondation. Ils sont généralement équipés d'un toit fixe conique ou sphérique, ou d'un toit flottant qui repose sur le liquide et coulisse dans un piston formé par l'enveloppe du réservoir. Lorsque ces réservoirs doivent être soumis à une légère pression, ils sont généralement sphériques au sommet et le fond peut être ancré à une fondation circulaire en béton. Pour éviter ces ancrages et les fondations qu'ils impliquent, le fond plat peut être remplacé par un fond sphérique concave qui égalise l'effet de pression sur le toit.



**Figure 1.8** : réservoirs de stockage cylindriques verticaux. [2]

### 1.3. Choix du type de réservoir de stockage [2] :

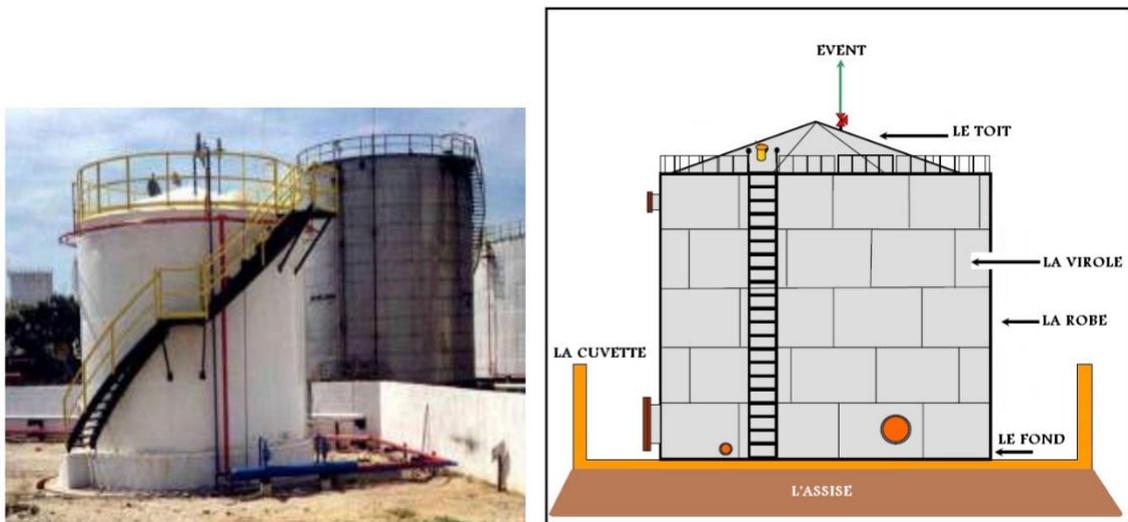
Le choix du type de réservoir de stockage dépend d'un certain nombre de paramètres :

- ➔ Emplacement du site : Selon l'emplacement du réservoir, il y a des normes de vent et de séisme relatif à chaque pays à chaque région qui définit la zone, la pression du vent et du séisme et la classe de l'ouvrage.
- ➔ Condition de service : Les conditions de service englobent la densité du produit, la température, la pression, la dépression, et la surpression qui émanent de l'exploitation finale.
- ➔ Géométrie du réservoir : La description de la géométrie du réservoir se fait à partir du cahier des charges du client ou à partir d'un besoin client bien exprimé contenant un plan de détail du réservoir ou simplement à partir des données géométriques voulues.
- ➔ Produit stocké

## 1.4. Équipements et accessoires des réservoirs de stockage (Figure 1.9) [2]:

Un réservoir de stockage est constitué de :

- La robe : c'est une paroi verticale constituée de tôles cintrées au diamètre du 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 réservoirs destiné à recevoir le contenu du bac ou de l'ensemble de réservoirs 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.



**Figure 1.9** : Types Équipements de la structure des réservoirs. [2]

## 1.5. Matériaux de construction des réservoirs [6]

Les réservoirs de stockage sont généralement en acier au carbone, en acier inoxydable ou en matériaux composites et peuvent être utilisés pour contenir certains produits chimiques. Le choix de l'acier a été fait en fonction des contraintes spécifiques de chaque élément. Les propriétés mécaniques de l'acier à considérer sont définies dans le cahier des charges de construction ou, à défaut, dans le cahier des charges de maintenance.

## **1.6. Présentation de la société « CR métal » :**

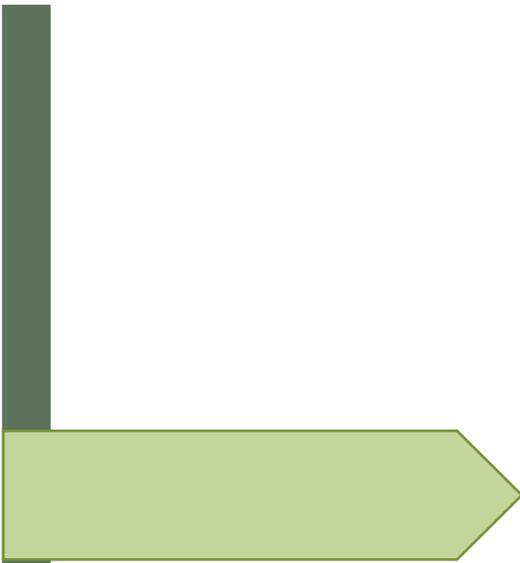
La société CR métal, dont le logo est présenté sur la Figure 1.10, est une entreprise spécialisée dans la conception, la fabrication et la vente de réservoirs de stockage en métal, tels que l'acier ou l'aluminium. La société fournit de l'expertise technique nécessaire pour réaliser des études préliminaires, des analyses de faisabilité, des études de conception détaillées. Elle fabrique également les réservoirs de stockage en métal. Elle peut également offrir des services de conseil, d'installation et de maintenance pour assurer le bon fonctionnement et la durabilité des réservoirs.

La société « CR métal » propose une gamme de réservoirs de stockage en métal adaptés aux besoins spécifiques de chaque client. Elle conçoit des réservoirs de différentes tailles, formes et capacités, en tenant compte des contraintes techniques, environnementales et réglementaires.

Elle conçoit et fabrique également d'autres produits liés au stockage et à la manipulation des liquides et des matériaux en vrac, tels que les cuves de rétention, les réservoirs sous pression, les citernes, les silos, les équipements de distribution, etc.



**Figure 1.10 :** Logo de la société de CR métal



# Chapitre 2 :

Étude du réservoir de stockage de 5700  
m<sup>3</sup>

## 2.1. Introduction [9] :

L'objet de cette partie est de présenter les données nécessaires au calcul ainsi que les résultats obtenus avec le programme AMETANK selon les règles de la norme API 650. Nous présentons les données pour chaque partie, ensuite les détails des calculs. Les tableaux récapitulatifs des résultats sont présentés à la fin. Nous commençons par une présentation du logiciel AMETANK.

## 2.2. Présentation du programme AMETANK [9]

Le programme AMETANK, dont le logo est présenté sur la (**Figure 3.1**), est un logiciel de calcul des réservoirs de stockage utilisés dans l'industrie pétrolière, gazière et chimique. Il offre des solutions complètes pour la conception et l'analyse des réservoirs métalliques et soudés, qu'ils soient enterrés, hors sol, pour liquides, gaz ou autres produits pétroliers. Le logiciel AMETANK permet aux ingénieurs de réaliser des analyses structurelles, mécaniques et des conceptions avancées de réservoirs. Il peut être utilisé pour l'analyse de la stabilité structurelle, la conception complète des parois, des fonds, des toits, des piliers, des couvercles, des systèmes de remplissage et de vidange, ainsi que d'autres composants structurels du réservoir.

AMETANK se distingue par son interface conviviale et puissante, ce qui permet aux ingénieurs de créer et d'analyser facilement des modèles 3D de réservoirs. Le logiciel propose également un large éventail de fonctionnalités et d'outils d'analyse et de conception, incluant les charges statiques et dynamiques, les forces latérales, la pression interne, et bien d'autres.

Les entreprises et les ingénieurs utilisent AMETANK pour concevoir et analyser les réservoirs de stockage de manière efficace et précise, en respectant les normes industrielles et les directives d'ingénierie nécessaires pour garantir la sécurité et l'efficacité des réservoirs.



Figure 2.1 : Logo du programme AMETANK [9]

Voici quelques-unes des fonctionnalités d'AMETANK

- Ce logiciel automatise la modélisation 3D et les détails de fabrication, ainsi que la génération de composants et d'assemblages. Il génère également des listes d'achat de matériel et des coûts des réservoirs de stockage.
- Les normes API-650, API-653 API-620 et API-653 sont toutes prises en charge.
- Permet une conception et une configuration rapides des conteneurs de stockage hors sol construits en atelier ou montés sur le terrain.
- Aide à la conception et aux détails des escaliers en colimaçon et circulaires.
- La modélisation 3D prend en charge et génère un ensemble automatique de dessins de fabrication et de nomenclatures, de dessins CNC et de tableaux d'achat de matériaux.
- Capable de calculer les pressions internes, externes et sismiques ainsi que les charges de vent.

### **2.3. La norme API 650 [10]**

API 650 est une norme publiée par l'American Petroleum Institute (API). Elle spécifie les exigences de conception, de fabrication et d'installation pour les réservoirs en acier soudés utilisés dans le stockage de produits pétroliers et d'autres liquides. Voici quelques éléments de base d'API 650:

- 1- Exigences de conception du réservoir : la norme spécifie les exigences pour les matériaux de réservoir, les dimensions, les types et positions de buse, les détails de renforcement et d'autres caractéristiques de conception.
- 2- Exigences de fabrication du réservoir : API 650 décrit les exigences du processus de fabrication, des procédures de soudage, du contrôle de qualité et de l'inspection des composants du réservoir.
- 3- Exigences d'installation du réservoir : la norme fournit également des lignes directrices pour l'installation sûre et correcte du réservoir sur le site, y compris la conception de la fondation, l'ancrage et les procédures de levage et d'accrochage.
- 4- Inspection et essais du réservoir : API 650 exige que les réservoirs soient inspectés et testés à différentes étapes de la fabrication et de l'installation pour s'assurer qu'ils répondent aux exigences de conception spécifiées et sont aptes au service.
- 5- Maintenance et réparation : la norme donne des directives sur l'entretien et la réparation des réservoirs en service, y compris les procédures d'inspection, de test et de réparation.
- 6- Exigences de matériaux : API 650 spécifie les exigences de matériaux pour le réservoir, y compris le type d'acier, son épaisseur et ses propriétés.

7- Charges de conception : la norme fournit des directives pour les charges de conception que le réservoir doit supporter, y compris les charges de vent, de tremblement de terre et de neige.

8- Procédures de soudage : API 650 définit les procédures de soudage et les exigences nécessaires pour le réservoir, y compris les types de soudures à utiliser et les méthodes de soudage.

9- Essais non destructifs (END) : la norme exige que le réservoir subisse des tests END pour vérifier qu'il n'y a pas de défauts dans les soudures et que le réservoir répond aux normes de qualité requises.

10- Calcul de la corrosion : API 650 fournit des directives pour choisir le calcul de la corrosion à utiliser pour le réservoir en fonction de l'espérance de vie prévue et des taux de corrosion attendus.

11- Ventilation et émissions : la norme fournit des directives pour la conception et l'installation de systèmes de ventilation et de contrôle des émissions pour le réservoir afin de s'assurer que toute émission de gaz ou de vapeurs nocives est libérée en toute sécurité.

12- Inspection et maintenance : API 650 exige une inspection et une maintenance régulières du réservoir pour assurer sa conformité aux normes de sécurité et de qualité.

Dans l'ensemble, API 650 est une norme complète qui couvre tous les aspects de la conception, de la fabrication, de l'installation et de la maintenance des réservoirs en acier soudés utilisés pour le stockage de liquides dans les industries pétrolières et chimique.

## 2.4. Données et résultats

Nous présentons dans cette Partie les données - fournies par CR MÉTAL - à introduire dans AMETANK. Nous présentons également les résultats obtenus.

### **DONNÉES DE CALCUL :**

**Fond pente 1/100 (figure 2.11)**

**Toit fixe pente 1/16 (figure 2.2)**

**Capacité volumique 5700 m<sup>3</sup>**

**Diamètre du réservoir- ID- 24000 mm**

**Hauteur du réservoir 12600 mm**

**Produit stocké Gasoil**

**Densité du produit 0,85**

**Pression de Calcul atmosphérique**

**Séisme Non**

**Neige Non**

**Code de Calcul API-650 13e édition, mars 2020**

**Format de tôles 9450 x 1850 mm**

**Niveau de liquide max. de conception = 12,6 m**

**Niveau de liquide max. de fonctionnement = 12,6 m**

**Niveau de liquide minimum = 0 m**

**Température de conception = 55 °C**

**MDMT (température minimale de conception du métal) = -10 °C**

**Vitesse du vent en rafale de 3 secondes (entrée),  $V_g = 140$  km/h**

**Facteur d'importance du vent,  $I_w = 1$**

**Vitesse du vent de conception,  $V = V_g \times \sqrt{I_w} = 140$  km/h**

### **Surépaisseur de corrosion CA :**

**Fond :  $CA_{\text{Fond}} = 3$  mm**

**Robe virole 1=3 mm / virole 2..7 = 1 mm (Figure 2.8)**

**Toit :  $CA_{\text{Toit}} = 1$  mm**

**Structure = 1 mm**

### **Matériaux utilisés :**

Robe : A 283-C

Fonds : A 283-C

Toit : A 283-C

**Efficacité de joint  $JE=1$**

## Résultats obtenus par AMETANK

### 2.4.1. Données et résultats du Toit (Figure 2.2)

Type de toit : cône

Type de support de structure : aucun (autoporté)

#### Propriétés des matériaux

Matériau : A283-C

Résistance minimale à la traction ( $S_{ut}$ ) = 380,0 MPa

Limite d'élasticité minimale ( $S_y$ ) = 205,0 MPa

Conformément au tableau 5-2 a de l'API-650, contrainte de calcul admissible ( $S_d$ ) = 137,0 MPa

Module d'élasticité à la température de calcul ( $E$ ) = 199 000 MPa

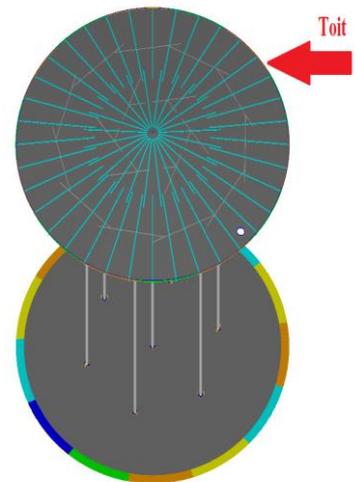


Figure 2.2 : Toit du réservoir

#### Géométrie

Rh : rayon horizontal (m)

penne : (montée / descente)

Rh = 12,0 m

penne = 0,17

#### Épaisseur requise

$t_{req}$  = Épaisseur requise (mm)

Selon API-650 5.10.2.2, on a :

$$t_{req} = \text{MAX}(t\text{-erec} , t\text{-calc-1} , t\text{-calc-2})$$

$$t_{req} = \text{MAX}(5 , 23.0761 , 20.1424)$$

$$t_{req} = 23.08 \text{ mm}$$

$$t < t_{req} \implies \text{FAIL}$$

#### Remarque

1.- L'épaisseur installée, 6 mm, est inférieure à l'épaisseur requise de 23,08 mm.

### 2.4.1.1 Données

Type de toit : conique

Type de charpente de toit (structure intérieure avec poteau central et poteaux intermédiaires)

### Propriétés du matériau

Matériau : A283-C

Résistance minimale à la traction (Sut) = 380,0 MPa

Limite d'élasticité minimale (Sy) = 205,0 MPa

Conformément au tableau 5-2-a de l'API-650 , contrainte de conception admissible (Sd) = 137,0 MPa

### Géométrie

Rh : rayon horizontal (m)

Rh = 12,03 m

pente (P) = 0,06

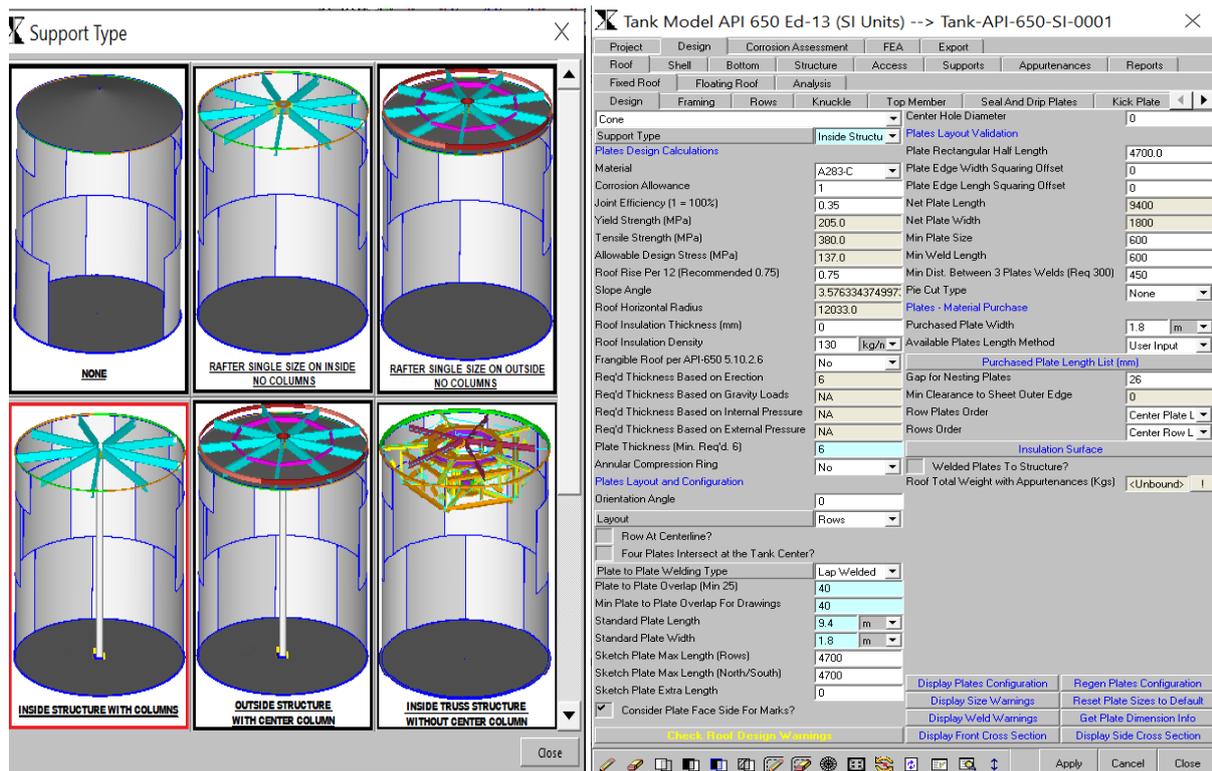


Figure 2.3 : Données introduites et différents types de Toit (AMETANK)

On introduit ces données dans AMETANK (figure 2.3). Les résultats obtenus sont présentés dans le paragraphe suivant.

### 2.4.1.2. Résultats

Les caractéristiques géométriques sont présentées dans le (tableau 2.1)

**Tableau 2.1** : caractéristiques géométriques du toit

Description	Variable	Équation	Valeur	Unité
Angle de la pente	$\Theta$	ArcTan(P)	3.58	Deg
Angle avec la ligne verticale	A	$90 - \theta$	86.42	Deg
Hauteur	H	$Rh \times \tan(\theta)$	0.75	m
Surface	A	$\frac{\pi \times Rh^2}{\cos \theta}$	455.77	$m^2$
Centre de gravité de la base	CG	$h / 3$	0.25	m
Surface verticale projetée	$A_v$	$Rh \times h$	9.05	$m^2$
Zone de projection horizontale	$A_h$	$\pi \times Rh^2$	454.88	$m^2$
Volume entre la robe et le toit	V	$\frac{\pi \times h \times Rh^2}{3}$	114.03	$m^3$

### 2.4.1.3. Exigences de montage

$t_{erec req}$ : Épaisseur minimale de montage incluant la tolérance à la corrosion

$t_{req}$  : Épaisseur requise (Nominal plate thickness)

Selon API-650 5.10.2.2, on a :

$Rh = 12,6 \leq 15m$  donc  $t_{req} = 5$  mm

$t_{erec req} = t_{erec} + CA$

$t_{erec req} = 5 + 1$

$t_{erec req} = 6$  mm

donc

$t_{req} \leq t_{erec req} \Rightarrow$  vérifiée

donc on a choisi le type conique et le type de charpente de toit (structure intérieure avec poteau central et poteaux intermédiaires) pour plus de sécurité et l' épaisseur inférieur par rapport l' autre type

## 2.4.2. Cornière de rive (Figure 2.4)

### Cornière de rive Détail A

#### Propriétés des matériaux

Matériau : A36

Résistance minimale à la traction ( $S_{ut}$ ) = 400,0 MPa

Limite d'élasticité minimale ( $S_y$ ) = 250,0 MPa

#### Exigence de montage Selon

API-650 5.1.5.9, taille minimale de l'anneau d'angle supérieur = L80x80x10

Module de section minimal selon l'exigence de montage ( $S_{x_{min}}$ ) = 15,4 cm<sup>3</sup>

$S_x \leq S_{x_{min}} \Rightarrow$  refuse

**Remarque :** Le module de section de l'anneau de compression, 13,6494 cm<sup>3</sup>, est inférieur à la valeur requise de 15,4 cm<sup>3</sup>

### Cornière de rive Détail C

#### Propriétés des matériaux

Matériau ; A36

Résistance minimale à la traction ( $S_{ut}$ ) = 400,0 MPa

Limite d'élasticité minimale ( $S_y$ ) = 250,0 MPa

#### Exigence de montage Selon

API-650 5.1.5.9, taille minimale de l'anneau d'angle supérieur = L80x80x10

Module de section minimal selon l'exigence de montage ( $S_{x_{min}}$ ) = cm<sup>3</sup>

$S_x \leq S_{x_{min}} \Rightarrow$  refuse

**Remarque :** Le module de section de l'anneau de compression, 13,6494 cm<sup>3</sup>, est inférieur à la valeur requise de 15,4 cm<sup>3</sup>.

