



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche scientifique

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA – BEJAIA

Faculté de la Technologie

Département de Génie Civil

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

EN VUE DE L'OBTENTION D'UN DIPLOME DU MASTER 2 EN GENIE CIVIL

OPTION : STRUCTURE

Thème :

Etude d'un réservoir de stockage d'huile de capacité 2500m³ en charpente métallique.

Réalisée par :

- Aziri EL-Hachemi
- Manseri Leila

Encadré par : Mr. A. LARABAT ZIANE

Devant le jury : Mr. O. SADAoui

Mme. SEGHIR

PROMOTION JUIN 2024

Remerciements

Nous adressons en premier lieu nos remerciements à Mr AHMED LARABAT, professeur au département de génie civil pour nous avoir encadrés et suivis tout au long de la réalisation de ce mémoire. Qu'il trouve ici notre reconnaissance et notre profonde gratitude. Nous souhaitons remercier aussi du fond du cœur tous nos enseignants avec qui on a gardés de très bonnes relations. Nous souhaitons exprimer notre gratitude aux membres du jury le président Mr ainsi que l'examineur Mr. pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions. Nous remercions a nos parents et les membres de nos familles qui ont toujours été à nos côtés pendant la réalisation de cette thèse et qui nous ont toujours encouragés. Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation.

Dédicace

Mes sincères dédicaces sont portées A mes parents MANESRI CHERIF et SAIGH TAKLIT, qui m'ont encouragé, qui n'ont jamais cessé de croire en moi, que dieux les gardé près de moi. Mon frère YOUBA, KAMEL et TARIK et mes sœurs KAHINA, LINDA que dieux les protèges.

Je dédicace aussi ce travail à mes grand parents EL HAJ LAHCEN SAIGH ET TASSADIT BOUAZOUNI et leurs fils HASSINA, ALI, KAMEL, KARIM, LEFRIK, MALEK, HASSIBA et ATMAN qui m'a toujours soutenue et encouragée Aussi mes cousine RYMA SAIGH, NADALINE DJENNADI, SALSABIL DJENNADI et RETADJ DJENNADI mes copines SOUHILA HITACH, MAYA MASAOUDI, MASSILIA ABDERRAHMANE et WARDIA sans oublie HARROUNI TAKFARINESSE qui mas aidé et encouragé tout au long de ce travail.

Aussi a mon binôme AZIRI EL HACHEMI

Dédicace

Mes sincères dédicaces sont portées à mes parents, qui m'ont encouragé, qui n'ont jamais cessé de croire en moi, que dieu les gardé près de moi. Mon frère et sœurs que dieu les protèges.

Je dédicace aussi ce travail à mes amis qui m'ont toujours soutenue et encouragé tout au long de ce travail.

Aussi a ma binôme MANSERI LEILA

Sommaire

Sommaire :

•	Introduction générale :.....	4
I.	Étude bibliographique :	6
•	Introduction :.....	6
I.1	Réservoir de stockage (aérien) :.....	6
I.1.1	Réservoir a toit fixe :.....	7
➤	Caractéristiques des réservoirs à Toit fixe :	7
I.1.2	Réservoirs à toit flottant :.....	8
➤	Caractéristiques des réservoirs à Toit flottant :.....	9
I.1.3	Différences entre les réservoirs à toit flottant externe (EFR) et à toit flottant interne (IFR) :.....	12
I.2	Les éléments principaux de réservoirs :	13
I.2.1	La robe :.....	13
I.2.2	Le fond :.....	14
➤	Fond central :.....	15
➤	Fond annulaire :.....	15
➤	La cuvette de vidange :.....	15
I.2.3	La toiture :	17
I.3	Les fondations :.....	18
➤	Importance des fondations :.....	18
➤	Type de fondation :.....	19
I.4	Méthode de montage les réservoirs sue le site :.....	24
➤	Méthode traditionnelle :	24
➤	Méthode par levage :	25
I.5	Le soudage :.....	27
II.	Présentation et prédimensionnement de l'ouvrage :.....	30
II.1	Présentation de l'ouvrage :.....	30
II.2	Dimensionnement d'un réservoir :.....	31
•	Introduction :.....	31
II.2.1	Principe de dimensionnement les éléments de réservoir :.....	33
➤	Selon API 650 :.....	33
➤	L'EUROCODE 3 :	35
➤	Selon le CODRES 2007 :	37
III.	Etude climatique :.....	40
•	Introduction :.....	40

Sommaire

III.1	Etude du vent selon RNV partie II :.....	40
➤	Calcul de la pression (C_{pe}, C_{pi}):	40
➤	Calculer la pression du vent sur le paroi vertical et la toiture ($W(z)$) :.....	48
III.2	Etude de la neige selon RNV partie I :	50
III.3	Vérification le moment de renversement :.....	51
IV.	Dimensionnement des éléments de la toiture :.....	55
•	Introduction.....	55
•	Poutre cintrée :	55
IV.1	Calcul les charges appliquées sur la toiture :.....	56
IV.2	Vérification de flambement :.....	58
IV.3	Vérification a la flexion composée selon EUROCODE 3 :	60
IV.4	Vérification l'épaisseur de la tôle de toiture :	61
IV.5	Calcul des assemblages des éléments de la toiture :	62
➤	Assemblage boulonné :	62
➤	Assemblage soudés :	63
V.	Etude sismique :	65
•	Introduction :.....	65
V.1	Model de housner :	65
➤	Principes de Base du Modèle Housner :.....	66
V.2	Calcul les périodes et les accélérations de réservoir :.....	67
V.2.1	Calculer la période structurelle de vibration :	68
➤	Période impulsive :	68
➤	Période de convection (ballotement) :.....	69
V.2.2	Calcule l'accélération de réponse spectrale (selon API650 §E.4.6) :.....	70
➤	Paramètre d'accélération spectrale impulsionnelle, A_i (4.6.1.) :.....	70
➤	Paramètre d'accélération spectrale convective, A_c :.....	72
V.3	Calculer le moment de renversement :.....	73
➤	Moment de la paroi annulaire, M_{rw} :	74
➤	Moment de la dalle, M_s :.....	75
V.4	Le rapport d'ancrage :	76
V.5	Vérification la compression dans la robe :.....	77
VI.	Calcul des ancrages :.....	79
VI.1	Calcul les boulons d'ancrage :	79
•	Introduction :.....	79
➤	Calcul le nombre des ancrages :	79

LISTE DE FIGURES

Figure (I.01) : les types courants de réservoirs.

Figure (I.02) : réservoir à toit fixe.

Figure (I.03) : réservoir à toit flottant externe.

Figure (I.04) : réservoir à toit flottant interne.

Figure (I.05) : model 3D de la robe.

Figure (I.06) : model 3D de fond central et fond annulaire.

Figure (I.07) : model 3D du toit.

Figure (I.08) : types des fondations.

Figure (I.09) : Semelle annulaire.

Figure (I.10) : Une fondation en galette compactée.

Figure (I.11) : Une fondation sur pieux

Figure (I.12) : la méthode traditionnelle de montage.

Figure (I.13) : méthode de levage.

Figure (I.14) : joint bout à bout en V et en U simple.

Figure (I.15) : joint bout à bout en V et en U en double.

Figure (I.16) : joint bout à bout à rainure carrée.

Figure (I.17) : joint à recouvrement.

Figure (II.01) : Localisation du projet.

Figure (II.02) : dimensionnement de la virole.

Figure (III.01) : les valeurs de la pression dynamique de référence.

Figure (III.02) : variation de C_{pe} autour de la robe.

Figure (III.03) : C_{p0} pour une paroi verticale des constructions a base circulaire.

Figure (III.04) : facteur de l'élanement W_λ .

Figure (III.05) : coefficients C_{pe} pour toiture en dôme à base circulaire.

Figure (III.06) : coefficient de forme-toiture cylindrique.

Figure (IV.01): Vue 3D DE LA TOITURE

Figure (IV.02) : vue 3D de la poutre cintrée

Figure (IV.03) : les moments sur la poutre cintrée de la toiture

Figure (IV.04) : les efforts de compression sur la poutre cintrée

Figure (IV.05) : le moment maximal de la tôle de réservoir.

Figure (IV.06) : les réactions d'appuis de la toiture.

Figure (IV.07) : abaque pour le choix de la gorge en fonction des pièces assemblée.

Figure (V.01) : Modèle équivalent

Figure (V.03) : les résultats des composant impulsive et convective sur la robe et le fond de réservoir.

Figure (V.04) : classification des sites selon API650 « tableau E.3 »

Figure (V.05) : Coefficient de détermination de la période impulsive, selon API650 « figure E.1 »

Figure (V.06) : Valeur de F_a en fonction de la classe du site, selon API650 « Tableau E.1 ».

Figure (V.07) : Facteur d'importance (I) et classification des groupes d'utilisation sismique, selon API650 « tableau E.5 ».

Figure (V.08) : Facteurs de modification de la réponse pour les méthodes ASD, selon API650 « tableau E.4 ».

Figure (V.09) : Valeur de F_v en fonction de la classe du site, selon API650 « tableau E.2 ».

Figure (V.10) : Rapport poids effectif du liquide, selon API650 « figure EC.8 »

Figure (V.11) : Centre d'action de la force effective, selon API650 « figure EC.9 »

Figure (V.12) : Critères de rapport d'ancrage, selon API650 « tableau E.6 ».

Figure (VI.01) : Type d'ancrage du réservoir.

Figure (VI.02) : les combinaisons de calcul la charge de soulèvement U.

Figure (VI.03) : détaille de la chaise d'ancrage.

Figure (VI.04) : schéma statique de la fondation.

Figure (VI.05) : la charge appliqué sur la partie verticale de la fondation.

Figure (VII.01) : Création d'un nouveau modèle.

Figure (VII.02) : le nom de modèle.

Figure (VII.03) : Nouveau modèle de réservoir

Figure (VII.04) : Menus de modélisation AMETank

Figure (VII.05) : Options des onglets du menu du toit du réservoir

Figure (VII.06) : les caractéristiques de la toiture

Figure (VII.07) : vue 3D de la toiture.

Figure (VII.08) : les caractéristiques générales de la robe.

Figure (VII.09) : les caractéristiques des viroles.

Figure (VII.10) : vue 3D de la robe

Figure (VII.11) : les caractéristiques de fond.

Figure (VII.12) : les caractéristiques de la plaque annulaire du fond.

Figure (VII.13) : vue 3D de fond et la plaque annulaire

Figure (VII.14) : les caractéristiques de l'escalier.

Figure (VII.15) : vue 3D de l'escalier

Figure (VII.16) : accessoire pour le réservoir

Figure (VII.17) : les tubéur et passage d'homme sur la toiture.

Figure (VII.18) : les tubéur sur la robe

Figure (VII.19) : les caractéristique et la vue 3D du passage d'homme sur la robe.

Figure (VII.20) : les caractéristiques des ancrages

Figure (VII.21) : vue 3D des ancrages

Sommaire

➤	Calcul la charge de soulèvement nette U :	81
VI.2	Conception de chaise d'ancrage :.....	82
➤	Propriétés matérielles de la chaise d'ancrage :	84
VI.3	La fondation (poutre cintrée auteur de réservoir) :	85
➤	Principe de calcul :.....	85
➤	Ferraillage de la fondation :.....	86
➤	Vérification de renversement (fondation+réservoir) :.....	87
VII.	AMETank : Modélisation par AMETank et élaboration des plans	90
•	Introduction :.....	90
VII.1	Fonctionnalités clés d'AMETank :.....	90
➤	Environnement de modélisation intuitif :.....	90
➤	Modèles géométriques 3D automatisés :.....	90
➤	Détails de fabrication complets :	90
➤	Simplification de la terminologie :.....	90
VII.2	Avantages d'AMETank :.....	91
➤	Gain de temps et d'argent :.....	91
➤	Conception précise et fiable :.....	91
➤	Amélioration de la communication :	91
VII.3	Démarrer un nouveau modèle de réservoir :.....	91
➤	Toit :.....	95
➤	La robe :.....	97
➤	Le fond :.....	99
➤	Accès :.....	101
➤	Accessoires :	102
➤	Les ancrages :.....	106

Tableaux :

Tableau (II.01) : résultat des épaisseurs des viroles selon API650.

Tableau (II.02) : résultat des épaisseurs des viroles selon EURCODE 3.

Tableau (II.03) : résultat des épaisseurs des viroles selon CODRES.

Tableau (III.01) : les résultats de Qp pour la paroi et la toiture.

Tableau (III.02) : les valeurs de α_{min} , α_A pour différent valeur de $b * \sqrt{qp}$.

Tableau (III.03) : les résultats de $Cp0$ avec différent angle.

Tableau (III.04) : les résultats de Cpe pour la paroi verticale.

Tableau (III.05) : les résultats de Cpe pour la toiture.

Tableau (III.06) : les résultats de $W(z)$ pour le paroir vertical.

Tableau (III.07) : les résultats de $W(z)$ pour la toiture.

Tableau (VI.01) : les résultats des combinaisons de calcule la charge de soulèvement U.

SYMBOLE :

A : Le périmètre de réservoir.

R : Le rayon

-td : est l'épaisseur de conception de la coque, en mm

-tt : est l'épaisseur de la coque d'essai hydrostatique, en mm

-B : La largeur entre l'intérieur de la robe et n'importe quel joint soudé dans le reste de fond en mm

-tb : épaisseur de la tôle annulaire en mm

-D : est le diamètre nominal du réservoir, en m.

-He : Hauteur de liquide par rapport à la base de virole considéré en m.

-H : la hauteur de parois vertical en m.

-G : est la densité spécifique de conception du liquide à stocké.

-CA : est la surépaisseur de corrosion, en mm

-Sd : est la contrainte admissible pour les conditions de conception, en MPa.

-St : est la contrainte admissible pour les conditions d'essai hydrostatique, en MPa.

-L : La largeur entre l'intérieur de la robe et n'importe quel joint soudé dans le reste de fond en mm

-tb : épaisseur de la tôle annulaire en mm

-G : est la densité spécifique de conception du liquide à stocké.

-T_a : épaisseur de la tôle annulaire en mm

-T_{sc} : épaisseur de la plaque de la première virole en mm

-c : surépaisseur de corrosion en mm

-e_c : épaisseur de la robe requise pour les conditions d'étude en mm

-e_t : épaisseur de la robe requise pour les conditions d'essai en mm

-H_c : distance entre le bas de la robe considérée et la hauteur définie en m.

-P : Pression d'étude en Mbar (peut être négliger pour les réservoirs dont la pression d'étude ≤ 10 Mbar).

-P_t : pression d'essai en Mbar.

-F : contrainte maximal admissible en situation normal en Mpa. =183,33Mpa.

-F_t : contrainte maximal admissible en situation d'essai en Mpa. =206,25Mpa.

-ρ : densité maximale du produit stocké en situation normal.

- ρ_t : densité du produit en situation d'essai ≥ 1 .

L_a : La largeur minimale de la tôle annulaire.

- Z' : le module de section minimum requis, en $[\text{cm}^3]$

- H_t : est la distance verticale, en mètres, entre la poutre au vent intermédiaire et l'angle supérieur de la robe ;

- t : est l'épaisseur nominale, sauf indication contraire, de la couche de coque la plus mince, en mm ;

- D : est le diamètre nominal du réservoir, en m ;

- V : est la vitesse de vent en km/h.

. C_{p0} : coefficient de pression extérieur pour un élancement fini.

. α_{\min} : (en degré) la position de la pression minimale.

. α_A : (en degré) la position du point de décollement de l'écoulement.

. w_λ : le facteur d'élancement. Chapitre 4 (1.2.).

. Q_p : la pression dynamique du point.

- λ_e : Calcul le facteur d'élancement.

W_λ : Le facteur d'élancement.

C_{pe} : coefficient de pression extérieur.

C_{pi} : Le coefficient de La pression intérieur.

$W(z)$: la pression du vent sur le paroi vertical et la toiture

- S_k : en kN/m^2 est la charge de neige sur le sol.

- μ : est un coefficient d'ajustement des charges, fonction de forme de la toiture.

- H : altitude de localisation du réservoir.

$F_p=0,4$; le facteur de combinaison ;

M_w : moment de renversement en bas dû à la pression du vent ;

M_{pi} : moment au fond de la robe dû à la pression intérieure $=0\text{kN.m}$;

M_{dl} : moment au fond de la robe du au poids propre de réservoir ;

M_f : moment au fond de la robe du au poids de liquide ;

P_{robe} : le poids propre de la robe égale à 428,61kN.

P_{toit} : le poids propre de toiture égale à 175,76kN.

S : la surface de la base

ρ : le poids volumique de liquide stocké égale à 915kg/m^3 ;

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

Introduction générale

- **Introduction générale :**

Les réservoirs de stockage sont largement utilisés dans de nombreux établissements industriels, notamment dans les usines de traitement, telles que les raffineries de pétrole et l'industrie pétrochimique. Ils sont utilisés pour stocker une multitude de produits différents. Ils vont dans une gamme de tailles différentes comportant des produits tels que : les matières premières, produits finis, les gaz et les liquides. Il existe une grande variété de réservoirs de stockage, ils peuvent être construits sur le sol, dans le sol et sous terre. De forme, ils peuvent être cylindriques verticaux, horizontaux cylindriques, sphériques ou rectangulaires, mais les cylindriques verticaux sont les plus utilisés.

Les préoccupations en matière de conception et de sécurité ont suscité de vives inquiétudes, les cas d'incendies signalés et d'explosion du réservoir de stockage augmentant au fil des années, ces accidents provoquant des blessures et des décès.

La conception et la construction d'un réservoir exige une étude profonde et une analyse rigoureuse, débutant par le dimensionnement des éléments du réservoir, puis en procédant à des études sismiques et climatiques afin de garantir sa stabilité, sa sécurité, sa rigidité et sa performance optimale.

Ce présent mémoire est subdivisé en sept chapitres si présent :

- Dans le premier chapitre, nous avons présenté les généralités sur les réservoirs aériens cylindriques verticaux, en détaillant les principaux éléments qui les composent. Nous avons également souligné l'importance et les différents types de fondations, décrit les méthodes de montage et abordé les types de soudures réalisées sur le chantier.
- Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté l'ouvrage ainsi que le dimensionnement des éléments du réservoir, en nous appuyant sur divers règlements tels que l'API 650[1], l'Eurocode 3[2] et le CODRESE [3].
- Le troisième chapitre détaille l'étude climatique, divisée en deux parties : l'étude météorologique (vent, neige) selon RNV 2013[4] et la vérification des moments de renversement sous l'effet du vent.
- Le chapitre quatre met en avant le dimensionnement de la toiture, la vérification du flambement, la flexion composée et l'épaisseur de la tôle de toiture, ainsi que les assemblages boulonnés et soudés.

Introduction générale

- Dans le chapitre cinq, nous avons présenté l'étude sismique selon API650 basée sur la méthode de Housner [5]. Nous avons abordé les principes fondamentaux de cette méthode, le calcul de la période structurelle de vibration, l'accélération de la réponse spectrale.

Le moment de renversement sismique, le rapport d'ancrage et la vérification de la compression dans la robe sont présentés dans ce chapitre.

- Dans le chapitre six, nous avons calculé les boulons d'ancrage, les chaises d'ancrage, la fondation, le ferrailage de la fondation et vérifié le renversement de la fondation.
- Dans le chapitre sept, nous avons présenté le logiciel AMEtank [6], utilisé pour la modélisation du réservoir ainsi que l'extraction des plans nécessaires pour la fabrication et d'exécution du projet.

CHAPITRE I : Etude Bibliographique.

I. Étude bibliographique

- **Introduction :**

Les réservoirs de stockage sont largement utilisés dans de nombreux établissements industriels, notamment dans les usines de traitement, telles que les raffineries de pétrole et l'industrie pétrochimique. Ils sont utilisés pour stocker une multitude de produits différents. Ils vont dans une gamme de tailles différentes comportant des produits tels que : les matières premières, produits finis, les gaz et les liquides. Il existe une grande variété de réservoirs de stockage, ils peuvent être construits sur le sol, dans le sol et sous terre. De forme, ils peuvent être cylindriques verticaux, horizontaux cylindriques, sphériques ou rectangulaires, mais les cylindriques verticaux sont les plus utilisés. Dans un réservoir de stockage cylindrique vertical, il est en outre divisé en divers types, notamment le réservoir à toit ouvert, le réservoir à toit fixe, le toit flottant externe et le réservoir à toit flottant interne. Le type de réservoir de stockage utilisé pour le produit spécifié est principalement déterminé par les exigences de sécurité et d'environnement. Le coût de fonctionnement et la rentabilité sont les principaux facteurs dans la sélection du type de réservoir de stockage. Les préoccupations en matière de conception et de sécurité ont suscité de vives inquiétudes, les cas d'incendies signalés et d'explosion du réservoir de stockage augmentant au fil des années, ces accidents provoquant des blessures et des décès. Les déversements et les incendies de citernes non seulement causant une pollution environnementale, il y aurait également de graves conséquences financières et un impact important sur les activités futures en raison de la réputation de l'industrie.

I.1 Réservoir de stockage (aérien) :

Un réservoir de stockage est un grand contenant conçu pour stocker des liquides, des gaz ou des matériaux en vrac pendant une période prolongée. Ces réservoirs sont utilisés dans diverses industries pour stocker des substances telles que le pétrole, l'eau, les produits chimiques, le gaz naturel liquéfié (GNL) et d'autres matériaux. Les réservoirs de stockage existent sous différentes formes, tailles et configurations, en fonction des besoins spécifiques de l'industrie et des propriétés de la substance stockée.

CHAPITRE I : Étude bibliographique

Voici quelques types courants de réservoirs de stockage :

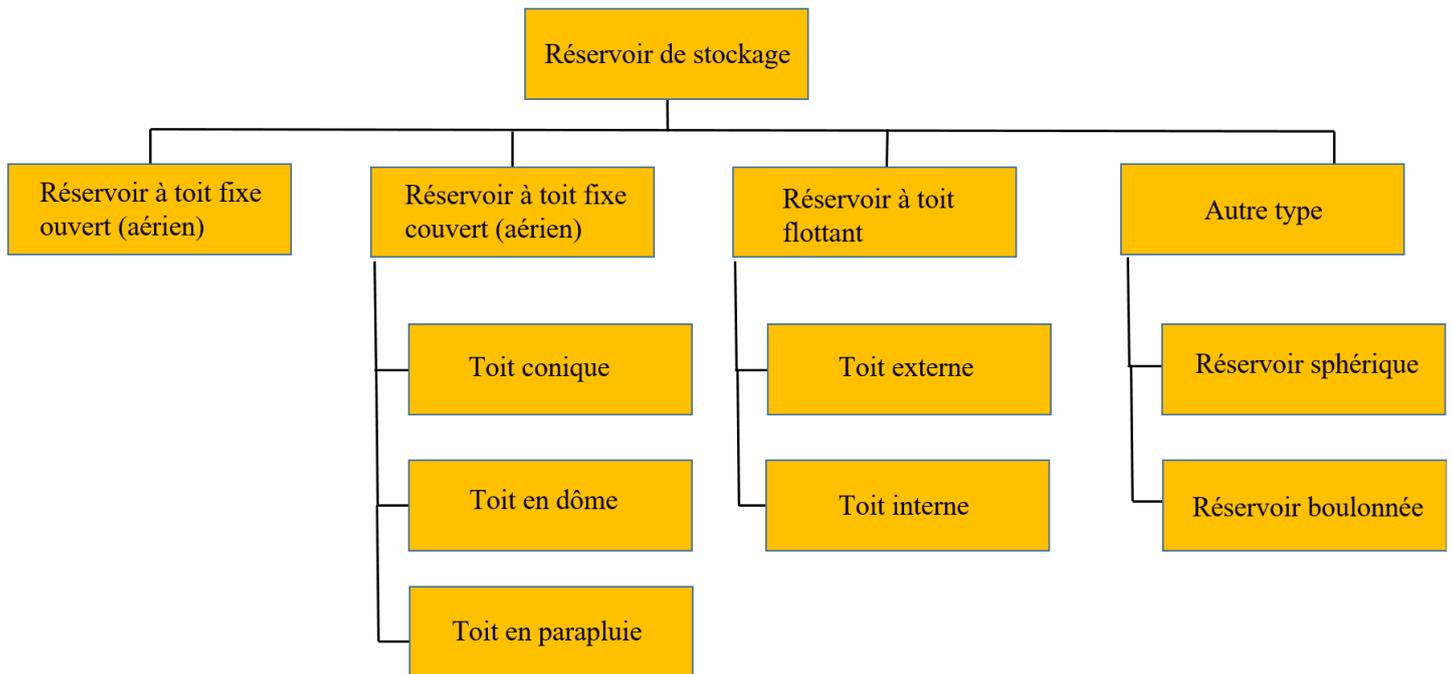


Figure (I.01) : les types courants de réservoirs.

I.1.1 Réservoir a toit fixe :

Les réservoirs à toit fixe, également appelés réservoirs à toit fixe vertical, sont des types de réservoirs de stockage cylindriques qui ont un toit immobile. Voici quelques caractéristiques et informations clés sur ces réservoirs :

➤ Caractéristiques des réservoirs à Toit fixe :

- Les réservoirs à toit fixe ont une structure cylindrique verticale avec un toit qui reste en place en permanence.
- Ils peuvent être construits en différents matériaux, tels que l'acier, l'aluminium ou d'autres matériaux adaptés aux propriétés du produit stocké.
- Ces réservoirs sont généralement utilisés pour stocker des liquides présentant une faible volatilité ou des liquides qui ne génèrent pas de gaz nocifs ou dangereux.
- Le toit fixe offre une stabilité structurelle au réservoir et protège le contenu contre les éléments extérieurs tels que la pluie et la poussière.
- Les réservoirs à toit fixe sont appropriés pour des liquides dont les émanations ne nécessitent pas de mesures spéciales de gestion des vapeurs, car le toit fixe limite l'accès de l'air extérieur au contenu.

CHAPITRE I : Étude bibliographique

-Stockage de produits pétroliers, tels que le pétrole brut ou les produits pétroliers raffinés.

Stockage de produits chimiques qui ne génèrent pas de vapeurs nocives.

-L'utilisation de réservoirs à toit fixe dépend des caractéristiques spécifiques du produit stocké et des exigences environnementales et de sécurité associée à son entreposage.



Figure (I.02) : réservoir à toit fixe [7].

I.1.2 Réservoirs à toit flottant :

Le toit d'un réservoir à toit flottant se déplace à la surface du liquide stocké, flottant vers le haut ou vers le bas en fonction du niveau du liquide stocké. Il y a un espace annulaire avec un presse-étoupe entre le toit flottant et la paroi du réservoir, pour séparer l'air atmosphérique.