## **Cornière de rive detail B**

### **2.4.2.1. Propriétés du matériau**

Selon API 650

Matériau : A36

Résistance minimale à la traction ( $S_{ut}$ ) = 400,0 MPa

Limite d'élasticité minimale ( $S_y$ ) = 250,0 MPa

### **2.4.2.2. Résultats**

**DLR** : Poids nominal des plaques de toiture et de la charpente attachée (N)

**DLS** : Poids nominal des plaques de robe et de l'ossature (N)

**A<sub>detail</sub>** : Surface totale du détail ( $\text{mm}^2$ )

**A<sub>roof</sub>** : Surface du toit participant ( $\text{mm}^2$ )

**A<sub>shell</sub>** : Surface de la robe participante ( $\text{mm}^2$ )

**I<sub>detail</sub>** : Moment d'inertie de la robe participante ( $\text{mm}^4$ )

**R2** : Longueur de la normale à la tête (mm)

**Wc** : Largeur maximale de la robe participante selon la figure F-2 de l'API-650 (mm)

**Wh** : Largeur maximale de la tête participante selon la figure F-2 de l'API-650 (mm)

Selon AMETANK :

$$DLS = W_s + W_{\text{cadr}}$$

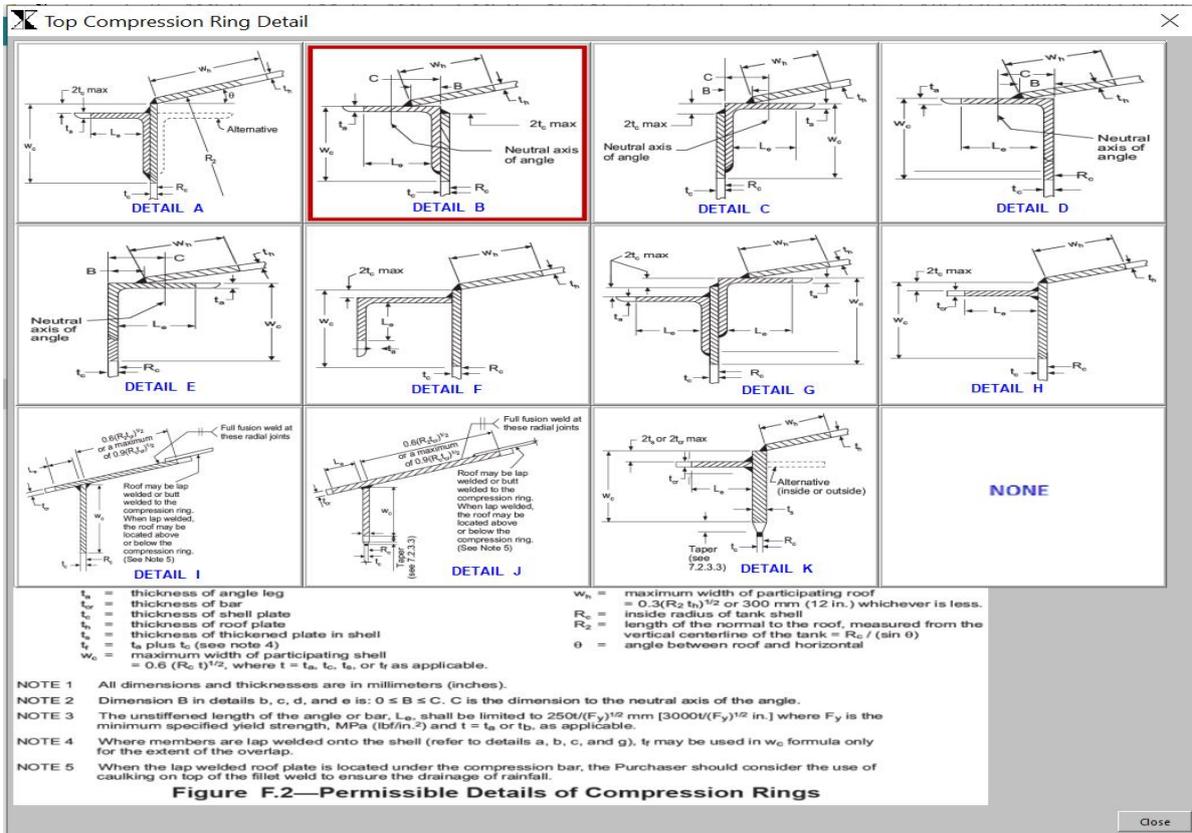
$$DLS = 584,538.9596 + 36,390.7112$$

$$DLS = 620,929.67 \text{ N}$$

$$DLR = W_r + W_{\text{struct}}$$

$$DLR = 210\,248,1939 + 1\,161,2721$$

$$DLR = 211\,409,47 \text{ N}$$



**Figure 2.4 : Cornière de rive (AMETANK)**

On introduit les données dans AMETANK (Figure 2.5). Nous obtenons les résultats suivants :

$$R_2 = \frac{(ID/2)}{\sin \theta}$$

$$R_2 = \frac{(24000/2)}{\sin(3,58)}$$

$$R_2 = 192\,374,63 \text{ mm}$$

$$W_h = 0,3 \times \sqrt{R_2 \times (t_{erec\ req} - CA_{toit})}$$

$$W_h = 0,3 \times \sqrt{192\,374,6345 \times (6 - 1)}$$

$$W_h = 294,23 \text{ mm}$$

$$W_c = 0,6 \times \sqrt{\left(\frac{ID}{2}\right) \times (t_{erec\ req} - CA_{robe})}$$

$$W_c = 0,6 \times \sqrt{\left(\frac{24\,000}{2}\right) \times (6 - 1)}$$

$$W_c = 146,97 \text{ mm}$$

Les dimensions de la cornière de rive sont déterminées selon tableau d'API 650. Les propriétés de la section calculée sont présentées dans le (Tableau 2.2)

**Tableau 2.2:** Propriétés de la section de la cornière de rive.

Description	Variable	Nouveau	Corrodée	Unité
Poids	W	12.2	10.62	kg/m
Surface de coupe transversal	A	1,550.0	1,349.19	mm <sup>2</sup>
Moment d'inertie autour de l'axe X	I <sub>x</sub>	1,450,000	1,247,662.16	mm <sup>4</sup>
Moment d'inertie autour de l'axe Y	I <sub>y</sub>	1,450,000	1,247,662.16	mm <sup>4</sup>
Module de section autour de l'axe X	S <sub>x</sub>	19,900	17,214.99	mm <sup>3</sup>
Module de section autour de l'axe Y	S <sub>y</sub>	19,900	17,214.99	mm <sup>3</sup>
Coordonnées du centroïde X	cx	27.4	27.4	mm
Coordonnées du centroïde Y	cy	27.4	27.4	mm
Angle Longueur de la jambe	L1-angle	100	99.0	mm
Angle court Longueur de jambe	Angle L2	100	99.0	mm
Angle Épaisseur	t-angle	8.0	7.0	mm

**I<sub>shell</sub>** = Moment d'inertie de la robe participante (mm<sup>4</sup>)

$$I_{shell} = \frac{(W_c - h) \times (t_{c_{nominal}} - CA_{shell})^3}{12}$$

$$I_{shell} = \frac{(146,9694 - 6,0) \times (6 - 1)^3}{12}$$

$$I_{shell} = 1\,468,43 \text{ mm}^4$$

**A<sub>shell</sub>** = Surface de la robe participante (mm<sup>2</sup>)

$$A_{shell} = (W_c - h) \times (t_{c_{nominal}} - CA_{shell})$$

$$A_{shell} = (146,9694 - 6,0) \times (6 - 1)$$

$$A_{shell} = 704,85 \text{ mm}^2$$

**A<sub>roof</sub>** = Surface du toit participant (mm<sup>2</sup>)

$$A_{roof} = W_h \times (t_h - CA_{head})$$

$$A_{roof} = 294,2254 \times (6 - 1)$$

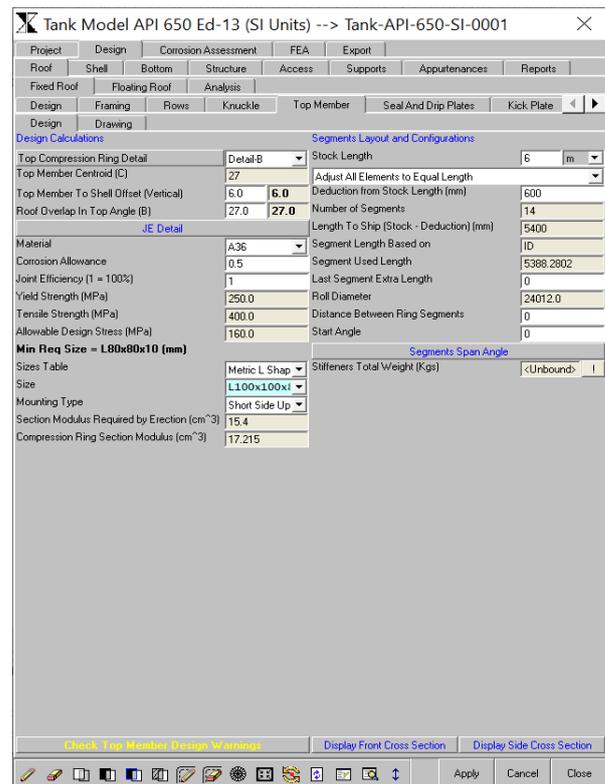
$$A_{roof} = 1\,471,13 \text{ mm}^2$$

**A<sub>detail</sub>** = Surface totale du détail (mm<sup>2</sup>)

$$A_{detail} = A_{shell} + A_{roof} + A_{corr}$$

$$A_{detail} = 704,8469 + 1\,471,127 + 1\,349,1862$$

$$A_{detail} = 3\,525,16 \text{ mm}^2$$



**Figure 2.5 :** données introduites Cornière de rive (AMETANK)

### 2.4.2.3. Propriétés des sections combinées de la cornière de rive et de la robe

Les dimensions de la cornière de rive et de la robe, ainsi que les propriétés de la section calculée sont présentées dans le (Tableau-2.3) ci-dessous.

**Tableau 2.3:** Propriétés des sections combinées des cornières de rive et de la robe

Description	Variable	Équation	Valeur
Centroïde de la robe	$d_{shell}$	$\frac{(tc_{norminal} - CA_{shell})}{2}$	2.5 mm
Centroïde du raidisseur	$d_{stiff}$	$cy + (tc_{norminal} - CA_{shell})$	32.4 mm
moment d'inertie du premier corps	$I_1$	$Ic + (Surface + Distance^2)$	2,663,983.8 mm <sup>4</sup>
moment d'inertie du deuxième corps	$I_2$	$Ic + (Surface + Distance^2)$	5,873.72 mm <sup>4</sup>
Surface totale	$A_{sum}$	$A_1 + A_2$	2,054.03 mm <sup>2</sup>
Somme des moments d'inertie	$I_{sum}$	$I_1 + I_2$	2,669,857.5 mm <sup>4</sup>
Centroïde combine	$c_{combiné}$	$\frac{((Centroïde_1 \times Surface_1) + (Centroïde_1 \times Surface_2))}{(Surface_1 + Surface_2)}$	22.14 mm
Moment d'inertie combine	$I_{combiné}$	$Ic - (Surface \times Distance^2)$	1,663,036.5 mm <sup>4</sup>
Distance entre l'axe neutre et le bord 1 (intérieur)	$e_1$	$c_{combiné}$	22.14 mm
Distance entre l'axe neutre et le bord 2 (extérieur)	$e_2$	$((tc_{norminal} - CA_{shell}) + L_{1\ angle}) - e_1$	82.86 mm
Module de section de la robe du raidisseur combiné	$S$	$\frac{I}{Max(d_1; d_2)}$	20,070.37 mm <sup>3</sup>

#### 2.4.2.4. Exigences de montage

Selon API-650 5.1.5.9, la taille minimale de l'anneau d'angle supérieur (taille-min) = L80x80x10

Module de section minimal selon les exigences de montage ( $S_{x_{min}}$ ) = 15,4 cm<sup>3</sup>  
 $S_x \geq S_{x_{min}} \Rightarrow$  vérifiée

#### 2.4.2.5. Pression interne

Annexe F selon API 650 figures F.1 page 298 Exigences

**A<sub>actual</sub>** : Surface résistant à la force de compression (mm<sup>2</sup>)

**D** : Diamètre nominal du réservoir (m)

**DLR** : Poids nominal des plaques de toit et de la structure attachée (N)

**DLS** : Poids nominal des plaques de robe et de la charpente (N)

**F<sub>p</sub>** : Facteur de combinaison de la pression interne

**F<sub>y</sub>** : Limite d'élasticité minimale spécifiée pour les matériaux du toit à la charpente (N)

**F<sub>y</sub>** : Limite d'élasticité minimale spécifiée pour les matériaux du toit à la charpente (N)

**ID** : Diamètre intérieur du réservoir (m)

**MDL** : Moment autour de la jonction enveloppe-fond dû au poids nominal de l'enveloppe et de la structure du toit supportée par l'enveloppe qui n'est pas fixée à la plaque de toit (N.m)

**MDLR** : Moment sur le joint robe-fond dû au poids nominal de la plaque de toit et de tout composant structurel fixé au toit (N.m)

**MF** : Moment sur le joint robe-fond dû au poids du liquide (N.m)

**M<sub>w</sub>** : Moment du vent dû aux pressions horizontales et verticales du vent (N.m)

**M<sub>ws</sub>** : Moment du vent dû à la pression horizontale du vent (N.m)

**P** : Pression de conception (kPa)

**P<sub>uplift</sub>** : Uplift dû à la pression interne conformément à la norme API-650 F.1.2 (N)

**θ** : Angle entre le toit et un plan horizontal à la jonction entre le toit et la robe (deg)

**W<sub>add DL</sub>** : Poids de la charge morte supplémentaire (N)

**W<sub>framing</sub>** : Poids de la charpente supportée par la robe et le toit (N)

**W<sub>struct</sub>** : Poids de la structure fixée au toit (N)

**W<sub>r</sub>** : Poids des plaques du toit (N)

**W<sub>s</sub>** : Poids des plaques de la robe (N)

Selon AMETANK

**A<sub>actual</sub>** = 3 525,16 mm<sup>2</sup>

**D** = 24,0 m

**DLR** = 211 409,47 N

**DLS** = 620 929,67 N

**F<sub>p</sub>** = 0,4

**F<sub>y</sub>** = 205,0 MPa

**ID** = 24,0 m

**MDL** = 7 451 156,05 N.m

$$\mathbf{MDLR} = 2\,536\,913,59 \text{ N.m}$$

$$\mathbf{MF} = 16\,278\,254,18 \text{ N.m}$$

$$\mathbf{Mw} = 921\,499,89 \text{ N.m}$$

$$\mathbf{Mws} = 921\,499,89 \text{ N.m}$$

$$\mathbf{P} = 0,0 \text{ kPa}$$

$$\boldsymbol{\theta} = 3,58 \text{ deg}$$

$$\mathbf{W}_{\text{add DL}} = 113\,720,23 \text{ N}$$

$$\mathbf{W}_{\text{framing}} = 36\,390,71 \text{ N}$$

$$\mathbf{W}_{\text{struct}} = 1\,161,27 \text{ N}$$

$$\mathbf{Wr} = 210\,248,19 \text{ N}$$

$$\mathbf{Ws} = 584\,538,96 \text{ N}$$

$$P_{\text{uplift}} = P \times Pi \times \frac{ID^2}{4}$$

$$P_{\text{uplift}} = 0 \times Pi \times \frac{20^2}{4}$$

$$P_{\text{uplift}} = 0,0 \text{ N}$$

$P_{\text{uplift}} \leq Wr$ , la conception du réservoir n'a pas besoin de satisfaire aux exigences de l'annexe F.

$P_{F51}$  : Pression interne maximale admissible pour la zone de résistance réelle selon API 650 F.5.1 (kPa)

$P_{\text{max internal}}$  : Pression interne maximale admissible (kPa)

$$P_{\text{std}} = 18 \text{ kPa}$$

$$P_{F51} = \frac{Fy \times \text{Tan}(\theta) \times A_{\text{actual}}}{200 \times D^2} + \frac{0,00127 \times \text{DLR}}{D^2}$$

$$P_{F51} = \frac{205 \times \text{Tan}(3,576) \times 3,525,1601}{200 \times 24^2} + \frac{0,00127 \times 211,409.466}{24^2}$$

$$P_{F51} = 0,86 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{max internal}} = \text{Min} ( P_{\text{std}}, P_{F51} )$$

$$P_{\text{max internal}} = \text{Min} ( 18 , 0.8582)$$

$$P_{\text{max internal}} = 0.86 \text{ kPa}$$

Après les calculs on a choisi detail B par ce que tres facile pour fabriquer et plus resiste

### 2.4.3. La robe (Figure 2.6)

**Ac** : Coefficient d'accélération du spectre de réponse de conception convective

**Ai** : Coefficient d'accélération du spectre de réponse de conception impulsive

**Av** : Description du coefficient d'accélération verticale du sol

**CG<sub>robe</sub>** : Centre de gravité de la robe (m)

**D** : Diamètre nominal du réservoir API-650 5.6.1.1 note 1 (m)

**G** : Gravité spécifique de conception du produit

**Gt** : Densité spécifique de l'hydrotest

**H** : Hauteur du réservoir (m)

**HL** : Niveau maximum du liquide (m)

**Pe** : Pression externe de conception (kPa)

**Pi** : Pression interne de conception (kPa)

**Rwi** : Facteur de réduction de la force impulsive

**V** : Vitesse du vent (km/h)

**W<sub>ins</sub>** : Poids de l'isolation de la robe (kg)

**W<sub>robe</sub>** : Poids nominal de la robe (kg)

**W<sub>robe cor</sub>** = Poids de la robe corrodée (kg)

**d<sub>ins</sub>** = Densité de l'isolation (kg/m<sup>3</sup>)

**h<sub>min</sub>** = Hauteur minimale de la couche de la robe selon API-650 5.6.1.2 (mm)

**t<sub>ins</sub>** = Épaisseur de l'isolation (mm)

On introduit des données dans AMETANK

(Figure 2.7). Nous obtenons les résultats suivants :

Ac = 0,0078

Ai = 0,03

Av = 0,04

D = 24,0 m

G = 0,85

Gt = 1

H = 12,6 m

HL = 12,6 m

Pe = 0,0 kPa

Pi = 0,0 kPa

Rwi = 4

V = 140,0 km/h

d<sub>ins</sub> = 130 kg/m<sup>3</sup>

h<sub>min</sub> = 1 800 mm

t<sub>ins</sub> = 0 mm

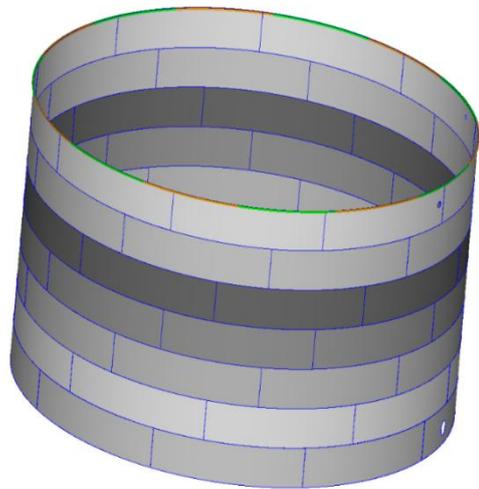


Figure 2.6 : La robe du réservoir

### 2.4.3.1.Méthode de conception des viroles (Figure 2.8)

Le calcul des viroles se fait selon méthode « One Foot - API 650 »

**R<sub>wi</sub>** = Facteur de réduction de la force impulsive

**CA** = Allocation de corrosion selon API-650 5.3.2 (mm)

**Di** = Diamètre de l'axe du cours de la virole (m)

**H** = Niveau du liquide de conception selon API-650 5.6.3.2 (m)

**H<sub>max</sub>** = Niveau maximum du liquide pour l'épaisseur installée selon API-650 5.6.3.2 (m)

**H<sub>maxPi</sub>** = Niveau maximum du liquide pour l'épaisseur installée à la pression interne de conception (m)

**JE** = Efficacité du joint

**Pi<sub>maxH</sub>** = Pression interne maximale admissible pour l'épaisseur installée niveau du liquide de conception (kPa)

**W<sub>i</sub>** = Poids nominal de la couche de carapace (kg)

**W<sub>icor</sub>** = Poids nominal de la couche de carapace (kg)

**hi** = Hauteur de la tôle (m)

**loc** = Emplacement de la couche (m)

**t** = Épaisseur installée (mm)

**t<sub>min</sub>** = Épaisseur minimale requise (mm)

**td** = L'épaisseur théorique conformément à l'API-650 5.6.3.2 (mm)

**tt** = L'épaisseur Hydrostatique conformément à l'API-650 5.6.3.2 (mm)

**R<sub>wi</sub>** = 4

#### Propriétés du matériau

Matériau (A283-C) = A283-C

Résistance minimale à la traction (S<sub>ut</sub>) = 380,0 MPa

Limite d'élasticité minimale (S<sub>y</sub>) = 205,0 MPa

Conformément au tableau 5-2 a de l'API-650,

- Contrainte de conception admissible (S<sub>d</sub>) = 137,0 MPa
- Contrainte d'essai hydrostatique admissible (S<sub>t</sub>) = 154,0 MPa

#### 2.4.3.1.1. Virole 1

les coefficients CA, H, JE, et h1 sont donnés dans le paragraphe 2.4

CA = 3 mm

H = 12,6 m

JE = 1

h1 = 1,8 m

loc = 0 m

t = 12 mm

Centre de gravité de la robe (CG-1) = 0,9 m

$$D1 = ID + t$$

$$D1 = 24,0 + 0,012$$

$$D1 = 24,01 \text{ m}$$

$$W_1 = \pi \times Dc \times t \times h1 \times d$$

$$W_1 = \pi \times 24,012 \times 0,012 \times 1,8 \times 7\,840$$

$$W_1 = 12\,774,62 \text{ kg}$$

$$W_{1\text{cor}} = \pi \times Dc \times (t - CA) \times h1 \times d$$

$$W_{1\text{cor}} = \pi \times 24,012 \times (0,012 - 0,003) \times 1,8 \times 7\,840$$

$$W_{1\text{cor}} = 9\,580,97 \text{ kg}$$

### Épaisseur requise par l'érection

Conformément à la norme API-650 5.6.1.1, l'épaisseur requise par l'érection (t-erec) = 6 mm

### Épaisseur requise par la conception

$$t_d = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3) \times G}{Sd} + CA$$

$$t_d = \frac{4,9 \times 24 \times (12,6 - 0,3) \times 0,85}{137} + 3$$

$$t_d = 11,97 \text{ mm}$$

### Épaisseur requise pour l'essai hydrostatique

$$T_t = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3)}{St}$$

$$T_t = \frac{4,9 \times 24 \times (12,6 - 0,3)}{154}$$

$$T_t = 9,39 \text{ mm}$$

### Épaisseur minimale requise

$$t_{\min} = \text{Max} (t\text{-erec} , T_d , T_t)$$

$$t_{\min} = \text{MAX}(6 , 11,9745 , 9,3927)$$

$$t_{\min} = 11,97 \text{ mm}$$

### Valeur nominale de l'épaisseur installée

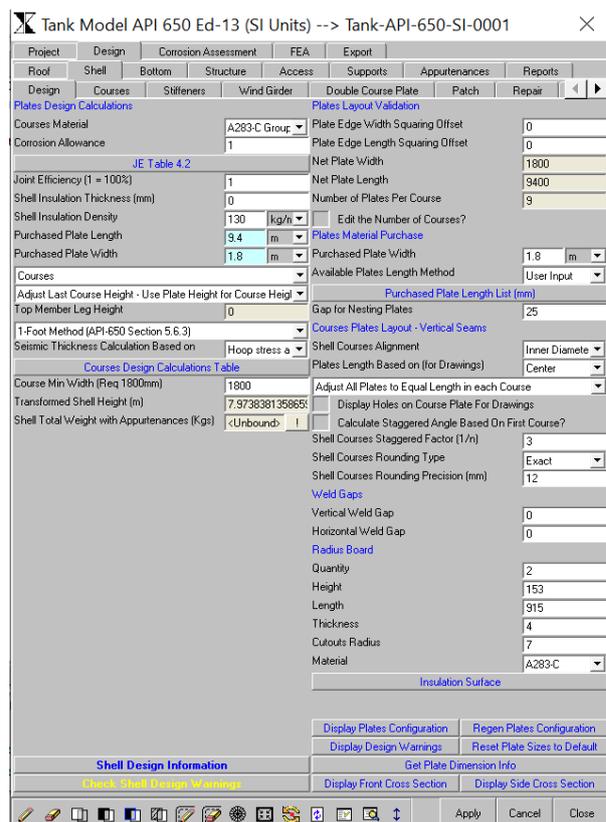


Figure 2.7 : données introduites de la robe selon AMETANK

$$H_{\max} = \frac{(t - CA) \times Sd \times JE}{4,9 \times D \times SG} + 0,3 + loc$$

$$H_{\max} = \frac{(12 - 3) \times 137 \times 1}{4,9 \times 24 \times 0,85} + 0,3$$

$$H_{\max} = 12.63 \text{ m}$$

$$H_{\max Pi} = \text{Max} ( H_{\max}, 0)$$

$$H_{\max Pi} = \text{Max} (12.6349, 0)$$

$$H_{\max Pi} = 12.63 \text{ m}$$

$$P_{i_{\max H}} = \text{Max} \left( ([H_{\max} - (H + loc)] \times (9,8 \times SG)) + P; 0 \right)$$

$$P_{i_{\max H}} = \text{Max} \left( ([12,63 - (12,6 + 0)] \times (9,8 \times 0,85)) + 0; 0 \right)$$

$$P_{i_{\max H}} = 0.29 \text{ kPa}$$

### 2.4.3.1.2. Virole 2

Les coefficients CA , H , JE , h2 sont données dans le paragraphe 2.4

$$CA = 1 \text{ mm}$$

$$H = 10,8 \text{ m}$$

$$JE = 1$$

$$h2 = 1,8 \text{ m}$$

$$loc = 1,8 \text{ m}$$

$$t = 10 \text{ mm}$$

Centre de gravité de la robe (CG-2) = 2,7 m

$$D2 = ID + t$$

$$D2 = 24,0 + 0,01$$

$$D2 = 24,01 \text{ m}$$

$$W_2 = \pi \times Dc \times t \times h2 \times d$$

$$W_2 = \pi \times 24,01 \times 0,01 \times 1,8 \times 7\,840$$

$$W_2 = 10\,644,63 \text{ kg}$$

**Figure 3.8** : les viroles de réservoir

$$W_{2 \text{ cor}} = \pi \times Dc \times (t - CA) \times h2 \times d$$

$$W_{2 \text{ cor}} = \pi \times 24,01 \times (0,01 - 0,001) \times 1,8 \times 7\,840$$

$$W_{2 \text{ cor}} = 9\,580,17 \text{ kg}$$

### Épaisseur requise par l'érection

Conformément à la norme API-650 5.6.1.1, épaisseur requise par l'érection (t-erec) = 6 mm

### Épaisseur requise par la conception

$$td = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3) \times G}{Sd} + CA$$

$$td = \frac{4,9 \times 24 \times (10,8 - 0,3) \times 0,85}{137} + 1$$

$$td = 8,66 \text{ mm}$$

### Épaisseur requise pour l'essai hydrostatique

$$Tt = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3)}{St}$$

$$Tt = \frac{4,9 \times 24 \times (10,8 - 0,3)}{154}$$

$$tt = 8.02 \text{ mm}$$

### Épaisseur minimale requise

$$t_{\min} = \text{Max} ( t\text{-erec} , Td , Tt )$$

$$t_{\min} = \text{MAX}(6 , 8.6612 , 8.0182)$$

$$t_{\min} = 8.66 \text{ mm}$$

### Valeur nominale de l'épaisseur installée

$$H_{\max} = \frac{(t - CA) \times Sd \times JE}{4,9 \times D \times SG} + 0,3 + loc$$

$$H_{\max} = \frac{(10 - 1) \times 137 \times 1}{4,9 \times 24 \times 0,85} + 0,3 + 1,8$$

$$H_{\max} = 14,43 \text{ m}$$

$$H_{\max Pi} = \text{Max} ( H_{\max} , 0 )$$

$$H_{\max Pi} = \text{Max} ( 14.4349 , 0 )$$

$$H_{\max Pi} = 14.43 \text{ m}$$

$$Pi_{\max H} = \text{Max} \left( ([H_{\max} - (H + loc)] \times (9,8 \times SG)) + P; 0 \right)$$

$$Pi_{\max H} = \text{Max} \left( ([14,43 - (10,8 + 1,8)] \times (9,8 \times 0,85)) + 0; 0 \right)$$

$$Pi_{\max H} = 15.29 \text{ kPa}$$

#### 3.4.3.1.3. Virole 3

les coefficients CA , H , JE , h3 sont donnés dans le paragraphe 2.4

$$CA = 1 \text{ mm}$$

$$H = 9,0 \text{ m}$$

$$JE = 1$$

$$h3 = 1,8 \text{ m}$$

$$loc = 3,6 \text{ m}$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

Centre de gravité de l'enveloppe (CG-3) = 4,5 m

$$D_3 = ID + t$$

$$D_3 = 24,0 + 0,008$$

$$D_3 = 24,01 \text{ m}$$

$$W_3 = \pi \times D_c \times t \times h_3 \times d$$

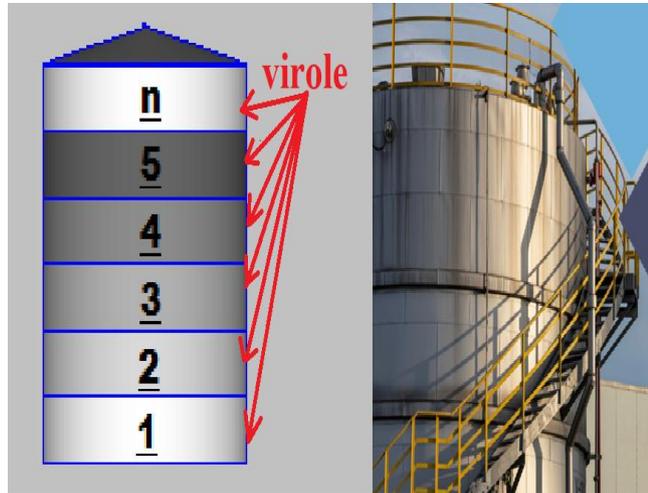
$$W_3 = \pi \times 24,008 \times 0,008 \times 1,8 \times 7\,840$$

$$W_3 = 8\,514,0 \text{ kg}$$

$$W_{3 \text{ cor}} = \pi \times D_c \times (t - CA) \times h_3 \times d$$

$$W_{3 \text{ cor}} = \pi \times 24,008 \times (0,008 - 0,001) \times 1,8 \times 7,840$$

$$W_{3 \text{ cor}} = 7,450.62 \text{ kg}$$



### Épaisseur requise par l'érection

Conformément à la norme API-650 5.6.1.1, épaisseur requise par l'érection (t-erec) = 6 mm

### Épaisseur requise par la conception

$$td = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3) \times G}{S_d} + CA$$

$$td = \frac{4,9 \times 24 \times (9 - 0,3) \times 0,85}{137} + 1$$

$$td = 7,35 \text{ mm}$$

### Épaisseur requise pour l'essai hydrostatique

$$Tt = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3)}{St}$$

$$Tt = \frac{4,9 \times 9 \times (H - 0,3)}{154}$$

$$tt = 6.64 \text{ mm}$$

Figure 2.8 : les viroles du réservoir

### Épaisseur minimale requise

$$t_{\min} = \text{Max} ( t\text{-erec} , Td , Tt )$$

$$t_{\min} = \text{MAX}(6 , 7.3478 , 6.6436)$$

$$t_{\min} = 7.35 \text{ mm}$$

### Valeur nominale de l'épaisseur installée

$$H_{\max} = \frac{(t - CA) \times Sd \times JE}{4,9 \times D \times SG} + 0,3 + loc$$

$$H_{\max} = \frac{(8 - 1) \times 137 \times 1}{4,9 \times 24 \times 0,85} + 0,3 + 3,6$$

$$H_{\max} = 13.49 \text{ m}$$

$$H_{\max Pi} = \text{Max} ( H_{\max} , 0 )$$

$$H_{\max Pi} = \text{Max} ( 13.4938 , 0 )$$

$$H_{\max Pi} = 13.49 \text{ m}$$

$$P_{i \max H} = \text{Max} \left( ([H_{\max} - (H + loc)] \times (9,8 \times SG)) + P; 0 \right)$$

$$P_{i \max H} = \text{Max} \left( ([13,49 - (9 + 3,6)] \times (9,8 \times 0,85)) + 0; 0 \right)$$

$$P_{i \max H} = 7.45 \text{ kPa}$$

#### 2.4.3.1.4. Virole 4

Les coefficients CA , H , JE , h4 sont donnés dans le paragraphe 2.4

$$CA = 1 \text{ mm}$$

$$H = 7,2 \text{ m}$$

$$JE = 1$$

$$h4 = 1,8 \text{ m}$$

$$loc = 5,4 \text{ m}$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Centre de gravité de l'enveloppe (CG-4)} = 6,3 \text{ m}$$

$$D4 = ID + t$$

$$D4 = 24,0 + 0,008$$

$$D4 = 24,01 \text{ m}$$

$$W_4 = \pi \times Dc \times t \times h4 \times d$$

$$W_4 = \pi \times 24,008 \times 0,008 \times 1,8 \times 7\,840$$

$$W_4 = 8\,514,0 \text{ kg}$$

$$W_{4 \text{ cor}} = \pi \times Dc \times (t - CA) \times h4 \times d$$

$$W_{4 \text{ cor}} = \pi \times 24,008 \times (0,008 - 0,001) \times 1,8 \times 7,840$$

$$W_{4 \text{ cor}} = 7,450.62 \text{ kg}$$

#### Épaisseur requise par l'érection

Conformément à la norme API-650 5.6.1.1, épaisseur requise par l'érection (t-erec) = 6 mm

### Épaisseur requise par la conception

$$td = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3) \times G}{Sd} + CA$$
$$td = \frac{4,9 \times 24 \times (7,2 - 0,3) \times 0,85}{137} + 1$$
$$td = 6,03 \text{ mm}$$

### Épaisseur requise pour l'essai hydrostatique

$$Tt = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3)}{St}$$
$$Tt = \frac{4,9 \times 24 \times (7,2 - 0,3)}{154}$$
$$tt = 5,27 \text{ mm}$$

### Épaisseur minimale requise

$$t_{\min} = \text{Max} ( t\text{-erec} , Td , Tt )$$
$$t_{\min} = \text{Max} ( 6 , 6,0345 , 5,2691 )$$
$$t_{\min} = 6,03 \text{ mm}$$

### Valeur nominale de l'épaisseur installée

$$H_{\max} = \frac{(t - CA) \times Sd \times JE}{4,9 \times D \times SG} + 0,3 + loc$$
$$H_{\max} = \frac{(8 - 1) \times 137 \times 1}{4,9 \times 24 \times 0,85} + 0,3 + 5,4$$
$$H_{\max} = 15,29 \text{ m}$$

$$H_{\max Pi} = \text{Max} ( H_{\max} , 0 )$$
$$H_{\max Pi} = \text{Max} ( 15,2938 , 0 )$$
$$H_{\max Pi} = 15,29 \text{ m}$$

$$Pi_{\max H} = \text{Max} \left( ([H_{\max} - (H + loc)] \times (9,8 \times SG)) + P; 0 \right)$$

$$Pi_{\max H} = \text{Max} \left( ([15,29 - (7,2 + 5,4)] \times (9,8 \times 0,85)) + 0; 0 \right)$$

$$Pi_{\max H} = 22,44 \text{ kPa}$$

### 2.4.3.1.5 Virole 5

les coefficients CA , H , JE , h5 sont donnés dans le paragraphe 2.4

$$CA = 1 \text{ mm}$$

$$H = 5,4 \text{ m}$$

$$JE = 1$$

$$h5 = 1,8 \text{ m}$$

$$loc = 7,2 \text{ m}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

Centre de gravité de l'enveloppe (CG-5) = 8,1 m

$$D5 = ID + t$$

$$D5 = 24,0 + 0,006$$

$$D5 = 24,01 \text{ m}$$

$$W_5 = \pi \times Dc \times t \times h5 \times d$$

$$W_5 = \pi \times 24,006 \times 0,006 \times 1,8 \times 7\,840$$

$$W_5 = 6\,385,71 \text{ kg}$$

$$W_{5 \text{ cor}} = \pi \times Dc \times (t - CA) \times h5 \times d$$

$$W_{5 \text{ cor}} = \pi \times 24,006 \times (0,006 - 0,001) \times 1,8 \times 7\,840$$

$$W_{5 \text{ cor}} = 5\,321,43 \text{ kg}$$

### **Épaisseur requise par l'érection**

Conformément à la norme API-650 5.6.1.1, épaisseur requise par l'érection (t-erec) = 6 mm

### **Épaisseur requise par la conception**

$$td = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3) \times G}{Sd} + CA$$

$$td = \frac{4,9 \times 24 \times (5,4 - 0,3) \times 0,85}{137} + 1$$

$$td = 4,72 \text{ mm}$$

### **Épaisseur requise pour l'essai hydrostatique**

$$Tt = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3)}{St}$$

$$Tt = \frac{4,9 \times 24 \times (5,4 - 0,3)}{154}$$

$$tt = 3,89 \text{ mm}$$

### **Épaisseur minimale requise**

$$t_{\min} = \text{Max} ( t\text{-erec} , Td , Tt )$$

$$t_{\min} = \text{Max} ( 6 , 4.7211 , 3.8945 )$$

$$t_{\min} = 6 \text{ mm}$$

### Valeur nominale de l'épaisseur installée

$$H_{\max} = \frac{(t - CA) \times Sd \times JE}{4,9 \times D \times SG} + 0,3 + loc$$

$$H_{\max} = \frac{(6 - 1) \times 137 \times 1}{4,9 \times 24 \times 0,85} + 0,3 + 7,2$$

$$H_{\max} = 14.35 \text{ m}$$

$$H_{\max Pi} = \text{Max} ( H_{\max} , 0 )$$

$$H_{\max Pi} = \text{Max} ( 14.3527 , 0 )$$

$$H_{\max Pi} = 14.35 \text{ m}$$

$$Pi_{\max H} = \text{Max} \left( ([H_{\max} - (H + loc)] \times (9,8 \times SG)) + P ; 0 \right)$$

$$Pi_{\max H} = \text{Max} \left( ([14,35 - (5,4 + 7,2)] \times (9,8 \times 0,85)) + 0 ; 0 \right)$$

$$Pi_{\max H} = 14.6 \text{ kPa}$$

#### 2.4.3.1.6. Virole 6

les coefficients CA , H , JE , h6 sont donnés dans le paragraphe 2.4

$$CA = 1 \text{ mm}$$

$$H = 3,6 \text{ m}$$

$$JE = 1$$

$$h6 = 1,8 \text{ m}$$

$$loc = 9,0 \text{ m}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

Centre de gravité de l'enveloppe (CG-6) = 9,9 m

$$D6 = ID + t$$

$$D6 = 24,0 + 0,006$$

$$D6 = 24,01 \text{ m}$$

$$W_6 = pi \times Dc \times t \times h6 \times d$$

$$W_6 = pi \times 24,006 \times 0,006 \times 1,8 \times 7\,840$$

$$W_6 = 6\,385,71 \text{ kg}$$

$$W_{6 \text{ cor}} = pi \times Dc \times (t - CA) \times h6 \times d$$

$$W_{6 \text{ cor}} = pi \times 24,006 \times (0,006 - 0,001) \times 1,8 \times 7\,840$$

$$W_{6 \text{ cor}} = 5\,321,43 \text{ kg}$$

### Épaisseur requise par l'érection

Conformément à la norme API-650 5.6.1.1, épaisseur requise par l'érection (t-erec) = 6 mm

### Épaisseur requise par la conception

$$td = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3) \times G}{Sd} + CA$$
$$td = \frac{4,9 \times 24 \times (3,6 - 0,3) \times 0,85}{137} + 1$$
$$td = 3,41 \text{ mm}$$

### Épaisseur requise pour l'essai hydrostatique

$$Tt = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3)}{St}$$
$$Tt = \frac{4,9 \times 24 \times (3,6 - 0,3)}{154}$$
$$tt = 2,52 \text{ mm}$$

### Épaisseur minimale requise

$$t_{\min} = \text{Max} ( t\text{-erec} , Td , Tt )$$
$$t_{\min} = \text{MAX}(6 , 3.4078 , 2.52)$$
$$t_{\min} = 6 \text{ mm}$$

### Valeur nominale de l'épaisseur installée

$$H_{\max} = \frac{(t - CA) \times Sd \times JE}{4,9 \times D \times SG} + 0,3 + loc$$
$$H_{\max} = \frac{(6 - 1) \times 137 \times 1}{4,9 \times 24 \times 0,85} + 0,3 + 9$$
$$H_{\max} = 16.15 \text{ m}$$

$$H_{\max Pi} = \text{Max} ( H_{\max} , 0 )$$
$$H_{\max Pi} = \text{Max} ( 16.1527 , 0 )$$
$$H_{\max Pi} = 16.15 \text{ m}$$

$$Pi_{\max H} = \text{Max} \left( ([H_{\max} - (H + loc)] \times (9,8 \times SG)) + P; 0 \right)$$
$$Pi_{\max H} = \text{Max} \left( ([16,15 - (3,6 + 9)] \times (9,8 \times 0,85)) + 0; 0 \right)$$
$$Pi_{\max H} = 29.59 \text{ kPa}$$

#### 2.4.3.1.7. Virole 7

les coefficients CA , H , JE , h7 sont donnés dans le paragraphe 2.4

CA = 1 mm  
H = 1,8 m  
JE = 1  
h7 = 1,8 m  
loc = 10,8 m  
t = 6 mm

Centre de gravité de l'enveloppe (CG-7) = 11,7 m

D7 = ID + t  
D7 = 24,0 + 0,006  
D7 = 24,01 m

$W_7 = \pi \times Dc \times t \times h7 \times d$   
 $W_7 = \pi \times 24,006 \times 0,006 \times 1,8 \times 7\,840$   
 $W_7 = 6\,385,71 \text{ kg}$

$W_{7\text{ cor}} = \pi \times Dc \times (t - CA) \times h7 \times d$   
 $W_{7\text{ cor}} = \pi \times 24,006 \times (0,006 - 0,001) \times 1,8 \times 7\,840$   
 $W_{7\text{ cor}} = 5\,321,43 \text{ kg}$

### **Épaisseur requise par l'érection**

Conformément à la norme API-650 5.6.1.1, épaisseur requise par l'érection (t-erec) = 6 mm

### **Épaisseur requise par la conception**

$$td = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3) \times G}{Sd} + CA$$
$$td = \frac{4,9 \times 24 \times (1,8 - 0,3) \times 0,85}{137} + 1$$

td = 2,09 mm

### **Épaisseur requise pour l'essai hydrostatique**

$$Tt = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3)}{St}$$
$$Tt = \frac{4,9 \times 24 \times (1,8 - 0,3)}{154}$$

tt = 1.15 mm

### **Épaisseur minimale requise**

$t_{\min} = \text{Max} ( t\text{-erec} , Td , Tt )$   
 $t_{\min} = \text{Max} ( 6 , 2.0945 , 1.1455 )$   
 $t_{\min} = 6 \text{ mm}$

### Valeur nominale de l'épaisseur installée

$$H_{\max} = \frac{(t - CA) \times Sd \times JE}{4,9 \times D \times SG} + 0,3 + loc$$

$$H_{\max} = \frac{(6 - 1) \times 137 \times 1}{4,9 \times 24 \times 0,85} + 0,3 + 10,8$$

$$H_{\max} = 17,95 \text{ m}$$

$$H_{\max Pi} = \text{Max} ( H_{\max} , 0 )$$

$$H_{\max Pi} = \text{Max} ( 17,9527 , 0 )$$

$$H_{\max Pi} = 17,95 \text{ m}$$

$$Pi_{\max H} = \text{Max} \left( ([H_{\max} - (H + loc)] \times (9,8 \times SG)) + P; 0 \right)$$

$$Pi_{\max H} = \text{Max} \left( ([17,95 - (1,8 + 10,8)] \times (9,8 \times 0,85)) + 0; 0 \right)$$

$$Pi_{\max H} = 44,59 \text{ kPa}$$

### 2.4.3.2. Résumé des résultats de la conception de la robe

$$W_{\text{ins}} = t_{\text{ins}} \times d_{\text{ins}} \times \pi \times (OD + t_{\text{ins}}) \times H$$

$$W_{\text{ins}} = 0,0 \times 130 \times \pi \times (24,024 + 0,0) \times 12,6$$

$$W_{\text{ins}} = 0,0 \text{ kg}$$

$$W_{\text{robe cor}} = W_{1 \text{ cor}} + W_{2 \text{ cor}} + W_{3 \text{ cor}} + W_{4 \text{ cor}} + W_{5 \text{ cor}} + W_{6 \text{ cor}} + W_{7 \text{ cor}}$$

$$W_{\text{robe cor}} = 9\,580,9657 + 9\,580,1677 + 7\,450,6208 + 7\,450,6208 + 5\,321,4287 + 5\,321,4287 + 5\,321,4287$$

$$W_{\text{robe cor}} = 50\,026,66 \text{ kg}$$

$$W_{\text{robe}} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 + W_7$$

$$W_{\text{robe}} = 12\,774,6209 + 10\,644,6307 + 8\,514,9952 + 8\,514,9952 + 6\,385,7144 + 6\,385,7144 + 6\,385,7144$$

$$W_{\text{robe}} = 59\,606,39 \text{ kg}$$

$$CG_{\text{robe}} = ((CG_1 \times W_1) + (CG_2 \times W_2) + (CG_3 \times W_3) + (CG_4 \times W_4) + (CG_5 \times W_5) + (CG_6 \times W_6) + (CG_7 \times W_7)) / W_{\text{robe}}$$

$$CG_{\text{robe}} = ((0,9 \times 12\,774,6209) + (2,7 \times 10\,644,6307) + (4,5 \times 8\,514,9952) + (6,3 \times 8\,514,9952) + (8,1 \times 6\,385,7144) + (9,9 \times 6\,385,7144) + (11,7 \times 6\,385,7144)) / 59\,606,3854$$

$$CG_{\text{robe}} = 5,4 \text{ m}$$

Le résumé de la conception de la robe sont déterminés selon tableau d'API 650. Les dimensions calculées de la robe sont présentées dans le (**Tableau 3.4**). Les résultats affichés par AMETANK sont présentés sur la Figure Figure 2.9,

**Tableau 3.4** : Résumé de la conception de la robe

Virole	Hauteur (m)	Matériau	CA (mm)	JE	Sy (mpa)	Sut (mpa)	Sd (mpa)	St (mpa)	t <sub>erec</sub> (mm)
7	1.8	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6
6	1.8	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6
5	1.8	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6
4	1.8	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6
3	1.8	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6
2	1.8	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6
1	1.8	A283-C	3	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6

Résumé de la conception de la robe (suite)

Virole	t <sub>desin</sub> (mm)	Test t (mm)	t <sub>ext</sub> (mm)	t <sub>min</sub> (mm)	t <sub>ins</sub> (mm)	H <sub>maxPi</sub> (m)	Pi <sub>maxH</sub> (kPa)
7	2.09	1.15	N/A	6	6	17.95	44.59
6	3.41	2.52	N/A	6	6	16.15	29.59
5	4.72	3.89	N/A	6	6	14.35	14.6
4	6.03	5.27	N/A	6.03	8	15.29	22.44
3	7.35	6.64	N/A	7.35	8	13.49	7.45
2	8.66	8.02	N/A	8.66	10	14.43	15.29
1	11.97	9.39	N/A	11.97	12	12.63	0.29

Course (1 Bottom 7 Top)	Width (mm)	Material	CA	JE	Min Yield Strength (mpa)	Tensile Strength (mpa)	Sd (mpa)	St (mpa)	t-min Erection (mm)	t-Design t-FT (Td) (mm)	t-Test (Tt) (mm)	t-min Seismic (mm)	t-min External Pressure (mm)	t-min (mm)	t-Actual (T-use) (mm)	Max LL @ Pi (m)	Max Pi @ LL (kPa)
7	1800	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6	2.0945	1.1455	2.0371	NA	6	6	17.9527	44.5883
6	1800	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6	3.4078	2.52	3.0526	NA	6	6	16.1527	29.5943
5	1800	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6	4.7211	3.8945	4.0675	NA	6	6	14.3527	14.6003
4	1800	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6	6.0345	5.2691	5.0786	NA	6.0345	8	15.2938	22.4397
3	1800	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6	7.3478	6.6436	6.0852	NA	7.3478	8	13.4938	7.4457
2	1800	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6	8.6612	8.0182	7.0875	NA	8.6612	10	14.4349	15.285
1	1800	A283-C	3	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6	11.9745	9.3927	10.0857	NA	11.9745	12	12.6349	0.291

Notes:  
 1.- CA = Corrosion Allowance per API-650 5.3.2.  
 2.- JE = Joint Efficiency per API-650.  
 3.- Sd = Maximum allowable product design stress per API-650 5.6.2.1.  
 4.- St = Maximum allowable hydrostatic test stress.  
 5.- t-min erection = Based on erection requirements per API-650 5.6.1.1.  
 6.- t-Design (Td) = Design shell thickness per API-650 5.7.4.1 and 5.7.4.2.  
 7.- t-Test (Tt) = Hydrostatic test shell thickness.  
 8.- t-min Seismic = Based on seismic requirements per API-650 Appendix E.  
 9.- t-min External Pressure = Based on external pressure requirements per API-650 Appendix V.8.1.3.

n

5

4

3

2

1

Reverse?  
 Check Courses Vertical Axial Load

Initialize
Initialize Without External Pressure
Reset
Display Courses
JE Table 4.2
Apply
Close

Figure 2.9 : Résumé de la conception de la robe sur AMETANK

Et après on a essaie pour 1 virole le surépaisseur de corrosion = 1 et prendre le résultat suivant dans le tableau

Résumé de la conception de la robe

Cours	Hauteur (m)	Matériau	CA (mm)	JE	Sy (mpa)	Sut (mpa)	Sd (mpa)	St (mpa)	t-erec (mm)
7	1.8	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6
6	1.8	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6
5	1.8	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6
4	1.8	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6
3	1.8	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6
2	1.8	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6
1	1.8	A283-C	1	1	205.0	380.0	137.0	154.0	6

## Résumé de la conception de la coque (suite)

Cours	t-design (mm)	Test t (mm)	t-sismique (mm)	t-ext (mm)	t-min (mm)	t-installé (mm)	Statut	H-max-@-Pi (m)	Pi-max-@-H (kPa)
7	2.09	1.15	2.04	N/A	6	6	PASSER	17.95	44.59
6	3.41	2.52	3.05	N/A	6	6	PASSER	16.15	29.59
5	4.72	3.89	4.07	N/A	6	6	PASSER	14.35	14.6
4	6.03	5.27	5.08	N/A	6.03	7	PASSER	13.92	11.02
3	7.35	6.64	6.09	N/A	7.35	8	PASSER	13.49	7.45
2	8.66	8.02	7.09	N/A	8.66	9	PASSER	13.06	3.87
1	9.97	9.39	8.09	N/A	9.97	7	ÉCHEC	8.52	0

### Remarque

1.- L'épaisseur de la couche 1, 7 mm, est inférieure à la valeur requise de 9,97 mm.