Un réservoir à toit flottant est la solution la plus économique et la plus efficace pour réduire les émissions et les pertes de produits, les risques de pertes de vapeur, d'incendie et d'effondrement du réservoir sont réduits. Mais les réservoirs à toit flottant nécessitent des coûts de maintenance plus élevés que les réservoirs à toit fixe.

➤ **Caractéristiques des réservoirs à Toit flottant :**

-Ces réservoirs sont couramment utilisés pour le stockage de liquides volatils, tels que les produits pétroliers, où la réduction des émanations est une considération importante.

-Il existe deux principaux types de toits flottants : les toits flottants externes qui flottent au-dessus du liquide, et les toits flottants internes qui sont intégrés dans le liquide.

A. Les toits flottants externes :

Un réservoir externe à toit flottant se compose d'une coque cylindrique en acier ouverte équipée d'un toit flottant à la surface du liquide stocké. Le toit flottant est composé d'un pont, de ferrures et d'un système de joint de jante. Les toits-terrasses flottants sont construits à partir de plaques d'acier soudées et sont de trois types généraux : type panoramique, ponton et à deux étages. Bien que de nombreux toits-terrasses de type panoramique soient actuellement utilisés, la tendance actuelle est aux toits flottants de type ponton et à deux étages.

Caractéristique des réservoirs à toit flottant externe (EFR) :

-Le toit flottant est positionné à l'extérieur du liquide stocké, reposant directement sur sa surface.

-Tout comme les réservoirs à toit flottant en général, les réservoirs EFR visent à réduire l'espace vide au-dessus du liquide, contribuant ainsi à minimiser les émanations de vapeurs nocives dans l'atmosphère.

-Ces réservoirs sont souvent utilisés pour stocker des liquides volatils tels que les produits pétroliers, car ils offrent une solution efficace pour la gestion des émanations.

-Les réservoirs EFR sont équipés de systèmes de joints qui assurent l'étanchéité entre le toit flottant externe et les parois du réservoir.

-Le toit flottant externe est conçu de manière à flotter directement sur le liquide, s'élevant et descendant avec le niveau du liquide stocké.

-Stockage de produits pétroliers, tels que le pétrole brut ou les produits pétroliers raffinés.

Stockage de liquides volatils où la gestion des émanations est une préoccupation

CHAPITRE I : Étude bibliographique

majeure.

-Réduction significative des émanations de vapeurs. Minimisation du risque d'explosion ou d'incendie.

Adapté au stockage de liquides présentant des variations de niveau importants.

-La conception et l'utilisation des réservoirs EFR dépendent des caractéristiques spécifiques du produit stocké, des exigences environnementales et de sécurité, ainsi que des conditions opérationnelles.

Les réservoirs à toit flottant externe sont choisis en fonction de leur capacité à minimiser les émanations, améliorant ainsi la sécurité et répondant aux normes environnementales dans les industries nécessitant le stockage de liquides volatils.

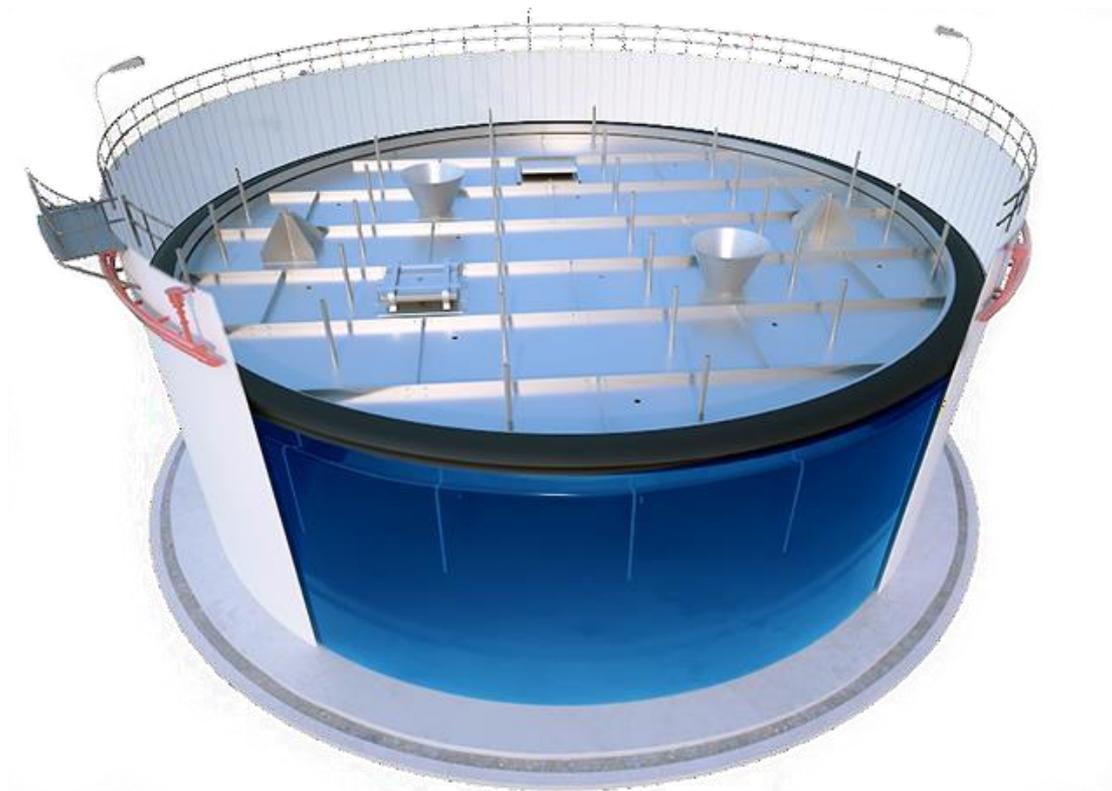


Figure (I.03) : réservoir à toit flottant externe [8].

B. Réservoir à toit flottant interne/réservoir à toit flottant fermé :

Un toit flottant interne comporte à la fois un toit fixe permanent et un toit flottant à l'intérieur du réservoir qui repose sur le liquide à l'intérieur. Il existe deux types de base de réservoirs à toit flottant interne ; les réservoirs dont le toit fixe est soutenu par des colonnes verticales à l'intérieur du réservoir ; et les réservoirs avec un toit fixe autoportant et sans colonnes de support internes.

Caractéristiques des réservoirs à toit flottant interne (IFR) ou fermi :

-Contrairement aux réservoirs à toit flottant externe, le toit flottant interne est situé à l'intérieur du réservoir, flottant directement sur la surface du liquide stocké.

-La conception interne offre une meilleure étanchéité, réduisant davantage les émanations de vapeurs et minimisant l'entrée d'air extérieur.

-En raison de la position interne du toit flottant, il est mieux protégé contre les intempéries, réduisant ainsi le risque d'accumulation d'eau ou de neige sur le toit.

-Ces réservoirs sont couramment utilisés pour le stockage de liquides volatils ou inflammables, où la gestion des émanations et la sécurité sont des préoccupations critiques.

-Les réservoirs IFR sont équipés de systèmes de joints sophistiqués pour assurer une étanchéité maximale entre le toit flottant interne et les parois du réservoir.

-Certains réservoirs IFR peuvent être équipés de systèmes de ventilation contrôlée pour ajuster la pression interne et minimiser les émanations.

-Stockage de produits pétroliers, tels que l'essence ou les produits pétroliers raffinés. Stockage de liquides volatils ou inflammables nécessitant une gestion stricte des émanations.

-Réduction significative des émanations de vapeurs. --Meilleure protection contre les intempéries.

-Adapté au stockage de liquides inflammables.

-La conception et l'utilisation des réservoirs IFR dépendent des caractéristiques spécifiques du produit stocké, des exigences environnementales et de sécurité, ainsi que

CHAPITRE I : Étude bibliographique

des conditions opérationnelles.

Les réservoirs à toit flottant interne offrent une solution avancée pour la gestion des émanations et sont particulièrement adaptés au stockage de liquides inflammables où la sécurité et la protection de l'environnement sont des priorités importantes.



Figure (I.04) : réservoir à toit flottant interne [8].

I.1.3 Différences entre les réservoirs à toit flottant externe (EFR) et à toit flottant interne (IFR) :

- **Position du Toit Flottant :**

EFR : Le toit flottant est à l'extérieur du liquide.

IFR : Le toit flottant est à l'intérieur du réservoir, directement sur le liquide.

- **Étanchéité :**

EFR : Peut-être moins étanche que l'IFR en raison de sa position externe.

IFR : Offre une meilleure étanchéité en raison de sa position interne.

- **Protection contre les Intempéries :**

EFR : Peut-être plus exposé aux intempéries.

IFR : Mieux protégé contre les intempéries en raison de sa position interne.

CHAPITRE I : Étude bibliographique

- **Applications Prédominâtes :**

EFR : Utilisé principalement pour le stockage de produits pétroliers.

IFR : Préféré pour le stockage de liquides volatils ou inflammables nécessitant une gestion stricte des émanations.

Il est important de choisir le type de réservoir en fonction des propriétés du liquide stocké, des exigences environnementales et de sécurité, ainsi que des conditions opérationnelles spécifiques à chaque application.

I.2 Les éléments principaux de réservoirs :

I.2.1 La robe :

Elle est composée de plusieurs viroles, formé une structurel principale de forme cylindrique ou sphérique qui contient la substance stockée, telle que des liquides ou des gaz. La robe assure le confinement primaire et la protection contre les éléments extérieurs. En termes plus techniques, la robe d'un réservoir métallique est généralement composée de plaques d'acier laminées soudées ensemble pour former une structure sans soudure ou presque. Cette construction offre résistance et intégrité pour résister à la pression exercée par la substance stockée et aux forces externes telles que le vent ou l'activité sismique.

L'épaisseur et la conception de la robe dépendent de divers facteurs, notamment du type de matériau stocké, du volume et de la pression de la substance, des conditions environnementales et des règles de sécurité. De plus, la robe peut incorporer des caractéristiques telles qu'une isolation, des revêtements ou une protection contre la corrosion pour améliorer sa durabilité et ses performances dans le temps.

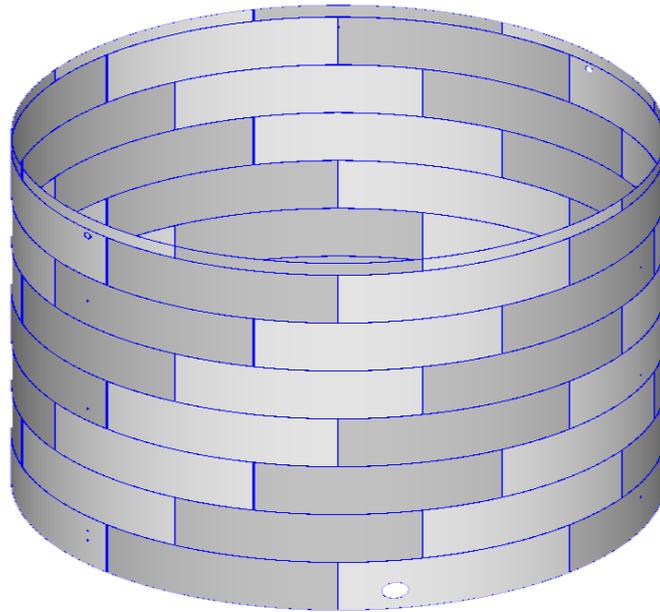


Figure (I.05) : model 3D de la robe.

I.2.2 Le fond :

C'est une la partie inférieure du réservoir. Le fond peut être constitué d'une seule pièce métallique ou être composé de plusieurs éléments soudés ensemble, selon la conception du réservoir. Le fond est souvent conçu pour supporter la charge du liquide ou du matériau stocké dans le réservoir et peut être renforcé pour garantir sa résistance structurelle. Dans certains cas, le fond du réservoir peut également être équipé de dispositifs de drainage, de raccords ou d'autres équipements pour faciliter le remplissage, la vidange ou d'autres opérations liées au contenu du réservoir.

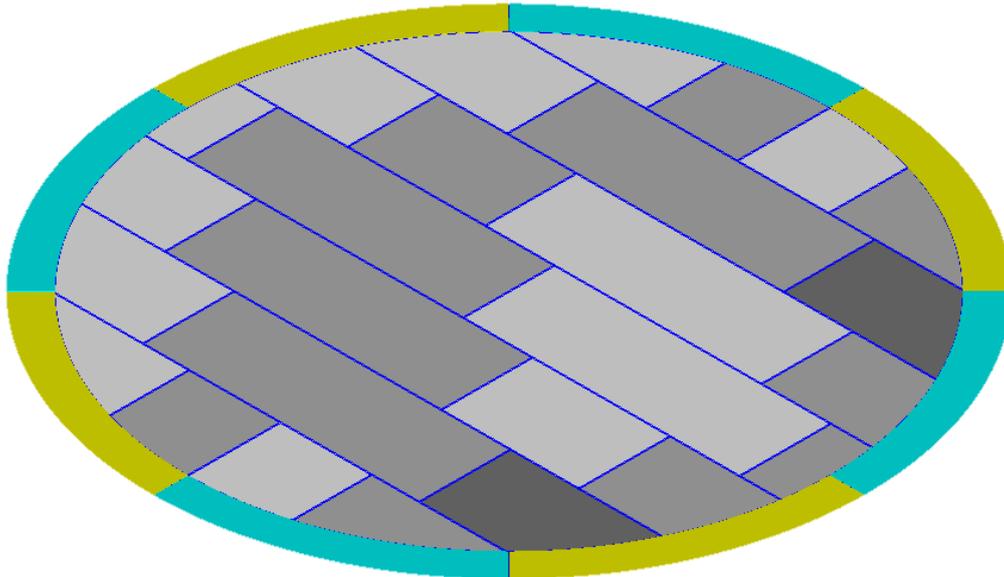


Figure (I.06) : model 3D de fond central et fond annulaire.

- **Dans un réservoir métallique on a deux défieront type de fond :**

➤ **Fond central :**

Le fond central est situé directement sous le centre du réservoir.

Il est généralement constitué d'une seule pièce métallique.

Ce type de fond est souvent utilisé dans les réservoirs de petite à moyenne taille où la pression exercée sur le fond est relativement uniforme.

➤ **Fond annulaire :**

Le fond annulaire est situé autour du périmètre du réservoir, laissant un espace libre au centre. Il est généralement composé de plusieurs éléments soudés ensemble pour former un anneau. Ce type de fond est utilisé dans les réservoirs de grande taille pour répartir la charge sur une plus grande surface, ce qui permet de réduire la contrainte sur les matériaux et d'optimiser la stabilité structurelle.

➤ **La cuvette de vidange :**

La cuvette de vidange est un élément essentiel des réservoirs de stockage en charpente métallique. Elle permet de recueillir les sédiments et les impuretés qui se déposent au fond du réservoir, et de les évacuer facilement.

Fonctions de la cuvette de vidange :

- **Récupération des sédiments et des impuretés** : La cuvette de vidange est conçue pour recueillir les sédiments et les impuretés qui se déposent au fond du réservoir au fil du temps. Ces dépôts peuvent provenir de l'eau elle-même, des parois du réservoir ou de l'air ambiant. Si les sédiments ne sont pas évacués régulièrement, ils peuvent s'accumuler et réduire la capacité de stockage du réservoir, obstruer les filtres et les pompes, et même nuire à la qualité de l'eau stockée.
- **Facilité de vidange** : La cuvette de vidange est généralement située au point le plus bas du réservoir, ce qui facilite l'évacuation des sédiments et des impuretés. Un robinet de vidange ou une vanne est souvent installé sur la cuvette pour permettre une vidange rapide et contrôlée.
- **Protection du réservoir** : La cuvette de vidange protège également le fond du réservoir contre les dommages causés par les sédiments et les impuretés.

Types de cuvettes de vidange :

Il existe différents types de cuvettes de vidange pour les réservoirs de stockage en charpente métallique. Les plus courants sont :

- **Cuvettes de vidange plates** : Ces cuvettes sont simplement des plaques métalliques plates qui sont fixées au fond du réservoir. Elles sont faciles à installer et à nettoyer, mais elles ne sont pas aussi efficaces pour recueillir les sédiments que les autres types de cuvettes.
- **Cuvettes de vidange en forme de V** : Ces cuvettes ont une forme en V qui permet aux sédiments de s'accumuler au centre de la cuvette, ce qui facilite leur évacuation. Elles sont plus efficaces que les cuvettes plates pour recueillir les sédiments, mais elles peuvent être plus difficiles à nettoyer.
- **Cuvettes de vidange avec cône de collecte** : Ces cuvettes ont un cône de collecte au centre qui permet de concentrer les sédiments dans un petit espace, ce qui facilite encore plus leur évacuation. Elles sont les plus efficaces pour recueillir les sédiments, mais elles sont également les plus coûteuses.

CHAPITRE I : Étude bibliographique

Choix de la cuvette de vidange :

Le choix de la cuvette de vidange la plus adaptée à un réservoir de stockage en charpente métallique dépend de plusieurs facteurs, tels que la taille du réservoir, le type de liquide stocké et la fréquence de vidange souhaitée

I.2.3 La toiture :

C'est la partie supérieure qui couvre et protège son contenu. Elle assure la sécurité en empêchant l'entrée d'éléments extérieurs et en maintenant un environnement sûr à l'intérieur du réservoir. La toiture réduit également l'évaporation des liquides stockés et permet un accès au contenu pour le remplissage, le vidage ou l'entretien. En outre, elle peut être conçue pour permettre une ventilation appropriée à l'intérieur du réservoir. En somme, la toiture contribue à protéger, sécuriser et préserver le contenu du réservoir métallique.

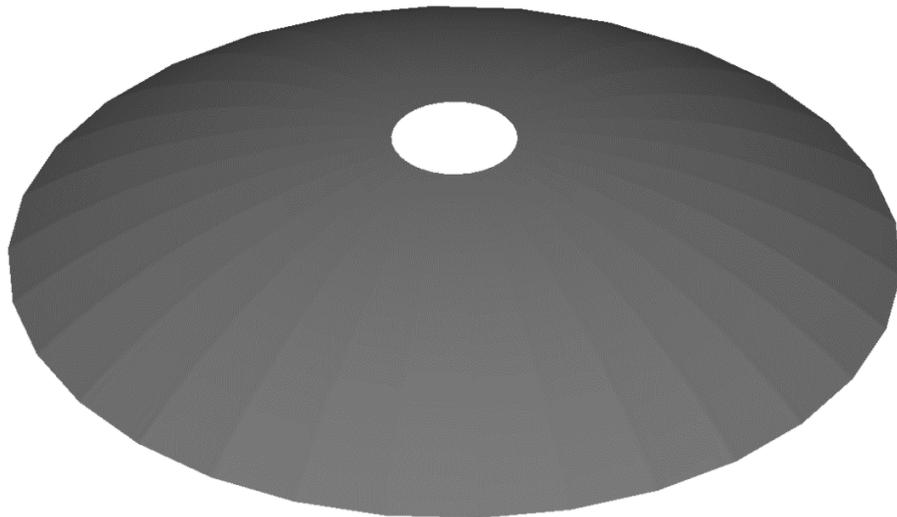


Figure (I.07) : model 3D du toit.

I.3 Les fondations :

Désignent la structure sur laquelle repose le réservoir. Elles sont essentielles pour assurer la stabilité, la sécurité et la durabilité du réservoir surtout lorsqu'il est rempli de liquide, ce qui peut imposer des charges importantes.

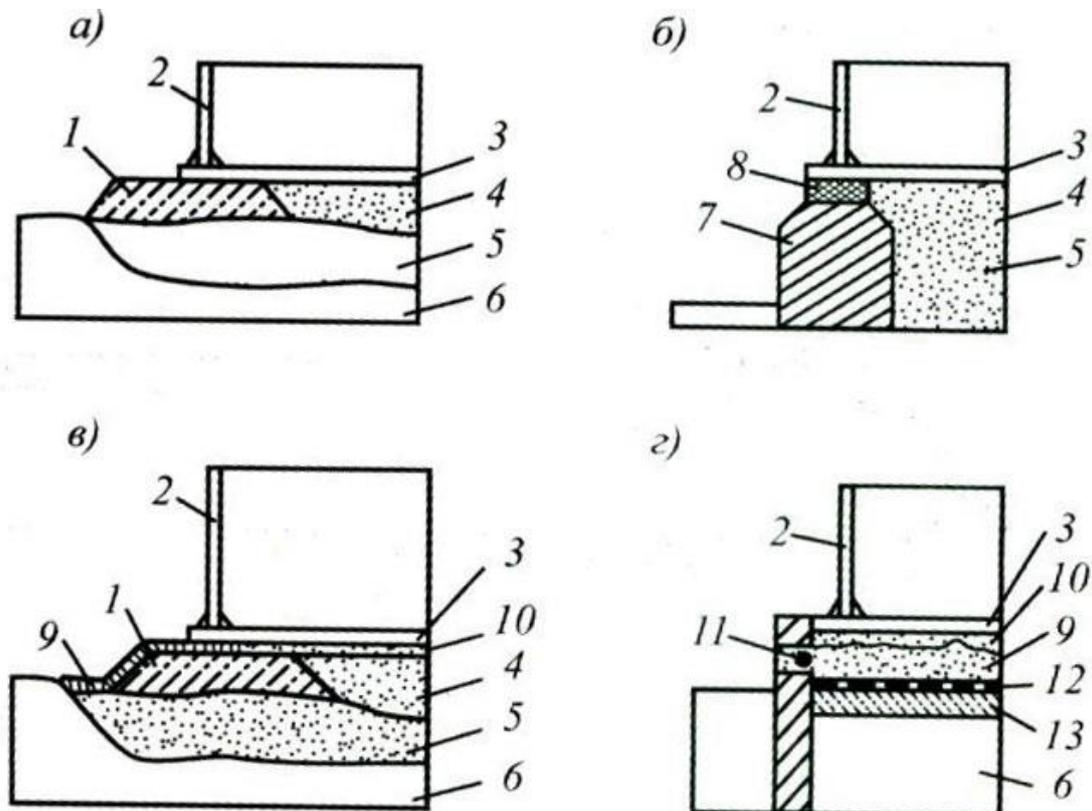


Figure (I.08) : types des fondations [9].

➤ Importance des fondations :

- Les fondations doivent supporter le poids total du réservoir rempli, garantissant qu'il ne s'enfonce pas ou ne se déplace pas.
- Des fondations bien conçues préviennent les accidents dues à l'effondrement ou au basculement du réservoir.
- Une fondation solide prolonge la durée de vie de réservoir en minimisent les mouvements et en évitent les contraintes excessives sur les parois de réservoirs.
- Une fondation stable empêche les déformations qui pourraient causer des fissures et des fuites.

CHAPITRE I : Étude bibliographique

➤ **Type de fondation :**

❖ **Semelle annulaire**

Un anneau de fondation en béton armé (également appelé semelle annulaire) est un type de fondation couramment utilisé pour les réservoirs métalliques de grande capacité, généralement ceux stockant plus de 2 000 m³. Il s'agit d'une structure en béton en forme d'anneau solide qui s'installe sous la base du réservoir pour répartir uniformément son poids sur le sol.

Avantages :

Les anneaux de fondation en béton armé offrent plusieurs avantages pour les réservoirs métalliques, notamment :

- Ils répartissent uniformément le poids du réservoir et des charges du liquide sur le sol, réduisant ainsi le risque de tassement différentiel et de fissuration de la fondation.
- Ils offrent une plus grande stabilité au réservoir, ce qui est particulièrement important dans les régions sujettes aux vents forts ou aux tremblements de terre.
- Le béton armé est un matériau durable qui peut résister à des conditions environnementales difficiles.
- La construction d'un anneau de fondation en béton armé est relativement simple par rapport à d'autres types de fondations.

Inconvénients :

Les anneaux de fondation en béton armé présentent également quelques inconvénients, notamment :

Les anneaux de fondation en béton armé présentent également quelques inconvénients, notamment :

- Ils occupent plus d'espace au sol que d'autres types de fondations.

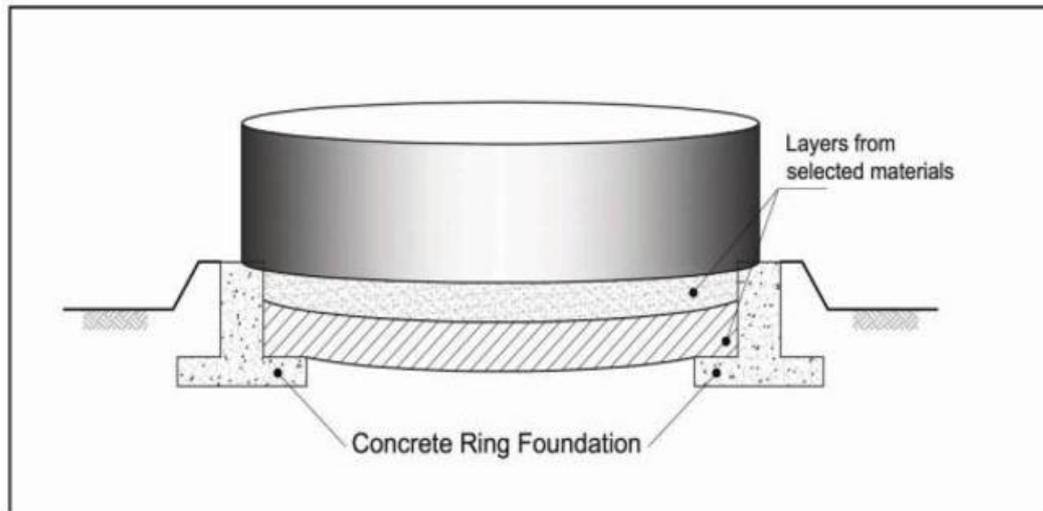


Figure (I.09) : semelle annulaire [14].

❖ Une fondation en galette compactée :

Est une variante de la fondation en galette traditionnelle, spécifiquement conçue pour offrir une résistance accrue aux charges et aux mouvements du sol. Elle est particulièrement adaptée aux réservoirs de stockage en charpente métallique, notamment ceux qui contiennent des liquides lourds ou qui sont soumis à des contraintes importantes.

Avantages :

- La fondation en galette compactée offre une stabilité remarquable, même en cas de sol meuble ou de charges importantes.
- Grâce à la compaction du sol, la fondation est moins susceptible de se déformer au fil du temps.
- Cette solution peut être mise en œuvre sur une grande variété de sols, à condition d'adapter le type de matériau de remblai et les paramètres de compactage.