Donc on prendre le surépaisseur de corrosion 3 dans le premiere virole pour max de sécurité

### 2.4.3.3. Conception des raidisseurs intermédiaires

#### Conception des raidisseurs pour la charge de vent

**D** : Diamètre nominal du réservoir (m)

**H<sub>max</sub>** : Hauteur maximale de la robe transformée non raidie selon API-650 5.9.6.1 (m)

**P<sub>wd</sub>** : Pression du vent de calcul incluant la trainée vers l'intérieur selon API-650 5.9.6.1 (kPa)

**P<sub>wv</sub>** : Pression du vent lorsque la vitesse du vent de calcul V est utilisée selon API-650 5.9.6.1 (kPa)

**V** : Vitesse du vent (km/h)

**ts<sub>min</sub>** : Épaisseur de la tôle de robe la plus mince (mm)

**Wi** : La hauteur des viroles

**D** : 24,0 m

**V** : 140,0 km/h

Hauteur de chaque virole (W) = [1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 ] m

$ts_{min} = \text{Min} (ts_1, ts_2, ts_3, ts_4, ts_5, ts_6, ts_7)$

$ts_{min} = \text{Min} (12, 10, 8, 8, 6, 6, 6)$

$ts_{min} = 6 \text{ mm}$

**Pour vérifier la stabilité de la robe sous le vent on a calculé la hauteur transformée HTS (Tableau 2.5) et la Hauteur maximale non raidie Hmax**

HTS : Hauteur de la robe transformée selon API 650 5.9.6.2 (m)

**Remarque :** l'ajout de raidisseurs intermédiaires – en plus de la cornière de rive – est conditionné par la satisfaction de l'inégalité suivante :  $H_{max} \leq HTS$

**Tableau 2.5 :** Hauteurs des cours de la robe transformée

Variable	Équation	Valeur	Unité
$W_{tr_1}$	$W_1 \times \sqrt{\left(\frac{t_{min}}{ts_1}\right)^5}$	0.32	m
$W_{tr_2}$	$W_2 \times \sqrt{\left(\frac{t_{min}}{ts_2}\right)^5}$	0.50	m
$W_{tr_3}$	$W_3 \times \sqrt{\left(\frac{t_{min}}{ts_3}\right)^5}$	0.88	m
$W_{tr_4}$	$W_4 \times \sqrt{\left(\frac{t_{min}}{ts_4}\right)^5}$	0.88	m
$W_{tr_5}$	$W_5 \times \sqrt{\left(\frac{t_{min}}{ts_5}\right)^5}$	1.80	m
$W_{tr_6}$	$W_6 \times \sqrt{\left(\frac{t_{min}}{ts_6}\right)^5}$	1.80	m
$W_{tr_7}$	$W_7 \times \sqrt{\left(\frac{t_{min}}{ts_7}\right)^5}$	1.80	m

$$HTS = \sum \left[ w_i \times \sqrt{\left(\frac{t_{min}}{ts_i}\right)^5} \right]$$

$$HTS = 0,3182 + 0,5019 + 0,8769 + 0,8769 + 1,8 + 1,8 + 1,8$$

$$HTS = 7,97 \text{ m}$$

$$P_{wv} = 1,48 \times \left(\frac{V}{190}\right)^2$$

$$P_{wv} = 1,48 \times \left(\frac{140}{190}\right)^2$$

$$P_{wv} = 0,8 \text{ kPa}$$

$$P_{wd} = P_{wv} + 0,24$$

$$P_{wd} = 0,8035 + 0,24$$

$$P_{wd} = 1,04 \text{ kPa}$$

$$H_{max} = 9,47 \times t_{s_{min}} \times \sqrt{\left(\frac{t_{s_{min}}}{D}\right)^3 \times \left(\frac{1,72}{P_{wd}}\right)}$$

$$H_{max} = 9,47 \times 6 \times \sqrt{\left(\frac{6}{24}\right)^3 \times \left(\frac{1,72}{1,0435}\right)}$$

$$H_{max} = 11,71 \text{ m}$$

donc  $11,71 > 7,97$

$H_{max} > HTS$  Le réservoir est stable et ne nécessite pas de raidisseurs supplémentaires.

### 2.4.4. Le Fond (Figure 2.11)

Type de fond : plat avec anneau annulaire

Type de support de fond : support en continu sur la fondation

Les données du fond – paragraphe 2.4- sous introduites dans AMETNAK figure 2.10

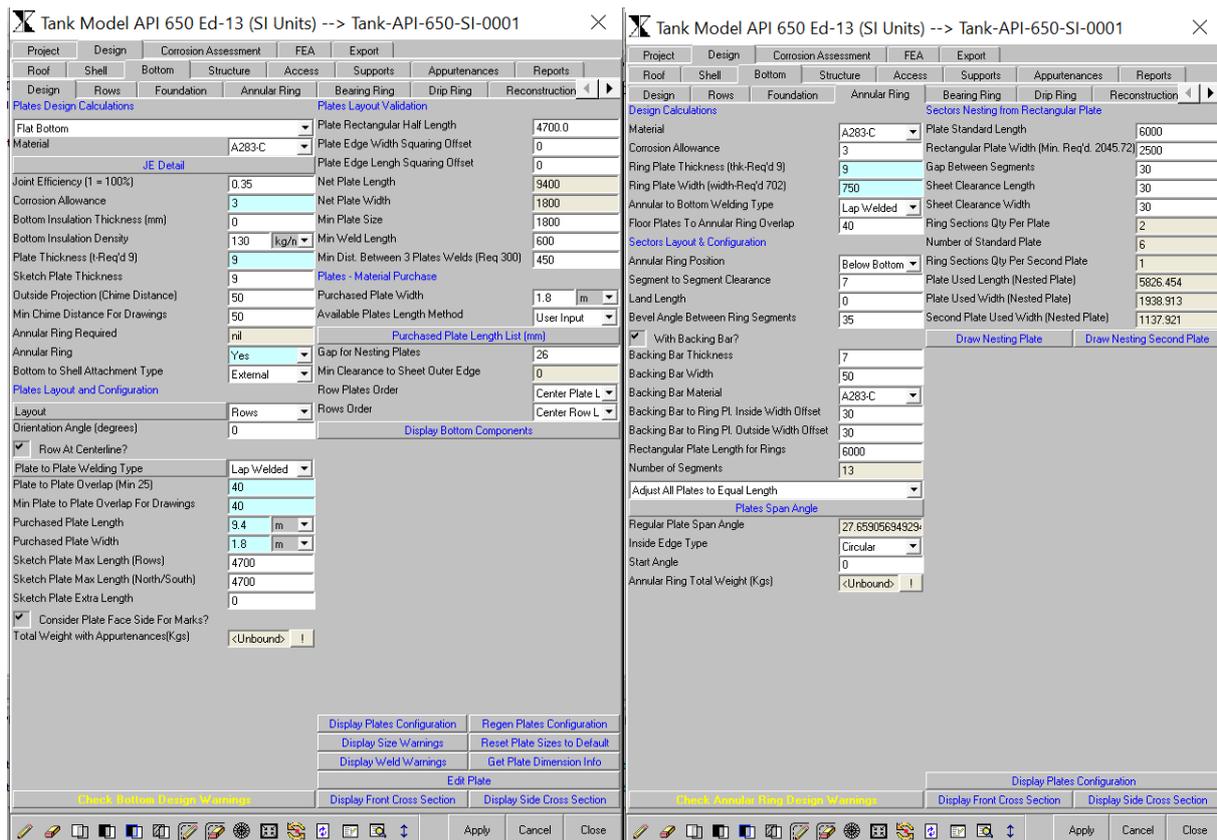


Figure 2.10 : introduction des données du fond dans AMETNAK

#### 2.4.4.1. Données supplémentaires du fond (figure 2.11):

**Ann<sub>w min</sub>** : Largeur totale requise de l'anneau annulaire (mm)

**CA** : Tolérance de corrosion (mm)

**CA<sub>ann</sub>** : Tolérance de corrosion des plaques annulaires (mm)

**CA<sub>1</sub>** : Tolérance de corrosion de la couche du fond (mm)

**E** : Efficacité du joint

**H<sub>effective</sub>** = Hauteur effective du produit (m)

**L** : Largeur minimale de la plaque annulaire mesurée à partir du bord intérieur de la robe jusqu'au bord de la plaque dans le reste du fond ,conformément à la norme API-650 5.5.2 (mm)

**Ma<sub>ann</sub>** : Matériau des plaques annulaires

**Ma<sub>bottom</sub>** : Matériau du fond

**Ma<sub>1</sub>** : Matériau de la couche de corrosion du fond

**S** : Contrainte maximale de la cours de coque inférieure de la couche du fond (MPa)

**S1** : Contrainte de la cours de coque inférieure de la couche du fond selon API-650 Tableau 5.1a Note b (MPa)

**S2** : Contrainte hydrostatique de la coque inférieure et de la couche du fond selon API-650 Tableau 5.1a Note b (MPa)

**Sd<sub>1</sub>** : Contrainte de conception admissible de la couche du fond (MPa)

**St<sub>1</sub>** : Contrainte d'essai hydrostatique admissible de la couche du fond (MPa)

**lw** : Recouvrement des plaques du fond sur la plaque annulaire (mm)

**tb** : Épaisseur installée (mm)

**tb<sub>ann</sub>** : épaisseur de la plaque annulaire (mm)

**tb<sub>ann req</sub>** : Épaisseur requise des plaques annulaires selon API-650 5.5.3 (mm)

**tb<sub>req</sub>** : Épaisseur requise du fond (mm)

**td<sub>1</sub>** : Épaisseur de conception de la couche du fond (mm)

**ts<sub>1</sub>** : Épaisseur nominale de la couche du fond (mm)

**tt<sub>1</sub>** : eassai hydrostatique du fond de la robe (mm)

**w<sub>ann</sub>** : Largeur réelle de la plaque annulaire (mm)

Selon AMETANK

**lw** = 40 mm

**tb** = 9 mm

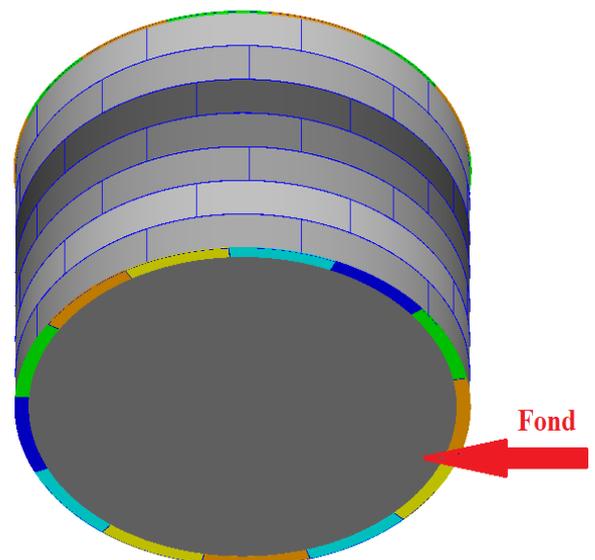
**tb<sub>ann</sub>** = 9 mm

**td<sub>1</sub>** = 11,97 mm

**ts<sub>1</sub>** = 12 mm

**tt<sub>1</sub>** = 9,39 mm

**w<sub>ann</sub>** = 750 mm



, selon les données – paragraphe 2.4 -

$$CA = 3 \text{ mm}$$

$$CA_{ann} = 3 \text{ mm}$$

$$CA_1 = 3 \text{ mm}$$

$$E = 0,35$$

$$Ma_{ann} = A283-C$$

$$Ma_{bottom} = A283-C$$

$$Ma_1 = A283-C$$

$$Sd_1 = 137,0 \text{ MPa}$$

$$St_1 = 154,0 \text{ MPa}$$

**Figure 2.11** : Le fond de réservoir

On introduit les données précédentes dans AMETANK (**figure 2.10**) nous obtenons les résultats suivants

### **Plaques inférieures Propriétés des matériaux selon AMETANK**

Matériau (A283-C) = A283-C

Résistance minimale à la traction ( $S_{ut-btm}$ ) = 380,0 MPa

Limite d'élasticité minimale ( $S_{y_{btm}}$ ) = 205,0 MPa

Densité ( $d_{btm}$ ) = 7 840 kg/m<sup>3</sup>

### **Propriétés des matériaux de la bague annulaire inférieure selon AMETANK**

Matériau (A283-C) = A283-C Limite

d'élasticité minimale ( $S_{y_{ann}}$ ) = 205,0 MPa

Limite d'élasticité minimale à température ambiante ( $S_{y_{ambiant ann}}$ ) = 205,0 MPa

#### **2.4.4.2. Calcul des contraintes**

Calcul de la contrainte du test hydrostatique et de la contrainte du produit selon API-650 Section 5.5.1

$$S1 = \left( \frac{td_1 - CA_1}{ts_1 - CA_1} \right) \times Sd_1$$

$$S1 = \left( \frac{11,97 - 3}{12 - 3} \right) \times 137$$

$$S1 = 136,61 \text{ MPa}$$

Conformément à la norme API-650 5.5.1, le matériau de la première enveloppe, A283-C, fait partie du groupe I ; par conséquent, les plaques annulaires soudées bout à bout ne sont pas requises.

Contrainte hydrostatique de la couche de roulement du fond selon API-650 Tableau 5.1a Note b (MPa) page 59

$$S2 = \left( \frac{tt_1}{ts_1} \right) \times St_1$$

$$S2 = \left( \frac{9,392}{12} \right) \times 154$$

$$S2 = 120,54 \text{ MPa}$$

Conformément à la norme API-650 5.5.1, le matériau de la première couche d'enveloppe, A283-C, fait partie du groupe I ; par conséquent, les plaques annulaires soudées bout à bout ne sont pas requises.

Contrainte maximale de la couche de fond (MPa)

$$S = \text{Max} ( S1 , S2 )$$

$$S = \text{Max} ( 136.612 , 120.54 )$$

$$S = 136.61 \text{ MPa}$$

#### 2.4.4.3.Poids du fond

**A<sub>ann</sub>** : Surface de l'anneau annulaire ( $m^2$ )

**A<sub>abtm</sub>** : Surface du fond ( $m^2$ )

**CA** : Tolérance de corrosion (mm)

**CA<sub>ann</sub>** : Tolérance de corrosion des plaques annulaires (mm)

**ID<sub>ann</sub>** : Diamètre intérieur de l'anneau annulaire (m)

**OD<sub>ann</sub>** : Diamètre extérieur de l'anneau annulaire (m)

**OD<sub>btm</sub>** : Diamètre extérieur du fond (m)

**W<sub>pl</sub>** : Poids des plaques de fond (kg)

**W<sub>pl cor</sub>** : Poids des plaques de fond corrodées (kg)

**ch** : Projection extérieure (distance de carillon) (mm)

**lw** : Recouvrement des plaques inférieures sur la plaque annulaire (mm)

**tb** : épaisseur installée (mm)

**tb<sub>ann</sub>** : Épaisseur de la plaque annulaire (mm)

**w<sub>ann</sub>** : Largeur réelle de la plaque annulaire (mm)

Selon AMETANK

$$CA = 3 \text{ mm}$$

$$CA_{ann} = 3 \text{ mm}$$

$$ch = 50 \text{ mm}$$

$$lw = 40 \text{ mm}$$

$$tb = 9 \text{ mm}$$

$$tb_{ann} = 9 \text{ mm}$$

$$w_{ann} = 750 \text{ mm}$$

**Diamètre extérieur de l'anneau annulaire (m)**

$$OD_{ann} = OD + ch^2$$

$$OD_{ann} = 24,024 + 0,05^2$$

$$OD_{ann} = 24,12 \text{ m}$$

**Diamètre intérieur de l'anneau annulaire (m)**

$$ID_{ann} = OD_{ann} + W_{ann}^2$$

$$ID_{ann} = 24,124 + 0,75^2$$

$$ID_{ann} = 22,62 \text{ m}$$

**Diamètre extérieur du fond (m)**

$$OD_{btm} = ID_{ann} + Iw^2$$

$$OD_{btm} = 22,624 + 0,04^2$$

$$OD_{btm} = 22,7 \text{ m}$$

**Surface de l'anneau annulaire (m<sup>2</sup>)**

$$A_{ann} = \pi \times \left( \left( \frac{OD_{ann}}{2} \right)^2 - \left( \frac{ID_{ann}}{2} \right)^2 \right)$$

$$A_{ann} = \pi \times \left( \left( \frac{24,124}{2} \right)^2 - \left( \frac{22,624}{2} \right)^2 \right)$$

$$A_{ann} = 55,07 \text{ m}^2$$

**Surface du fond (m<sup>2</sup>)**

$$A_{btm} = \pi \times \left( \frac{OD_{btm}}{2} \right)^2$$

$$A_{btm} = \pi \times \left( \frac{22,704}{2} \right)^2$$

$$A_{btm} = 404,85 \text{ m}^2$$

**Poids des plaques de fond (kg)**

$$W_{ppl} = (A_{btm} \times t_b \times d_{btm}) + (A_{ann} \times (t_{b \text{ ann}} \times d_{ann}))$$

$$W_{ppl} = (404 \ 850 \ 460,4899 \times 9 \times 7,8400000000000001E-6) + (55 \ 073 \ 690,0138 \times 9 \times 7,8400000000000001E-6)$$

$$W_{ppl} = 32 \ 452,25 \text{ kg}$$

**Poids des plaques de fond corrodées (kg)**

$$W_{bpl \text{ corr}} = [A_{btm} \times (t_b - CA) \times d_{btm}] + [A_{ann} \times (t_{b \text{ ann}} - CA_{ann}) \times d_{ann}]$$

$$W_{bpl \text{ corr}} = [404 \ 850 \ 460,4899 \times (9 - 3) \times 7,8400000000000001E - 6]$$

$$+ [55 \ 073 \ 690,0138 \times (9 - 3) \times 7,8400000000000001E - 6]$$

$$W_{b_{pl\ corr}} = 21\ 634,83\ \text{kg}$$

#### 2.4.4.4. Conception du fond due à la pression externe

$P_{b_{tm}}$  = Pression descendante (kPa)

Facteur de conversion de la hauteur du liquide en pression (f) = 9,81

$$P_{b_{tm}} = \left[ d_{b_{tm}} \times 9,80665 \times (t_b - CA_{b_{tm}}) \times \left( \frac{1}{1,0E6} \right) \right] + (L_{\min} \times f \times SG)$$

$$P_{b_{tm}} = \left[ 7,840 \times 9,80665 \times (9 - 3) \times \left( \frac{1}{1,0E6} \right) \right] + (0 \times 9,8064 \times 0,85)$$

$$P_{b_{tm}} = 0,46\ \text{kPa}$$

$P_{b_{tm}} \geq P_v \implies$  Il n'y a pas de soulèvement dû à la pression externe.

#### 2.4.4.5. Épaisseur requise du fond

Conformément à la norme API-650 5.4.1, l'épaisseur requise par l'érection ( $t_{b\text{-erec}}$ ) = 9 mm

$$t_{b_{req}} = t_{b_{erec}}$$

$$t_{b_{req}} = 9$$

$$t_{b_{req}} = 9\ \text{mm}$$

$t_b \geq t_{b_{req}} \implies$  vérifiée

#### 2.4.4.6. Projection extérieure du fond

Conformément à la norme API-650 5.4.2, la projection extérieure minimale requise ( $ch$ ) = 50 mm donc la projection extérieure du fond ( $ch$ ) = 50 mm

#### 2.4.4.7. Épaisseur requise de l'anneau annulaire

conformément à la norme API-650 5.5.3, l'épaisseur requise des plaques annulaires en fonction de la contrainte du produit de la première rangée de la robe ( $t_{b_{ann\ req1}}$ ) = 6 mm

Conformément à la norme API-650 l'épaisseur requise des plaques annulaires en fonction de la contrainte de l'essai hydrostatique de la première virole

$$(t_{b_{ann\ req2}}) = 6\ \text{mm}$$

#### Épaisseur de la plaque annulaire (mm)

$$t_{b_{ann\ req}} = \text{Max} ((t_{b_{ann\ req1}} + CA_{ann}), t_{b_{ann\ req2}}, t_{b_{req}})$$

$$t_{b_{ann\ req}} = \text{Max} ((6 + 3), 6, 9)$$

$$t_{b_{ann\ req}} = 9\ \text{mm}$$

$t_{b_{ann}} \geq t_{b_{ann \text{ req}}} \implies$  vérifiée

### Anneau annulaire Hauteur effective du produit Limite

$$H_{\text{effective}} = L_{\text{max}} \times SG$$

$$H_{\text{effective}} = 12,6 \times 0,85$$

$$H_{\text{effective}} = 10,71 \text{ m}$$

Selon API-650 5.5.3

$$H_{\text{effective}} \leq 23 \implies \text{vérifiée}$$

### 2.4.4.8. Largeur requise de l'anneau annulaire

Conformément à la norme API-650 5.5.2, facteur de densité de l'eau (Y) = 0,009810000000000001 MPa/m

$$L = 2 \times t_{b_{ann}} \times \sqrt{\frac{(S_{y_{\text{ambiant ann}}})}{(2 \times Y \times \text{Min}(SG; 1) \times L_{\text{max}})}}$$

$$L = 2 \times 9 \times \sqrt{\frac{205}{(2 \times 0,0098 \times \text{Min}(0,85; 1) \times 12,6)}}$$

L = 562,22 (fixé à 600 mm puisqu'il ne peut être inférieur à 600)

$$\text{Ann}_{w \text{ min}} = L + ch + ts_1 + lw$$

$$\text{Ann}_{w \text{ min}} = 600 + 50 + 12 + 40$$

$$\text{Ann}_{w \text{ min}} = 702 \text{ mm}$$

$$w_{\text{ann}} \geq \text{Ann}_{w \text{ min}} \implies \text{vérifiée}$$

### 2.4.5. Moment du vent

#### 2.2.5.1. Pressions du vent

I = Facteur d'importance du vent

PWR = Pression du vent de conception du toit selon API-650 5.2.1.k (kPa)

PWS = Pression du vent de conception de la robe selon API-650 5.2.1.k (kPa)

V = Vitesse du vent de conception (rafale de 3 secondes) (km/h)

Vs = Vitesse du vent de conception ajustée (km/h)

les paramètres I et V suivants sont donnés par CRMETAL

$$I = 1$$

$$V = 140,0 \text{ km/h}$$

Vitesse du vent

$$V_s = V \times \sqrt{I}$$

$$V_s = 140,0 \times \sqrt{I}$$

$$V_s = 140,0 \text{ km/h}$$

Pression du vent sur le toit

$$PWR = 1,48 \times \left(\frac{V_s}{190}\right)^2$$

$$PWR = 1,48 \times \left(\frac{140}{190}\right)^2$$

$$PWR = 0,8 \text{ kPa}$$

Pression du vent de l'enveloppe

$$PWR = 0,89 \times \left(\frac{V_s}{190}\right)^2$$

$$PWR = 0,89 \times \left(\frac{V_s}{190}\right)^2$$

$$PWS = 0,48 \text{ kPa}$$

#### 2.4.5.2. Renversement par le vent et stabilité au glissement

**A<sub>h</sub>** : Surface horizontale projetée du toit (m<sup>2</sup>)

**A<sub>h</sub><sub>total</sub>** : Surface horizontale projetée du toit, y compris l'isolation (m<sup>2</sup>)

**A<sub>s</sub>** : Surface verticale projetée totale de la robe (m<sup>2</sup>)

**A<sub>v</sub><sub>toit</sub>** : Surface verticale projetée du toit (m<sup>2</sup>)

**CA<sub>btm</sub>** : Surépaisseur de corrosion des plaques inférieures sous la robe (mm)

**CA<sub>1</sub>** : Surépaisseur de corrosion de la couche inférieure de la robe (mm)

**CG<sub>toit</sub>** : Centre de gravité du toit (m)

**COF** : Coefficient de frottement de glissement maximal admissible

**D<sub>outer</sub>** : Diamètre extérieur maximal du réservoir (m)

**DLR** : Poids nominal des plaques de toit et de la structure attachée (N)

**DLS** : Poids nominal des plaques de robe et de la charpente (N)

**F<sub>fr</sub>** : Force de frottement (N)

**F<sub>wind</sub>** : Force de glissement (N)

**F<sub>by</sub>** : Limite d'élasticité des plaques de fond sous la robe (MPa)

**MDL** : Moment sur la jonction robe-fond dû au poids nominal de la robe (N.m)

**MDLR** : Moment sur la jonction robe-fond dû au poids nominal de la plaque de toit et de toute structure attachée (N.m)

**MF** : Moment sur la jonction robe-fond dû au poids du liquide (N.m)

**M<sub>Pi</sub>** : Moment autour du joint entre la robe et le fond dû à la pression interne de calcul selon API-650 5.11.2.2 (N.m)

**MWR** : Moment de renversement du toit dû au vent selon API-650 5.11.2.2 (N.m)

**MWS** : Moment de renversement de la robe dû au vent selon API-650 5.11.2.2 (N.m)  
**Mw** : Moment de renversement autour du joint entre la robe et le fond dû aux pressions du vent selon API-650 5.11.2.2 (N.m)  
**Rh** : Rayon horizontal du toit (m)  
**W<sub>struct</sub>** : Poids de la nouvelle structure du toit (N)  
**W<sub>struct cor</sub>** : Poids de la structure corrodée du toit (N)  
**W<sub>b pl cor</sub>** : Poids des plaques corrodées en bas (N)  
**W<sub>r pl</sub>** : Poids des plaques neuves de la toiture (N)  
**W<sub>r pl cor</sub>** : Poids des plaques corrodées en toiture (N)  
**W<sub>s franing</sub>** : nouvelle ossature de la robe Poids (N)  
**W<sub>s franing cor</sub>** : Ossature corrodée Poids (N)  
**W<sub>s pl</sub>** : Poids des plaques neuves de la robe (N)  
**W<sub>s pl cor</sub>** : Poids des plaques corrodées de la robe (N)  
**W<sub>s struct cor</sub>** : Poids de la structure corrodée du toit supporté par la robe (N)  
**Xs** : Bras de moment de la force du vent sur la robe (m)  
**Xw** : Bras de moment de la force du vent sur le toit (m)  
**tb** : Épaisseur des plaques inférieures sous la robe (mm)  
**tr<sub>ins</sub>** : Épaisseur de l'isolation du toit (mm)  
**ts<sub>ins</sub>** : Épaisseur de l'isolation de la robe (mm)  
**ts<sub>i</sub>** : Épaisseur nominale de la couche inférieure de la robe (mm)  
**wL** : poids résistant au contenu du réservoir selon API-650 5.11.2.3 (N/m)  
**Wind<sub>uplift</sub>** : soulèvement dû au vent selon API-650 5.2.1.k (kPa)

Selon AMETANK

**Ah** = 454,88 m<sup>2</sup>  
**Av<sub>toit</sub>** = 9,05 m<sup>2</sup>  
**CA<sub>btm</sub>** = 3 mm  
**CA<sub>l</sub>** = 3 mm  
**CG<sub>toit</sub>** = 0,25 m  
**COF** = 0,4  
**DLR** = 211 409,47 N  
**DLS** = 620 929,67 N  
**Fby** = 205,0 MPa  
**Rh** = 12,03 m  
**W<sub>struct</sub>** = 150 287,0 N  
**W<sub>struct cor</sub>** = 136 911,05 N  
**W<sub>b pl cor</sub>** = 212 165,23 N  
**W<sub>r pl</sub>** = 210 248,19 N  
**W<sub>r pl cor</sub>** = 175 206,83 N  
**Ws-cadrage** = 8 989,73 N  
**Ws-encadrement-corr** = 7 825,04 N  
**W<sub>s pl</sub>** = 584 538,96 N  
**W<sub>s pl cor</sub>** = 490 593,96 N

$$W_{\text{struct cor}} = 23\,444,89 \text{ N}$$

$$t_b = 9 \text{ mm}$$

$$t_{r_{\text{ins}}} = 0 \text{ mm}$$

$$t_{s_{\text{ins}}} = 0 \text{ mm}$$

$$t_{s_i} = 12 \text{ mm}$$

Conformément à l'article 5.2.1.k.1 de l'API-650 et du tableau 5.20a, pour les toits coniques soutenus qui satisfont aux exigences de l'article 5.10.4, la pression de soulèvement PWR doit être considérée comme nulle .