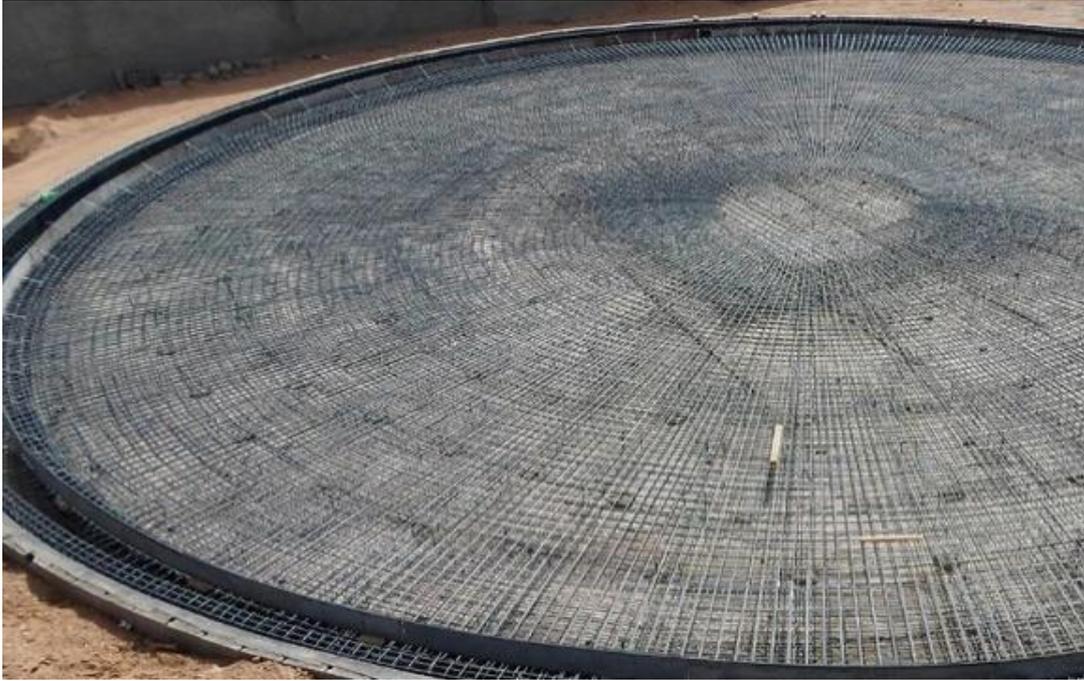


Figure (I.10) : Une fondation en galette compactée [10].

❖ Une fondation sur pieux :

Une fondation sur pieux, également connue sous le nom de fondation sur pilotis ou semelle sur pieux, est un type de fondation couramment utilisé pour les réservoirs métalliques de grande capacité, généralement ceux stockant plus de 2 000 m³, ou pour les réservoirs installés sur des sols de mauvaise qualité. Elle consiste à installer des pieux profonds dans le sol pour supporter le poids du réservoir et répartir les charges uniformément dans les couches porteuses du sol.

Types de pieux :

Il existe différents types de pieux couramment utilisés pour les fondations de réservoirs métalliques, notamment :

- **Pieux en béton armé :** Ce sont les pieux les plus courants, fabriqués à partir de béton et d'armatures en acier. Ils offrent une résistance élevée à la compression et à la flexion.

CHAPITRE I : Étude bibliographique

- **Pieux en acier** : Ces pieux sont fabriqués à partir de tubes en acier et peuvent être installés par enfoncement ou par vibration. Ils offrent une résistance élevée à la traction et à la compression.
- **Pieux en bois** : Ces pieux sont fabriqués à partir de troncs d'arbres et peuvent être utilisés dans des sols où les autres types de pieux ne sont pas appropriés. Cependant, ils ont une durabilité limitée et sont sensibles à la dégradation par l'eau et les insectes.

Avantages : Les fondations sur pieux offrent plusieurs avantages pour les réservoirs métalliques, notamment :

- Elles peuvent supporter des charges importantes, ce qui les rend idéales pour les réservoirs de grande capacité.
- Elles peuvent être utilisées sur des sols de mauvaise qualité, tels que les sols sablonneux ou argileux, ou sur des sites en pente.
- Elles réduisent le risque de tassement différentiel, ce qui peut entraîner des fissures dans la structure du réservoir.

Inconvénients : Les fondations sur pieux présentent également quelques inconvénients, notamment :

- Elles peuvent être plus coûteuses à construire que d'autres types de fondations, telles que les fondations en terre compactée ou les fondations en dalle.
- Le temps de construction peut être plus long que pour d'autres types de fondations en raison du temps nécessaire à l'installation des pieux.
- La construction nécessite un équipement spécialisé, tel que des marteaux de battage ou des foreuses

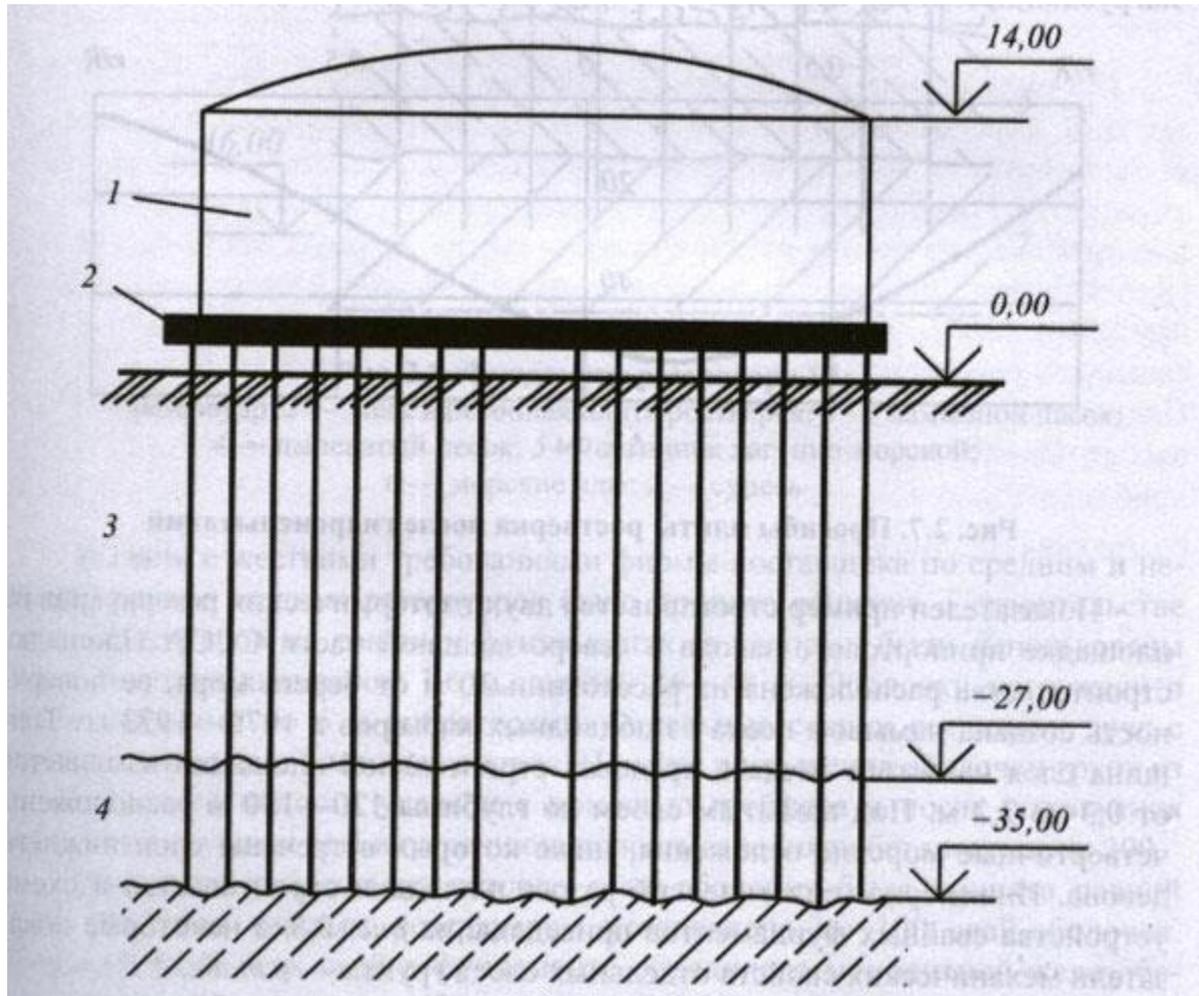


Figure (I.11) : Une fondation sur pieux [11].

I.4 Méthode de montage les réservoirs sur le site :

- Comparaison entre la méthode traditionnelle et la méthode de levage dans l'assemblage de réservoirs métalliques :

Lors de l'assemblage de réservoirs métalliques sur site, deux méthodes principales s'offrent à vous : la méthode traditionnelle et la méthode par levage. Chacune présente des avantages et des inconvénients distincts à prendre en compte lors du choix de la technique la plus adaptée à votre projet.

➤ Méthode traditionnelle :

- **Principe :** Le montage du réservoir se fait à partir du bas vers le haut. Les tôles du fond sont assemblées en premier, suivies de l'érection progressive des parois verticales par sections ou anneaux, fixées par soudage ou boulonnage.
- **Avantages :**
 - Méthode bien établie et fiable avec un historique solide.
 - Peut convenir à une large gamme de tailles et de formes de réservoirs.
 - Peut-être plus rentable pour les réservoirs de petite et moyenne taille en raison d'un besoin moins important d'équipements spécialisés.
- **Inconvénients :**
 - Nécessite l'utilisation d'échafaudages, ce qui augmente les risques de chutes pour les travailleurs.
 - L'ajout progressif de sections et l'utilisation d'échafaudages peuvent ralentir le processus d'assemblage.
 - Plus la cuve est haute, plus l'échafaudage devient complexe et coûteux à installer et à déplacer.



Figure (I.12) : la méthode traditionnelle de montage [12].

➤ **Méthode par levage :**

- **Principe :** Le réservoir est assemblé par le haut vers le bas. Le toit et les sections supérieures des parois sont construits en premier au sol. Ensuite, un système de vérins hydrauliques soulève progressivement l'ensemble du réservoir au fur et à mesure que les sections inférieures des parois sont assemblées et soudées.
- **Avantages :**
 - Pas besoin d'échafaudages, ce qui réduit considérablement les risques de chutes.
 - Le processus de levage et d'assemblage peut être plus rapide que la méthode traditionnelle.
 - Les soudeurs peuvent travailler plus facilement sur les joints inférieurs à mesure que le réservoir est soulevé.
- **Inconvénients :**
 - Nécessite un système de vérins hydrauliques et une planification plus poussée.

CHAPITRE I : Étude bibliographique

- Peut ne pas convenir aux réservoirs de très grande taille ou de forme complexe en raison des contraintes de poids et de stabilité pendant le levage.

Choix de la méthode la plus adaptée :

Le choix entre la méthode traditionnelle et la méthode par levage dépend de plusieurs facteurs clés de votre projet :

- Pour les réservoirs plus grands et plus complexes, le levage peut être plus difficile à mettre en œuvre.
- Si le budget est serré, la méthode traditionnelle peut être plus attrayante pour les réservoirs de petite et moyenne taille.
- Si la sécurité est une priorité absolue, le levage offre un avantage significatif en éliminant le recours aux échafaudages.
- Si un délai d'exécution rapide est essentiel, le levage peut permettre un gain de temps par rapport à la méthode traditionnelle.



Figure (I.13) : méthode de levage [13].

I.5 Le soudage :

Le soudage est un élément essentiel de la construction des réservoirs de stockage en charpente métallique. Il permet d'assembler les différentes pièces du réservoir et de créer une structure étanche et résistante. Le choix du type de soudure, des paramètres de soudage et des soudeurs est crucial pour garantir la qualité et la sécurité du réservoir.

➤ **Voici les étapes clés du soudage dans les réservoirs de stockage en charpente métallique :**

- **Préparation des tôles :**

Avant de commencer le soudage, les tôles doivent être découpées à la dimension et à la forme requises. Les bords des tôles doivent être propres et exempts de défauts, tels que des fissures ou des criques.

- **Choix du type de soudure :**

Le type de soudure à utiliser dépend de plusieurs facteurs, tels que le matériau des tôles, l'épaisseur du métal, la dimension et la forme du joint à souder, et le type de fluide stocké dans le réservoir. Les types de soudure les plus courants pour les réservoirs de stockage sont le soudage à l'arc électrique manuel (SMAW), le soudage sous gaz inerte (MIG/MAG), le soudage TIG (GTAW) et le soudage par friction-malaxage (FSW).

- **Choix des paramètres de soudage :**

Les paramètres de soudage, tels que l'intensité du courant, la tension et la vitesse de soudage, doivent être adaptés au type de soudure choisi, au matériau des tôles et à l'épaisseur du métal. Des paramètres de soudage incorrects peuvent entraîner des défauts de soudure, tels que des porosités, des fissures ou des inclusions de laitier.

- **Réalisation du soudage :**

Le soudage doit être effectué par un soudeur qualifié et certifié. Le soudeur doit suivre les procédures de soudage établies et utiliser un équipement de soudage en bon état.

CHAPITRE I : Étude bibliographique

- **Contrôles et tests :**

Une fois le soudage terminé, le réservoir doit être inspecté et testé pour s'assurer qu'il est étanche et qu'il n'y a pas de défauts de soudure. Les contrôles peuvent être visuels, radiographiques ou par ultrasons.

➤ **Type de soudage :**

Joints bout à bout : Ce type de joint est utilisé pour assembler deux tôles d'épaisseur égale en bout à bout. Il est considéré comme le joint le plus solide et le plus étanche.



Figure (I.14) : joint bout à bout en V et en U simple [1].

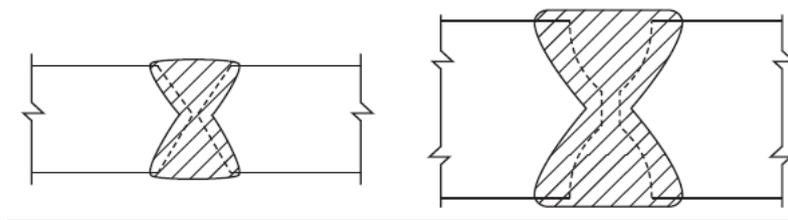


Figure (I.15) : joint bout à bout en V et en U en double [1].



Figure (I.16) : joint bout à bout à rainure carrée [1].

Joints d'angle :

Ce type de joint est utilisé pour assembler deux tôles à angle droit. Il est moins solide que le joint bout à bout, mais il est plus facile à réaliser.

Joints de recouvrement :

Ce type de joint est utilisé pour assembler deux tôles en les superposant. Il est moins solide que les joints bout à bout et d'angle, mais il est plus facile à inspecter.

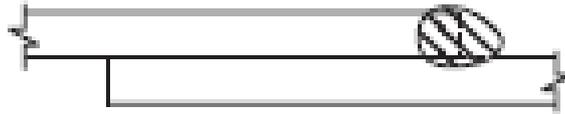


Figure (I.17) : joint à recouvrement [1].

Conclusion :

Les réservoirs de stockage, piliers de l'industrie chimique, évoluent vers des solutions plus durables et intelligentes. Les matériaux composites, plus légers et résistants à la corrosion, sont de plus en plus utilisés. Par ailleurs, l'intégration de capteurs et de systèmes de surveillance permet une maintenance prédictive et une optimisation des opérations. Face aux enjeux environnementaux et à la nécessité de réduire l'empreinte carbone, les réservoirs de stockage du futur devront être conçus pour minimiser les fuites, les émissions et la consommation énergétique.

CHAPITRE II : Présentation et prédimensionnement de l'ouvrage.

II. Présentation et prédimensionnement de l'ouvrage

II.1 Présentation de l'ouvrage :

Ce mémoire comprend l'étude et la conception d'un réservoir métallique destiné à stocker de l'huile de soja. Cette étude consiste à la conception et au dimensionnement d'un réservoir de capacité 2500 m³, Étant donné que cette étude devrait se faire selon les règles de l'art, les calculs sont faits suivant les règlements et normes reconnus sur le plan international à savoir : API 650, EUROCODES, RPA 99 (2003), DTR neige&vent, CODRESE. Une fois le dimensionnement effectué, nous effectuons une comparaison entre les deux codes (API650 et RPA) dans le calcul sismique. En dernier nous avons modélisé la structure sur le logiciel (AMEtank) pour prendre en compte tous les paramètres et combinaisons de charges.

- **Caractéristiques géométriques :**

Notre structure a une forme circulaire caractérisée par les dimensions suivantes :

La hauteur de la robe 14.5 m.

Hauteur du toit 2.12 m

Hauteur total 16.62 m

Hauteur de liquide 13.6 m.

Le diamètre extérieur 15.3 m.

Le diamètre intérieur 15.28 m.

Le rayon 7.62 m.

- **Localisation du projet :**

Notre projet est situé à la Wilaya de Mascara commune de EL Mohammadia qui est classée par RPA99(version 2003) comme zone de IIa.

CHAPITRE II : Présentation et prédimensionnement de l'ouvrage.

- **Etude climatique :**

Est classée selon le RNV2013 Comme zone B de la neige et en zone III du vent.



Figure (II.01) : localisation du projet.

II.2 Dimensionnement d'un réservoir :

- **Introduction :**

Le dimensionnement d'un réservoir Est une étape cruciale dans la conception et l'ingénierie de système de stockage pour divers liquides et gaz. Ce processus vise à déterminer les dimensions optimates et les spécifications techniques nécessaires pour répondre aux besoins spécifiques de stockage, tout en garantissant sécurité, efficacité et durabilité. Plusieurs facteurs clés doivent être pris en compte, notamment la capacité de stockage requise, les caractéristiques physiques et chimiques du fluide à stocker, les conditions environnementales, ainsi que les contraintes réglementaires et normatives.

- **Normes et Règlements :**

Le dimensionnement de notre réservoir est réalisé en se basant sur trois règlements différents : l'API 650, l'EUROCODE 3 et le CODRESE, pour les réservoirs de stockage en acier soudé. Ces normes garantissent que les réservoirs sont conçus et construits de manière sécurisée et fiable, en prenant en compte les contraintes mécaniques et les risques potentiels.

CHAPITRE II : Présentation et prédimensionnement de l'ouvrage.

- **Calculer le nombre des viroles :**

Le périmètre de réservoir :

$$A = \pi * D = \pi * 15,3 = 48,07m$$

On aura 8 viroles horizontales de largeur de 6m.

Pour le nombre des viroles verticales c'est 7 viroles de hauteur de 2m plus une virole de hauteur de 0,5m au sommet de réservoir.

- **Les caractéristiques de la virole :**

- La longueur : 6m.
- La largeur : 2m.
- Le matériau : acier S275

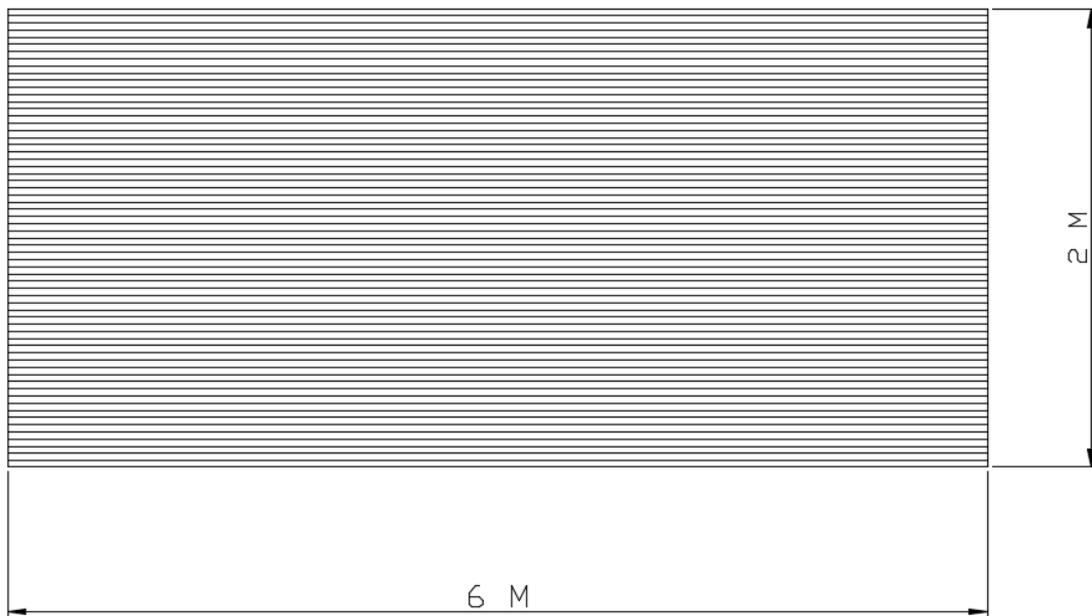


Figure (II.02) : dimensions de la virole.

CHAPITRE II : Présentation et prédimensionnement de l'ouvrage.

II.2.1 Principe de dimensionnement les éléments de réservoir :

➤ Selon API 650 :

- Calcule l'épaisseur de la robe : <ONE FOOT METHOD 5.6.3>

La méthode One Foot Method est une façon simplifiée de calculer l'épaisseur d'un réservoir. Elle est pratique pour des estimations rapides mais donne une valeur approximative.

$$td = \frac{4,9D(He - 0,3)G}{Sd} + CA \dots \dots \dots (II. 1)$$

$$tt = \frac{4,9D(H - 0,3)}{St} \dots \dots \dots (II. 2)$$

Ht (m)	14,5		
He (m)	13,6		
Diamètre (m)	15,3		
G (la densité)	0,915		
CA (surépaisseur) (mm)	1		
fy (MPa)	275		
fu (MPa)	410		
Sd1	183,3333	Sd (MPa)	164
Sd2	164		
St1	206,25	St (MPa)	175,7143
St2	175,7143		

-h' : Hauteur de la paroi par apport à la base de virole considéré (m).

-h'' : Hauteur de liquide par apport à la base de virole considéré (m).

CHAPITRE II : Présentation et prédimensionnement de l'ouvrage.

Hauteur de virol (m)	h'	h''	td(mm)	tt(mm)	t(mm)
2	14,5	13,6	6,563094	6,058551	8
2	12,5	11,6	5,726539	5,205234	8
2	10,5	9,6	4,889983	4,351917	8
2	8,5	7,6	4,053428	3,4986	8
2	6,5	5,6	3,216872	2,645283	8
2	4,5	3,6	2,380317	1,791966	6
2	2,5	1,6	1,543761	0,938649	6
0,5	0,5	-0,4	0,707206	0,085332	6

Tableau (II.01) : Résultat des épaisseurs des viroles selon API650.

- **Calcul de l'épaisseur de fond :**

- **Centrale :**

Selon l'article §5.4.1 de l'API650, l'épaisseur minimal de la tôle du fond égale à 6mm, alors l'épaisseur utiliser c'est :

$$6 + CA = 7mm$$

En prend alors pour le fond épaisseur de 8mm.

- **Tôle annulaire de fond (tôle marginale) 5.5.2 API 650 :**

$$B = \frac{215tb}{(HG)^{0,5}} > 600mm \dots \dots \dots (II. 3)$$

$$Sd = 164 MPa; St = 175,7143 MPa$$

$$St > Sd$$

Pour St=175,7143 MPa ; l'épaisseur des tôles de 1ère virole de la robe sans surépaisseur de corrosion pour l'état de service de réservoir égale à 8mm.

Donc à partir du tableau 5.1a API 650.

CHAPITRE II : Présentation et prédimensionnement de l'ouvrage.

$$t = 8\text{mm} < 19\text{mm} \text{ et } St = 175,7143 \text{ MPa} < 190 \text{ MPa};$$

Donc : $t_b = 8\text{mm}$.

$$\text{Alors : } B = \frac{215tb}{(HG)^{0,5}} \dots \dots \dots (II.4)$$

$$B = \frac{215 \cdot 8}{(13,6 \cdot 0,915)^{0,5}} = 487\text{mm} < 600\text{mm}.$$

En prend alors $B=600\text{mm}$.

Selon l'article 5.4.2 de API650 une largeur d'au moins 50 mm à l'extérieur de la robe soit suffisant.

La largeur de la tôle annulaire égale à :

$$L=600+8+50=658\text{mm} \text{ en prend } L=660\text{mm}.$$

➤ L'EUROCODE 3 :

- La robe :

La contrainte circonférentielle, symbolisée par σ_θ , est la force qui résiste à la pression hydrostatique.

$$\sigma_\theta = \frac{Pr}{t} \leq Fy.d \dots \dots \dots (II.5)$$

$$t \geq \frac{PR}{Fy.d} \dots \dots \dots (II.6)$$

Avec :

$$P = \gamma_f * \rho * G(Ht - 0,3) + P_0 \dots \dots \dots (II.7)$$

Remarque :

Le règlement préconise les épaisseurs minimales suivants :

- $t > 6\text{mm}$ si $D < 33\text{m}$

- $t > 8\text{mm}$ si $33\text{m} \leq D \leq 60$

- $t > 10\text{mm}$ si $D \geq 60\text{m}$

Dans notre cas $D = 15,3\text{m}$ donc en prend $t_{\min} > 6\text{mm}$

CHAPITRE II : Présentation et prédimensionnement de l'ouvrage.

P0(Kpa)(pression interne)	0
γ_f	1,2
ρ (Kg/m ³)	915
g (m/s ²)	9,81
f_y (Kpa)	275000
R (Rayon) (m)	7,65
Ht (m)	14,5
CA (surépaisseur) (mm)	1

Hauteur de virole (m)	h'	Tcal (mm)	T(mm)
2	14,5	5,68038	8
2	12,5	5,021172	8
2	10,5	4,361963	8
2	8,5	3,702755	8
2	6,5	3,043546	8
2	4,5	2,384338	6
2	2,5	1,725129	6
0,5	0,5	1,065921	6

Tableau (II.02) : Résultat des épaisseurs des viroles selon EURCODE 3.

- **Le fond :**

- **Le fond central :**

Épaisseur minimal par l'acier carbone est 6mm, la surépaisseur de corrosion est 2mm.

En prend alors l'épaisseur du fond centrale égale à 8mm.

- **La plaque annulaire :**

On a :

$$D = 15,3m > 12,5m$$

$$t_a = \frac{T_{sc}}{3} + 3 = 5,67mm \dots \dots \dots (II.8)$$

CHAPITRE II : Présentation et prédimensionnement de l'ouvrage.

- **Le fond : (C 2.1.)**

- **Le fond central :**

L'épaisseur nominale minimale des tôles de fond ne doit pas être inférieure à 6mm (C2.2)

$$E = 6 + 2 = 8mm.$$

- **Les tôles annulaires :**

$$Ea \geq \max \left(3 + \frac{E1}{3} + 3 ; 6mm \right).$$

-E1 : épaisseur de la virole de basse = 8mm.

$$Ea \Rightarrow \max (5,67mm ; 6mm)$$

$$Ea = 6mm + 2mm = 8mm.$$

. La : largeur minimale de la tôle annulaire égal à :

$$\max \left(\frac{240}{\sqrt{H}} Ea ; 500mm \right).$$

$$La = \max (505mm ; 500mm).$$

$$La = 505mm$$

- **La toiture :**

Dans notre cas on a une toiture de type parapluie ou dôme, le dimensionnement de la tôle de toit il suffit juste de prendre une épaisseur supérieure a une valeur minimale dans les calculs précédents.

$$emin = 6mm.$$

$$et = 8mm.$$

- **La poutre au vent (au sommet de la robe) :**

Selon API650 V2013 §5.9.6.1 le calcul se fait à partir de cette formule :

$$Z = \frac{D^2 * H}{17} * \left(\frac{V}{190} \right)^2 \dots \dots \dots (II. 11)$$

-Z : le module de section minimum requis, en cm³ ;

CHAPITRE III : Etude climatique.

III. Etude climatique

- **Introduction :**

Etude climatique dans un réservoir métallique est une évaluation des charges imposées par le vent et la neige sur la structure du réservoir. Cette analyse vise à déterminer les forces externes générées par les conditions météorologiques, telles que les vents forts et la charge de neige accumulée, et à évaluer comment ces forces peuvent affecter la stabilité et la sécurité du réservoir métallique.

Pour notre cas, ces efforts sont calculés par les règlements en vigueur à savoir, Algérien RNV2013.

- **Effet de la région :**

Le réservoir est situé à wilaya de Mascara commune de Mohammadia qu'est classé, selon RNV V2013, comme zone III du vent et en zone B de la neige.

III.1 Etude du vent selon RNV partie II :

Les réservoirs métalliques, en particulier les réservoirs en acier à paroi mince utilisés pour le stockage des liquides, des gaz ou des matériaux en vrac pendant une période prolongée., sont susceptibles de se déformer sous des charges de vent élevées, en particulier lorsqu'ils sont vides.

Une étude de vent sur un réservoir métallique implique une analyse complète de l'impact du vent sur la structure du réservoir. Cette étude vise à évaluer les forces et pressions exercées par le vent sur le réservoir métallique, en tenant compte de facteurs tels que la vitesse du vent, sa direction et la géométrie du réservoir. Les principaux objectifs d'une étude de vent sur un réservoir métallique comprennent la garantie de l'intégrité structurelle, la prévention des dommages et la conception de systèmes de ventilation efficaces.

➤ **Calcul de la pression (C_{pe}, C_{pi}):**

- **Le coefficient de La pression extérieur C_{pe} : (RNV 2013 §5.1.)**

Le coefficient de pression extérieur fait référence à un paramètre utilisé pour évaluer la force exercée par le vent sur la surface extérieure du réservoir. Ce coefficient est

CHAPITRE III : Etude climatique.

déterminé en fonction de divers facteurs tels que la forme du réservoir, sa hauteur, sa localisation géographique et les conditions météorologiques locales. Il est crucial dans la conception et la construction des réservoirs métalliques pour garantir leur stabilité et leur résistance aux charges extérieures, en permettant aux ingénieurs de dimensionner adéquatement les matériaux et les structures de support pour assurer la sécurité et la durabilité du réservoir.

- **Paroi verticale à base circulaire (5.1.11) :**

Les coefficients C_{pe} du paroi verticale à base circulaire sont donnés par les formules suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{pe} = C_{p0} \text{ pour } 0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{min} \\ C_{pe} = C_{p0} \times \left[\psi\lambda + (1 - \psi\lambda) \times \cos \left(\frac{\pi}{2} \left(\frac{\alpha - \alpha_{min}}{\alpha_A - \alpha_{min}} \right) \right) \right] \text{ pour } \alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_A \dots \dots \dots \text{(III. 1)} \\ C_{pe} = C_{p0} \times \psi\lambda \text{ pour } \alpha_A \leq \alpha \leq 180^\circ \end{array} \right.$$

. C_{p0} : coefficient de pression extérieure pour un élancement fini.

$$C_{p0} = b * \sqrt{q_p}$$

. α_{min} : (en degré) la position de la pression minimale.

. α_A : (en degré) la position du point de découlement de l'écoulement.

. $w\lambda$: le facteur d'élancement. Chapitre 4 (1.2.).

. Q_p : la pression dynamique du point.

. b : diamètre (m)=15,3m.

- **Détermination de la pression dynamique du point $q_p(z)$ pour la toiture et le parois (2.3.) :**

La pression dynamique de point à la hauteur de référence Z est donnée par :

$$Q_p = q_{réf} * C_e(z).$$

D'après le tableau 2.3 RNV2019 on peut déterminer le coefficient d'exposition au vent :

CHAPITRE III : Etude climatique.

Zone	$q_{réf}$ (N/m ²)
I	375
II	435
III	500
IV	575

Figure (III.01) : les valeurs de la pression dynamique de référence.

$C_e(z)$: coefficient d'exposition au vent.

$q_{réf}=500$ N/m².....tableau 2.2.

Z : la hauteur considérer.

On a $C_t(z)=1$ et catégorie de terrain c'est I.

Dans le cas $C_t(z)=1$ le coefficient d'exposition au vent est donner par le tableau 2.3 selon RNV partie II.

Par interpolation entre $z=10m$, $z=15m$ pour le paroi vertical et entre $z=15m$, $z=20m$ pour la toiture on trouve le C_e et le Q_p :

	z	$C_e(z)$	$Q_{réf}$ (kN/m ²)	Q_p (kN/m ²)
Parois	14,5	3,0001	0,5	1,5001
Toiture	16,65	3,084	0,5	1,542

Tableau (III.01) : les résultats de Q_p pour le paroi et la toiture.

$$C_{p0}=b*\sqrt{q_p} = 18,74$$

$b * \sqrt{q_p}$	α_{min}	α_A
6,5	85	135
26	80	120
130	75	105

Tableau (III.02) : les valeurs de α_{min} , α_A pour différent valeur de $b * \sqrt{q_p}$.

Par l'interpolation entre la valeur de 6,5 et 26 en peut trouver le α_{min} et α_A

$b*\sqrt{q_p}$	α_{min}	α_A
18,74	81,86	125,6

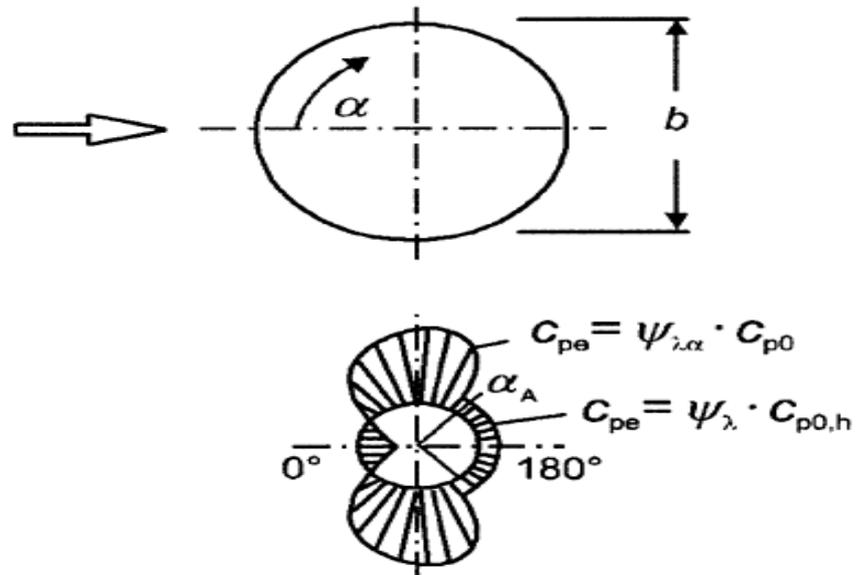


Figure (III.02) : variation de Cpe autour de la robe.

Les coefficients de pression extérieure pour l'élanement fini C_{p0} pour $b * \sqrt{qp} = 18,74$ sont calculer par l'interpolation :

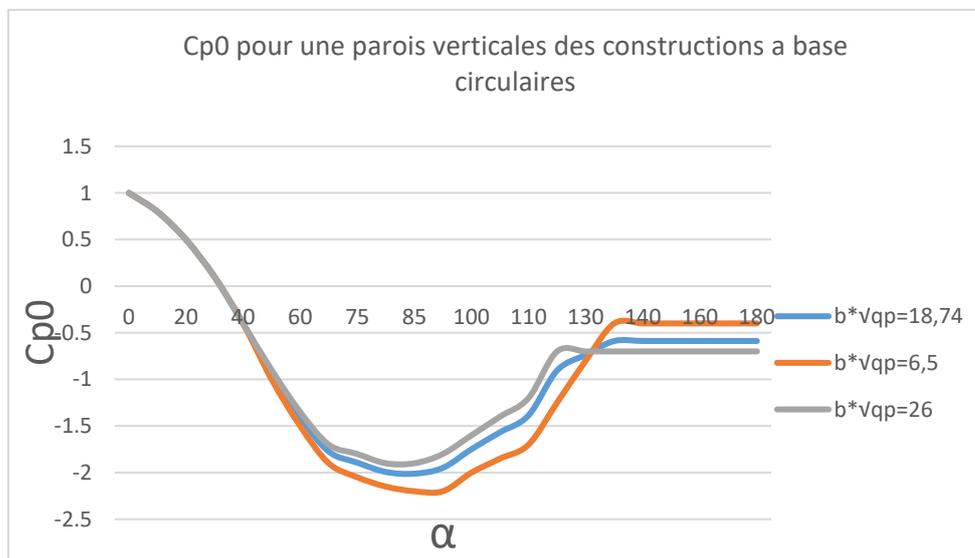


Figure (III.03) : Cp0 pour une paroi verticale des constructions a base circulaire

CHAPITRE III : Etude climatique.

Angle a°	$b*\sqrt{qp}=6,5$	$b*\sqrt{qp}=18,74$	$b*\sqrt{qp}=26$
0	1	1	1
10	0,8	0,8	0,8
20	0,5	0,5	0,5
30	0,1	0,1	0,1
40	-0,4	-0,4	-0,4
50	-1	-0,94	-0,9
60	-1,5	-1,405	-1,35
70	-1,9	-1,774	-1,7
75	-2,05	-1,893	-1,8
80	-2,15	-1,993	-1,9
85	-2,2	-2,011	-1,9
90	-2,2	-1,948	-1,8
100	-2	-1,748	-1,6
105	-1,85	-1,567	-1,4
110	-1,7	-1,386	-1,2
120	-1,25	-0,904	-0,7
130	-0,8	-0,737	-0,7
135	-0,4	-0,588	-0,7
140	-0,4	-0,588	-0,7
150	-0,4	-0,588	-0,7
160	-0,4	-0,588	-0,7
170	-0,4	-0,588	-0,7
180	-0,4	-0,588	-0,7

Tableau (III.03) : les résultats de Cp0 avec défient angle.

CHAPITRE III : Etude climatique.

- **Calcul le facteur d'élanement : (4.1.1.)**

Le facteur d'élanement W_y est donné par la figure 4.1 en fonction de l'élanement effectif λ_e (4.1.2.) Et pour les différents coefficients de remplissage ϕ .

Pour une structure fermée $\phi=1$.

- **Élanement effectif λ_e (4.1.2) :**

Les formules donnant de l'élanement effectif sont présentées par le tableau 4.1 de RNV 2013 :

$b=15,3$; $L=14,5$

$$\lambda_e = \min\left(\frac{l}{b}; 70\right) = 0,95$$

On détermine le facteur de l'élanement par la figure 4.1. de RNV 2013 :

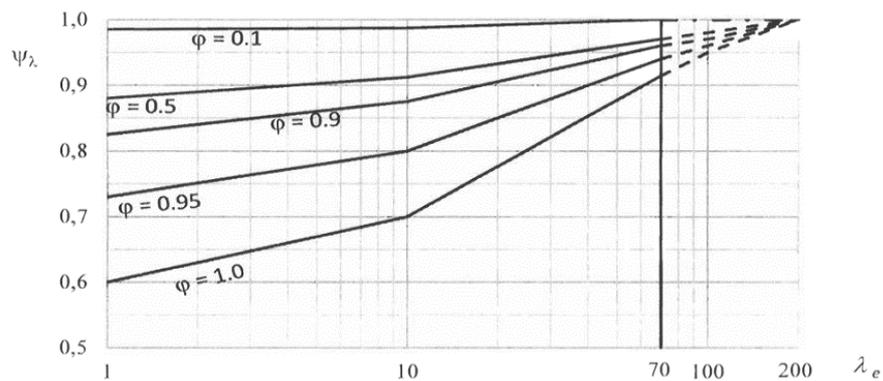


Figure (III.04) : facteur de l'élanement W_λ .

Alors on trouve $W_\lambda=0,61$

CHAPITRE III : Etude climatique.

- Les valeurs du coefficient de pression extérieure C_{pe} est donné dans le tableau suivant :

Angle a°	$b*\sqrt{q_p}=18,74$	C_{pe}
0	1	1
10	0,8	0,8
20	0,5	0,5
30	0,1	0,1
40	-0,4	-0,4
50	-0,937	-0,937
60	-1,405	-1,405
70	-1,774	-1,774
75	-1,893	-1,893
80	-1,993	-1,993
85	-2,011	-2,006
90	-1,948	-1,915
100	-1,748	-1,605
105	-1,567	-1,363
110	-1,386	-1,126
120	-0,904	-0,615
130	-0,737	-0,442
135	-0,588	-0,352
140	-0,588	-0,352
150	-0,588	-0,352
160	-0,588	-0,352
170	-0,588	-0,352
180	-0,588	-0,352

Tableau (III.04) : les résultats de C_{pe} pour la paroi vertical.

CHAPITRE III : Etude climatique.

- **Toiture en dôme à base circulaire (§5.1.12) :**

Pour assurer la sécurité et la stabilité de la toiture, il est important de la diviser en sections, comme le montre la figure 5.12.

Les valeurs des pression C_{pe} exercées sur la toiture sont données dans la figure 5.13 pour nous aider à mieux comprendre la manière dont elles agissent.

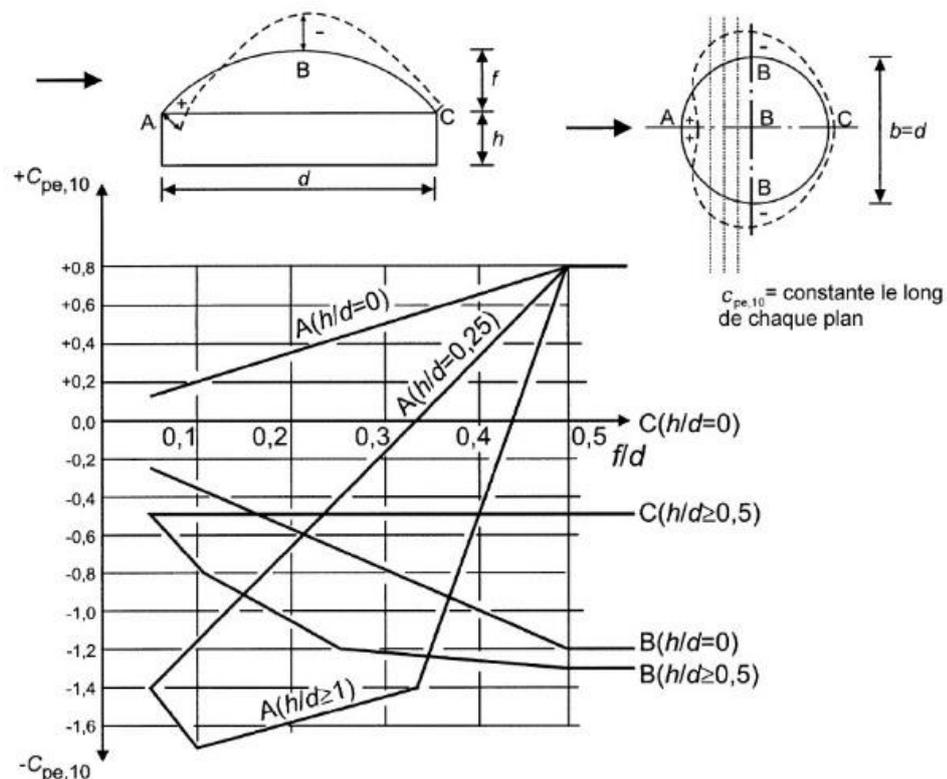


Figure (III.05) : coefficients C_{pe} pour toiture en dôme à base circulaire.

Pour trouver le C_{pe} il faut d'abord calculer les formules suivantes :

$$h/d ; f/d \text{ Avec : } H = 14,5m ; d = 15,3m ; f = 2,12m$$

$$.h/d = 14,5/15,3 = 0,947 \geq 0,5$$

$$.f/d = 2,12/15,3 = 0,14$$

CHAPITRE III : Etude climatique.

- **Coefficient de pression extérieur de la toiture :**

	Cpe
A	-1,6
B	-0,85
C	-0,5

Tableau (III.05) : les résultats de Cpe pour la toiture.

- **Le coefficient de La pression intérieur Cpi : (§5.2.)**

Le coefficient de pression intérieur dans le contexte des réservoirs métalliques fait référence à un paramètre utilisé pour évaluer la force exercée par le contenu du réservoir sur ses parois internes. Lorsque le réservoir est rempli, le liquide ou le gaz qu'il contient exerce une pression sur les parois internes du réservoir. Ce coefficient est déterminé en fonction de divers facteurs tels que le niveau de remplissage du réservoir, la densité du contenu, la température et d'autres conditions de fonctionnement. Il est essentiel dans la conception des réservoirs métalliques pour garantir que les parois internes du réservoir et les structures de support sont dimensionnées de manière adéquate pour résister à la pression exercée par le contenu, assurant ainsi la sécurité et la fiabilité du réservoir.

Le coefficient de pression intérieure pour les réservoirs ventilés par des ouvertures de petites dimensions est fixé à 0,4. (5.2.2.5).

- **Calculer la pression du vent sur le paroi vertical et la toiture (W(z)) :**

La pression est calculée par la formule suivant :

$$W(z) = qp * (Cpe - Cpi) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

CHAPITRE III : Etude climatique.

- **Le paroi vertical :**

Angle α°	C _{pe}	C _{pi}	W(z) (KPa)
0	1	0,4	0,9
10	0,8	0,4	0,6
20	0,5	0,4	0,15
30	0,1	0,4	-0,45
40	-0,4	0,4	-1,2
50	-0,937	0,4	-2,005
60	-1,405	0,4	-2,708
70	-1,774	0,4	-3,261
75	-1,893	0,4	-3,439
80	-1,993	0,4	-3,589
85	-2,006	0,4	-3,61
90	-1,915	0,4	-3,473
100	-1,605	0,4	-3,008
105	-1,363	0,4	-2,644
110	-1,126	0,4	-2,289
120	-0,615	0,4	-1,522
130	-0,442	0,4	-1,263
135	-0,352	0,4	-1,129
140	-0,352	0,4	-1,129
150	-0,352	0,4	-1,129
160	-0,352	0,4	-1,129
170	-0,352	0,4	-1,129
180	-0,352	0,4	-1,129

Tableau (III.06) : les résultats de W(z) pour le paroi vertical.

- **La toiture :**

	Qp (KPa)	Cpe	Cpi	Cpe-Cpi	W(z) (KPa)
A	1,542	-1,6	0,4	-2	-3,084
B	1,542	-0,85	0,4	-1,25	-1,9275
C	1,542	-0,5	0,4	-0,9	-1,3878

Tableau (III.07) : les résultats de W(z) pour la toiture.

III.2 Etude de la neige selon RNV partie I :

L'étude de neige consiste à évaluer la charge de neige qui peut s'accumuler sur la structure du réservoir pendant les périodes de chute de neige. Cela inclut la détermination des conditions météorologiques locales et la prise en compte des caractéristiques de la neige, telles que sa densité et sa capacité à s'accumuler. Ces informations sont utilisées pour calculer la charge maximale de neige que la structure du réservoir doit supporter sans compromettre sa sécurité et sa stabilité.

Selon RNV §3.1.1, La charge caractéristique de neige S par unité surface en projection horizontale de toiture ou de toute autre surface soumise à l'accumulation de la neige s'obtient par la formule suivante :

$$S = \mu * Sk \quad kN/m^2$$

Avec :

-Sk : en kN/m² est la charge de neige sur le sol, donnée au §4 en fonction de l'altitude et de la zone de neige.

-μ : est un coefficient d'ajustement des charges, fonction de forme de la toiture, appelé coefficient de forme et donné au §6.

- **La charge sur le sol :**

Notre réservoir est dans la zone B de neige d'après RNV V2013.

$$Sk = \frac{0,04H + 10}{100} \quad kN/m^2$$

H= 55m.

CHAPITRE III : Etude climatique.

$$Sk = 0,122 \text{ kN/m}^2.$$

- **Le coefficient d'ajustement :**

Selon RNV V2013 §6.3 pour une toiture cylindrique :

- Pour $\beta \leq 60^\circ$ $\mu_1=0,8$
 $\mu_3=0,2+10(h/b)$ avec
Limitation $\mu_3 \leq 2$.

- Pour $\beta > 60^\circ$ $\mu_1=\mu_3=0$

$\beta=15,34 < 60^\circ$ donc : $\mu_1=0,8$

$\mu_3=1,52 \leq 2$

Calcule S alors : $S_1 = \mu_1 * Sk = 0,0976 \text{ kN/m}^2$

$S_2 = \mu_3 * Sk = 0,193 \text{ kN/m}^2$

$$S = 0,193 \text{ kN/m}^2$$

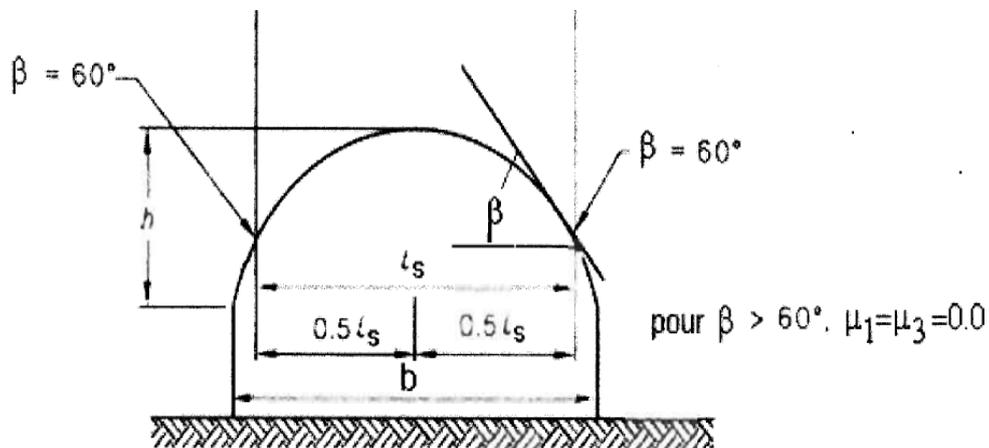


Figure (III.06) : coefficient de forme-toiture cylindrique.

III.3 Vérification le moment de renversement :

Selon API650 §5.11.2 ; Les réservoirs non ancrés doivent satisfaire à tous les critères de soulèvement suivant :

$$0,6Mw + Mpi \leq \frac{Mdl}{1,5}$$

$$M_w + F_p * M_{pi} \leq \frac{M_{dl} + M_f}{2}$$

$$M_{ws} + F_p * M_{pi} \leq \frac{M_{dl}}{1,5}$$

Avec :

$F_p=0,4$; le facteur de combinaison ;

M_w : moment de renversement en bas dû à la pression du vent ;

M_{pi} : moment au fond de la robe dû à la pression intérieure =0kN.m ;

M_{dl} : moment au fond de la robe du au poids propre de réservoir ;

M_f : moment au fond de la robe du au poids de liquide ;

- **Calcul le moment du au poids propre de réservoir :**

$$M_{dl} = (P_{robe} + P_{toit}) * R$$

P_{robe} : le poids propre de la robe égale à 428,61kN.

P_{toit} : le poids propre de toiture égale à 175,76kN.

R : le rayon de réservoir égale à 7,65m

$$M_{dl}=(428,61*175,76)*7,65=4623,43\text{kN.m}$$

- **Calcul le moment du au poids de liquide :**

$$M_f = P_l * R$$

$$P_l = \rho * g * H_l * S$$

Avec :

H_l : la hauteur de liquide ;13.63m ;

S : la surface de la base ;183,76m² ;

ρ : le poids volumique de liquide stocké égale à 915kg/m³ ;

g : la pesanteur égale à 9,81 m/s² ;

$$P_l=22432,7\text{kN};$$

CHAPITRE III : Etude climatique.

$$M_f = 22432 ; 7 * 7,65 = 171610,15 \text{ kN.m ;}$$

- **Calcul le moment du au à la pression de vent :**

$$Q_{eq} = K_w * q_w ;$$

$$Q_w = 3,62 \text{ kPa ;}$$

$$K_w = \frac{1}{C_w} \text{ avec : } C_w = \max \left(\frac{2,2}{1 + 0,1 \sqrt{C_b \frac{r}{l} \sqrt{\frac{r}{l}}}} ; 1 \right)$$

En prend le cas le plus défavorable $C_w = 1$

$$Q_{eq} = 3,62 \text{ kPa ;}$$

Calcul du maitre de la robe :

$$A = D * H = 15,3 * 14,5 = 221,85 \text{ m}^2$$

$$Q = Q_{eq} * A = 803,1 \text{ kN ;}$$

$$M_w = Q * \frac{H}{2} = 5822,45 \text{ kN.m}$$

- **Les vérifications :**

$$\begin{aligned} 0,6 * 5822,45 + 0 &= 3493,47 \text{ kN.m} > \frac{4623,43}{1,5} \\ &= 3082,3 \text{ kN.m} \quad \text{n'est pas vérifier} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5822,45 + 0,4 * 0 &= 5822,45 \text{ kN.m} \leq \frac{4623,43 + 171610,15}{2} \\ &= 88116,8 \text{ kN.m} \quad \text{vérifier} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5822,45 + 0,4 * 0 &= 5822,45 \text{ kN.m} > \frac{4623,43}{1,5} \\ &= 3082,3 \text{ kN.m} \quad \text{n'est pas vérifier} \end{aligned}$$

Le réservoir est besoin des ancrages.

CHAPITRE III : Etude climatique.