#### 2.4.5.2.1. Moments de renversement

Bras du moment de la force du vent sur le toit (m)

$$X_w = D / 2$$

$$X_w = 24,0 / 2$$

$$X_w = 12,0 \text{ m}$$

Surface horizontale projetée du toit, y compris l'isolation (m<sup>2</sup>)

$$A_{h_{\text{total}}} = P_i + (R_h + t_{s_{\text{ins}}})^2$$

$$A_{h_{\text{total}}} = P_i + (12,033 + 0)^2$$

$$A_{h_{\text{total}}} = 454,88 \text{ m}^2$$

Moment autour du joint entre la robe et le fond dû à la pression interne de calcul selon API-650 5.11.2.2 (N.m)

$$M_{P_i} = P_g \times A_h \times X_w$$

$$M_{P_i} = 0,0 \times 454,8809 \times 12,0$$

$$M_{P_i} = 0,0 \text{ N.m}$$

Moment de renversement du toit dû au vent selon API-650 5.11.2.2 (N.m)

$$M_{W_R} = \text{soulèvement du vent} \times A_{h_{\text{total}}} \times X_w$$

$$M_{W_R} = 0,0 \times 454,8809 \times 12,0$$

$$M_{W_R} = 0,0 \text{ N.m}$$

Diamètre extérieur maximal du réservoir (m)

$$D_{\text{outer}} = OD + 2 \times \left( \frac{t_{s_{\text{ins}}}}{1000} \right)$$

$$D_{\text{outer}} = 24,02 + 2 \times \left( \frac{0}{1000} \right)$$

$$D_{\text{outer}} = 24,02 \text{ m}$$

Surface verticale projetée totale de la robe (m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned}A_s &= D_{\text{outer}} \times H \\A_s &= 24,024 \times 12,6 \\A_s &= 302,7 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Bras de moment de la force du vent sur la robe (m)

$$\begin{aligned}X_s &= H / 2 \\X_s &= 12,6 / 2 \\X_s &= 6,3 \text{ m}\end{aligned}$$

Moment de renversement de la robe dû au vent selon API-650 5.11.2.2 (N.m)

$$\begin{aligned}MWS &= PWS \times A_s \times X_s \\MWS &= 483,2133 \times 302,7024 \times 6,3 \\MWS &= 921\,499,89 \text{ N.m}\end{aligned}$$

Moment de renversement autour du joint entre la robe et le fond dû aux pressions du vent selon API-650 5.11.2.2 (N.m)

$$\begin{aligned}M_w &= MWR + MWS \\M_w &= 0,0 + 921\,499,8946 \\M_w &= 921\,499,89 \text{ N.m}\end{aligned}$$

#### **2.4.5.2.2. Résistance au renversement selon API-650 5.11.2**

Moment sur la jonction robe-fond dû au poids nominal de la robe (N.m)

$$\begin{aligned}MDL &= (D / 2) \times DLS \\MDL &= (24,0 / 2) \times 620\,929,6709 \\MDL &= 7\,451\,156,05 \text{ N.m}\end{aligned}$$

Moment sur la jonction robe-fond dû au poids nominal de la plaque de toit et de toute structure attachée (N.m)

$$\begin{aligned}MDLR &= (D / 2) \times DLR \\MDLR &= (24,0 / 2) \times 211\,409,466 \\MDLR &= 2\,536\,913,59 \text{ N.m}\end{aligned}$$

poids résistant au contenu du réservoir selon API-650 5.11.2.3 (N/m)

$$\begin{aligned}wL &= \left( (70 \times L_{\text{max}} \times D); \left( 59 \times (t_{b_{\text{req}}} - CA_{\text{fond}}) \times \sqrt{(F_{b_y} \times L_{\text{max}})} \right) \right) \\wL &= \left( (70 \times 12,6 \times 24); \left( 59 \times (9 - 3) \times \sqrt{(205 \times 12,6)} \right) \right) \\wL &= 17\,991,42 \text{ N/m}\end{aligned}$$

Moment sur la jonction robe-fond dû au poids du liquide (N.m)

$$\begin{aligned}MF &= (D / 2) \times wL \times \pi \times D \\MF &= (24,0 / 2) \times 17\,991,421 \times \pi \times 24,0\end{aligned}$$

$$MF = 16\,278\,254,18 \text{ N.m}$$

Un réservoir non ancré avec un toit conique supporté doit répondre aux critères de l'API-650 5.11.2.2

#### **Critère pour les toits coniques supportés répondant aux exigences de la norme API-650 5.10.4**

$$(MWS + (F_p \times MP_i)) < ((MDL / 1.5) + MDLR)$$
$$(921,499.8946 + (0.4 \times 0.0)) < ((7,451,156.0504 / 1.5) + 2,536,913.5921)$$
$$921,499.8946 < 7,504,350.959$$

Donc le réservoir est stable

#### **2.4.5.2.3. Résistance au glissement selon API-650 5.11.4**

$$F_{\text{vent}} = PWS \times A_s$$
$$F_{\text{vent}} = 483,2133 \times 302,7024$$
$$F_{\text{vent}} = 146\,269,82 \text{ N}$$

$$F_{\text{fr}} = \text{COF} \times (W_{r \text{ pl cor}} + W_{\text{struct cor}} + W_{s \text{ pl cor}} + W_{s \text{ franing cor}} + W_{b \text{ pl cor}})$$
$$F_{\text{fr}} = 0,4 \times (175\,206,82 + 136\,911,05 + 490\,593,95 + 7\,825,04 + 212\,165,2256)$$
$$F_{\text{fr}} = 409\,080,84 \text{ N}$$

$$F_{\text{fr}} \geq F_{\text{vent}}$$

Donc le réservoir est stable

#### **Exigence d'ancrage L**

l'ancrage du réservoir en raison du vent n'est pas requis selon API-650 5.11. Cependant CRMETAL a décidé de réaliser cet ancrage pour maximum de sécurité.

#### **2.4.6 caractéristiques des boulons d'ancrage**

- A<sub>s</sub>** : Surface nominale du boulon installé (mm<sup>2</sup>)
- A<sub>s-r</sub>** : Surface requise de l'ancrage (mm<sup>2</sup>)
- A<sub>v</sub>** : Coefficient d'accélération sismique verticale (g)
- Ca<sub>anchor</sub>** : Tolérance de corrosion de l'ancrage (mm)
- D** : Diamètre nominal du réservoir (m)
- Dac** : Diamètre du cercle du boulon (m)
- F<sub>p</sub>** : Rapport de fonctionnement de la pression de conception
- F<sub>ty</sub>** : Limite d'élasticité minimale de la couche du fond (MPa)
- F<sub>y</sub>** : Limite d'élasticité de l'ancrage conformément au tableau 5.21a de l'API-650 (MPa)
- F<sub>yambient</sub>** : Limite d'élasticité de l'ancrage à température ambiante selon API-650 Tableau

5.21a (MPa)

**H** : Hauteur du réservoir (m)

**MWS** : Moment de renversement de l'enveloppe sous l'effet du vent (N.m)

**Ma<sub>anchor</sub>** : Matériau de l'ancrage

**Mrw** : Moment de renversement sismique (N.m)

**N** : Quantité d'ancrages

**N<sub>min</sub>** : Nombre minimum requis d'ancrages selon API-650 5.12.3

**OD** : Diamètre extérieur du réservoir (m)

**P** : Pression interne (kPa)

**P<sub>attachment</sub>** : Charge de conception de l'attache de l'ancrage selon API-650 5.12.13 et plaques d'acier Données techniques-Volume 2 Partie V (N)

**PWR** : Pression du vent sur le toit (kPa)

**Pt** : Pression d'essai (kPa)

**Sd** : Contrainte admissible de

l'ancrage selon le tableau 5.21a de l'API-650 (MPa)

**Sd<sub>shell</sub>** : Contrainte admissible au niveau de la fixation de l'ancrage selon le tableau 5.21a de l'API-650 (MPa)

**Tb** : Charge par ancrage selon l'API-650 5.12.2 (N)

**U** : Charge nette de soulèvement selon l'API-650 5.12.2 (N)

**W1** : Poids corrodé des plaques de toit plus le poids corrodé de la robe et de toute autre fixation permanente corrodée agissant sur la robe (N)

**W2** : Poids corrodé de la robe et de toute fixation permanente corrodée agissant sur la robe, y compris la partie des plaques de toit et de l'ossature agissant sur la robe (N)

**W3** : Poids nominal des plaques de toit plus le poids nominal de la robe et de toute autre fixation permanente agissant sur la robe (N)

**Wr<sub>pl</sub>** : Poids nominal des plaques de toit (N)

**Wr<sub>pl corr</sub>** : Poids des plaques corrodées du toit (N)

**Wrs<sub>pl corr</sub>** : Poids des plaques corrodées du toit agissant sur la robe (N)

**Ws<sub>framing</sub>** : Poids de la nouvelle ossature de la robe (raidisseurs) (N)

**Ws<sub>framing corr</sub>** : Poids de l'ossature corrodée de la robe (raidisseurs) (N)

**Ws<sub>pl</sub>** : Poids nominal des plaques de la robe (N)

**Ws<sub>pl corr</sub>** : Poids des plaques corrodées de la robe (N)

**Wss** : Poids nominal de la structure du toit agissant sur la robe (N)

**Wss<sub>corr</sub>** : Poids corrodé de la structure du toit agissant sur la robe (N)

**Y<sub>bolt</sub>** : Charge d'élasticité de l'ancrage (N)

**d** : Diamètre du boulon d'ancrage (mm)

**d<sub>req</sub>** : Diamètre requis du boulon selon ANSI B1.1 (mm)

**p** : Pas du filetage du boulon (mm)

**position\_angles** : Angles de position des ancrages (deg)

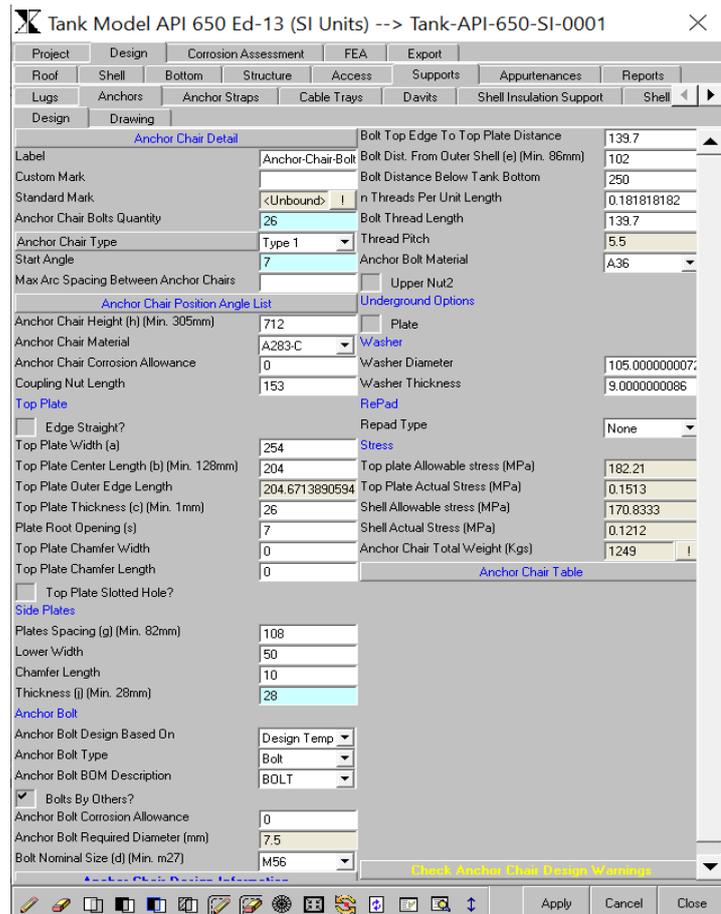
Selon AMETANK

**Av** = 0,04 g

**Ca<sub>anchor</sub>** = 0 mm

**D** = 24,0 m

**Dac** = 24,23 m  
**Fp** = 0,4  
**Fty** = 205,0 MPa  
**H** = 12,6 m  
**MWS** = 921,499.89 N.m  
**Ma<sub>anchor</sub>** = A36  
**Mrw** = 3,612,213.34 N.m  
**N** = 26  
**OD** = 24.02 m  
**P** = 0,0 kPa  
**PWR** = 0,8 kPa  
**Pt** = 0,0 kPa  
**Wr<sub>pl</sub>** = 210 248,19 N  
**Wr<sub>pl corr</sub>** = 175 206,83 N  
**Wr<sub>spl corr</sub>** = 87 150,63 N  
**Ws<sub>framing</sub>** = 8 989,73 N  
**Ws<sub>framing corr</sub>** = 7 825.04 N  
**Ws<sub>pl</sub>** = 584 538,96 N  
**Ws<sub>pl corr</sub>** = 490 593,96 N  
**Wss** = 27 400,98 N  
**Wss<sub>corr</sub>** = 23 444,89 N  
**d** = 56 mm  
**p** = 5,5 mm  
**position\_angles** = [7 20,85 34,69 48.54 62.38 76.23 90.08 103.92 117.77 131.62 145.46 159.31 173.15 187 200.85 214.69 228.54 242.38 256.23 270.08 283.92 297.77 311.62 325.46 339.31 353.15 ] deg



On introduit des données dans AMETANK(**Figure 2.12**) Nous obtenons les résultats suivants

### 2.4.6.1. Exigences d'espacement des ancrages

**Figure 2.12** : données introduites de Fond (AMETANK)

Espacement maximal admissible entre les ancrages du diamètre extérieur de la robe

Espacement maximal admissible (max allowable spacing) = 3 m

Espacement réel (actual spacing) = 2,9 m

espacement<sub>réel</sub> ≤ espacement<sub>max autorisable</sub> ==> vérifiée

$$N_{\min} = \text{PLAFOND} \left( \frac{\pi \times \text{OD}}{3} \right)$$

$$N_{\min} = \text{PLAFOND} \left( \frac{\pi \times 24.024}{3} \right)$$

$$N_{\min} = 26$$

$$N \geq N_{\min}$$

$$26 \geq 26 \implies \text{vérifiée}$$

Les chevilles répondent aux exigences d'espacement.

#### **2.4.6.2. Chevilles Espacement moyen (la moitié de la portée de chaque côté de la cheville) au cercle de boulons**

Les chevilles sont espacées de manière égale. Espacement moyen (average\_spacing) = 2,93 m

Les charges sur les boulons seront basées sur des ancrages à espacement égal.

#### **Propriétés des matériaux d'ancrage**

Matériau (A36) = A36

Résistance minimale à la traction (ancrage  $S_{ut}$ ) = 400,0 MPa

Limite d'élasticité minimale (ancrage  $S_y$ ) = 250,0 MPa

Limite d'élasticité minimale à température ambiante (ancrage  $S_{y\text{-ambiante}}$ ) = 250,0 MPa

$$F_y = \text{Min} (S_{y\text{Anchor}}, 380^\circ)$$

$$F_y = \text{Min} (250, 380^\circ)$$

$$F_y = 250.0 \text{ MPa}$$

$$F_{y\text{ambient}} = \text{Min} (S_{y\text{ambient anchor}}, 380^\circ)$$

$$F_{y\text{ambient}} = \text{Min} (250, 380^\circ)$$

$$F_{y\text{ambient}} = 250.0 \text{ MPa}$$

#### **2.4.6.3. Cas de charge de soulèvement**

$$W1 = W_{S_{pl\text{ corr}}} + W_{S_{framing\text{ corr}}} + W_{r_{pl\text{ corr}}}$$

$$W1 = 490,593.956 + 7,825.0448 + 175,206.8282$$

$$W1 = 673,625.83 \text{ N}$$

$$W2 = W_{S_{pl\text{ corr}}} + W_{S_{framing\text{ corr}}} + W_{r_{s_{pl\text{ corr}}}} + W_{s_{s\text{ corr}}}$$

$$W2 = 490\,593,956 + 7\,825,0448 + 87\,150,6305 + 23\,444,8943$$

$$W2 = 609\,014,53 \text{ N}$$

$$W3 = W_{S_{pl}} + W_{S_{framing}} + W_{r_{pl}} + W_{ss}$$

$$W3 = 584,538.9596 + 8,989.7299 + 210,248.1939 + 27,400.9813$$

$$W3 = 831,177.86 \text{ N}$$

### 2.4.6.3.1. Cas de remontée 1 : Pression de conception uniquement

$$U = P \times (D^2) \times 785) - W1$$

$$U = (0 \times (24.0^2) \times 785) - 673,625.8291$$

$$U = -673,625.83 \text{ (fixé à 0 N puisqu'il ne peut pas être inférieur à 0)}$$

$$Tb = \frac{U}{N}$$

$$Tb = \frac{0}{26}$$

$$Tb = 0 \text{ N}$$

$$Sd = \left(\frac{U}{N}\right) Fty$$

$$Sd = \left(\frac{5}{12}\right) \times 250$$

$$Sd = 104.17 \text{ MPa}$$

$$A_{s-r} = \frac{Tb}{Sd}$$

$$A_{s-r} = \frac{0}{104,1667}$$

$$A_{s-r} = 0,0 \text{ mm}^2$$

$$\text{Attache P} = 1,5 \times Tb$$

$$\text{Attache P} = 1,5 \times 0$$

$$\text{Attache P} = 0,0 \text{ N}$$

$$Sd_{shell} = \left(\frac{U}{N}\right) \times Fy$$

$$Sd_{shell} = \left(\frac{2}{3}\right) \times 205.0$$

$$Sd_{shell} = 136.67 \text{ MPa}$$

### 2.4.6.3.2. Cas de soulèvement 2 : Pression d'essai uniquement

$$U = (Pt \times (D^2) \times 785) - W3$$

$$U = (0.0 \times (24.0^2) \times 785) - 831,177.8648$$

$$U = -831,177.86 \text{ (fixé à 0 N puisqu'il ne peut être inférieur à 0)}$$

$$Tb = \frac{U}{N}$$

$$Tb = \frac{0}{26}$$

$$Tb = 0 \text{ N}$$

$$Sd = \left(\frac{5}{9}\right) \times Fy_{\text{ambient}}$$

$$S_d = \left(\frac{5}{9}\right) \times 250.0$$

$$S_d = 138.89 \text{ MPa}$$

$$A_{s-r} = \frac{T_b}{S_d}$$

$$A_{s-r} = \frac{0}{138,8889}$$

$$A_{s-r} = 0,0 \text{ mm}^2$$

$$\text{Attache P} = 1,5 \times T_b$$

$$\text{Attache P} = 1,5 * 0$$

$$\text{Attache P} = 0,0 \text{ N}$$

$$S_{d_{\text{shell}}} = \left(\frac{5}{6}\right) \times F_{ty}$$

$$S_{d_{\text{shell}}} = \left(\frac{5}{6}\right) \times 205$$

$$S_{d_{\text{shell}}} = 170.83 \text{ MPa}$$

#### 2.4.6.3.3. Cas de soulèvement 3 : Charge de vent uniquement

$$U = \left( (PWR \times (D^2) \times 785) + \left( \frac{4 \times MWS}{D} \right) \right) - W_2$$

$$U = \left( (0,8035 \times (24,0^2) \times 785) + \left( \frac{4 \times 921\,499,8946}{24} \right) \right) - 609\,014,5256$$

$$U = -92\,099,98 \text{ (fixé à 0 N puisqu'il ne peut être inférieur à 0)}$$

$$T_b = \frac{U}{N}$$

$$T_b = \frac{0}{26}$$

$$T_b = 0 \text{ N}$$

$$S_d = 0.8 \times F_y$$

$$S_d = 0.8 \times 205$$

$$S_d = 136.67 \text{ MPa}$$

$$A_{s-r} = \frac{T_b}{S_d}$$

$$A_{s-r} = \frac{0}{200}$$

$$A_{s-r} = 0 \text{ mm}^2$$

$$\text{Attache P} = 1,5 \times T_b$$

$$\text{Attache P} = 1,5 \times 0$$

$$\text{Attache P} = 0,0 \text{ N}$$

$$Sd_{shell} = \left(\frac{5}{6}\right) \times F_{ty}$$

$$Sd_{shell} = \left(\frac{5}{6}\right) \times 205$$

$$Sd_{shell} = 170.83 \text{ MPa}$$

#### 2.4.6.3.4. Cas de soulèvement 4 : Pression de calcul + charge de vent

$$U = \left( ((F_p \times P) + PWR) \times (D^2) \times 785 \right) + \left( \frac{4 \times MWS}{D} \right) - W1$$

$$U = \left( ((0.4 \times 0) + 0.8035) \times (24^2) \times 785 \right) + \left( \frac{4 \times 921.499.8946}{24} \right) - 673.625.8291$$

$$U = -156.711.29 \text{ (Fixé à 0 N puisqu'il ne peut être inférieur à 0)}$$

$$T_b = \frac{U}{N}$$

$$T_b = \frac{0}{26}$$

$$T_b = 0 \text{ N}$$

$$S_d = \left(\frac{5}{9}\right) \times F_y$$

$$S_d = \left(\frac{5}{9}\right) \times 250.0$$

$$S_d = 138.89 \text{ MPa}$$

$$A_{s-r} = \frac{T_b}{S_d}$$

$$A_{s-r} = \frac{0}{138,8889}$$

$$A_{s-r} = 0 \text{ mm}^2$$

$$\text{Attache P} = 1,5 \times T_b$$

$$\text{Attache P} = 1,5 \times 0$$

$$\text{Attache P} = 0,0 \text{ N}$$

$$Sd_{shell} = \left(\frac{5}{6}\right) \times F_{ty}$$

$$Sd_{shell} = \left(\frac{5}{6}\right) \times 205$$

$$Sd_{shell} = 170.83 \text{ MPa}$$

#### 2.4.6.3.5. Cas de soulèvement 5 : Pression de frangibilité

Non applicable. Elle est appliquée si le joint entre le toit et la robe est frangible.