Conclusion :

L'étude climatique réalisée sur le réservoir métallique a permis de déterminer les charges exercées par le vent et la neige sur la structure. Les calculs effectués selon la norme RNV2013 ont montré que le réservoir est soumis à des efforts importants, notamment en raison de la pression du vent.

Les vérifications de stabilité ont révélé que le réservoir, dans sa configuration actuelle, n'est pas stable sous l'effet des charges de vent et nécessite la mise en place d'un système d'ancrage pour assurer sa sécurité.

Les résultats de cette étude serviront de base pour la conception détaillée des ancrages et pour vérifier la résistance globale de la structure aux actions climatiques

CHAPITRE IV : Dimensionnement des éléments de la toiture.

IV. Dimensionnement des éléments de la toiture

- **Introduction**

La structure de la toiture du réservoir se présente sous la forme d'un dôme ou d'une forme parabolique, où les tôles reposent sur des poutrelles IPE cintrées.

Avec un périmètre total de 48 mètres, nous avons choisi d'adopter 30 espacements, chacun mesurant 1,6 mètre. De plus, dans la rose nous avons installé 15 espacements, distants de 0,45 mètre les uns des autres.

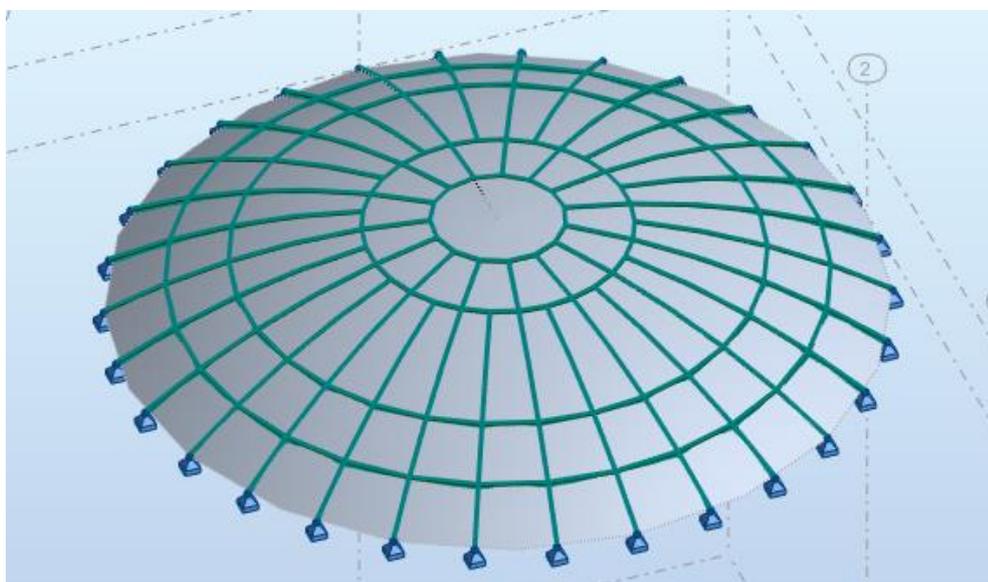


Figure (IV.01) : Vue 3D DE LA TOITURE

- **Poutre cintrée :**

modélisé sur logiciel Autodesk robots

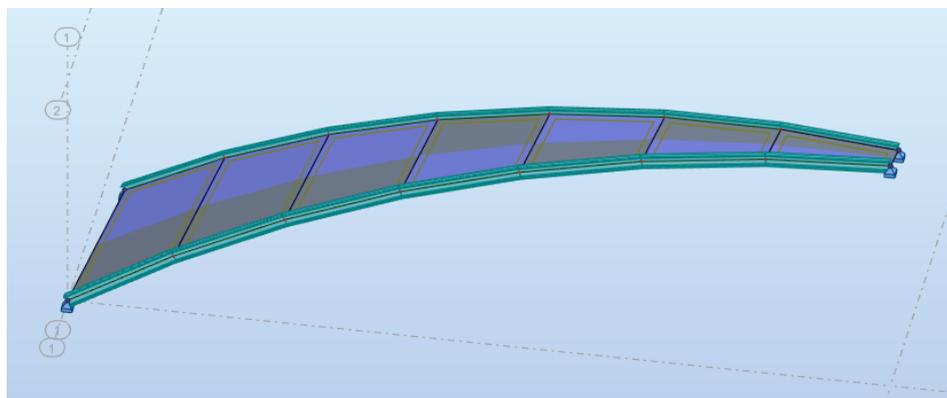


Figure (IV.02) : vue 3D de la poutre cintrée

CHAPITRE IV : Dimensionnement des éléments de la toiture.

Les charges appliquées à la toiture se présentent sous forme de charges surfaciques, désignées par les lettres G, Q, S et W.

G : c'est la charge permanent ;

Q : c'est la charge d'entretien égale à 2,5 kN/m² ;

S : c'est la charge de neige égale à 0,193 kN/m²

W : c'est la charge de soulèvement du vent sur la toiture égale à -3,08 kN/m² .

IV.1 Calcul les charges appliquées sur la toiture :

$$G = (P_t + P_{acc}) * e + 10,3$$

e : espacement entre les deux poutres égale à 1,6m ;

$$P_{tole} = D * e'$$

D : est la densité de matériaux égale à 78,5 kN/m³ ;

e' : épaisseur de la tôle de toiture égale à 8mm ;

$$P_{tole} = 0,628 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{acc} = 0,03 \text{ kN/m}^2$$

10,4 kg/m c'est le poids de IPE estimé ;

$$G (1,6) = 1,157 \text{ kN/m} ;$$

$$G (0,225) = 0,2521 \text{ kN/m}.$$

- **Calcul les charges précédentes en kN/m :**

e	1,6m	0,225m
Q (kN/m)	4	0,5625
S (kN/m)	0,31	0,043
W (kN/m)	-4,93	0,693

- **Calcul la charge qui s'exerce sur IPE :**

CHAPITRE IV : Dimensionnement des éléments de la toiture.

-Pour espacement de 1,6m, on trouve :

Les combinaison	1,35G+1,5Q	1,35G+1,5S	1,35G+1,5 W ⁺	G+1,5 W ⁻	1,35(G+S+W ⁺)
q kN/m	7,6	2,02	1,56	-6,23	1,97

On trouve $q_{max} = 7,6$ kN/m

-Pour espacement de 0,225m en troue :

Les combinaison	1,35G+1,5Q	1,35G+1,5S	1,35G+1,5 W ⁺	G+1,5 W ⁻	1,35(G+S+W ⁺)
q kN/m	1,18	0,41	0,34	-0,78	0,4

En troue $q_{max} = 1,18$ kN/m

A l'aide de logiciel Sap2000 :

On obtient alors un moment maximal et un effort normal de compression que peut provoquer un flambement.

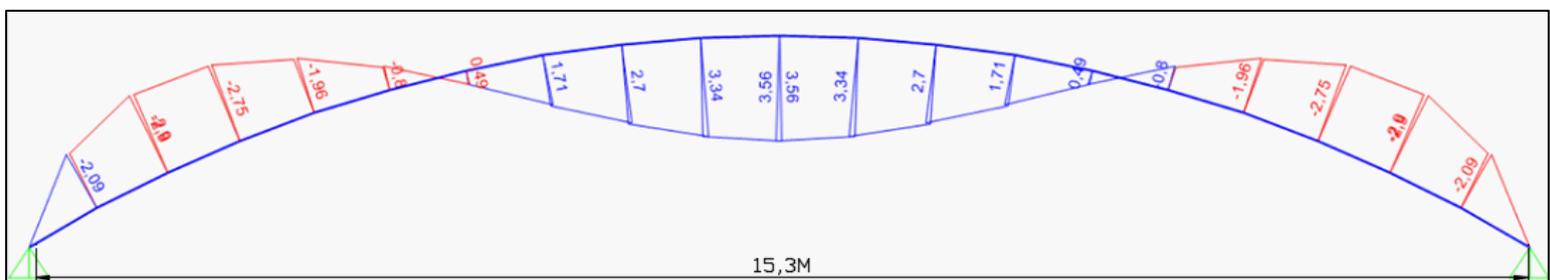


Figure (IV.03) : les moments sur la poutre cintrée de la toiture

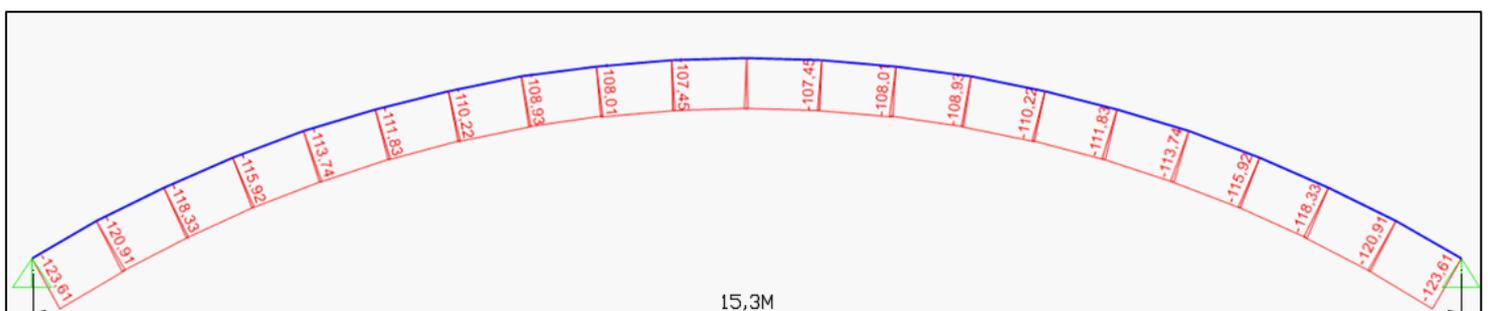


Figure 04 (IV.04) : les efforts de compression sur la poutre cintrée

$$M_{max} = 3,65kN * m$$

$$N_{max} = -120,61kN$$

Pour calculer le dimensionnement de IPE on a cette loi de vérification d'où on peut trouver W_{el} :

$$\frac{M * \gamma_m}{F_y} \leq W_{el} \dots \dots \dots (IV.01)$$

On trouve $W_{el}=14,9cm^3$

On prend un IPE100= $34,2cm^3$

IV.2 Vérification de flambement :

- **Définition :**

Le flambement est un phénomène mécanique qui se produit lorsque des structures sont soumises à des charges de compression. Il se manifeste par une déviation latérale ou une courbure hors de l'axe de la structure. Ce phénomène survient lorsque la charge de compression dépasse une limite critique, entraînant une instabilité dans la structure. Le flambement est important à considérer dans la conception et l'analyse des structures pour assurer leur stabilité et leur sécurité.

- **Vérification :**

$$\lambda = \frac{\lambda_{max}}{\lambda_{cr}} * \sqrt{\beta a} \leq 0,2 \dots \dots \dots (IV.02)$$

$$\beta a = 1 \text{ car IPE100 est de section 1}$$

$$\lambda_{max} = \max(\lambda_y; \lambda_z);$$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} \dots \dots \dots (IV.03)$$

$$\lambda_z = \frac{l_{0z}}{i_z} \dots \dots \dots (IV.04)$$

CHAPITRE IV : Dimensionnement des éléments de la toiture.

Avec :

$$l_{0y} = 6,81m ; l_{0z} = 1,9m$$

$$i_y = 4,07cm ; i_z = 1,24cm$$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{681}{4,07} = 167,32;$$

$$\lambda_z = \frac{l_{0z}}{i_z} = \frac{190}{1,24} = 153,22;$$

$$\lambda_{max} = 167,3$$

$$\lambda_{cr} = 3,14 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \varepsilon \dots \dots \dots (IV. 05)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924$$

$$\lambda_{cr} = 3,14 \sqrt{\frac{210000}{275}} * 0,924 = 80,21$$

Alors :

$$\lambda = \frac{167,3}{80,21} * \sqrt{1} = 2,08 > 0,2 \quad y'a \text{ risque de flambement}$$

N=123,61kN (compression)

$$N_{cr} = X * \beta_a * A \frac{F_y}{\gamma_{m1}} \dots \dots \dots (IV. 06)$$

D'après le formulaire de flambement tableau 5.5.3 on trouve que IPE100 est de courbe 'a' (Tf=6,3mm<40mm)

Donc selon le tableau 5.5.2 dans le formulaire et par l'interpolation entre ces deux valeurs : X(2) = 0,2229 et X(2,1) = 0,2036 ; on trouve :

$$X(2,08) = 0,2075$$

$$N_{cr} = 0,2075 * 1 * 10,3 * 10^{-4} \frac{275}{1,1} = 53,42$$

$$N = 123,61kN > N_{cr} = 53,42kN$$

CHAPITRE IV : Dimensionnement des éléments de la toiture.

Donc IPE100 résiste pas aux charges appliquées.

	iy	iz	λ	X	Ncr	commentaires
IPE140	5,74	1,65	1,48	0,3819	98,35	N'est pas vérifier
IPE160	6,58	1,84	1,19	0,4762	122,64	N'est pas vérifier
IPE 180	7,42	2,05	1,15	0,563	144,97	vérifier

On adopte alors un IPE180

IV.3 Vérification a la flexion composée selon EUROCODE 3 :

Définition :

La flexion composée se produit lorsque des éléments structuraux sont soumis simultanément à des forces de flexion et à une compression axiale. Cela se produit couramment dans les poutres et les colonnes sous l'effet de charges combinées. Il est essentiel de comprendre ce phénomène lors de la conception des structures pour assurer leur stabilité et leur sécurité.

Pour un IPE soumise à une flexion composée doivent satisfaire le critère suivant :

$$\frac{Nsd}{\chi_{min} * Fy * \frac{A}{\gamma_{m1}}} + \frac{Ky * My}{Fy * \frac{W_{pl}}{\gamma_{m1}}} + \frac{Kz * Mz}{Fy * \frac{W_{pl}}{\gamma_{m1}}} \leq 1 \dots \dots \dots (IV.07)$$

Avec :

$$Ky.z = 1 - \frac{\mu_{y.z} * Nsd}{\chi_{y.z} * Fy * A} \text{ mais } Ky.z \leq 1,5 \dots \dots \dots (IV.08)$$

$$\mu_{y.z} = \lambda_{y.z} * (2 * \beta_{my} - 4) \text{ mais } \mu_{y.z} \leq 0,9$$

On a :

$$My = 3,16kN * m$$

$$Mz = 0kN * m$$

$$\mu_y = 1,14 * (2 * 1,3 - 4) = -1,596 < 0,9$$

CHAPITRE IV : Dimensionnement des éléments de la toiture.

$$K_y = 1,44 < 1,5$$

$$X_{min} = X_y = 0,5696$$

$$\frac{126,61 * 10^{-3}}{0,5696 * 275 * \frac{28,9 * 10^{-4}}{1,1}} + \frac{1,44 * 3,65 * 10^{-3}}{275 * \frac{166 * 10^{-6}}{1,1}} = 0,43 \leq 1 \text{ Vérifier}$$

IV.4 Vérification l'épaisseur de la tôle de toiture :

On adopte la tôle de la toiture come une poutre sur deux appuis avec une largeur de 1,6m, avec une charge répartie est de 7,6kN/m

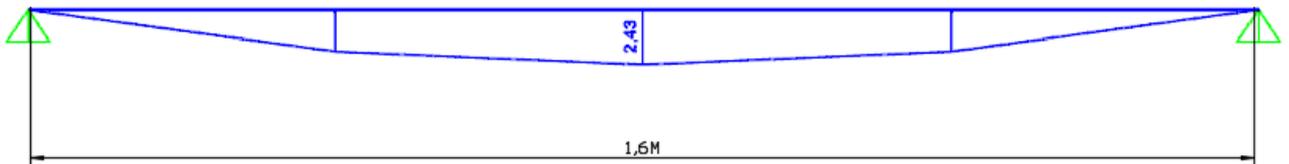


Figure (IV.05) : le moment maximal de la tôle de réservoir.

On a un moment maximal égale à 2,43kN/m

Pour vérifier l'épaisseur de la tôle on utilise cette formule :

$$e \geq \sqrt{\frac{6 * Wel}{a}} \dots \dots \dots (IV.09)$$

Avec :

$$Wel = \frac{Msd * \gamma_{m0}}{F_y} = \frac{2,43 * 10^{-3}}{275} = 8,84 \text{ cm}^3$$

$$e \geq \sqrt{\frac{6 * 8,84}{160}} = 0,57 \text{ cm}$$

On prend alors e=8mm.

CHAPITRE IV : Dimensionnement des éléments de la toiture.

IV.5 Calcul des assemblages des éléments de la toiture :

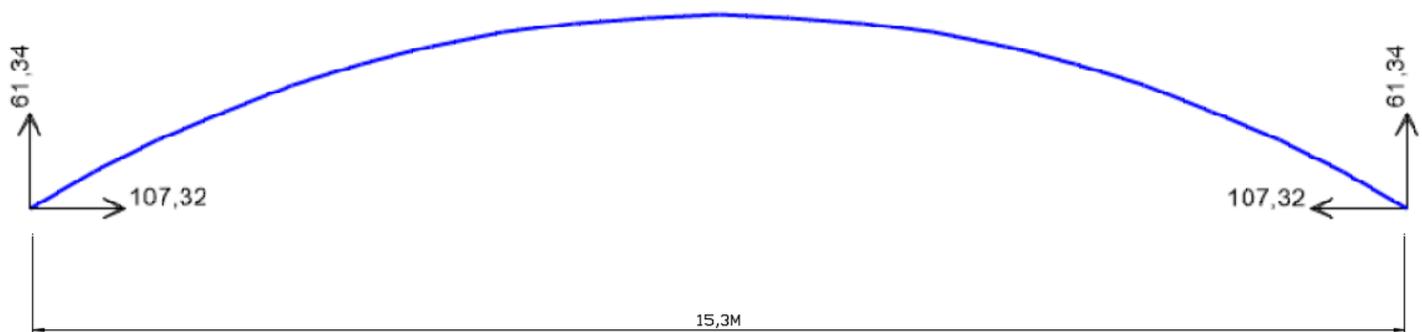


Figure (IV.06) : les réactions d'appuis de la toiture.

➤ Assemblage boulonné :

- Calcul le nombre des boulons n :

Les réaction d'appuis :

$$F_{x1} = 107,32kN \quad ; \quad F_{x2} = -107,32kN$$

$$F_{z1} = 61,34kN \quad ; \quad F_{z2} = 61,34kN$$

L'assemblage se fait à l'aide des boulons de M18 de classe 8.8

Les boulons sont soumis à l'effort de cisaillement :

$$R = \sqrt{F_{x1}^2 + F_{z1}^2} = 123,61kN$$

$$F_{vsd} = \frac{R}{np} \leq F_{vrd} = \frac{0,6 * A_s * F_{ub}}{1,25}$$

n : nombre des boulons ;

p : nombre de contacte égale à 1

A_s : la section résistance de la partie filetée égale à $192mm^2$;

$F_{ub} = 800MPa$;

$F_{vrd} = 73,72kN$

$$n \geq \frac{123,61}{73,72} = 1,67$$

On prend $n = 2$

CHAPITRE IV : Dimensionnement des éléments de la toiture.

- **Vérification la pression diamétrale :**

$$F_{vsd} \leq F_{brd} = \frac{2,5 * \alpha * F_{ub} * d * t_p}{1,25}$$

t_p= épaisseur la plus mince entre la plaque et t_w de IPE180 égale à : 5,3mm ;

α=min(0,57 ; 2,03 ; 1,4 ; 1) ;

d=diamètre de la partie non filetée égale à 18mm ;

$$F_{vsd} = 61,805kN \leq 87kN \quad \text{Condition vérifiée}$$

➤ **Assemblage soudés :**

On a l'épaisseur de la plus mince c'est 6mm donc d'après le graphe des gorges du cordon on trouve que :

$$2,3mm \leq a \leq 4mm$$

On prend « a » égale à 3mm

Calcul la longueur de L :

$$\sum L \geq \beta \omega * \gamma_{mw} * \frac{R * \sqrt{3 - \sin^2(30)}}{F_u * a} \dots \dots \dots (IV. 10)$$

$$\sum L \geq 0,85 * 1,3 * \frac{123,61 * \sqrt{3 - \sin^2(30)}}{430 * 3}$$

$$2L = 17,56cm$$

$$L = 8,8cm$$

On prend L=9cm

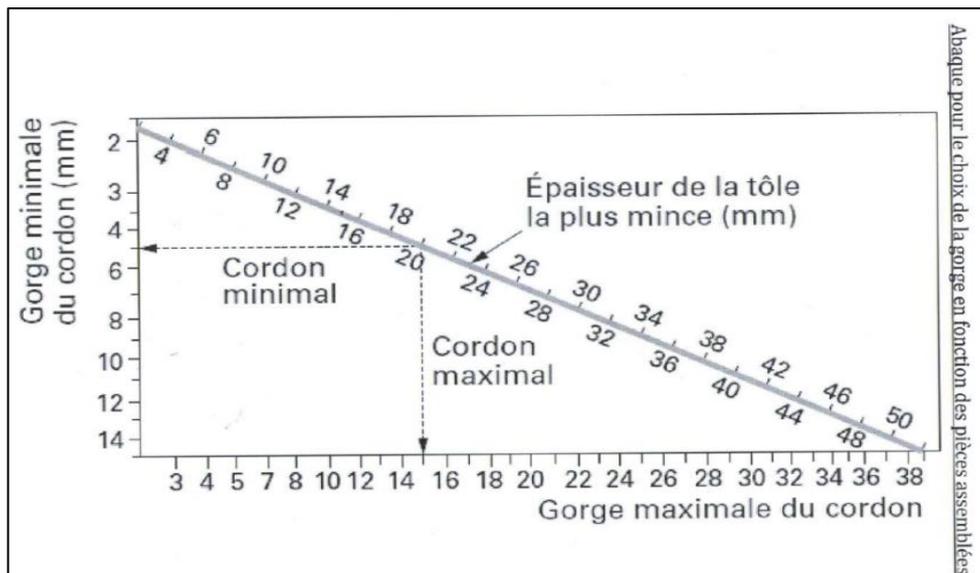


Figure (IV.07) : abaque pour le choix de la gorge en fonction des pièces assemblées.

Conclusion :

Ce chapitre a présenté le dimensionnement détaillé des éléments de la toiture du réservoir. Après avoir déterminé les charges s'appliquant sur la structure, nous avons procédé à la sélection des profilés les plus adaptés, en l'occurrence des poutres IPE cintrées.

Les calculs de résistance ont montré que les profilés choisis sont dimensionnés de manière adéquate pour supporter les charges permanentes et les charges d'exploitation. Les assemblages ont été conçus pour assurer la continuité de la structure et garantir sa durabilité.

Les résultats de cette étude permettent de conclure que la toiture du réservoir est dimensionnée de manière sûre et conforme aux normes en vigueur. Elle est ainsi capable de résister aux différentes sollicitations auxquelles elle sera soumise tout au long de sa durée de vie.

CHAPITRE V : Etude sismique.

V. Etude sismique

- **Introduction :**

Lors d'une excitation sismique, un réservoir plein et couvert ne subit pas de mouvement relatif du liquide par rapport au réservoir. En fait, tout se passe comme si le liquide et le réservoir constituaient une seule masse rigide. En revanche, dans les réservoirs à moitié pleins, l'excitation sismique provoque la formation de vagues en surface, entraînant ainsi la naissance de contraintes sur les parois du réservoir. L'approche développée par Housner (Housner, 1963) est utilisée pour étudier l'action du liquide sur les parois du réservoir. Dans cette approche, l'action du liquide est décomposée en deux composantes :

- **Une action passive provoquant des efforts d'impulsion (composante impulsive) :**

Cette composante correspond à la partie du liquide qui se comporte de manière rigide avec le réservoir, sans mouvement relatif.

- **Une action active provoquant des efforts d'oscillation (composante convective) :**

Cette composante correspond à la partie du liquide qui oscille librement à la surface, générant des vagues et des contraintes sur les parois du réservoir.

Cette décomposition permet de mieux comprendre et de quantifier les efforts exercés par le liquide sur les parois du réservoir lors d'une excitation sismique, en particulier dans le cas des réservoirs partiellement remplis.

V.1 Model de housner :

Définition :

Le Modèle Housner est une méthode simplifiée développée par George W. Housner en 1963 pour analyser le comportement dynamique des réservoirs de liquide sous l'effet des secousses sismiques. Ce modèle est principalement utilisé pour les réservoirs cylindriques verticaux (circulaires) et permet de prédire la réponse sismique en termes de forces et de moments sismiques induits sur la structure du réservoir et sur le liquide contenu.

➤ Principes de Base du Modèle Housner :

Le modèle de Housner décompose la réponse sismique du réservoir en deux composantes principales :

- **Composante Impulsive :**

- Représente la partie du liquide qui bouge en phase avec la paroi du réservoir.
- Cette partie du liquide contribue directement aux efforts sismiques sur la paroi du réservoir.
- On modélise cette partie par une masse attachée à la paroi du réservoir.

- **Composante Convective :**

- Représente la partie du liquide qui oscille en forme d'ondes.
- Cette composante est plus complexe et implique des mouvements du liquide en phase décalée par rapport au mouvement de la paroi.
- On modélise cette partie par une masse attachée à un ressort.

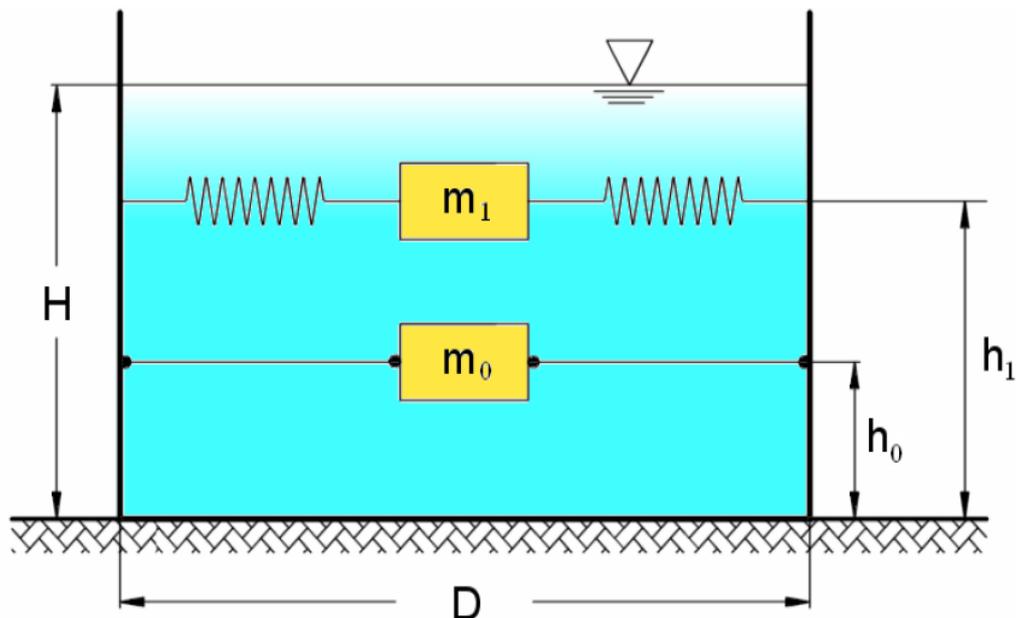


Figure (V.01) : Modèle équivalent

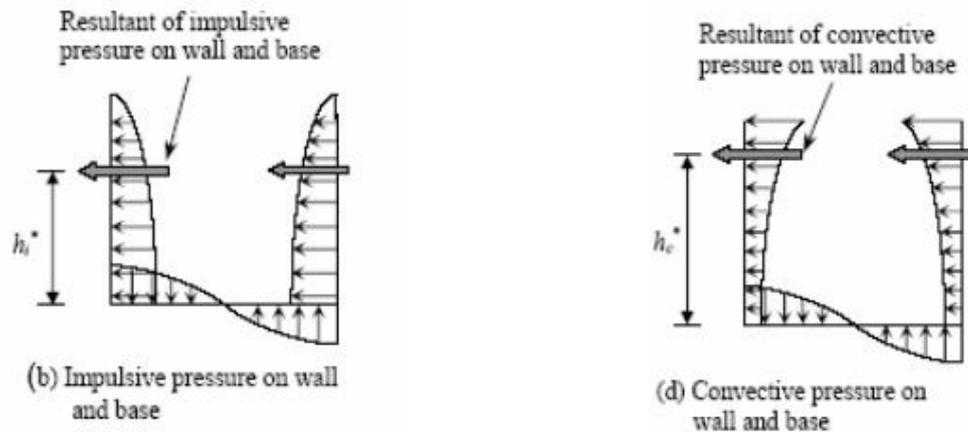


Figure (V.03) : les résultats des composant impulsive et convective sur la robe et le fond de réservoir.

V.2 Calcul les périodes et les accélérations de réservoir :

- Sites non définis par les méthodes ASCE 7 API650 § E.4.3 :

Notre site est de classe « D », cette classification est basée sur la vitesse d'onde de cisaillement entre RPA et API, notre projet est implanté sur un site meuble, selon RPA §3.3.1 ; alors que dans API650 il s'agit de type « D » la vitesse entre 180m/s à 300m/s. (Voir figure 04)

Site Class	\bar{v}_s	N or N_{ch}	s_u
E	< 180 m/s < 600 fps	< 15	< 50 kPa < 1000 psf
D	180 m/s to 360 m/s (600 to 1200 fps)	15 to 50	50 kPa to 100 kPa (1000 psf to 2000 psf)
C	360 m/s to 760 m/s (1200 fps to 2500 fps)	> 50	100 kPa (> 2000 psf)
B	760 m/s to 1500 m/s (2500 fps to 5000 fps)		
A	> 1500 m/s (5000 fps)		

^a If the \bar{v}_s method is used and the N_{ch} and s_u criteria differ, select the category with the softer soils (for example, use Site Class E instead of D).

Figure (V.04) : Classification des sites selon API650 « tableau E.3 »

CHAPITRE V : Etude sismique.

Selon RPA99 Wilaya de mascara commune el Mohammadia et de groupe A zone IIa le coefficient d'accélération $A=0.25$.

Selon l'article E.4.3. De API650, Si aucune forme de spectre de réponse n'est prescrite et que seule l'accélération maximale du sol, S_p , est définie, alors les substitutions suivantes s'appliquent avec :

S_s : est le paramètre d'accélération de réponse spectrale cartographié, maximum considéré, atténué à 5 % à courtes périodes (0,2 seconde).

S_1 : est le paramètre d'accélération de réponse spectrale cartographié, maximum considéré, atténué à 5 % à un période de 1 seconde.

$$S_s = 2.5S_p \dots \dots \dots (V.1)$$

$$S_1 = 1.25S_p \dots \dots \dots (V.2)$$

$$S_p = A = 0.25$$

$$S_s = 0.625$$

$$S_1 = 0.3125$$

V.2.1 Calculer la période structurelle de vibration :

➤ Période impulsive :

Est la période naturelle de vibration du réservoir lorsqu'il est soumis à un mouvement sismique.

La période impulsive de réservoir est donnée selon API650 §4.5.1 par l'équation suivante :

$$T_i = \left(\frac{1}{\sqrt{2000}} \right) \left(\frac{C_i H}{\sqrt{t_u}} \right) \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\sqrt{E}} \right) \dots \dots \dots (V.3)$$

ρ : la densité de fluide stocké = 915 kg/m^3 ;

t_u : 8mm ;

E : 210000MPa ;

H : la hauteur de liquide égale à 13.6m ;

CHAPITRE V : Etude sismique.

D : le diamètre de réservoir égale à 15.3m ;

Avec :

$$\frac{H}{D} = \frac{13,6}{15,3} = 0,89 < 1,333.$$

C_i : Coefficient de détermination de la période impulsive du système de réservoir égale à 6.1 (figure E.1)

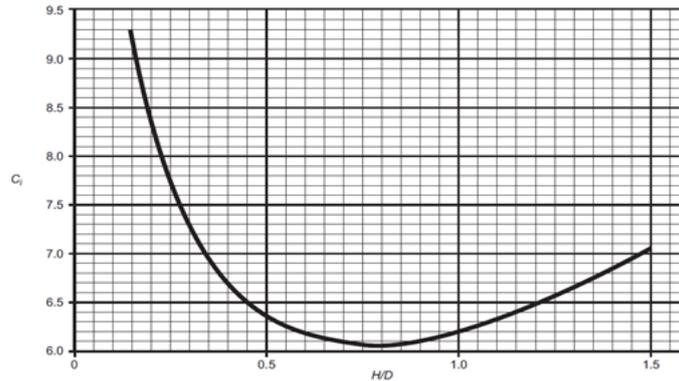


Figure (V.05) : Coefficient de détermination de la période impulsive, selon API650 « figure E.1 »

$$T_i = \left(\frac{1}{\sqrt{2000}} \right) \left(\frac{6,15 * 13,6}{\sqrt{\frac{8}{15,3}}} \right) \left(\frac{\sqrt{915}}{\sqrt{210000}} \right) = 0,169s$$

➤ **Période de convection (ballotement) :**

Est correspond à la période des oscillations du liquide à l'intérieur du réservoir lorsque ce dernier est soumis à des excitations, telles que des secousses sismiques.

La période convective de réservoir est donnée selon API650 §4.5.2 par l'équation suivante :

$$T_c = 1.8K_s\sqrt{D} \dots \dots \dots (V.4)$$

$$K_s = \frac{0.578}{\tanh\left(\frac{3.68H}{D}\right)} \dots \dots \dots (V.5)$$

$$K_s = 0.579$$

CHAPITRE V : Etude sismique.

K_s : est le coefficient de période de ballottement défini dans l'équation E.4.5.2-c :

$$T_c = 1.8 * 0,579\sqrt{15,3} = 4,08s$$

V.2.2 Calcule l'accélération de réponse spectrale (selon API650 §E.4.6) :

➤ Paramètre d'accélération spectrale impulsionnelle, A_i (4.6.1.) :

$$A_i = S_d s \left(\frac{I}{R_{wi}} \right) \text{ si } S_1 < 0,6 \text{ (E. 4.6.1 - 1) } \dots \dots \dots \text{ (V. 6)}$$

$$A_i \geq 0,5S_1 \left(\frac{I}{R_{wi}} \right) \text{ si } S_1 \geq 0,6 \text{ (E. 4.6.1 - 2) } \dots \dots \dots \text{ (V. 7)}$$

$$S_1 = 0,3125 < 0,6 ;$$

On applique alors cette formule :

$$A_i = S_d s \left(\frac{I}{R_{wi}} \right) \text{ si } S_1 < 0,6 \text{ (E. 4.6.1 - 1)}$$

$$S_d s = Q * F_a * S_s$$

$$Q = 1$$

$$S_s = 0.625$$

- La valeur de 'Fa' en le trouve dans le tableau suivant :

Table E.1—Value of F_a as a Function of Site Class

Site Class	Mapped MCE_R Spectral Response Accelerations at Short Periods				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	a	a	a	a	a

^a Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analysis is required.

Figure (V.06) : Valeur de F_a en fonction de la classe du site, selon API650 « Tableau E.1 ».

On a de calasse de site 'D' et la valeur der $S_s=0.625\%$ donc par l'interpolation entre la valeur de $S_s=0.5$ et la valeur de $S_s=0.75$ en trouve :

CHAPITRE V : Etude sismique.

Fa=1.3

Alors :

$$Sds = 1 * 1,3 * 0,625 = 0.8125.$$

I=1 (on a dans le groupe d'utilisation sismique I)

Seismic Use Group	I
I	1.0
II	1.25
III	1.5

Figure (V.07) : Facteur d'importance (I) et classification des groupes d'utilisation sismique, selon API650
« tableau E.5 ».

Rwi : dépend le système d'ancrage de réservoir ;

Selon API650 §E6.2.1, la résistance au moment de renversement de calcul (mur annulaire) à la base de la robe peut être assurée par :

— Le poids de la robe du réservoir, le poids de la réaction du toit sur la robe Wrs et le poids d'une partie du réservoir, contenu adjacent à la robe pour les réservoirs auto-ancrés. Les réservoirs peuvent être conçus sans ancrage lorsqu'ils satisfont aux exigences relatives aux réservoirs auto-ancrés énumérées en E.6.2.1.1.

$$Wa = 99ta\sqrt{FyHGe} \leq 201.1HDGe \dots \dots \dots (V.8)$$

fy =275MPa ;

Ta =8mm ;

Ge =G(1-0.4Av) ;

Av : coefficient d'accélération sismique vertical égale à 0.47*Sds=0.3818.

G : la gravité spécifique de conception c'est la densité du liquide stocké dans le réservoir par rapport à la densité de l'eau égale à

$$\frac{\text{densité de fluide stocké}}{\text{densité de l'eau}} = \frac{915}{1000} = 0,915$$

Ge=0,775;

CHAPITRE V : Etude sismique.

$$W_a = 99 * 8\sqrt{275 * 13,6 * 0,775} = 426339,5 \frac{N}{m}$$

$$W_a = 426339,5 \frac{N}{M} < 303794 \frac{N}{m} \text{ condition vérifier}$$

Donc selon ce tableau :

Anchorage system	R_{wi} (impulsive)	R_{wc} (convective)
Self-anchored	3.5	2
Mechanically-anchored	4	2

Figure (V.08) : Facteurs de modification de la réponse pour les méthodes ASD, selon API650 « tableau E.4 ».

$$R_{wi} = 3.5$$

$$R_{wc} = 2$$

Alors : le paramètre d'accélération spectrale impulsionnelle, A_i égale à :

$$A_i = S_{ds} \left(\frac{I}{R_{wi}} \right) = 0,8125 * \left(\frac{1}{3,5} \right) = 0.232$$

➤ **Paramètre d'accélération spectrale convective, A_c :**

$$T_c \leq T_l \quad A_c = K S_{D1} \left(\frac{1}{T_c} \right) \left(\frac{I}{R_{wc}} \right) = 2.5 K Q F_a S_0 \left(\frac{T_s}{T_c} \right) \left(\frac{I}{R_{wc}} \right) \leq A_i$$

$$T_c > T_l \quad A_c = K S_{D1} \left(\frac{T_l}{T_c^2} \right) \left(\frac{I}{R_{wc}} \right) = 2.5 K Q F_a S_0 \left(\frac{T_s T_l}{T_c^2} \right) \left(\frac{I}{R_{wc}} \right) \leq A_i$$

T_L : Période de transition en fonction de la région pour un mouvement du sol sur une période plus longue, en secondes égale à 0.5s

$T_c > T_L$ donc on applique la deuxième formule :

$$A_c = K S_{D1} \left(\frac{T_l}{T_c^2} \right) \left(\frac{I}{R_{wc}} \right) \dots \dots \dots (V.9)$$

CHAPITRE V : Etude sismique.

K : Coefficient d'ajustement de l'accélération spectrale de 5 % à 0,5 % d'amortissement
= 1,5 sauf indication contraire

$$Sd1 = Q * Fv * S1$$

- La valeur de 'Fv' en le trouve dans le tableau suivant :

Table E.2—Value of F_v as a Function of Site Class

Site Class	Mapped MCE_R Spectral Response Accelerations at 1 Sec Periods				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	a	a	a	a	a

^a Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analysis is required.

Figure (V.09) : Valeur de F_v en fonction de la classe du site, selon API650 « tableau E.2 ».

On a de calasse de site 'D' et la valeur der $S_1=0.3125\%$ donc par l'interpolation entre la valeur de $S_1=0.3$ et la valeur de $S_1=0.4$ en trouve :

$$F_v = 1.775$$

$$Sd1 = 0.554$$

Alors le paramètre d'accélération spectrale convective, A_c :

$$A_c = K S d_1 \left(\frac{Tl}{Tc^2} \right) \left(\frac{I}{R_{wc}} \right) = 1,5 * 0,554 \left(\frac{0,5}{4,08^2} \right) \left(\frac{1}{2} \right) = 0.0125$$

V.3 Calcul le moment de renversement :

Selon API650 §E.6.1.5, le moment de renversement sismique à la base de la robe du réservoir doit être la somme SRSS des moments impulsif et composantes convectives multipliées par les bras de moment respectifs jusqu'au centre d'action des forces, à moins que spécifié autrement.

CHAPITRE V : Etude sismique.

➤ **Moment de la paroi annulaire, Mrw :**

$$M_{wr} = \sqrt{(A_i(W_i X_i + W_s X_s + W_r X_r))^2 + (A_c(W_c X_c))^2} \dots \dots \dots (V.10)$$

Avec :

Wi : Portion impulsive efficace du poids du liquide, N ;

$$W_i = \left(1 - 0,218 \frac{D}{H}\right) W_p ; (E. 6.1.1 - 2) \dots \dots \dots (V.11)$$

Wc : Portion convective efficace (ballotement) du poids du liquide, N ;

$$W_c = 0,23 \frac{D}{H} \tanh\left(\frac{3,67H}{D}\right) W_p ; (E. 6.1.1 - 3) \dots \dots \dots (V.12);$$

Wr : Poids total du toit du réservoir fixe, N ; égale à 175776,72N

Ws : Poids total de la robe du réservoir, N ; égale à 428610N ;

Wp : poids total de réservoir en N ; égale à 22867175,3N ;

Xi : Hauteur du fond de la robe du réservoir jusqu'au centre d'action de la force sismique latérale liée au force impulsive du liquide pour le moment du mur annulaire, m ;

$$X_i = \left(0,5 - 0,094 \frac{H}{D}\right) H \dots \dots \dots (V.13)$$

Xc : Hauteur depuis le bas de la coque du réservoir jusqu'au centre d'action de la force sismique latérale liée à la force de convection du liquide pour le moment du mur annulaire, m

$$X_c = \left(1 - \frac{\cosh\left(\frac{3,67H}{D}\right) - 1}{\frac{3,67H}{D} \sinh\left(\frac{3,67H}{D}\right)}\right) H \dots \dots \dots (V.14)$$

Xr : Hauteur depuis le bas de la robe du réservoir jusqu'au centre de gravité du toit et des accessoires du toit, m ; égale à 15,56m ;

Xs : Hauteur entre le bas de la robe du réservoir et le centre de gravité de la robe, en **m** ; égale à 7,25m ;

CHAPITRE V : Etude sismique.

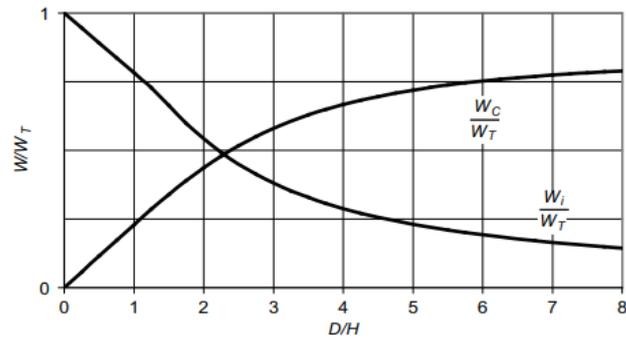


Figure (V.10) : Rapport poids effectif du liquide, selon API650 « figure EC.8 »

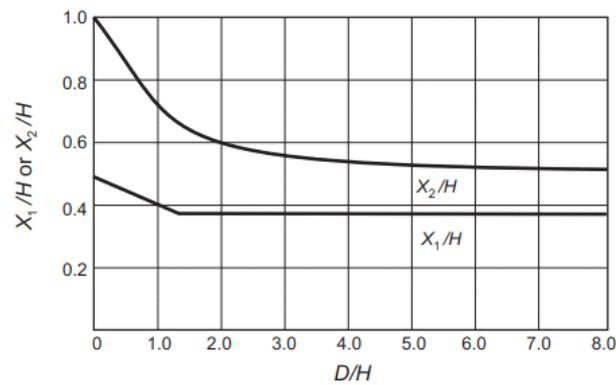


Figure (V.11) : Centre d'action de la force effective, selon API650 « figure EC.9 »

Les valeurs des paramètres précédent sont résumer dans le tableau suivant :

W_i (N)	17259000,5	X_i	5,3618
W_c (N)	5899545,32	X_c	9,73864832
W_r (N)	175776,72	X_r	15,56
W_s (N)	428610	X_s	7,25

Le moment de renversement de la paroi annulaire égale à :

$$M_{wr} = 22835877,4 \text{ N.m}$$

➤ **Moment de la dalle, M_s :**

$$M_s = \sqrt{(A_i(W_i X_{is} + W_s X_s + W_r X_r))^2 + (A_c(W_c X_{cs}))^2} \dots \dots \dots (V.15)$$

CHAPITRE V : Etude sismique.

Xis : Hauteur du fond de la robe du réservoir jusqu'au centre d'action de la force sismique latérale liée au force impulsive du liquide pour le moment de la dalle, m

$$X_{is} = \left(0,5 + 0,06 \frac{H}{D}\right) H = 7,718m \dots \dots \dots (V.16)$$

Xcs : Hauteur depuis le bas de la coque du réservoir jusqu'au centre d'action de la force sismique latérale liée à la force convective du liquide pour le moment de la dalle, m

$$X_{cs} = \left(1 - \frac{\cosh\left(\frac{3,67H}{D}\right) - 1,937}{\frac{3,67H}{D} \sinh\left(\frac{3,67H}{D}\right)}\right) H = 10,04m \dots \dots \dots (V.17)$$

Le moment de renversement à la dalle égale à :

$$M_s = 32267506,7 \text{ N.m}$$

V.4 Le rapport d'ancrage :

Selon API650 § E.6.2.1.1.1,

$$J = \frac{Mr_w}{D^2(W_t(1 - 0.4A_v) + W_a - F_p W_{int})} \dots \dots \dots (V.18)$$

Mr_w : le moment de renversement séismique égale à 22835,877 kN.m

D : diamètre de réservoir égale à 15,3 m ;

W_t : Poids du réservoir et du toit agissant à la base de la robe, kN/m

$$W_t = \frac{W_s}{\pi D} + W_{rs} = \frac{428,61}{3,14 \times 15,3} + 3,67 = 12580,4$$

W_s : le poids de la robe égale à 428,61 kN ;

W_{rs} : le poids de la toiture agisse sur la robe égale à 3,67 kN/m ;

$$W_t = 12,58 \text{ kN/m};$$

$$W_a = 42,64 \text{ kN/m};$$

$$A_v = 0.47 S_d s = 0.3818 ;$$

$$J = 1,83 ;$$

Selon le tableau suivant :

Table E.6—Anchorage Ratio Criteria

Anchorage Ratio J	Criteria
$J \leq 0.785$	No calculated uplift under the design seismic overturning moment. The tank is self-anchored.
$0.785 < J \leq 1.54$	Tank is uplifting, but the tank is stable for the design load providing the shell compression requirements are satisfied. Tank is self-anchored.
$J > 1.54$	Tank is not stable and cannot be self-anchored for the design load. Modify the annular ring if $L < 0.035D$ is not controlling or add mechanical anchorage.

Figure (V.12) : Critères de rapport d’ancrage, selon API650 « tableau E.6 ».

$$J = 1,83 > 1,54$$

Le réservoir n’est pas stable et ne peut pas être auto-ancré pour la charge de conception. On doit ajouter un ancrage mécanique.

V.5 Vérification la compression dans la robe :

Selon API650 §E.2.2.2,

$$\delta = \left(Wt(1 + 0,4Av) + \frac{1,273Mrw}{D^2} \right) \frac{1}{1000ts} \dots \dots \dots (V.19)$$

$$\delta = \left(12580 * (1 + 0,4 * 0,3818) + \frac{1,273 * 22835877,4}{15,3^2} \right) \frac{1}{1000 * 6} = 23,12MPa$$

$$\delta = 23,12MPa < 275MPa \quad \text{condition vérifier}$$

Conclusion :

L'analyse sismique des réservoirs, réalisée selon la méthode de Housner, a permis d'évaluer en profondeur les sollicitations sismiques auxquelles un réservoir cylindrique partiellement rempli est exposé. Cette approche, largement reconnue dans le secteur, a été appliquée à un cas concret en tenant compte des spécificités du site et des normes en vigueur (API 650, RPA 99). Les résultats principaux de cette étude incluent :

- **Décomposition de la réponse sismique** : La méthode de Housner a permis de distinguer deux composantes dans la réponse sismique : la composante

impulsive, associée au mouvement rigide du liquide avec la paroi du réservoir, et la composante convective, qui concerne les oscillations du liquide à l'intérieur du réservoir.

- **Calcul des périodes et des accélérations** : Les périodes de vibration structurelle (impulsive et convective) ont été déterminées en fonction des caractéristiques géométriques du réservoir et des propriétés du liquide. Les accélérations de réponse spectrale ont été calculées conformément aux formules établies par l'API 650, prenant en compte la classification du site et les paramètres du spectre de réponse.
- **Évaluation des efforts sismiques** : Les résultats obtenus ont permis d'évaluer les efforts sismiques agissant sur les parois du réservoir, facilitant ainsi le dimensionnement adéquat des éléments structurels. L'analyse du moment de renversement sismique, effectuée selon les exigences de l'API 650, a également permis d'évaluer la stabilité du réservoir face aux sollicitations sismiques.

En conclusion, le calcul du moment de renversement à la base du réservoir a révélé que celui-ci n'est pas stable sans un ancrage mécanique supplémentaire. De plus, les vérifications des contraintes dans la robe ont montré que celles-ci doivent être soigneusement analysées pour garantir l'intégrité structurelle du réservoir face aux efforts sismiques. Ces résultats soulignent l'importance d'une conception rigoureuse et conforme aux normes pour assurer la sécurité et la fiabilité des installations.

CHAPITRE VI : Calcul des ancrages et fondation.

CHAPITRE VI : calcul des ancrages et fondations.

VI. Calcul des ancrages :

VI.1 Calcul les boulons d'ancrage :

- **Introduction :**

Selon API650 §5.12, lorsqu'un réservoir doit être ancré mécaniquement selon 5.11 (vent), l'annexe E (sismique), l'annexe F (interne pression), ou lorsqu'un réservoir est ancré mécaniquement pour toute autre raison, les exigences minimales suivantes doivent être rencontrés.

L'espacement centre à centre de l'ancrage mesuré le long de la circonférence du réservoir au diamètre extérieur de la coque doit ne dépasser pas 3 m.

➤ **Calcul le nombre des ancrages :**

D'abord on doit calculer le périmètre de réservoir :

$$P = 3,14 * 15,3$$

$$P = 48m$$

$$N = \frac{48}{2,5} = 19 \dots \dots \dots (III.V. 1)$$

N : c'est le nombre d'ancrage égale à 19 ;



Figure (VI.01): Ancrage du réservoir [15].

CHAPITRE VI : calcul des ancrages et fondations.

Mrw : est le moment sismique, en N-m égale à 22835877,4N.m ;

Pi : est la pression interne de conception, en kPa égale à 0 ;

Pf : est la pression de rupture selon annexe F.7, égale à 0 ;

Pt : est la pression d'essai, en kPa égale à 0 ;

Pwr : est la pression du vent sur le toit, en kPa égale à 3,084kPa ;

Pws : est la pression du vent sur la coque, en N/m² égale à 3610N/m² ;

W1 : est le poids corrodé des plaques de toit plus le poids corrodé de la robe et de tout autre poids corrodé attaches permanentes agissant sur la coque, en N ;

W2 : est le poids corrodé de la robe et de tout accessoire permanent corrodé agissant sur la coque, y compris la partie des plaques de toiture et de la charpente agissant sur la robe, en N ;

W3 : est le poids nominal des plaques de toit plus le poids nominal de la robe et de tout autre élément permanent attachements agissant sur la coque, en N.