On présente ci-dessous – TABLEAU 2.6 – le résumé des cas de surélévation

**Tableau 2.6 : Résumé des cas de surélévation**

Cas d'élévation	Charge totale de soulèvement (N)	Charge par ancre (N)	Contrainte admissible de l'ancrage (MPa)	Surface d'ancrage requise (mm <sup>2</sup> )	Diamètre requis du boulon d'ancrage (mm)	Charge nominale de l'attache (N)	Contrainte admissible de l'enveloppe au niveau de la fixation de l'ancrage (MPa)
Pression de conception	0	0	104.17	0.0	6.75	0.0	136.67
Pression d'essai	0	0	138.89	0.0	6.75	0.0	170.83
Charge de vent	0	0	200.0	0.0	6.75	0.0	170.83
Pression de conception + vent	0	0	138.89	0.0	6.75	0.0	170.83

Diamètre requis du boulon d'ancrage

$$= \sqrt{(A_{s-r} \times \left(\frac{4}{\pi}\right)) + (1,22687 \times p) + (Ca_{\text{ancre}} \times 2)}$$

Surface minimale requise pour le boulon d'ancrage = 0,41 mm<sup>2</sup>

#### 2.4.6.4. Diamètre requis pour les boulons

$$d_{\text{rep}} = \sqrt{\left(A \times \left(\frac{4}{\pi}\right)\right) + (1,22687 \times n) + (Ca \times 2)}$$

$$d_{\text{rep}} = \sqrt{\left(0.4053 \times \left(\frac{4}{\pi}\right)\right) + (1,22687 \times 5.5) + (0 \times 2)}$$

$$d_{\text{rep}} = 7.47 \text{ mm}$$

$$d \geq d_{\text{rep}}$$

$$56 \geq 7.47 \implies \text{vérifiée}$$

$$A_s = \left(\frac{4}{\pi}\right) \times ((d - (1,22687 \times n))^2)$$

$$A_s = \left(\frac{4}{\pi}\right) \times ((56 - (1,22687 \times 5.5))^2)$$

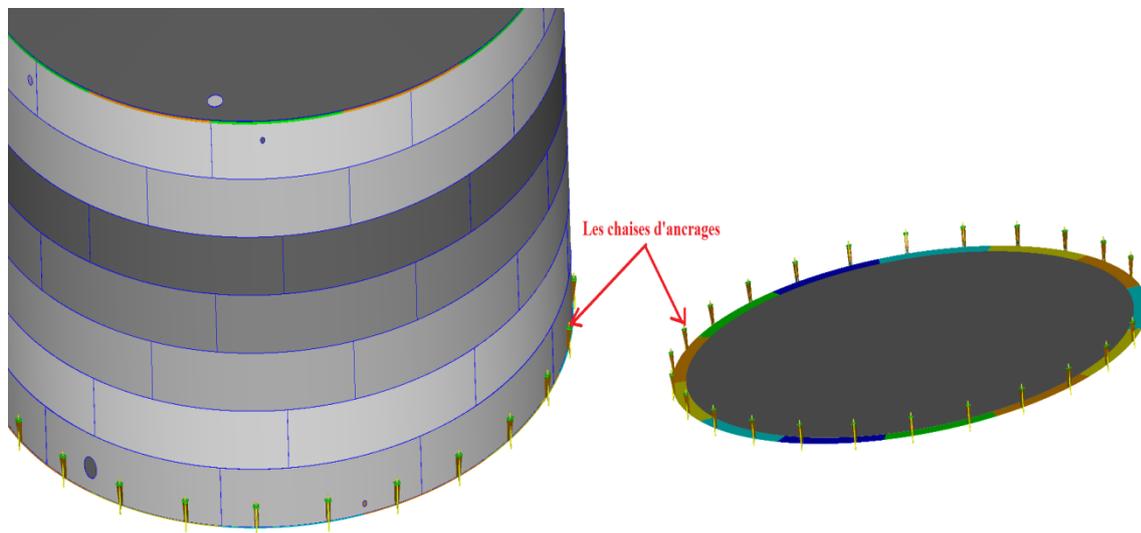
$$A_s = 1\,905,2 \text{ mm}^2$$

Boulon Y =  $A_s \times \text{Ancrage à l'ambiance } S_y$

Boulon Y =  $1\,905,2037 \times 250,0$

Boulon Y = 476 300,92 N

### 2.4.7. Les chaises d'ancrages (Figure 2.13)



**Figure 2.13** : Les chaises d'ancrages de réservoir

#### 2.4.7.1. Conception des chaises d'ancrage selon les données techniques des tôles (Figure 2.14)

**CA** : Tolérance de corrosion de la chaise (mm)

**D** : Diamètre nominal du réservoir (m)

Tremblements de terre considérés = Tremblements de terre considérés

**Et** : Plaques de fond Coefficient de dilatation thermique selon API-650 Tableau P.1a (mm/m.cdeg)

**Ma<sub>chair</sub>** : Matériau de la chaise

**R** : Rayon nominal de l'enveloppe (mm)

**S<sub>sw-chair</sub>** : Contrainte admissible de la chaise pour la conception sismique ou éolienne selon API-650 5.12.9 (MPa)

**T** : Différence entre la température ambiante et la température maximale de conception (°C)

**V** : Vitesse du vent (km/h)

**Boulon Y** : Charge d'élasticité du boulon d'ancrage (N)

**a** : Largeur de la plaque supérieure le long de la robe (mm)



On introduit des données dans AMETANK (**figure 2.15**) Nous obtenons les résultats suivants

### Propriétés des matériaux de la chaise d'ancrage

Matériau (A283-C) = A283-C

Résistance minimale à la traction ( $S_{ut\text{chair}}$ ) = 380,0 MPa

Limite d'élasticité minimale ( $S_{y\text{chair}}$ ) = 205,0 MPa

Contrainte de conception admissible ( $S_{d\text{chair}}$ ) = 137,0 MPa

Contrainte d'essai hydrostatique admissible ( $S_{t\text{chair}}$ ) = 154,0 MPa

Selon API 650

$$S_{sw\text{-chair}} = 1,33 \times S_{d\text{chair}}$$

$$S_{sw\text{-chair}} = 1,33 \times 137,0$$

$$S_{sw\text{-chair}} = 182,21 \text{ MPa}$$

### Exigences de taille

$$c_{\text{corr}} = c - (2 \times CA)$$

$$c_{\text{corr}} = 26 - (2 \times 0)$$

$$c_{\text{corr}} = 26 \text{ mm}$$

$$j_{\text{corr}} = j - (2 \times CA)$$

$$j_{\text{corr}} = 28 - (2 \times 0)$$

$$j_{\text{corr}} = 28 \text{ mm}$$

Hauteur minimale de la chaise ( $h_{\text{min}}$ ) = 305 mm

$$h \geq h_{\text{min}}$$

$$712 \geq 305 \rightarrow \text{Vérfifiée}$$

$$h_{\text{max}} = 3 \times a$$

$$h_{\text{max}} = 3 \times 254$$

$$h_{\text{max}} = 762 \text{ mm}$$

$$h_{\text{eff}} = \text{MIN} ( h_{\text{max}} , h )$$

$$h_{\text{eff}} = \text{MIN} ( 762 , 712 )$$

$$h_{\text{eff}} = 712 \text{ mm}$$

$$e_{\text{min}} = (0,886 \times d) + 15$$

$$e_{\text{min}} = (0,886 \times 56) + 15$$

$$e_{\text{min}} = 64,62 \text{ mm}$$

**Figure 2.15** : données introduites des chaises d'ancrages AMETANK

$$e_{\min\text{-btm}} = (d / 2) + \text{projection ext\u00e9rieure} + 3 + (500 \times E_t \times D \times T)$$

$$e_{\min\text{-btm}} = (56 / 2) + 50 + 3 + (500 \times 1.2E-5 \times 24.0 \times 30)$$

$$e_{\min\text{-btm}} = 85,32 \text{ mm}$$

$$e_{\min\text{-req}} = \text{MAX}(e_{\min}, e_{\min\text{-btm}})$$

$$e_{\min\text{-req}} = \text{MAX}(64.616, 85.32)$$

$$e_{\min\text{-req}} = 85,32 \text{ mm}$$

$$e \geq e_{\min\text{-req}}$$

$$102 \geq 85,32 \rightarrow \text{V\u00e9rifi\u00e9e}$$

$$g_{\min} = d + 26$$

$$g_{\min} = 56 + 26$$

$$g_{\min} = 82 \text{ mm}$$

$$g \geq g_{\min} \rightarrow \text{V\u00e9rifi\u00e9e}$$

$$f_{\min} = (d / 2) + 4$$

$$f_{\min} = (56 / 2) + 4$$

$$f_{\min} = 32 \text{ mm}$$

$$f \geq f_{\min} \rightarrow \text{V\u00e9rifi\u00e9e}$$

$$j_{\min} = \text{MAX}(13, (0.04 \times (h_{\text{eff}} - c_{\text{corr}})), \left( \frac{P_{\text{design}}}{172.3689 \times k} \right) + (2 \times CA))$$

$$j_{\min} = \text{MAX}(13, (0.04 \times (712 - 26)), \left( \frac{243.1762}{172.3689 \times 127.3357} + (2 \times 0) \right))$$

$$j_{\min} = 27,44 \text{ mm}$$

$$j \geq j_{\min} \rightarrow \text{V\u00e9rifi\u00e9e}$$

$$b_{\min} = e_{\min} + d + 7$$

$$b_{\min} = 64.616 + 56 + 7$$

$$b_{\min} = 127,62 \text{ mm}$$

$$b \geq b_{\min}$$

$$204 \geq 127,62 \rightarrow \text{V\u00e9rifi\u00e9e}$$

**Tableau 2.7 :** Plaque sup\u00e9rieure \u00c9paisseur minimale requise

Cas d'\u00e9l\u00e9vation	Chaise P (N)	Conception P (N)	Sd <sub>chair</sub> (MPa)	c <sub>min</sub> (mm)	Statut
Pression de conception	0.0	0.0	137.0	0.0	V\u00e9rifi\u00e9e
Pression d'essai	0.0	0.0	154.0	0.0	V\u00e9rifi\u00e9e
Charge de vent	0.0	0.0	182.21	0.0	V\u00e9rifi\u00e9e
Pression de conception + vent	0.0	0.0	182.21	0.0	V\u00e9rifi\u00e9e
<ul style="list-style-type: none"> <li>P<sub>chair</sub> = Charge d'\u00e9l\u00e9vation de la chaise d'ancrage</li> <li>P<sub>design</sub> = Anchor Chair Design Load = min(P<sub>chair</sub>, Y<sub>bolt</sub>)</li> <li>Sd<sub>chair</sub> = Contrainte admissible de la chaise d'ancrage</li> <li>c<sub>min</sub> = \u00e9paisseur minimale requise de la plaque sup\u00e9rieure</li> <li>c<sub>min</sub> = <math>\sqrt{\left( \frac{P_{\text{design}}}{(Sd_{\text{chair}} * f)} \times ((0,375 \times g) - (0,22 \times d)) \right)} + (2 * CA)</math></li> </ul>					

- Épaisseur gouvernante ( $c_{min}$ ) = 0,75 mm

**Tableau 2.8 : Contrainte de la plaque supérieure**

Cas d'élévation	Chaise P (N)	Conception P (N)	Plaque supérieure S (MPa)	Sd-chair (MPa)	Rapport de contrainte	Statut
Pression de conception	0.0	0.0	0.0	137.0	0.0 %	Vérifiée
Pression d'essai	0.0	0.0	0.0	154.0	0.0 %	Vérifiée
Charge de vent	0.0	0.0	0.0	182.21	0.0 %	Vérifiée
Pression de conception + vent	0.0	0.0	0.0	182.21	0.0 %	Vérifiée
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>P_{chair}</math> = Charge d'élévation de la chaise d'ancrage</li> <li>• <math>P_{design}</math> = Anchor Chair Design Load = <math>\min(P_{chair}, Y_{bolt})</math></li> <li>• <math>S_{top-plate}</math> = Contrainte de la plaque supérieure</li> <li>• <math>S_{top-plate} = \left( \frac{P_{design} \cdot n}{f \times (c_{corr})^2} \right) \times ((0,375 \times g) - (0,22 \times d))</math></li> <li>• <math>S_{dchair}</math> = Contrainte admissible de la chaise d'ancrage</li> <li>• Contrainte gouvernante (plaque supérieure en S) = 0,15 MPa</li> </ul>						

#### 2.4.7.2. Contrainte de robe à la fixation de l'ancrage

Z = Facteur de réduction de la chaise

$$Z = \frac{26}{\frac{(0.177 \times a \times m)}{\sqrt{(R \times t)}} \times \left( \left( \frac{m}{t} \right)^2 + 26 \right)}$$

$$Z = \frac{26}{\frac{(0.177 \times 254 \times 9)}{\sqrt{(12,000 \times 12)}} \times \left( \left( \frac{9}{12} \right)^2 + 26 \right)}$$

$$Z = 0.98$$

Cas d'élévation	Chaise P (N)	Conception P (N)	$S_{shell}$ (MPa)	$S_{dshell}$ (MPa)	Rapport de contrainte	Statut
Pression de conception	0.0	0.0	0.0	136.67	0.0 %	Vérifiée
Pression d'essai	0.0	0.0	0.0	170.83	0.0 %	Vérifiée
Charge de vent	0.0	0.0	0.0	170.83	0.0 %	Vérifiée
Pression de conception + vent	0.0	0.0	0.0	170.83	0.0 %	Vérifiée
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>P_{chair}</math> = Charge d'élévation de la chaise d'ancrage</li> <li>• <math>P_{design}</math> = Anchor Chair Design Load = <math>\min(P_{chair}, Y_{bolt})</math></li> </ul>						

- $S_{Shell}$  = Contrainte au niveau de l'attachement
- $$S_{Shell} = \left( \frac{(P_{design} \times e)}{t^2} \right) \times \left( \frac{(1,32 * Z)}{\left( \frac{(1,43 \times a \times (h^2))}{(R \times t)} + ((4 \times a \times (h^2))^{0,333}) + \left( \frac{0,031}{\sqrt{(R \times t)}} \right) \right)} \right)$$
- $S_{d_{shell}}$  = Contrainte admissible au niveau de la fixation de l'ancrage
- Contrainte gouvernante ( $S_{Shell}$ ) = 0,12 MPa
- Contrainte admissible gouvernante ( $S_{d_{Shell}}$ ) = 170,83 MPa

## 2.4.8. Capacités et poids

Capacité jusqu'au sommet de la robe (jusqu'à la hauteur du réservoir) : 5,700 m<sup>3</sup>

Capacité au niveau de liquide nominal : 5 700 m<sup>3</sup>

Capacité au niveau maximum de liquide : 5 700 m<sup>3</sup>

Capacité de travail (au niveau de travail normal) : 0 m<sup>3</sup>

Capacité de travail nette (capacité de travail - capacité minimale) : 0 m<sup>3</sup>

Capacité minimale (jusqu'au niveau minimum de liquide) : 0 m<sup>3</sup>

La capacité et poids sont déterminés selon tableau d'API 650. Les propriétés de la section calculée sont présentées dans le (**Tableau 2.9**).

**Tableau 2.9** : Capacités et poids des composants de réservoir

Composant	Nouvel état (N)	Nouvel état (Kg)	Corrodé (N)	Corrodée (Kg)
ROBE	584,539	59,607	490,594	50,027
TOIT	210,249	21,440	175,207	17,867
RAFTERS	84,305	8,597	72,133	7,356
GIRDERS	8,936	912	7,731	789
CADRE	0	0	0	0
COLONNES	52,305	5,334	52,305	5,334
TRUSS	0	0	0	0
COMPOSANTS DE LA STRUCTURE	2,745	280	2,745	280
FOND	318,248	32,453	220,634	22,499
ESCALIERS	14,858	1,515	14,858	1,515
STIFFENERS	9,026	921	7,826	798
GAMMES DE VENT	0	0	0	0
CHAISE ANCRE	12,249	1,249	12,249	1,249
APPURTENANCES	12,442	1,269	12,442	1,269
ISOLATION	0	0	0	0
TOIT FLOTTANT	0	0	0	0
TOTAL	1, 309,902	133,577	1, 068,724	108,983

Poids du réservoir, vide : 133 577 Kg

Poids du réservoir, plein de produits (Densité de Gasoil = 0,85) : 4 978 667 Kg

Poids du réservoir, plein d'eau : 5 833 682,71 Kg

Poids net en ordre de marche, produite plein (poids nominal = 0,85) : 4 978 666,85 Kg

Poids net en ordre de marche, plein d'eau : 5,833,682.71 Kg

Surface de fondation nécessaire : 457,07 m<sup>2</sup>

Charge de la fondation, à vide : 2 865,82 N/m<sup>2</sup>

Charge de la fondation, pleine de la conception du produit : 106 818,1 N/m<sup>2</sup>

Charge de la fondation, pleine d'eau : 125 162,62 N/m<sup>2</sup>

### SURFACES

Toit : 455,76 m<sup>2</sup>

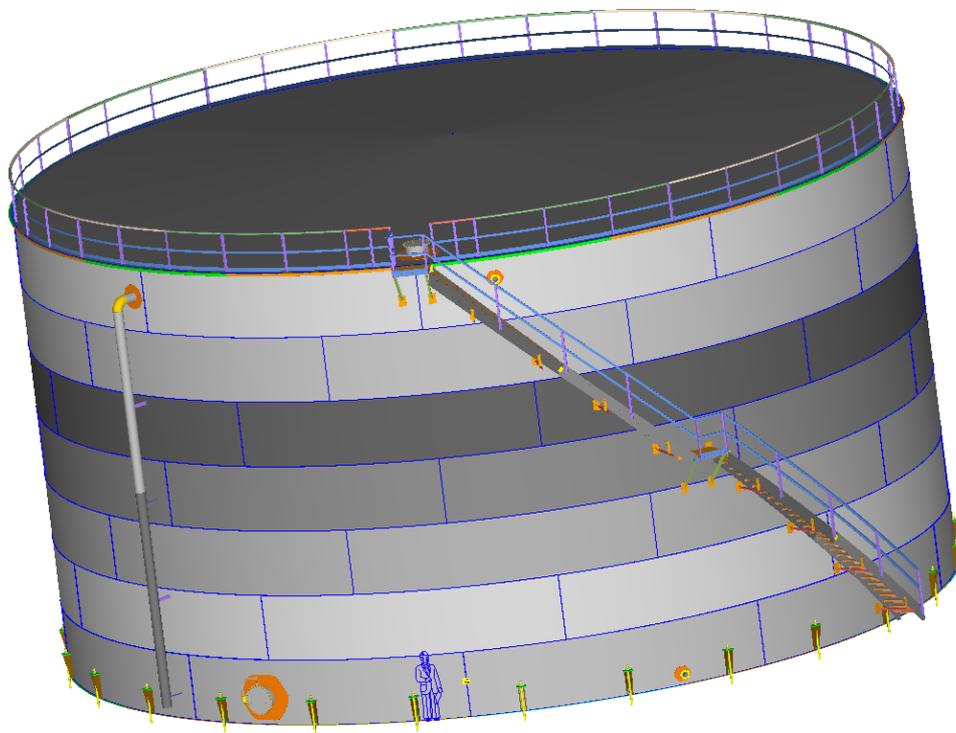
Robe : 950,01 m<sup>2</sup>

Fond : 404.85 m<sup>2</sup>

Anneau annulaire : 55,07 m<sup>2</sup>

Moment de pression interne : 0 N-m

Moment du vent : 921 499,89 N-m



**Figure 2.16 :** La Conception finale de réservoir

## 2.4.9. Résultats récapitulatifs

**Table 2.10 :** récapitulatif des résultats des viroles

Virole	Largeur (mm)	Matériau	CA (mm)	JE	Limite d'élasticité minimale (MPa)	Résistance à la traction (MPa)	Contrainte admissible Sd (MPa)	Contrainte hydrostatique St (MPa)	Poids (kg)
1	1800	A283-C	3	1	205	380	137	154	12,761
2	1800	A283-C	1	1	205	380	137	154	10,635

3	1800	A283-C	1	1	205	380	137	154	8,509
4	1800	A283-C	1	1	205	380	137	154	8,509
5	1800	A283-C	1	1	205	380	137	154	6,382
6	1800	A283-C	1	1	205	380	137	154	6,382
7	1800	A283-C	1	1	205	380	137	154	6,382

Hauteur des viroles V1-V7 : 1800 mm

(suite)

Virole	Poids CA (kg)	t-min Erection (mm)	t-d (mm)	Test t (mm)	t-min (mm)	t-Actuel (mm)	Statut
1	9,572	6	11.97	9.39	11.97	12	OK
2	9,572	6	8.66	8.02	8.66	10	OK
3	7,445	6	7.35	6.64	7.35	8	OK
4	7,445	6	6.03	5.27	6.03	8	OK
5	5,318	6	4.72	3.89	6	6	OK
6	5,318	6	3.41	2.52	6	6	OK
7	5,318	6	2.09	1.15	6	6	OK

Poids total de la robe = 59,606.38 kg

### **L'ÉPAISSEUR DE LA TOITURE :**

**Type :** Toit conique à support structurel

**Matériau des plaques :** A283-C

**Matériau de structure :** A36

**t.requis = 6 mm**

**t.réel = 6 mm**

**Surépaisseur de corrosion du toit = 1 mm**

**Poids du chevauchement des plaques = 662,44 kg**

**Poids des plaques = 21 439,34 kg**

### **Épaisseur des tôles centrales :**

**Type :** Fond plat annulaire

**Matériau du fond :** A283-C

**t.requis = 9 mm**

**t.réel = 9 mm**

**Surépaisseur de corrosion du fond = 3 mm**

**Poids total du fond = 32 441,51 kg**

### **Anneau annulaire**

**Matériau :** A283-C

**t.réel = 9 mm**

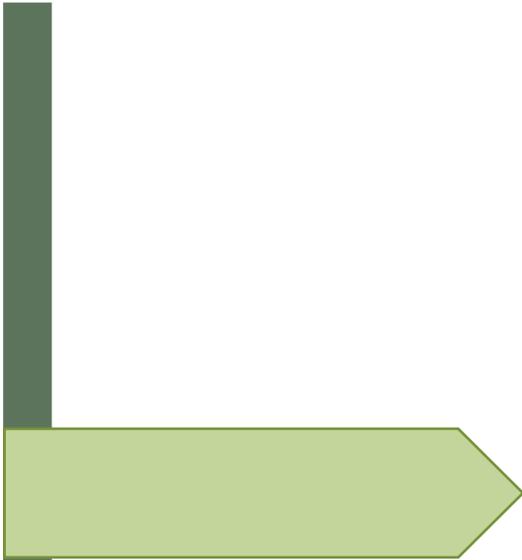
**Poids = 3,903.25 kg**

### **Membre supérieur**

**Type** : Détail B  
**Taille** : L100x100x8  
**Matériau** : A36  
Poids = 920.31 kg

**Tiges d'Ancrages**

**Quantité** : 26  
**Taille** : M56 mm  
**Matériau** : A36  
**Rayon du cercle du trou de boulon** : 12,11 m



# **Chapitre 3 :**

Présentation Du Montage Du  
Réservoir De Stockage

### 3.1. Introduction [7] :

La construction du réservoir de stockage (Figure 3.1) doit être réalisée conformément au plan de conception détaillé et au plan d'exécution de la construction de la structure d'acier. Le plan d'exécution des travaux est le document technique de base dans le processus d'installation du réservoir de gasoil.

La zone du chantier de construction doit être aménagée conformément à l'aménagement général et doit comprendre des zones d'utilisation et de déplacement des équipements de manutention, des zones de stockage, des routes pionnières (temporaires), des locaux nécessaires et des systèmes de services publics (électricité, eau, outils de communication), ainsi que des outils de lutte contre l'incendie.

Tous les travaux liés à l'aménagement du sous-sol et des fondations doivent être terminés avant la construction du réservoir de stockage.



**Figure 3.1** : construction de réservoir [7]

### 3.2. Plan d'exécution des travaux [7]

Les travaux de soudage et d'assemblage sont exécutés sur la base du plan d'exécution des travaux pour la construction du réservoir de stockage de gasoil. C'est le document technologique de base, élaboré par un bureau d'études spécialisé sur la base d'un projet d'ossatures métalliques.

Le plan d'exécution des travaux doit inclure et fournir :

- Plan directeur du chantier précisant les engins de manutention et leur positionnement ;
- Description des procédures, visant à fournir la précision d'assemblage nécessaire et la stabilité spatiale des éléments du réservoir au cours de l'assemblage supérieur et de l'installation à la position du projet ;
- Mesures pour fournir la capacité de charge des éléments de construction lors de l'installation du réservoir ;
- Exigences de qualité pour les travaux de soudage de chaque processus de construction de réservoirs de stockage de pétrole ;
- Types et portée des mesures de contrôle pour la construction du réservoir de stockage ;
- L'ordre des procédures d'essai des réservoirs ;
- Règles de sécurité et normes de protection du travail ;
- Exigences de protection de l'environnement.

Le plan d'exécution des travaux définit l'ordre d'installation des éléments du réservoir d'huile, y compris l'utilisation d'installations et d'équipements spéciaux. Le projet prévoit également des mesures visant à conférer au cadre du réservoir la précision géométrique nécessaire et à réduire le processus de déformation dû aux pertes de retrait des soudures.

La norme de mode opératoire de soudage dans le plan d'exécution des travaux doit préciser :

- Exigences de préparation des bords de soudure ;
- Exigences pour l'assemblage des joints pour le soudage ;
- Méthodes et régimes de soudage ;
- Matériaux de soudage ;
- L'ordre des procédures ;
- enchaînement des passes de soudure et soudage des joints ;
- Exigences de chauffage des jonctions basées sur la température de l'air et le taux de refroidissement ;

- La nécessité d'une couverture de protection dans la zone de soudage ;
- Un traitement thermique est nécessaire après les joints soudés ;
- Équipements et installations technologiques nécessaires à la construction du réservoir de stockage de pétrole ;
- Méthodes et portée du contrôle des cordons de soudure.

Le registre de contrôle opérationnel doit être considéré comme la partie essentielle du plan d'exécution des travaux, car il définit les exigences en matière de contrôle de la qualité des procédures de soudage et d'assemblage.