➤ Calcul la charge de soulèvement nette U :

Pression de conception (N)	-483688,54
Test de pression (N)	-604386,72
Charge de vent (N)	1601034,3
Charge sismique (N)	5560358,9
Pression de conception + vent (N)	1601034,3
Pression de conception + sismique(N)	5486475,5
Frangibility Pressure (N)	-604386,72

Tableau (VI.01) : les résultats des combinaisons de calcule la charge de soulèvement

U

$$U= 5560359N$$

$$Tb= 289348,8N =289,35kN$$

Calcul la section des boulons de classe 4,6 :

CHAPITRE VI : calcul des ancrages et fondations.

$$Tb < Ftrd = 0,9 * As * Fub / 1,5$$

$$Fub = 400 \text{ MPa}$$

$$As \geq \frac{Tb * 10^{-3} * 1,5}{0,9 * Fub} = 1205,62 \text{ mm}^2 \dots \dots \dots \text{(VI. 3)}$$

Soit des boulons M48 avec $As = 1473 \text{ mm}^2$

Calcul l'épaisseur de la platine :

A l'aide de la loi de vérification de poinçonnement en détermine l'épaisseur de la platine ;

$$Tb \leq \frac{0,6 * 3,14 * dm * tp * Fu}{1,5} \dots \dots \dots \text{(VI. 4)}$$

$$tp \geq \frac{Tb * 10^{-3} * 1,5}{0,6 * 3,14 * 77,2 * 10^{-3} * 360} = 8,3 \text{ mm}$$

On prend $tp = 1 \text{ cm}$

VI.2 Conception de chaise d'ancrage :

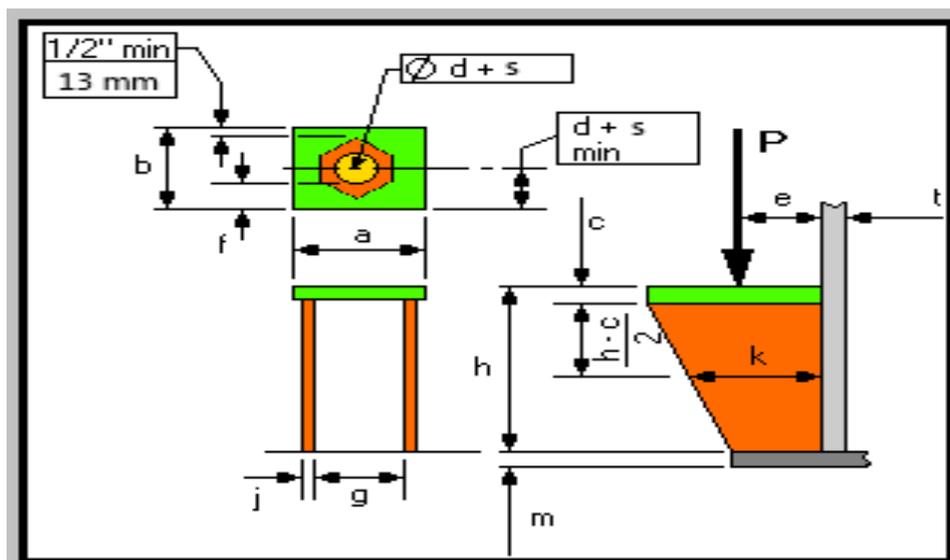


Figure (VI.03) : détail de la chaise d'ancrage.

C A = Allocation de corrosion de la chaise (mm) égale à 1mm ;

D = Diamètre nominal du réservoir (m) égale à 15,27m ;

CHAPITRE VI : calcul des ancrages et fondations.

E_t = Coefficient de dilatation thermique des plaques inférieures selon API-650 Tableau P.1a (mm/m.cdeg)

Ma-chaise = Matériau de la chaise égale à 275MPa ;

R = Rayon nominal de la robe (mm) égale à 7,635m ;

S_{sw-chair} = Contrainte admissible de la chaise pour la conception sismique API-650 5.12.9 (MPa)

T = Différence entre la température ambiante et la température maximale de conception (°C) égale à 40°C ;

V = Vitesse du vent (km/h) égale à 104,4km/h;

Boulon en Y = Charge d'élasticité du boulon d'ancrage égale à 330,4 kN.

a = Largeur de la plaque supérieure le long de la robe (mm) égale à 200mm ;

b = Longueur de la plaque supérieure (mm) égale à 204mm ;

b_{min} = Longueur minimale de la plaque supérieure (mm) ;

c = Épaisseur de la plaque supérieure (mm) égale à 40mm ;

c-corr = Épaisseur corrodée de la plaque supérieure (mm) ;

d = Diamètre du boulon d'ancrage (mm) égale à 48mm ;

e = Excentricité du boulon d'ancrage (mm) égale à 102mm ;

e_{min} = Excentricité minimale calculée (mm) ;

e_{min-btm} = Excentricité minimale basée sur le dégagement des boulons par rapport aux plaques inférieures selon API-650 5.12.4 (mm) ;

e_{min-req} = Excentricité minimale requise (mm) ;

f = Distance de l'extérieur de la plaque supérieure au bord du trou (mm) égale à 87mm ;

f_{min} = Distance minimale de l'extérieur de la plaque supérieure au bord du trou (mm) ;

g = Distance des plaques verticales (mm) égale à 108mm ;

g_{min} = Distance minimale des plaques verticales (mm) ;

h = Hauteur de la chaise (mm) égale à 400mm ;

CHAPITRE VI : calcul des ancrages et fondations.

h-eff = Hauteur effective de la chaise (mm) ;

h-min-repad = Hauteur minimale du repad (mm) ;

h-repad = Hauteur du repad (mm) égale à 550mm;

hmax = Hauteur maximale de la chaise (mm) ;

j = épaisseur de plaque verticale (mm) égale à 30mm ;

j-corr = Épaisseur corrodée de la plaque verticale (mm) ;

jmin = Épaisseur minimale de la plaque verticale (mm) ;

k = Largeur moyenne des plaques verticales (mm) égale à 127,33mm ;

m = Épaisseur de la base ou de la plaque inférieure (mm) égale à 8mm;

Projection extérieure = projection extérieure inférieure (mm) égale à 50mm ;

t = épaisseur de la robe (mm) égale à 8mm ;

t-repad = Épaisseur du repad (mm) égale à 16mm ;

w-min-repad = Hauteur minimale du repad (mm) ;

w-repad = Largeur du repad (mm) 2GALE 0 468mm.

➤ Propriétés matérielles de la chaise d'ancrage :

Matériau (275) = S275

La limite de rupture $F_u = 430,0$ MPa

Limite d'élasticité $F_y = 275,0$ MPa

Conformément au tableau 5-2 a de l'API-650, contrainte de conception admissible (chaise Sd) = 167,0 MPa

Conformément à l'API-650, tableau 5-2 a, contrainte d'essai hydrostatique admissible (St-chair) = 184,0 MPa

CHAPITRE VI : calcul des ancrages et fondations.

VI.3 La fondation (poutre cintrée autour de réservoir) :

La poutre cintrée, une structure courbée installée autour du périmètre du réservoir, joue un rôle crucial en servant de support pour les ancrages qui fixeront le réservoir à la fondation en béton. Avant le coulage du béton, ces ancrages sont positionnés avec précision dans le coffrage de la fondation, avec leur partie inférieure encastrée dans le béton pour assurer une fixation solide. La partie filetée des boulons doit dépasser du niveau du béton pour permettre une fixation sécurisée du réservoir.

Cette méthode assure une fixation robuste du réservoir à la fondation en béton, en utilisant des ancrages bien positionnés et une poutre cintrée pour répartir les charges et maintenir la stabilité.

➤ Principe de calcul

Un prédimensionnement de la largeur « **B** », en prend cette loi :

$$B \geq 0.2 + 0.45H$$

$$B \geq 0.785m \text{ en prend alors } B = 1m$$

$$b=0.2m$$

Condition de rigidité :

$$\frac{B - b}{4} \leq d \leq B - b \rightarrow \frac{1 - 0.2}{4} = 0.2m \leq d \leq 1 - 0.2 = 0.8m$$

En prend « **d=0.25m** », avec « **ht=d+0,05=0,3m** ».

On a une pression des terres égale à 150kPa ;

Le périmètre de réservoir =48m ;

Le poids de BA=13,5kN;

Le poids total de réservoir : (La robe+la toiture)

$$Pt=428,61+175,76$$

$$Pt=604,4kN;$$

Le poids de liquide:

$$Pl = 22432,7kN = 127,2kN/m^2;$$

CHAPITRE VI : calcul des ancrages et fondations.

Le poids de liquide appliqué sur la surface de la semelle intérieure est :

$$S' = \frac{1 - 0.2}{2} \times 48 = 19.2m^2$$

$$Pl' = 2442,24kN;$$

$$PT = 604,4 + 2442,24 + 13,5 = 3060,14kN = 64kN/m;$$

$$B = \frac{64}{150} = 0,43m = 43cm; \text{ On prend pour } B = 1m .$$

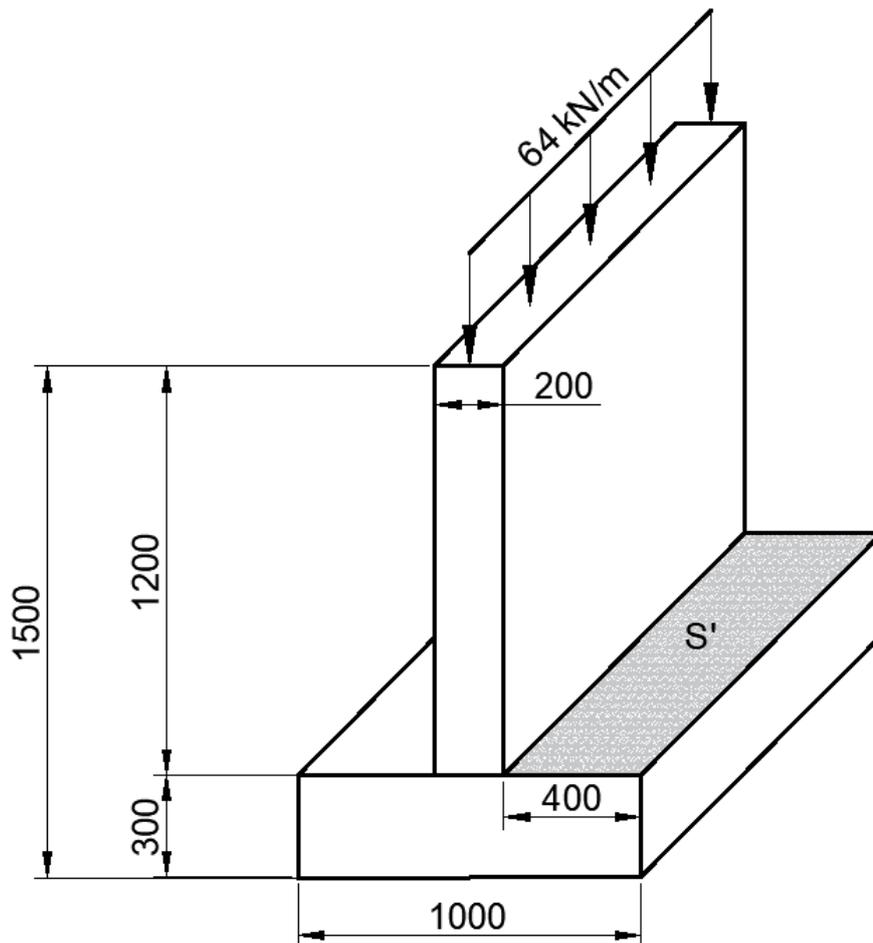


Figure (VI.04) : schéma statique de la fondation (les dimensions en mm).

➤ **Ferraillage de la fondation :**

• **La partie horizontale :**

$B=1m$; $L=1m$; $E=0,2m$; $f_{st}=348MPa$; $d=1,45m$;

$$A_s = \frac{64 * 10^{-3} * (1 - 0,2)}{8 * 0,25 * 348} = \frac{0,74cm^2}{m}$$

CHAPITRE VI : calcul des ancrages et fondations.

On prend alors sens //B : $4HA10/m = 3,14cm^2$

Pour le sens //L : $\frac{3,14}{3} = 1,046 cm^2$ en prend alors 4HA10.

- **La partie verticale :**

La partie verticale de la fondation présente la poutre cintrée autour de réservoir,

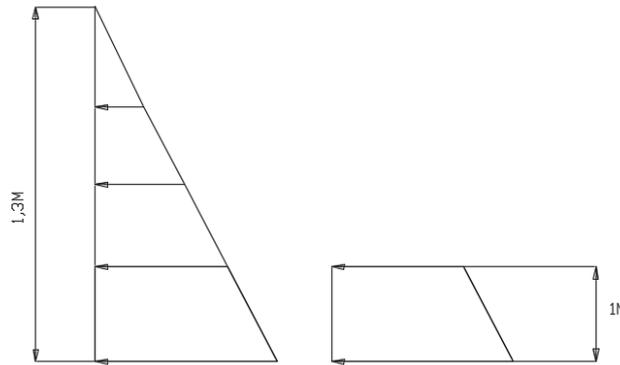


Figure (VI.05) : la charge appliquée sur la partie verticale de la fondation.

$$q = \gamma_{sol} * 1,15 * 1m$$

$$q = \gamma_{sol} * 1,15 * 1m = 23kN/m$$

La partie vertical est ferrailé comme une dalle vertical à la flexion simple.

En à trouver un ferrailage :

$$A_h = 2,174cm^2/ml = 4HA10 = 3,14cm^2/ml.$$

$$A_v = A_h/4 = 0,785cm^2/ml = 4HA10 = 3,14cm^2/ml.$$

➤ **Vérification de renversement (fondation+réservoir) :**

Selon API650 §E.6.2.3, Les fondations et les semelles des réservoirs à fond plat ancrés mécaniquement doivent être proportionnées pour résister à l'ancrage au sommet. Soulèvement et renversement de la pression d'appui. La charge de produit et de sol directement sur le mur annulaire et la semelle peut être utilisée pour résister au soulèvement maximal des ancrages sur la fondation, à condition que le mur annulaire et la semelle soient conçus pour supporter ce soulèvement chargement excentrique.

Le rapport de stabilité au renversement pour les systèmes de réservoirs ancrés mécaniquement, à l'exclusion des effets sismiques verticaux, doit être de 2,0 ou supérieur tel que défini dans l'équation E.6.2.3-1.

CHAPITRE VI : calcul des ancrages et fondations.

$$\frac{0,5D(Wt + Wfd + Wg)}{Ms} > 2$$

Wt : Poids total de la robe du réservoir, du toit, de la charpente, du produit, du fond, N ;

$$Wt = Ws + Wr + Wp + Wf$$

Ws : le poids de la robe égale à 428,61 kN ;

Wr : le poids de la toiture égale à 123,83 kN ;

Wf : le poids de fond égale à 100,33kN ;

Wfd : le poids de la fondation égale à 552,483kN ;

Wp : le poids de liquide égale à 22432,7kN ;

$$\begin{aligned} Wt &= Ws + Wr + Wp + Wf = 428,61 + 123,83 + 100,33 + 22432,7 \\ &= 23137,42kN \end{aligned}$$

Wg : le poids de sol au-dessus de fondation égale à ; $2 * (0,4 * 1,3 * 48 * 20) = 999,3kN$;

$$\frac{0,5 * 15,3(23137,42 + 552,483 + 999,3)}{32267,51} = 5,85 > 2$$

Condition vérifié pas de soulèvement.

Conclusion :

L'étude présentée a porté sur le dimensionnement des ancrages d'un réservoir conformément aux exigences de la norme API 650. Les calculs ont permis de déterminer :

- **Le nombre optimal d'ancrages** : En fonction du périmètre du réservoir et des contraintes de mise en œuvre, un nombre précis d'ancrages a été défini pour assurer une répartition uniforme des charges.

CHAPITRE VI : calcul des ancrages et fondations.

- **La charge par ancre :** En considérant les différentes combinaisons de charges (vent, séisme, pression interne), la charge maximale à laquelle chaque ancrage doit résister a été calculée.
- **Les caractéristiques des boulons d'ancrage :** Le diamètre et la section des boulons ont été déterminés en fonction de la charge par ancrage et des propriétés mécaniques du matériau.
- **Les dimensions la chaise d'ancrage :** La conception de la chaise d'ancrage a été réalisée en respectant les exigences de la norme, notamment en termes d'épaisseur, de largeur.
- **Les dimensions et le ferrailage de la fondation :** La fondation en béton a été dimensionnée pour résister aux efforts transmis par les ancrages et pour assurer la stabilité du réservoir. Les calculs ont porté sur la vérification de la résistance aux efforts de flexion, de cisaillement et de poinçonnement.
- **La vérification de la stabilité au renversement :** Il a été démontré que le système réservoir-fondation présente une marge de sécurité suffisante par rapport au risque de renversement sous l'effet des charges appliquées.

l'ensemble des calculs réalisés a permis de dimensionner de manière sécuritaire les ancrages du réservoir. Les résultats obtenus garantissent que le réservoir sera solidement fixé à sa fondation et pourra résister aux différentes sollicitations auxquelles il sera soumis au cours de son exploitation.

CHAPITRE VII : Présentation de logiciel AMEtenk et élaboration des plans.

VII. AMETank : Modélisation par AMETank et élaboration des plans

- **Introduction :**

AMETank est un logiciel puissant conçu pour la conception et calcul des réservoir de stockage de liquide, ainsi que l'élaboration des plans de fabrication et les listes nécessaires pour la fabrication d'un réservoir en acier . Il s'adresse aux professionnels qui conçoivent, fabriquent et installent des réservoirs en atelier pour ensuite les assembler sur site.

VII.1 Fonctionnalités clés d'AMETank :

- **Environnement de modélisation intuitif :**

AMETank offre un environnement de modélisation basé sur des fonctionnalités qui permet aux utilisateurs de concevoir et de configurer rapidement des réservoirs en fonction de leurs besoins spécifiques.

- **Modèles géométriques 3D automatisés :**

Le logiciel génère automatiquement des modèles géométriques 3D précis, éliminant ainsi le besoin de modélisation manuelle fastidieuse.

- **Détails de fabrication complets :**

AMETank crée automatiquement les détails de fabrication, y compris les dessins, les nomenclatures et autres informations essentielles à la production du réservoir.

- **Simplification de la terminologie :**

Pour simplifier la communication, le logiciel utilise le terme "réservoir" pour désigner un réservoir érigé sur le terrain.

VII.2 Avantages d'AMETank :

➤ Gain de temps et d'argent :

AMETank automatise de nombreuses tâches manuelles, ce qui permet aux utilisateurs de gagner du temps et de réduire les coûts de conception et de fabrication.

➤ Conception précise et fiable :

Les modèles géométriques 3D précis et les détails de fabrication complets garantissent une conception précise et fiable du réservoir.

➤ Amélioration de la communication :

L'utilisation d'une terminologie simplifiée facilite la communication entre les parties prenantes du projet.

AMETank est un outil précieux pour les professionnels de la conception et de la fabrication de réservoirs. Il permet de gagner du temps, d'améliorer la précision et de faciliter la communication, ce qui se traduit par des réservoirs de meilleure qualité et des projets plus réussis.

VII.3 Démarrer un nouveau modèle de réservoir :

Cette section se concentrera sur la création du modèle de char. Un nouveau modèle peut être démarré en sélectionnant le bouton modèle dans la barre de menu, puis nouveau, suivi de Modèle de réservoir comme le montre la figure 1. Le AMETank a par défaut cinq configurations définies ; l'utilisateur peut être sélectionné dans l'un des menus, correspondant au système d'unités et aux tables standards qu'il utilise. Une fois la sélection effectuée, une pop-up menu permettant de définir le nom du réservoir est fourni, comme le montre la figure 2. Un nom par défaut est fourni ; le l'utilisateur peut l'accepter ou le modifier. Il est fortement recommandé de commencer le nom du modèle par une lettre et non par un chiffre ou caractère spécial.

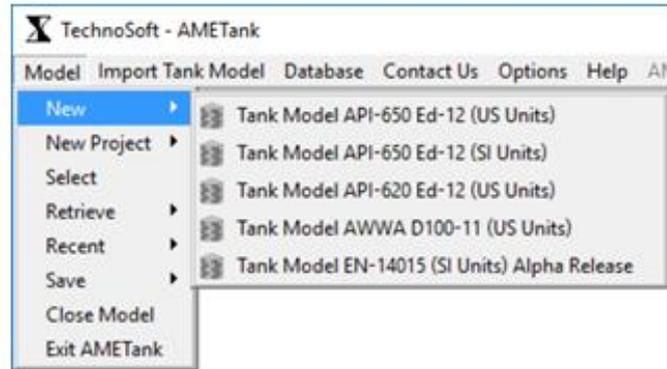


Figure (VII.01) : Création d'un nouveau modèle.

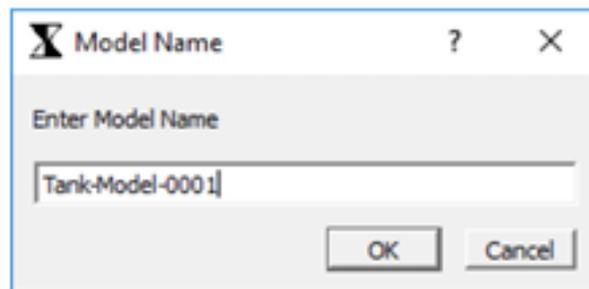


Figure (VII.02) : le nome de model.

Une fois qu'un modèle de réservoir a été lancé, un modèle est créé dans l'arborescence du modèle, comme le montre la figure 3.

Initialement, seul le nœud de niveau supérieur est affiché dans l'arbre du modèle, intitulé « Tank-Model-0001 », qui est le nom du réservoir.

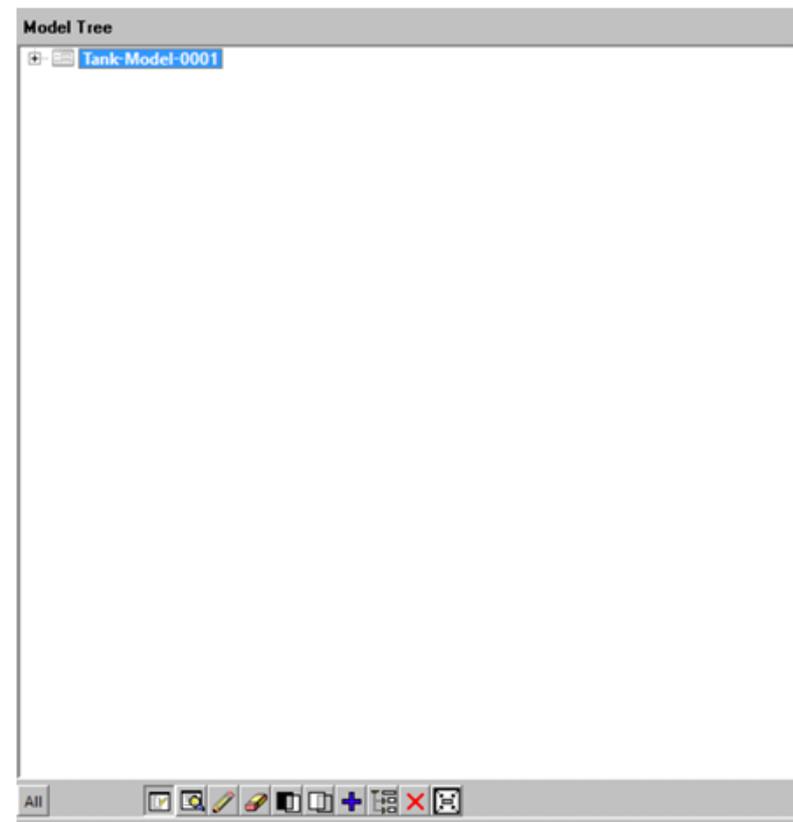


Figure (VII.03) : Nouveau modèle de réservoir

Pour modifier le modèle, le nœud de niveau supérieur dans l'arborescence du modèle doit être sélectionné à l'aide du bouton gauche de la souris.

Un menu apparaîtra comme le montre la figure 04. Il s'agit du menu général utilisé pour créer ou édition des composants et des caractéristiques du réservoir. A tout moment, si ce menu est fermé, il peut être rouvert par édition (en utilisant le bouton gauche de la souris ; notez que l'action du bouton gauche est définie sur le mode édition) le nœud de niveau supérieur de l'arborescence du modèle. Ce formulaire est organisé avec un certain nombre d'onglets comme illustré.

CHAPITRE VII : Modélisation par AMETank et élaboration des plans

Tank Model API 650 Ed-13 (SI Units) --> Tank-API-650-SI-0001

Project Design Corrosion Assessment FEA Export

Project Mngmt Project Data Design Parameters Seismic/Wind Factors Venting Tables

Dimensions Design Standard

Tank Diameter Based On	Inner Diameter	Governing Standard Edition	13TH EDITION
Tank Diameter (Inside)	15.27 m	Addendum	None
Tank Height	14.5 m	Tank Fabrication Type	Field Erected
Design Liquid Level	13.63 m	Per API-650 Appendix	NONE
Maximum Liquid Level	13.63 m	Allow Nozzles External Loads?	<input type="checkbox"/>
High High Liquid Level	0 m	Appendix (Applied E)	E
High Liquid Level	0 m	Capacities and Weights	
Normal Working Level	0 m	Capacity Unit	M^3
Low Liquid Level	0 m	Capacity to Top of Shell	2655.0
Low Low Liquid Level	0 m	Capacity to Design Liquid Level	2496.0
Minimum Liquid Level	0 m	Capacity to Maximum Liquid Level	2496.0
Operating Conditions		Working Capacity	0.0
Lowest One-Day Mean Temperatures		Net Working Capacity	0
Minimum Design Metal Temperature	-1 °C	Minimum Operating Capacity	0
Design Temperature	60 °C	NCV	MaxCV
Maximum Operating Temperature	60 °C	MinCV	NoWCV
Internal Gauge Pressure (Design)	0 kpa	Tank Product Design Weight (Kgs)	<Unbound> !
External Gauge Pressure (Vacuum)	0 kpa	Tank Total Weight (Kgs)	<Unbound> !
Internal Pressure Combination Factor	0.4	Date In Service	YYYY 2024 MM 06 DD 10
External Pressure Combination Factor	0.4	Tank Bottom Elevation	0
Roof Live Load	2.5 kpa	North Angle Position (from X)	0
Ground Snow Load	0.122 kpa		
Additional Roof Dead Load	0.75 kpa		
Product Stored			
Product Design Specific Gravity	1		
Hydrotest Liquid Specific Gravity	1		
Joint Efficiency (1 = 100%)	1		
Corrosion Allowance	0		
Tank Material	275		
Minimum Permissible Design Metal Temperature			

Check Design Standards Warnings Display Front Cross Section Display Side Cross Section

Apply Cancel Close

Figure (VII.04) : Menus de modélisation AMETank.

CHAPITRE VII : Modélisation par AMEtank et élaboration des plans

➤ Toit :

L'onglet Toit affichera deux sous-onglets pour spécifier des informations détaillées sur la conception du toit fixe et Conception de toit flottant comme illustré à la figure 5.