### **3.3. SOUDAGE ET AUTRES PROCÉDURES DE CONSTRUCTION DE RÉSERVOIRS DE STOCKAGE [7]**

#### **3.3.1. EXIGENCES GÉNÉRALES POUR LE SOUDAGE [7]**

Lors de la construction et de la fabrication des réservoirs de stockage, les méthodes de soudage à l'arc sont utilisées de l'une des manières suivantes :

- Soudage à l'arc mécanisé par électrode consommable sous gaz de protection ;
- Soudage automatique à l'arc submergé ;
- Soudage à l'arc mécanisé avec fil fourré autoserrant ;
- Soudage à l'arc mécanisé avec fil fourré autoserrant sous gaz de protection ;
- Soudage manuel à l'arc.

Le soudage est effectué lors de l'installation selon le plan d'exécution du projet, tel que stipulé ci-dessous :

- la manière la plus efficace d'organiser les joints d'assemblage ;
- Matériaux de soudage ;
- La forme de préparation des éléments soudés ;
- Régimes de soudage technologiques ;

- Équipements et installations technologiques nécessaires ;
- Conditions climatiques pour l'exécution des travaux.

Le facteur de forme des joints de construction (passes) doit être compris entre 1,3 et 2,0. Une soudure en pointillé est autorisée aux joints des éléments du réservoir qui n'affectent pas l'étanchéité.

Les éléments technologiques provisoires, soudés au réservoir au cours de la production et du montage, doivent être retirés sans aucune force d'impact sur les éléments du réservoir. Les résidus des cordons de soudure sont grattés au ras du métal de base.

### **3.3.2. L'ordre de construction du réservoir**

L'organisation correcte du travail et l'ordre des opérations de soudage et d'assemblage sont essentiels en raison des grandes dimensions des réservoirs et des longs joints de soudure. Une installation correcte du réservoir minimise les contraintes résiduelles dues au retrait des soudures et évite la déformation des plaques du cadre.

Les réservoirs sont construits dans l'ordre suivant :

1. Assemblage du bas
2. Assemblage robe
3. Assemblage et soudure de la charpente et du platelage
4. Installation de trappes et de branchements
5. Essais hydrauliques
6. Connexion des tuyaux.

### 3.4. Assemblage du fond du réservoir [7]

#### 3.4.1. Méthode d'installation par le bas plaque par plaque



**Figure 3.2 :** Installation du fond du réservoir de stockage (plaque par plaque). [7]

Si le fond est une plaque fournie par le fabricant, il est assemblé comme suit :

Il y a des rondins de 1 mètre de long avec une section rectangulaire ou semi-circulaire, disposés en carrés sur la fondation installée et acceptée (Figure 3.2), la section transversale est de  $0,1 \times 0,1$  m. La rangée supérieure des carrés est préférable de faire des buches de 1,2 à 1,3 mètre. La hauteur des carreaux est égale à 0,8 m, pour assurer la possibilité de souder les joints d'écoulement et de goudronner le fond. Les lignes médianes des carrés doivent être à une distance maximale de 3 mètres les unes des autres et la distance entre les lignes médianes des rangées de carrés doit être deux fois la largeur de la feuille moins deux fois la largeur de la couture inférieure. Des planches sont placées le long des carrés, le fond est installé dessus.

Les deux éléments du fond — l'anneau segmenté avec le premier anneau soudé de la robe et la partie centrale — sont assemblés et soudés indépendamment. Le joint de soudure, qui les relie ensemble, — le soi-disant joint « d'expansion » — n'est soudé qu'après l'installation complète de chaque élément séparé.

L'assemblage de la partie centrale du fond commence par la ligne (zone) passant par le centre du sous-sol du réservoir. Ensuite, connectez toutes les couches inférieures du bas du centre vers le bord. Les soudures bout à bout des feuilles sont collées en 6-7 positions, les pointes d'extrémité sont situées à une distance de 50 mm des bords et sont affleurées. Les joints bout

à bout sont soudés après l'assemblage de toute la bande. Les extrémités des joints de 50 mm sont soudées à ras pour assurer un contact étroit entre les sangles supérieures et inférieures. Une fois les bandes inférieures soudées, les bandes supérieures sont assemblées et soudées de la même manière. Le chevauchement entre les bandes doit être d'au moins 50 mm.

L'assemblage de la section centrale inférieure commence par la bande centrale. Ils sont empilés et assemblés par points de soudure, en haut et en bas des deux côtés de la pièce, tous les 250-300 mm dans le sens du centre vers le bord de la bande. Afin d'assurer l'ajustement de la bande dans la partie centrale du fond, aucun clou n'est laissé sur le bord de la feuille inférieure à une longueur de 750-800 mm lors de la connexion du fond avec l'anneau segmenté.

Le soudage des bandes est effectué avec la couture de chevauchement du milieu de la bande à ses bords, en utilisant la procédure de marche arrière avec une longueur de pas de 200-250 mm. Au début, toutes les coutures de chevauchement supérieures sont soudées, puis les joints supérieurs inférieurs sont ensuite soudés. Après cela, les joints bout à bout des bandes sont soudés par contre-soudure.

Les feuilles segmentaires des bords sont assemblées sur 10 à 12 supports, placés le long du périmètre du sous-sol. Les anneaux segmentés sont assemblés en plaçant les deux joints bout à bout sur l'axe central de la barre centrale et en veillant à ce que l'écart entre les éléments de l'anneau ne dépasse pas 3-4 mm. Les soudures bout à bout sont collées aux extrémités des joints après une vérification approfondie des paramètres de nivellement des anneaux segmentés ; il n'y a pas de clous à l'intérieur afin que les anneaux segmentés puissent être nivelés dans une position strictement horizontale en cas de déformation lors du soudage. Avant d'assembler le joint d'angle inférieur, il est important de souder la partie bout à bout du segment, sur laquelle le joint d'angle est placé. Le soudage est effectué en deux couches, en éliminant le laitier et en soudant les joints supérieurs. Les perles sont coupées au burin d'écaillage au ras de la surface des feuilles de l'anneau segmentaire.

Après avoir tracé deux lignes directrices circulaires sur l'anneau segmentaire, qui correspondent aux diamètres intérieur et extérieur de l'angle de circonférence, la première section d'angle est installée et soudée par points. Le pointage est effectué le long du périmètre du cercle extérieur du centre de l'angle aux extrémités tous les 500 à 600 mm dans des zones de 30 à 40 mm de long. Les extrémités de la section d'angle sont laissées sans pointes à la longueur de 600-700 mm pour assurer la possibilité d'un réglage facile des autres pièces. Les

autres cornières sont assemblées de part et d'autre de la première. Ils sont installés avec un chevauchement de 3 mm puis soudés bout à bout. Ensuite, ajustez la section de connexion en fonction des guides de punaise du joint bout à bout à l'anneau segmentaire à l'extrémité libre. La dernière section, d'au moins 1 m de long, est ajustée et coupée sur place. Les panneaux verticaux inclinés doivent être strictement perpendiculaires aux anneaux segmentaires. La première feuille du premier anneau est installée sur anneau segmenté en position strictement verticale après écaillage des bords dans les angles inférieurs à la hauteur du bloc d'angle et à 1 mm de profondeur pour permettre ensuite le soudage bout à bout au panneau vertical du bloc d'angle. La première feuille est soudée par points simultanément à la fois à l'anneau segmentaire et à l'angle en damier du milieu de la feuille aux bords tous les 400-600 mm dans des zones de 40-50 mm de long. Les extrémités de la première feuille ne sont pas fixées à une longueur de 600-700 mm pour garantir que les autres feuilles peuvent être facilement ajustées. Les autres feuilles du premier anneau sont installées des deux côtés de la première feuille avec un jeu d'écart de 2-3 mm entre les feuilles et la connexion des bords. Le soudage par points commence à partir du joint bout à bout avec la première tôle, les points sont réalisés en 4-6 positions chacune mesure 60-75 mm de long. Ensuite, soudez par points le long du bord inférieur de la feuille à partir du joint bout à bout soudé par points jusqu'à l'extrémité libre.

La soudure du fond ainsi assemblé et du premier anneau de cuve s'effectue dans l'ordre suivant :

1. Tous les joints du premier anneau sont soudés à 200-300 mm de l'anneau segmenté et à 50 mm du bord supérieur, au ras de la surface de la plaque pour garantir que le deuxième anneau est en contact étroit avec la plaque et les anneaux pendant le processus d'installation ultérieur.
2. Toutes coutures d'anneau soudées : le premier anneau est soudé à l'anneau segmenté par double couture, puis les coins circonférentiels sont soudés par couture simple : d'abord à l'anneau segmenté, puis au premier anneau de réservoir.
3. Les joints bout à bout des éléments annulaires segmentaires sont vérifiés et coupés (si nécessaire) pour éliminer les ondulations et pour installer des espaces de 3 à 4 mm, après quoi les joints bout à bout sont soudés avec un soudage arrière et renforcés avec des bandes d'acier en tôle d'acier 8-10 mm d'épaisseur. En même temps, les joints bout à bout de l'acier d'angle circonférentiel sont renforcés avec des goujons soudés en acier d'angle.

Avant que la partie centrale de la plaque inférieure ne soit soudée avec le bord en forme d'éventail, planifiez d'abord le bord du joint de bande inférieur, coupez un espace de 2 à 3 mm, clouez-le, puis utilisez le soudage aérien pour le soudage bout à bout. Planifiez ensuite les extrémités des bandes supérieures en coupant un chevauchement d'au moins 30 mm, soudées par points d'abord sur les bords longs parallèles puis sur les anneaux segmentés. La soudure se fait dans le même ordre que le pointage. Les opérations de soudage aux points de croisement des coutures doivent être effectuées uniquement par des soudeurs hautement professionnels.

### 3.4.2. Assemblage des fonds enroulés (Figure 3.3)



**Figure 3.3 :** Installation fond du réservoir de stockage. [7]

En règle générale, les fonds de réservoir d'une capacité de chargement allant jusqu'à 2 000 mètres cubes et d'un diamètre allant jusqu'à 12 m sont entièrement soudés et enroulés sur le site de production. La bobine est ensuite enroulée vers le substrat d'une manière qui garantit que le milieu de la bobine est positionné le long de l'axe central du substrat. Les fonds de réservoir plus grands d'un diamètre supérieur à 12 m ne rentrent pas complètement dans un fourgon ouvert de 13,66 m de long. Ils sont constitués de plusieurs parties, posées les unes sur les autres lors de l'enroulement.

La bobine avec le fond, composée de deux parties, est placée sur le sous-sol de manière à prévoir que la première moitié du fond, qui est le couvercle extérieur de la bobine, sera installée dans la position prévue après le déroulement. Dans ce cas la seconde moitié du bas sera posée sur la première.

Les panneaux, fixant la bobine, sont coupés avec de l'oxygène, après quoi la bobine est dépliée lorsque la boucle du câble est relâchée. Si la bobine ne se déroule pas spontanément (sous l'influence de forces élastiques), elle est déroulée davantage à l'aide d'un tracteur routier ou d'un treuil de transport. Lorsque la bobine est complètement déroulée, le centre du bord arrondi de la moitié supérieure est soudé à une entretoise qui maintient l'extrémité du câble de sorte que la deuxième partie inférieure puisse être déplacée dans sa position saillante pour la traction avec un camion tracteur ou un treuil. Les joints bout à bout au bas des deux moitiés sont ensuite assemblés et soudés. Cela se fait toujours par chevauchement. Il est fixé avec des soudures par points du bas au centre vers les bords, en pressant fermement les deux panneaux ensemble.

Si le fond est assemblé à partir de trois panneaux de bande enroulés successivement, la première bobine est déroulée jusqu'à sa position saillante, puis elle est chargée sur un traineau avec les deux autres, qui sont déplacés d'une direction par un tracteur pour dérouler la seconde, positionnez les deux bandes de panneaux sur l'article. Ensuite, la dernière bobine est à nouveau chargée sur le traineau et transportée de l'autre côté du sous-sol pour dérouler la troisième bobine.

### **3.4.3. Écarts extrêmes de taille et de forme de l'arrière-plan installé**

Quelle que soit la méthode d'installation du fond, les écarts de taille et de forme ne doivent pas dépasser les taux suivants :

- La hauteur maximale autorisée du renflement local et de l'anneau dans la partie centrale du fond est déterminée par la formule suivante [7]:  $f \leq 0,1 R \leq 80$  mm, où  $f$  désigne le volume maximal du pointeur ou le renflement fléchi du renflement inférieur, mm ;  $R$  désigne le volume ou le renflement le rayon du cercle inscrit à partir de n'importe quelle zone, mm. La coupe (forte), la flexion et le pliage ne sont pas autorisés.

- L'écart local (angle) entre la zone de soudage d'assemblage radial du cercle de bord et la forme de conception :  $\pm 3$  mm (mesuré avec une plaque d'échantillon basée sur 200 mm).
- La montée des bords dans la zone de raccordement avec la partie centrale du fond est déterminée par la formule [7]:
- $fa \leq 0,03 L$  pour un diamètre de fond égal à 12-25 m ;
- $fa \leq 0,04 L$  pour un diamètre de fond supérieur à 25 m, où **fa** – la hauteur de la montée du bord, mm, *L* – la largeur du bord, mm.
- La pointe du profil extérieur du fond

#### **3.4.4. Traitement préventif de la corrosion du fond :**

Après un nettoyage en profondeur de la surface inférieure du fond avec des brosses métalliques, une couche d'apprêt fraîche est appliquée — une fine couche d'apprêt (une solution de poix de stéarine dans du benzol ou de bitume dans de l'essence).

Une fois que l'apprêt est sec, le fond est recouvert de deux couches de bitume chaud additionnées de matériau de remplissage, comme cela se fait au cours de l'isolation des canalisations.

Pour vous assurer que le calque est appliqué sur toute la surface de l'arrière-plan, remplacez les carrés d'une position à l'autre.

### 3.5. Assemblage et soudage d'une robe de réservoir de stockage [7]

#### 3.5.1. Assemblage de la robe du réservoir par la méthode plaque par plaque :



**Figure 3.4 :** Assemblage de la robe du réservoir (plaque par plaque) [7]

Cette méthode implique l'assemblage de la robe (Figure 3.4) « à partir du 1er anneau avec l'installation ultérieure des plaques de robe dans leurs positions prévues vers le haut par les anneaux.

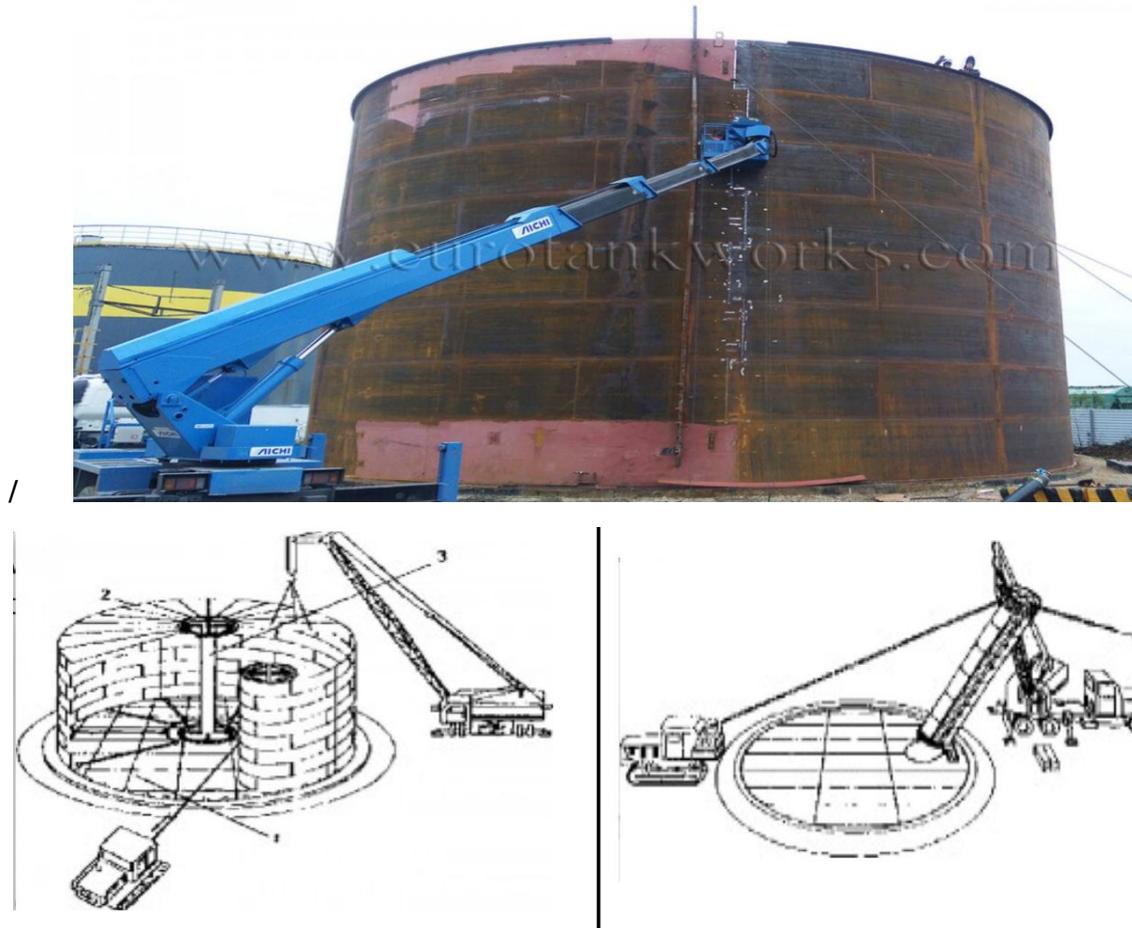
Lors de l'utilisation de cette méthode d'assemblage, il est important de :

- Assembler les plaques du 1er anneau en tenant compte des déviations extrêmes, stipulées dans le Plan d'Exécution des Travaux ;
- Fixer ensemble les plaques de robe entre elles et avec les plaques de fond à l'aide d'outils de montage ;
- Pour assembler les joints bout à bout verticaux et horizontaux de la robe avec des espaces prévus pour le soudage.

La résistance aux contraintes du vent est assurée par la mise en place de contreventements et d'anneaux de raidissement temporaires.

Différents outils de poussée doivent être utilisés pour presser fermement les composants assemblés avant le soudage par points. L'enfoncement (comme dans le cas des boulons d'assemblage) n'est pas autorisé.

### 3.5.2. Installation d'une robe enroulée :



**Figure 3.5 :** Installation d'une robe enroulée [7].

**L'installation d'une coquille enroulée (Figure 3.5) se fait en quatre étapes :**

- soulever l'enveloppe enroulée dans une position verticale ;
- Débobinage du panneau de robe ;
- mise en forme des zones d'extrémité du panneau d'enfer ;
- assemblage du bout à bout les tôles de la robe. (Figure 2.5)

Dans le cas où une grue à flèche de la capacité de charge nécessaire est disponible sur le chantier de construction (sur chenilles ou pneumatique), la bobine de la robe est déchargée vers le bas par cette grue. Dans le cas où la grue ne peut pas être fournie, la bobine est roulée par un camion-tracteur ou un treuil de halage sur les traverses ou les rondins, attachés par des crampons de construction.

Le mouvement conjoint de la bobine et de la palette au cours du déroulement est assuré par des cornières — limiteurs, qui sont soudés à la palette le long de son profil circulaire de manière à garantir que ces cornières restent à l'intérieur de la bobine après son levage. En haut. L'installation des bobines d'une position horizontale à une position verticale se fait par une méthode pivotante, similaire à celle des tours de levage. Joins tournant spécial, soudé au fond et fixé à la bobine avec une bande de verrouillage, assure la rotation de la bobine et évite que son bord inférieur ne soit endommagé. Pour éviter les bosses de la bobine et du fond après le passage du « point mort », il est possible d'attacher un hauban de frein en câble sur le bord supérieur de la bobine, l'autre extrémité du hauban est fixée au treuil tambour ou au camion-tracteur. Le « point mort » est la position, où le centre de gravité de la bobine et l'axe du joint tournant de support correspondent le long de la ligne verticale. Lorsque la bobine atteint la position proche du « point mort », le hauban est maintenu serré. Une fois que la bobine a passé le « point mort », elle est soulevée jusqu'à la palette par le hauban de frein. Il y a aussi la possibilité de soulever la bobine par une grue. La continuité du fond au cours des opérations de la grue est maintenue à l'aide de l'agencement du platelage des traverses. Cependant, lorsque le poids net d'une bobine est égal à 30 t et que la hauteur est d'environ 12 m, cela nécessitera des grues à capacité de charge élevée, ce qui n'est pas toujours disponible sur le chantier. Une fois que la bobine a passé le « point mort », elle est soulevée jusqu'à la palette par le hauban de frein. Il y a aussi la possibilité de soulever la bobine par une grue. La continuité du fond au cours des opérations de la grue est maintenue à l'aide de l'agencement du platelage des traverses. Cependant, lorsque le poids net d'une bobine est égal à 30 t et que la hauteur est d'environ 12 m, cela nécessitera des grues à capacité de charge élevée, ce n'est pas toujours disponible sur place. Une fois que la bobine a passé le « point mort », elle est soulevée jusqu'à la palette par le hauban de frein. Il y a aussi la possibilité de soulever la bobine par une grue. La continuité du fond au cours des opérations de la grue est maintenue à l'aide de l'agencement du platelage des traverses. Cependant, lorsque le poids net

d'une bobine est égal à 30 t et que la hauteur est d'environ 12 m, cela nécessitera des grues à capacité de charge élevée, ce qui n'est pas toujours disponible sur le chantier.

Lorsque la bobine est enroulée par le bas, la capacité de charge de la grue est toujours supérieure à la force agissant sur le crochet, condition de base pour des opérations de levage en toute sécurité. Lorsque la bobine est enroulée vers le haut, la capacité de charge de la grue dans la dernière étape devient inférieure à la force appliquée sur la grue, c'est-à-dire qu'elle provoquera une surcharge, elle ne devrait donc pas être autorisée. Les bobines montées sur des palettes sont attachées avec des boucles de câble et déplacées par un camion tracteur jusqu'à la position du bord inférieur, en veillant à ce que le bord fermé et les escaliers avec des supports de renfort fixes soient placés dans la position prévue. Pour ce faire, marquez le centre du fond après soudage, puis tracez un cercle à partir du centre avec un rayon égal au rayon extérieur de l'anneau inférieur de la robe. Les angles sont soudés uniformément le long du cercle dessiné, avec une distance de 1 m entre eux. Ces cornières sont destinées à servir de bras de support lors du déroulement de la bobine. Les panneaux qui empêchent les bobines de se desserrer sont ensuite coupés à l'oxygène, et les boucles de câbles sont maintenues tendues à l'aide de marches sur les entretoises de renfort. Le haut du support n'était initialement pas fixé radialement, avec deux entretoises. Lorsque la bobine se déroule en douceur, la bobine se déroule sous la force élastique générée lors de son enroulement. Le bord extérieur libre de la bobine est fermement pressé contre la butée d'angle et soudé par points au fond. Coupez avec de l'oxygène, utilisez des entretoises de renforcement sur les escaliers et maintenez les boucles de câble tendues. Le haut du support n'était initialement pas fixé radialement, avec deux entretoises. Lorsque la bobine se déroule en douceur, la bobine se déroule sous la force élastique générée lors de son enroulement. Le bord extérieur libre de la bobine est fermement pressé contre la butée d'angle et soudé par points au fond. Coupez avec de l'oxygène, utilisez des entretoises de renforcement sur les escaliers et maintenez les boucles de câble tendues. Le haut du support n'était initialement pas fixé radialement, avec deux entretoises. Lorsque la bobine se déroule en douceur, la bobine se déroule sous la force élastique générée lors de son enroulement. Le bord extérieur libre de la bobine est fermement pressé contre la butée d'angle et soudé par points au fond.

La bobine est pressée fermement contre les butées d'angle et soudée par points au fond.

Avant d'installer les panneaux de fermeture, il a fallu enlever l'escalier de la gaine qui servait de charpente au dernier serpentín de l'enceinte. Les écarteurs d'angle sont coupés de la palette et la palette est retirée. Le bord inférieur fermé (libre) de la bobine est temporairement soudé par points au fond, puis la soudure est coupée pour fixer le bord vertical aux montants du cadre de l'escalier. L'escalier libre est tiré sur la trappe couverte par une grue. Les joints bout à bout de la robe sont généralement soudés par recouvrement. Pour ce faire, desserrez le bord inférieur de l'enceinte de la pointe vers le bas, puis tirez-le vers le bord de départ de l'enceinte, appuyer fermement avec les clips et installer le toit du panneau de fermeture. Ensuite, le couvercle supérieur (sphérique uniquement) est excentré, les supports temporaires sont retirés à travers le couvercle supérieur, la plaque supérieure centrale est placée et soudée. Lors du déroulement de la robe roulée et du pontage, il faut vérifier que l'écart de la robe par rapport aux repères verticaux ne dépasse pas 90 mm sur toute sa hauteur.

### 3.5.3. Écarts extrêmes de dimensions et de formes de la robe installée :

Selon les modes de réalisation et de pose des robes, les dimensions et formes en robe montée ne doivent pas dépasser les valeurs limites présentées dans le **Tableau 3.1**

**Tableau 3.1** : Les dimensions et formes en robe.

Nom du paramètre et notes	Écart limite, mm, si le diamètre du réservoir			
	jusqu'à 12 mètres	12-25 mètres	25-40 mètres	40 mètres
Diamètre intérieur de 300 mm à partir du bas (mesuré en quatre diamètres à un angle de 45 °)	0,005 r	0,003 r	0,005 r	0,001 5 r
La hauteur de la robe :				
— jusqu'à 12 mètres, inclus :	±20	/	/	/

— de 12 à 18 m :	±30			
— plus de 18 m :	±40			
Déviations se formant à la hauteur de chaque zone (H est la distance du fond au point de mesure). La mesure est effectuée au moins tous les 6 m sur tout le pourtour de la virole à moins de 50 mm sous les joints horizontaux.	±1/200h			
Écart local par rapport à la forme de conception. Les mesures sont effectuées avec un rail vertical et un gabarit horizontal réalisé en fonction du rayon de conception de la robe.	±15			
Écarts locaux par rapport à la forme de conception dans les zones des soudures d'assemblage (angularité). Les mesures sont effectuées avec un gabarit réalisé en fonction du rayon de conception de la robe.	Conformément aux exigences du projet			

### 3.6. Installation de la charpente du toit de réservoir (Figure 3.6) [7]

#### 3.6.1. Assemblage et montage des profils de la charpente du toit



**Figure 3.6 :** Installation de toits fixes de réservoirs de stockage [7].

Selon le plan de construction du toit fixe, effectuez l'une des procédures suivantes :

- Installation de toits coniques et sphériques à ossature — avec le support central ;
- Installation par le haut, sans support central : ceci est appliqué pour les toits coniques et sphériques sans cadre et pour les toits coniques et sphériques à cadre avec des éléments séparés de charpente et de platelage ;
- Installation depuis l'intérieur du réservoir, sans le support central ; cela s'applique aux toitures avec des éléments de charpente et de platelage séparés ;
- Un toit sphérique encadré est installé à l'intérieur du réservoir, qui est ensuite soulevé dans la position prévue.

Lors de l'élaboration de la technologie d'installation des toits, il est essentiel de prendre en compte la charge de montage sur le toit dans son ensemble et sur ses éléments de construction. Il peut être nécessaire d'installer des poutres de contreventement temporaires, des tirants et d'autres dispositifs destinés à empêcher la déformation.

Les marques de hauteur du panneau central et du support de montage pour les réservoirs à dôme encadré doivent être déterminées en tenant compte de la hauteur et de la courbure prévues spécifiées par le projet de conception.

Les écarts extrêmes de taille et de forme du toit installé ne doivent pas dépasser les rapports suivants spécifiés dans le **Tableau 3.2**

**Tableau 3.2** : Les écarts extrêmes de taille et de forme du toit installé (toitures fixes)

Nom du paramètre et notes	Écart limite, mm, si le diamètre du réservoir			
	jusqu'à 12 mètres	12-25 mètres	25-40 mètres	40 mètres
La marque du haut des toits coniques et sphériques (les mesures sont effectuées à travers le tuyau de dérivation central)	±30	/	±50	/
La différence entre les marques des nœuds adjacents du sommet des radiales et des poutres :				
— dans la zone d'interface avec l'enveloppe :	20	/	/	/
— dans la zone d'interface avec le bouclier central :	10	/	/	/
— dans la zone d'assemblage des poutres radiales des toits sphériques :	15	/	/	/
Écart par rapport au rayon de conception des toits sphériques. Jeu entre le gabarit et la surface courbe (les mesures sont effectuées sur chaque poutre radiale et treillis).	5,0	/	/	/

### 3.7. Installation des plaques de trou d'homme et des tuyaux de raccord

(Figure 3.7) [7]



**Figure 3.7 :** Installation de trou d'homme et de tuyaux de raccord [7].

Lors du marquage des positions prévues pour l'installation des plaques de trou d'homme et des tuyaux de montage dans l'enveloppe du réservoir, il est essentiel de respecter les exigences relatives aux distances autorisées entre les joints de soudure.

La distance entre le bord extérieur des plaques de renfort et la ligne médiane des joints horizontaux bout à bout du gros œuvre ne doit pas être inférieure à 100 mm. La distance entre la ligne médiane du joint vertical bout à bout du mur ou le bord extérieur de deux plaques de renforcement adjacentes du tuyau de raccordement ne doit pas être inférieure à 250 mm.

Il est permis de couvrir le joint horizontal du mur avec le tuyau de raccordement d'arrivée et de distribution d'eau ou la plaque de renfort de la plaque de regard dans la zone d'au moins 150 mm de la section de la plaque de regard. La partie couverte du joint doit être contrôlée par la méthode des rayons X.

Lors de l'installation des tuyaux de raccord et des plaques de trou d'homme sur le réservoir, leurs positions sur le mur et le toit doivent être contrôlées conformément au **Tableau 3.3**.

**Tableau 3.3** : positions sur le mur et le toit de l’installation des tuyaux de raccord et des plaques de trou d’homme [7]

nom du paramètre	limiter les écarts	
	Écoutes	Basses
Marquer la hauteur d’installation	±10 mm	±6 mm
La distance entre la surface extérieure de la bride et la paroi de la cuve	±10 mm	±5 mm
Tourner les axes principaux de la bride dans le plan vertical	±5 °	±5 °

## 2.7. Conclusion

La construction de réservoirs est un processus essentiel dans de nombreux secteurs, tels que l’industrie pétrolière, chimique, l’approvisionnement en eau et les infrastructures publiques. Ces structures sont conçues pour stocker divers liquides, allant des produits chimiques aux carburants en passant par l’eau potable. Voici quelques conclusions clés sur la construction de réservoirs :

**Importance de la conception** : La conception d’un réservoir est cruciale pour assurer sa stabilité, sa durabilité et sa sécurité. Des ingénieurs spécialisés réalisent des études approfondies pour déterminer les dimensions, les matériaux et les méthodes de construction appropriés.

**Matériaux de construction** : Les réservoirs peuvent être construits en différents matériaux, tels que l’acier, le béton armé, les composites ou les plastiques renforcés de fibres. Le choix du matériau dépend des propriétés du liquide stocké, de l’environnement, des contraintes budgétaires et des réglementations locales.

**Normes de sécurité** : La construction de réservoirs doit respecter des normes de sécurité strictes pour éviter les fuites, les déversements ou les accidents majeurs. Des tests de

résistance et d'étanchéité sont effectués pendant et après la construction pour s'assurer de la conformité aux normes.

En conclusion, la construction de réservoirs est un processus complexe qui exige une expertise technique et une attention particulière à la sécurité et à l'environnement. Des normes strictes doivent être respectées tout au long du processus pour assurer des installations sûres et durables.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

En conclusion, l'étude d'un réservoir de stockage de 5700 m<sup>3</sup> conformément à la norme API 650 en utilisant le logiciel AMETANK offre une approche complète et rigoureuse pour assurer la sécurité, la fiabilité et la durabilité de l'installation de stockage. Voici quelques points clés à retenir :

1. **Respect des normes** : La norme API 650 est largement reconnue dans l'industrie du stockage et offre des directives détaillées pour la conception, la fabrication et l'installation des réservoirs de stockage en acier. En utilisant le logiciel AMETANK, qui est spécifiquement développé pour cette norme, vous vous assurez de respecter les exigences et les bonnes pratiques du secteur.
2. **Analyse approfondie** : L'étude et la conception d'un réservoir de stockage de 5700 m<sup>3</sup> nécessitent une analyse approfondie de nombreux facteurs, tels que la capacité de charge, la résistance structurelle, la stabilité, l'étanchéité et les exigences environnementales. Le logiciel AMETANK facilite cette analyse en fournissant des fonctionnalités avancées de modélisation, de vérification et de génération de rapports.
3. **Adaptation aux conditions spécifiques** : Chaque projet de réservoir de stockage présente des caractéristiques et des contraintes uniques. En utilisant le logiciel AMETANK, vous pouvez prendre en compte les conditions du site, les propriétés du fluide stocké, les exigences opérationnelles et les contraintes environnementales pour concevoir un réservoir qui répond spécifiquement à ces besoins.
4. **Sécurité et durabilité** : L'objectif principal de l'étude et de la conception d'un réservoir de stockage est d'assurer la sécurité et la durabilité de l'installation. En suivant les directives de la norme API 650 et en utilisant le logiciel AMETANK, vous pouvez concevoir un réservoir qui résiste aux charges structurelles, aux contraintes environnementales et aux exigences opérationnelles, tout en minimisant les risques de fuites ou de défaillances.

En résumé, l'étude et la conception d'un réservoir de stockage de 5700 m<sup>3</sup> selon la norme API 650 en utilisant le logiciel AMETANK offrent une approche complète et fiable pour la réalisation d'une installation de stockage sûre et durable. Ces outils et normes contribuent à garantir la qualité et la conformité du réservoir, assurant ainsi la tranquillité d'esprit et la satisfaction des parties prenantes impliquées dans le projet.

## Références

[1] Isabelle Vuidart — Étude sur les équipements de réservoirs de stockages de liquides et de gaz liquéfiés — INERIS — 1996

[2] Technologie des parcs de stockage et terminaux - U.M.Constantine Technologie des parcs de stockage Master 1 TDH S2 (2019-2020)

[3] Portail de Statistiques, fr.statista.com du 26/10/2018, des études et statistiques provenant de plus de 22 500 Sources, Production mondiale d'acier brut en volume 2016-2019.

[4] Designing storage tanks,' Chemical Engineering, June 1, 2018

[5] TankerTrackers.com, « A Beginner's Guide to Calculating Oil Storage Tank Occupancy With Help of Satellite Imagery », *Medium*, 27 septembre 2017

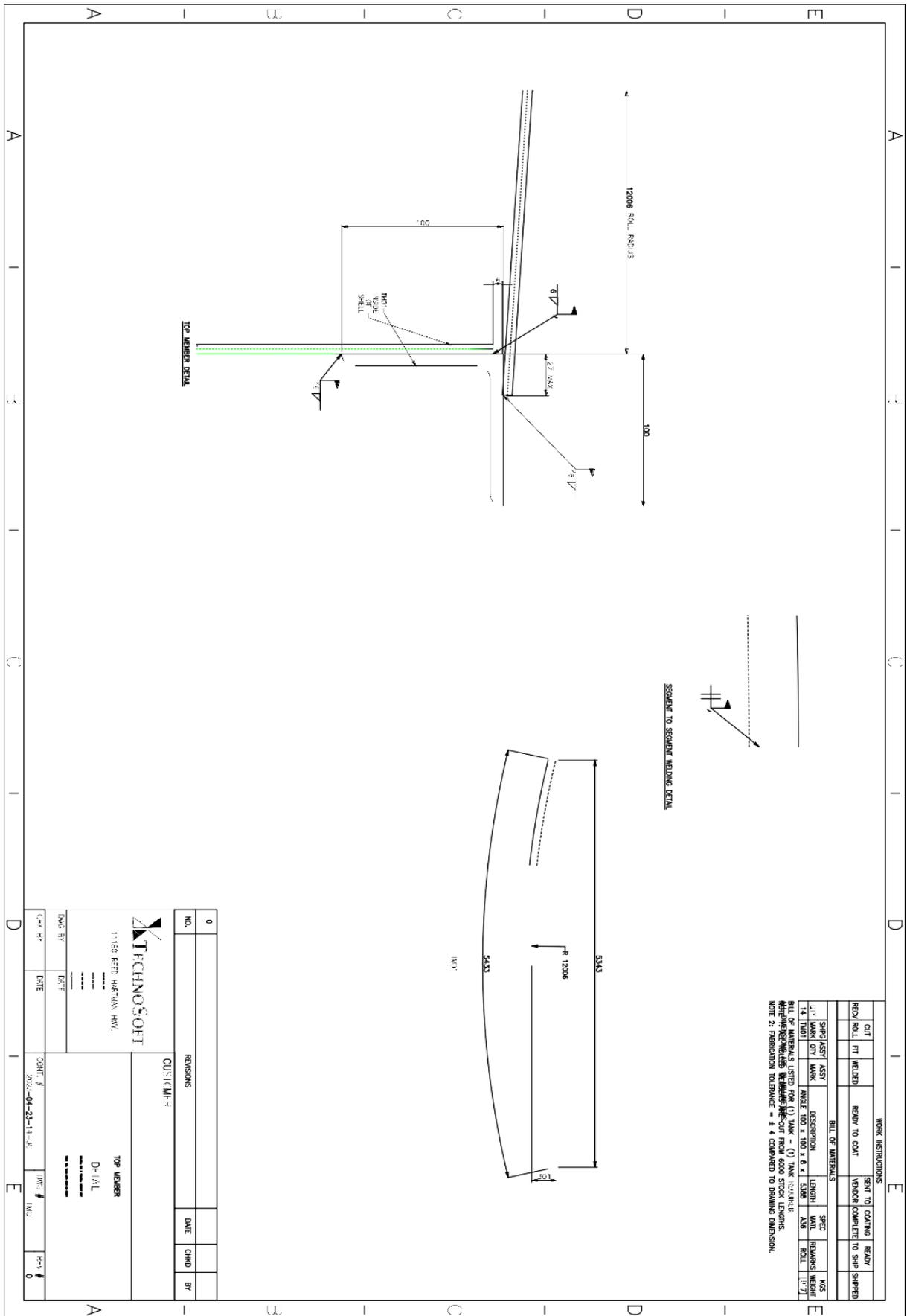
[6] Site web : <https://csceexpertise.crti.dz/controle-par-magnetic-flux-leakage.php>

[7] Entreprise spécialisée dans la construction de réservoirs de stockage industriels en Europe "<https://eurotankworks.com/>"

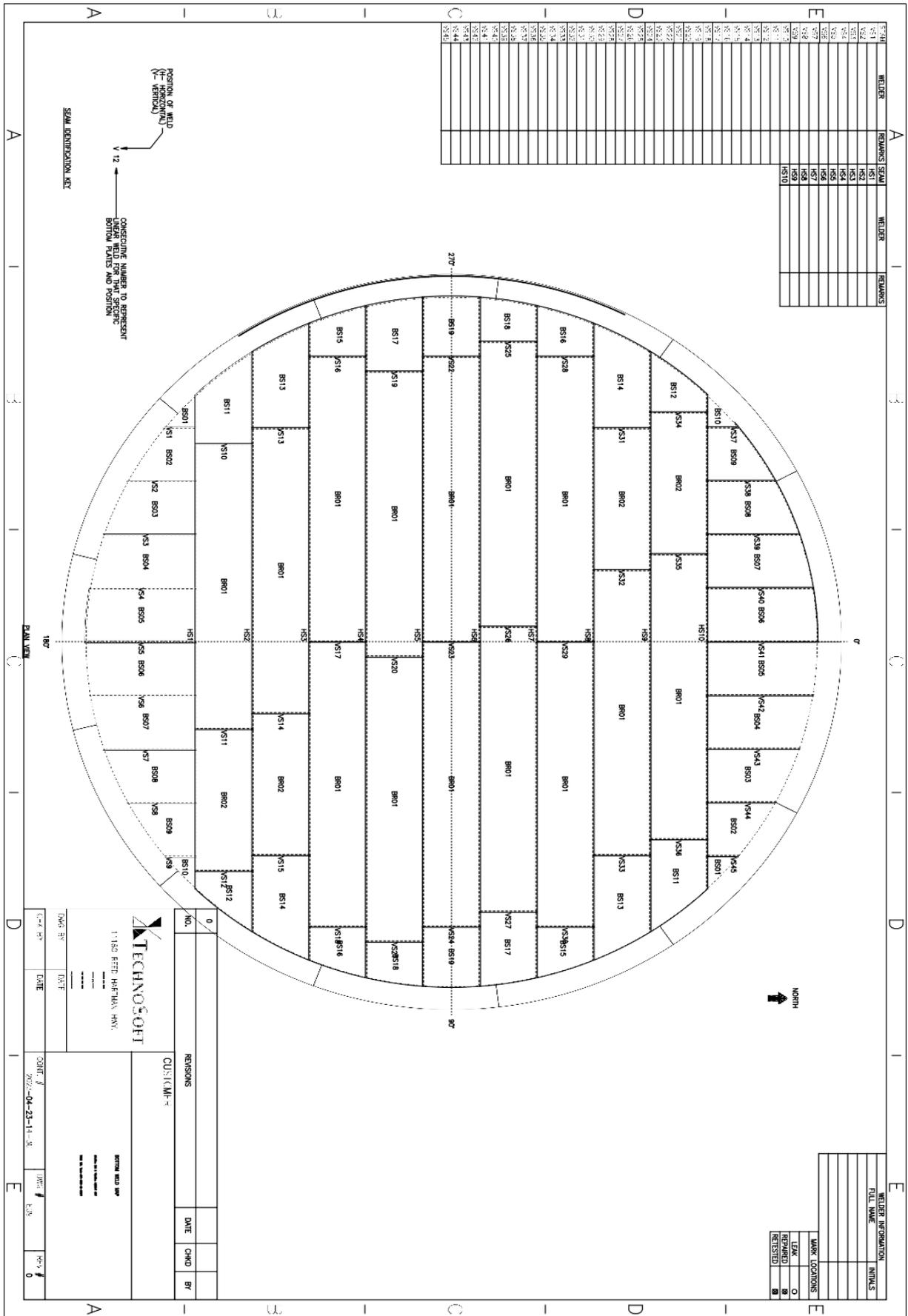
[8] Spritzer, J. M., & Guzey, S. (2017). Review of API 650 Annex E: Design of large steel welded aboveground storage tanks excited by seismic loads. *Thin-Walled Structures*, 112, 41-65.

[9] Site officiel du programme <https://www.AMETANK.com/>

# Annexes



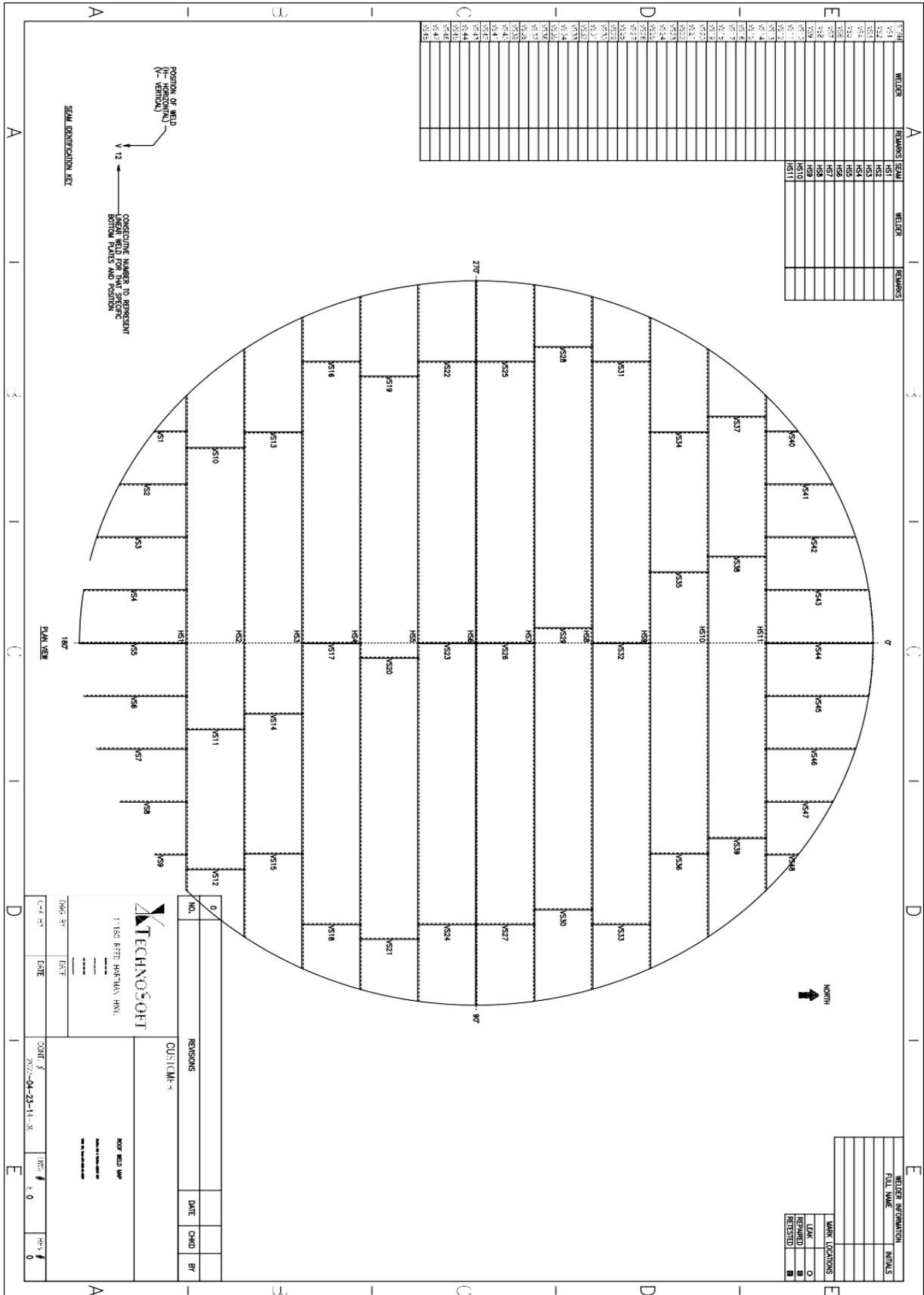
Dessin technique de la cornière de rive



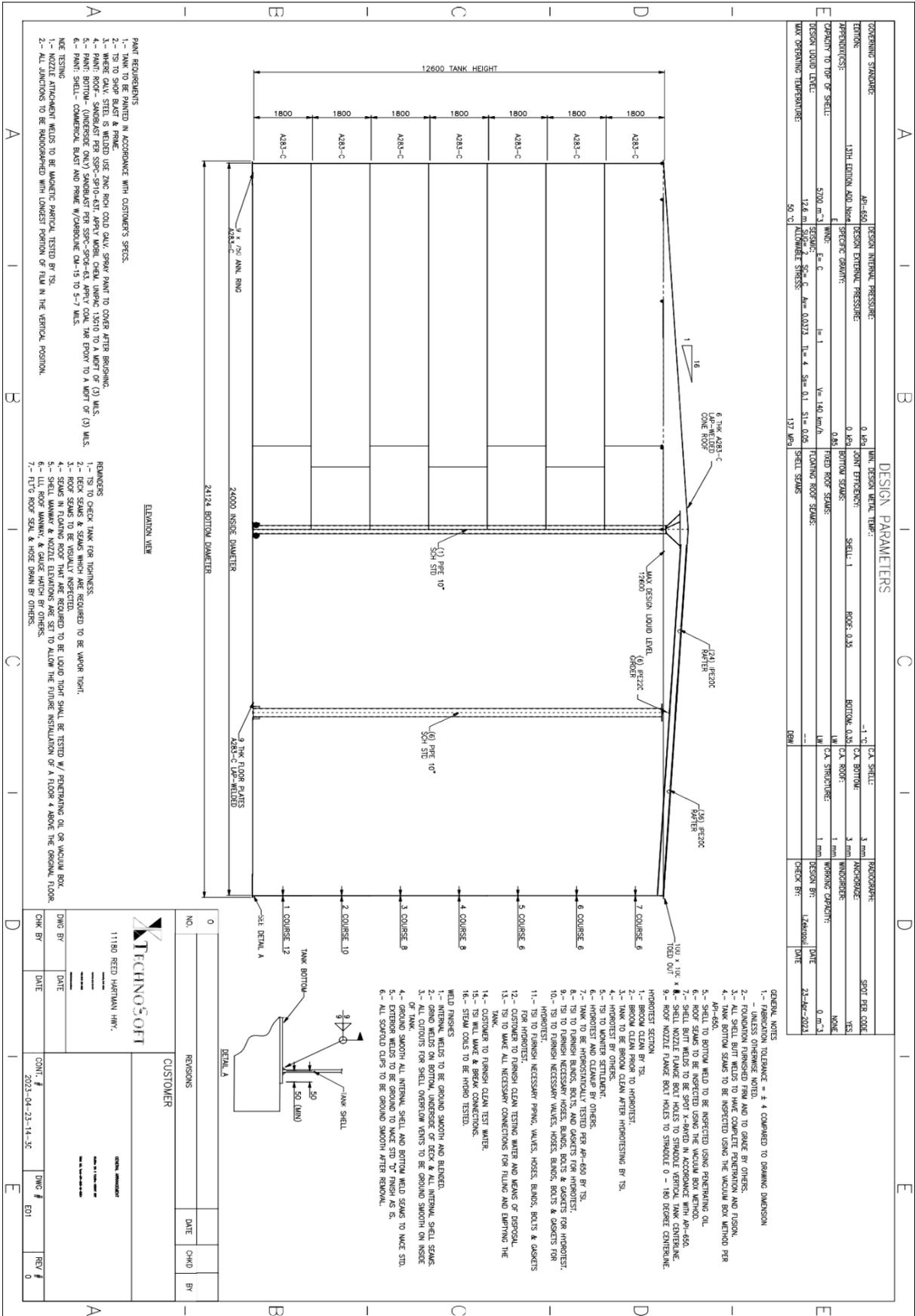
Dessin technique du fond







Dessin technique du toit



Dessin technique du réservoir