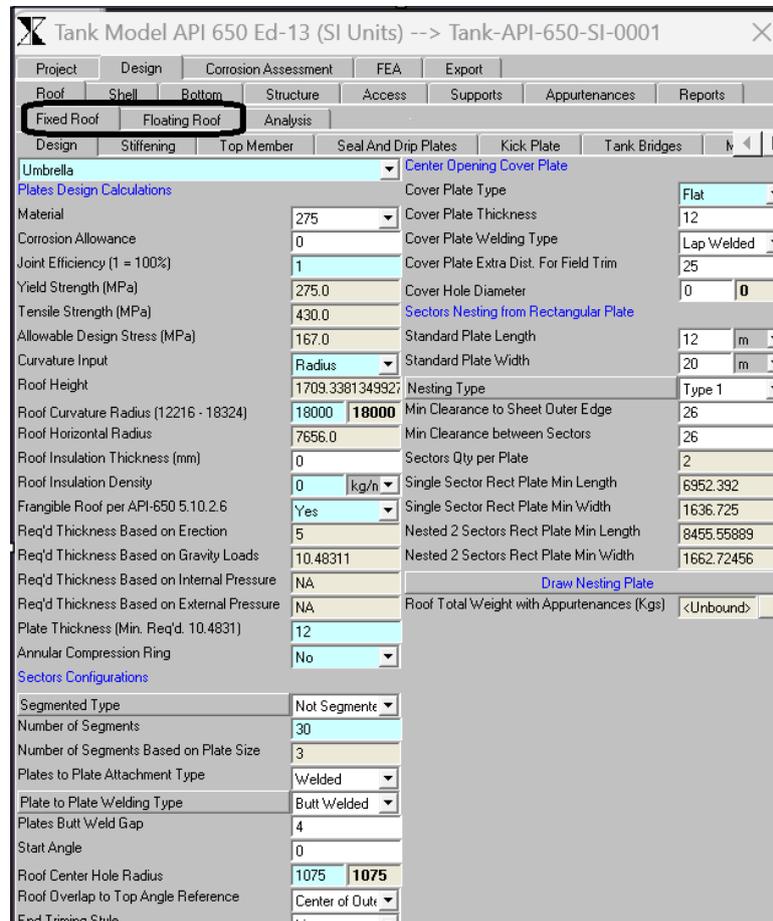


Figure (VII.05) : Options des onglets du menu du toit du réservoir

Notre cas est de toit fixe de forme parapluie avec ces caractéristiques est définir dans la figure 6 et 7 suivant :

CHAPITRE VII : Modélisation par AMEtank et élaboration des plans

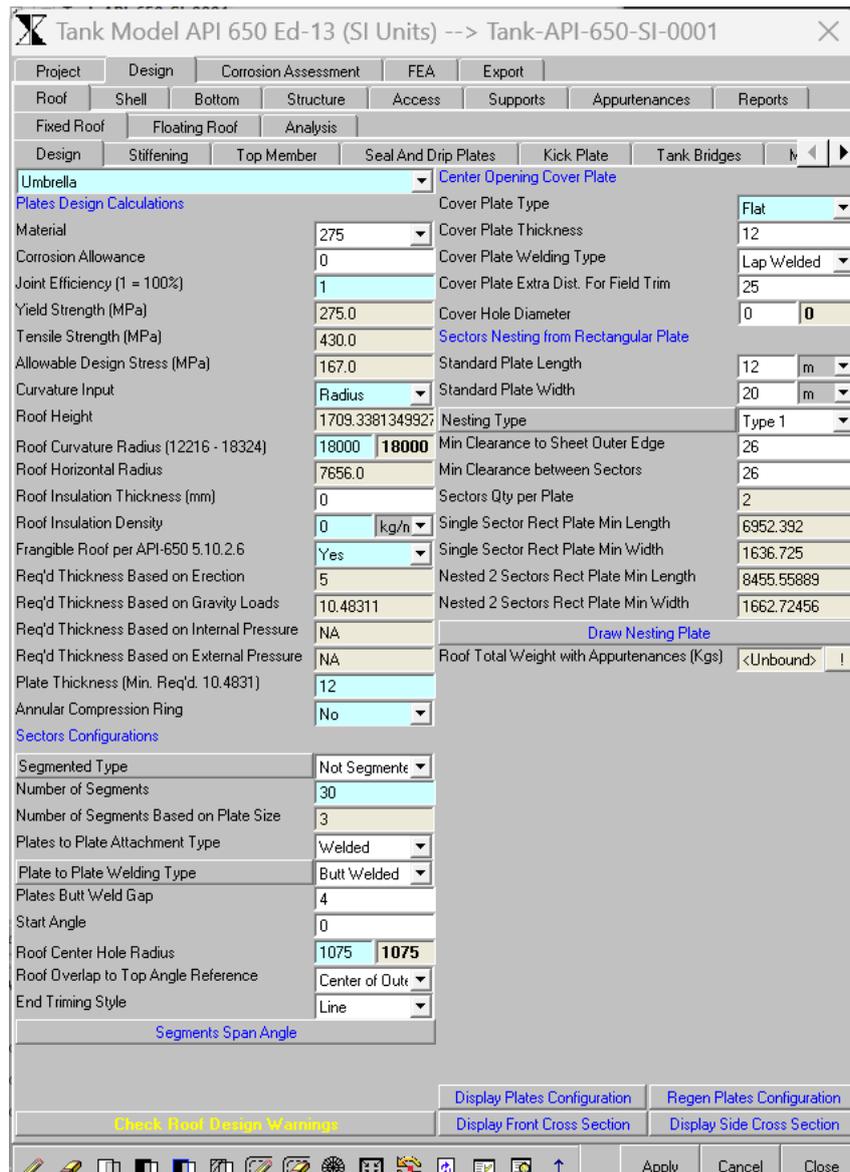


Figure (VII.06) : les caractéristiques de la toiture.

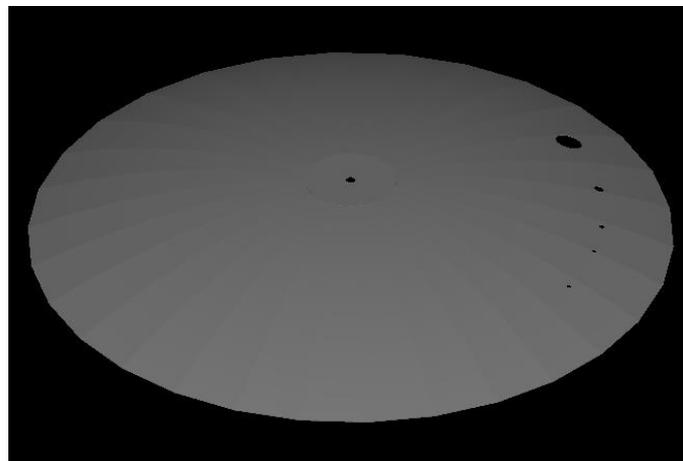


Figure (VII.07) : vue 3D de la toiture.

CHAPITRE VII : Modélisation par AMEtank et élaboration des plans

➤ La robe :

L'onglet Shell dans la partie design est destiné pour les caractéristiques générales de la robe, voir la figure 08.

The screenshot displays the 'Shell Design Information' tab in the AMEtank software. The interface is organized into several functional areas:

- Plates Design Calculations:** Includes fields for Courses Material (275 Group IV), Corrosion Allowance (1), Joint Efficiency (1), Shell Insulation Thickness (0), Shell Insulation Density (0 kg/m³), Purchased Plate Length (6 m), and Purchased Plate Width (2 m).
- Plates Layout Validation:** Includes Plate Edge Width Squaring Offset (0), Plate Edge Length Squaring Offset (0), Net Plate Width (2000), Net Plate Length (6000), and Number of Plates Per Course (8).
- Courses Design Calculations Table:** Includes Course Min Width (1800), Transformed Shell Height (14.5), and Shell Total Weight with Appurtenances (<Unbound>).
- Weld Gaps:** Includes Vertical Weld Gap (0) and Horizontal Weld Gap (0).
- Radius Board:** Includes Quantity (2), Height (153), Length (915), Thickness (4), Cutouts Radius (7), and Material (275).
- Insulation Surface:** Includes buttons for 'Display Plates Configuration', 'Regen Plates Configuration', 'Display Design Warnings', and 'Reset Plate Sizes to Default'.

The bottom of the window features a toolbar with various icons and buttons for 'Apply', 'Cancel', and 'Close'.

Figure (VII.08) : les caractéristiques générales de la robe.

CHAPITRE VII : Modélisation par AMEtank et élaboration des plans

Dans le deuxième onglet est destiné pour les viroles en particulier, voir la figure 09

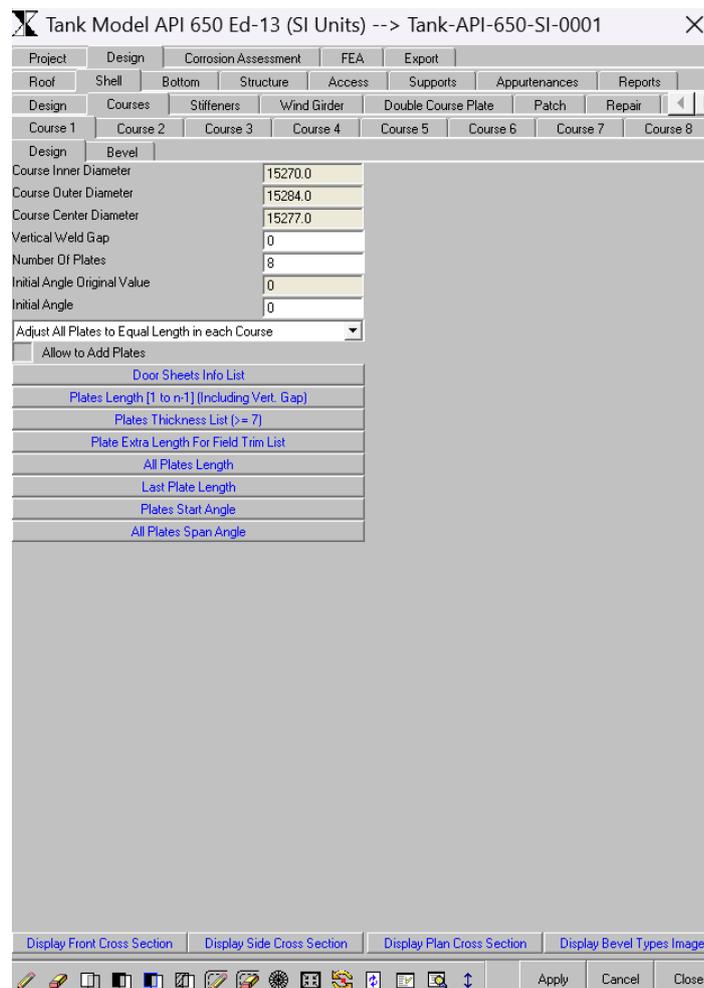


Figure (VII.09) : les caractéristiques des viroles.

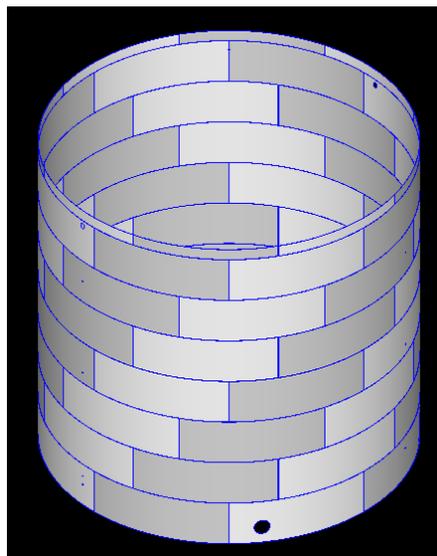


Figure (VII.10) : vue 3D de la robe.

CHAPITRE VII : Modélisation par AMEtank et élaboration des plans

➤ Le fond :

L'onglet bottom affichera différents sous-onglets pour spécifier des informations détaillées sur la conception de fond, comme illustré à la Figure 11, et dans la figure 12 ce présent les caractéristiques de les plaques annulaire de fond.

Section	Parameter	Value	
Plates Design Calculations	Flat Bottom		
	Material	275	
	JE Detail		
	Joint Efficiency (1 = 100%)	0.35	
	Corrosion Allowance	1	
	Bottom Insulation Thickness (mm)	0	
	Bottom Insulation Density	0 kg/h	
	Plate Thickness (t-Req'd 7)	7	
	Sketch Plate Thickness	7	
	Outside Projection (Chime Distance)	50	
	Min Chime Distance For Drawings	50	
	Annular Ring Required	t	
	Annular Ring	Yes	
	Bottom to Shell Attachment Type	External	
	Layout	Rows	
Plates Layout Validation	Plate Rectangular Half Length	3000.0	
	Plate Edge Width Squaring Offset	0	
	Plate Edge Length Squaring Offset	0	
	Net Plate Length	6000	
	Net Plate Width	2000	
	Min Plate Size	1800	
	Min Weld Length	600	
	Min Dist. Between 3 Plates Welds (Req 300)	450	
	Purchased Plate Width	2 m	
	Available Plates Length Method	User Input	
	Gap for Nesting Plates	26	
	Min Clearance to Sheet Outer Edge	0	
	Row Plates Order	Center Plate L	
	Rows Order	Center Row L	
	Plates Layout and Configuration	Orientation Angle (degrees)	0
Row At Centerline?		<input checked="" type="checkbox"/>	
Plate to Plate Welding Type		Lap Welded	
Plate to Plate Overlap (Min 25)		25	
Min Plate to Plate Overlap For Drawings		25	
Purchased Plate Length		6 m	
Purchased Plate Width		2 m	
Sketch Plate Max Length (Rows)		3000	
Sketch Plate Max Length (North/South)		3000	
Sketch Plate Extra Length		0	
Consider Plate Face Side For Marks?		<input checked="" type="checkbox"/>	
Total Weight with Appurtenances(Kgs)		<Unbound> !	
Display Bottom Components			
Display Plates Configuration			
Regen Plates Configuration			
Display Size Warnings			
Reset Plate Sizes to Default			
Display Weld Warnings			
Get Plate Dimension Info			
Edit Plate			
Check Bottom Design Warnings			
Display Front Cross Section			
Display Side Cross Section			

Figure (VII.11) : les caractéristiques de fond.

CHAPITRE VII : Modélisation par AMEtank et élaboration des plans

Tank Model API 650 Ed-13 (SI Units) --> Tank-API-650-SI-0001

Project Design Corrosion Assessment FEA Export

Roof Shell Bottom Structure Access Supports Appurtenances Reports

Design Rows Foundation Annular Ring Bearing Ring Drip Ring Reconstruction

Design Calculations Sectors Nesting from Rectangular Plate

Material	275	Plate Standard Length	6000
Corrosion Allowance	1	Rectangular Plate Width (Min. Req'd. 2784.68)	2500
Ring Plate Thickness (thk-Req'd 7)	7	Gap Between Segments	30
Ring Plate Width (width-Req'd 657)	752	Sheet Clearance Length	30
Annular to Bottom Welding Type	Butt Welded	Sheet Clearance Width	30
Annular to Bottom Gap	0	Ring Sections Qty Per Plate	2
		Number of Standard Plate	4
		Plate Used Length (Nested Plate)	5940.734
		Plate Used Width (Nested Plate)	2176.31

Sectors Layout & Configuration

Annular Ring Position	Below Bottom
Segment to Segment Clearance	7
Land Length	0
Bevel Angle Between Ring Segments	35
<input checked="" type="checkbox"/> With Backing Bar?	
Backing Bar Thickness	7
Backing Bar Width	50
Backing Bar Material	275
Backing Bar to Ring Pl. Inside Width Offset	30
Backing Bar to Ring Pl. Outside Width Offset	30
Rectangular Plate Length for Rings	6000
Number of Segments	8

Adjust All Plates to Equal Length

Plates Span Angle

Regular Plate Span Angle	44.947858753194
Inside Edge Type	Circular
Start Angle	0
Annular Ring Total Weight (Kgs)	<Unbound>

Draw Nesting Plate

Display Plates Configuration

Check Annular Ring Design Warnings Display Front Cross Section Display Side Cross Section

Apply Cancel Close

Figure (VII.12) : les caractéristiques de la plaque annulaire du fond.

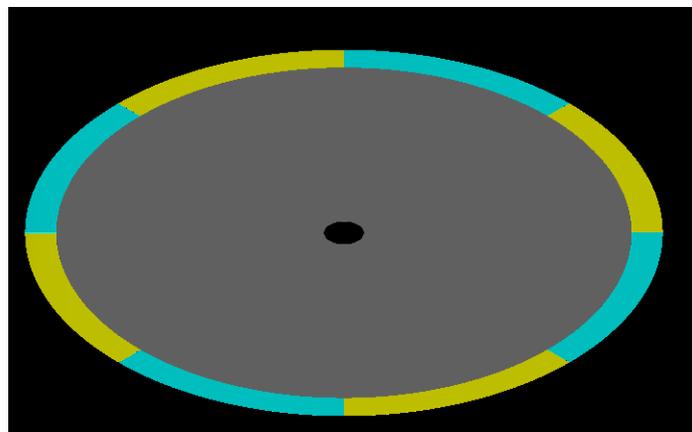


Figure (VII.13) : vue 3D de fond et la plaque annulaire

CHAPITRE VII : Modélisation par AMEtank et élaboration des plans

➤ Accès :

Pour l'onglet des accès on s'intéresse à modéliser les escaliers qui définissent dans l'onglet stairways comme défini dans la figure 14 suivante :

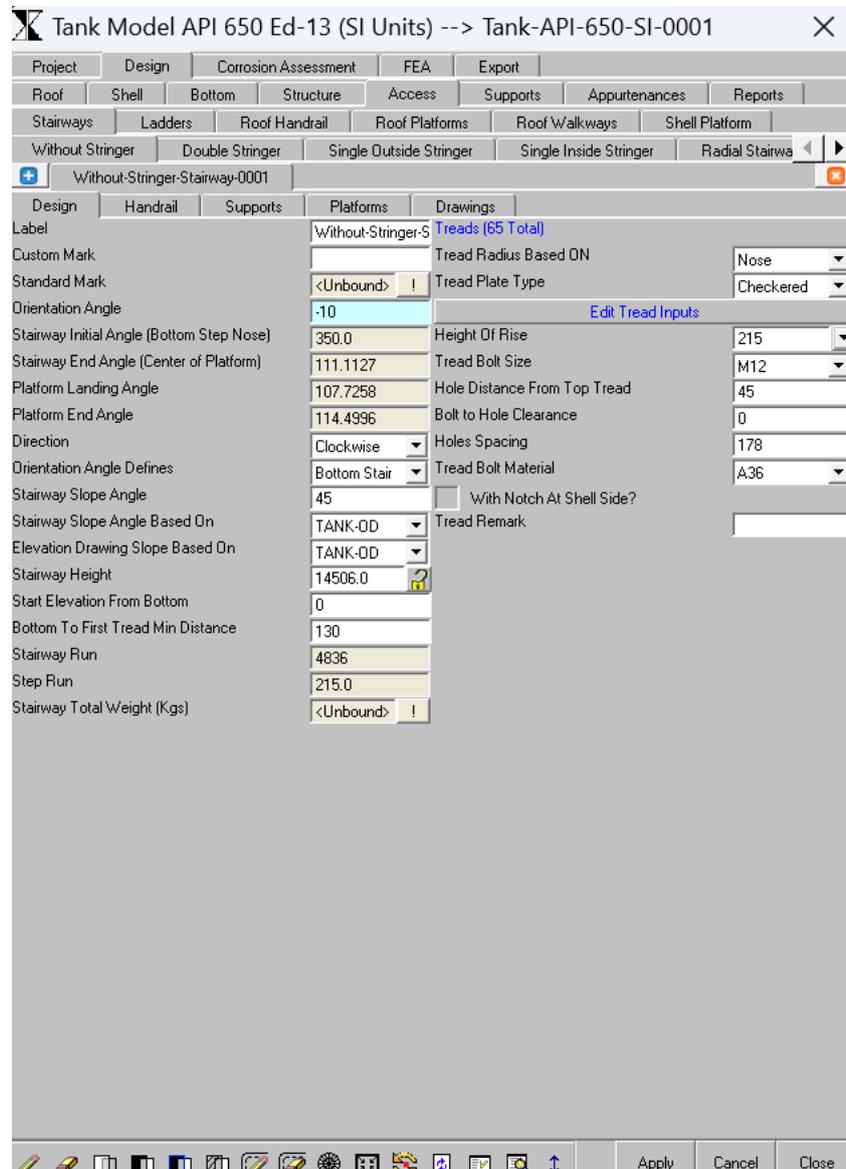


Figure (VII.14) : les caractéristiques de l'escalier.



Figure (VII.15) : vue 3D de l'escalier.

➤ **Accessoires :**

Accessoire, comme indiqué dans la figure 16, est utilisé pour ajouter au réservoir les dépendances suivantes :

Tubilleur, capteurs, passages d'homme, trappe, événements, raccords, câble d'échafaudage, niveau de liquide, poteau de jauge.

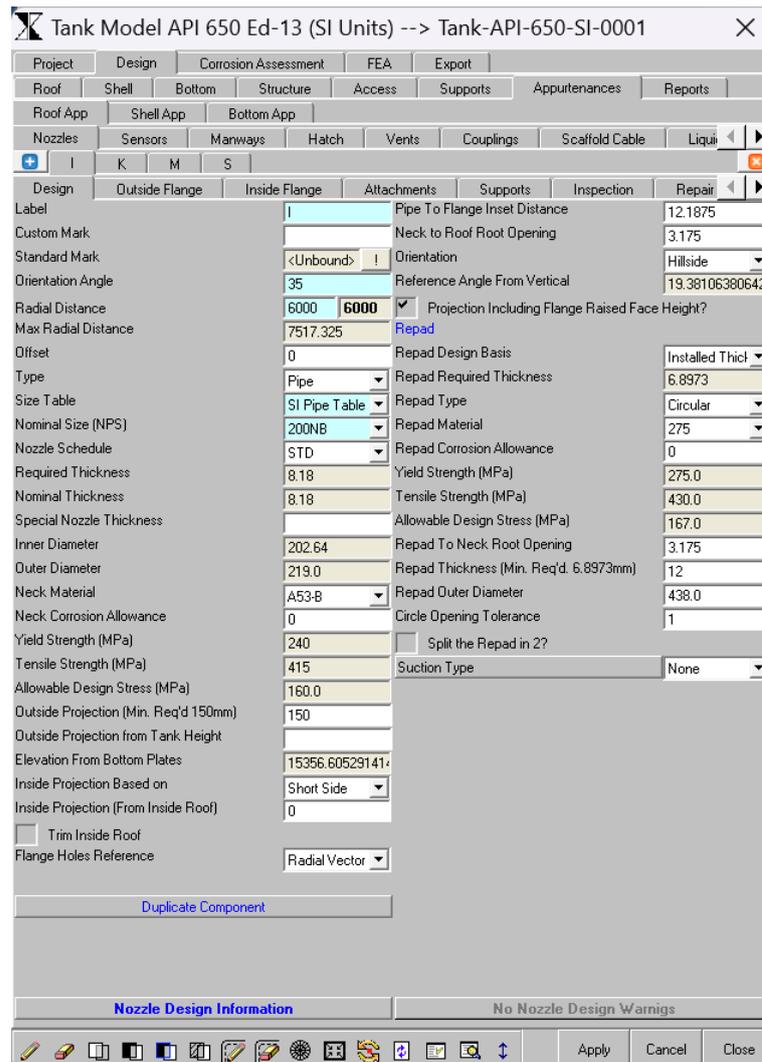


Figure (VII.16) : accessoire pour le réservoir

On intéresse sur l'entrée d'homme et les tubileur est sont définir dans cette figure :

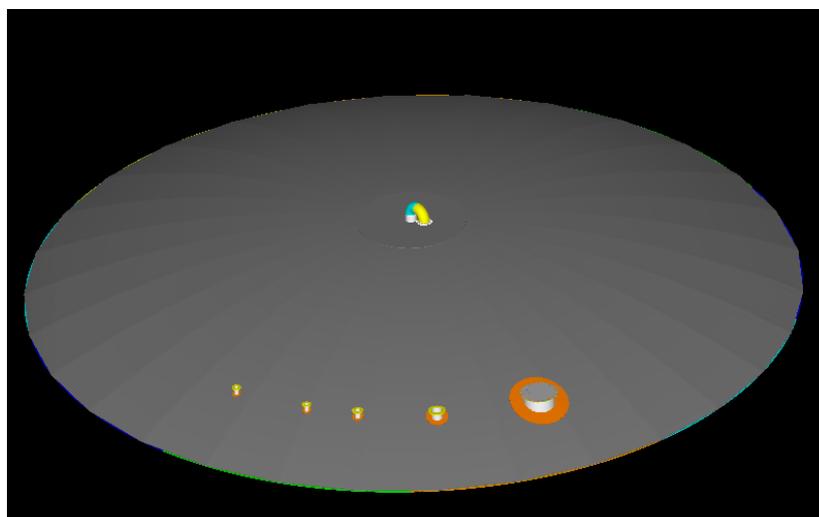


Figure (VII.17) : les tubileur et passage d'homme sur la toiture.

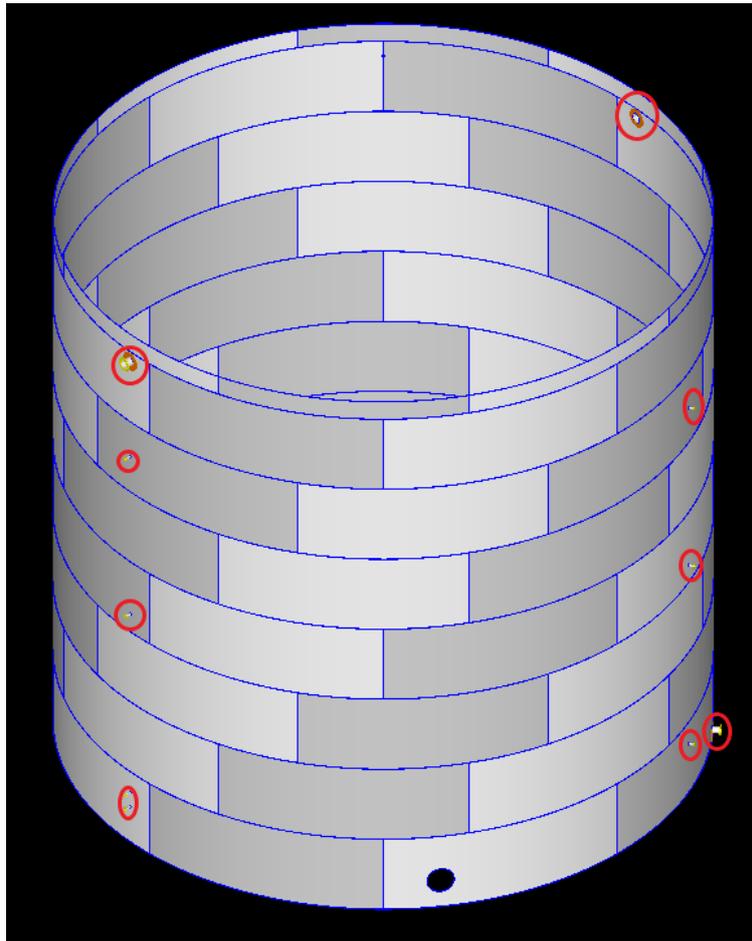


Figure (VII.18) : les tubulures sur la robe

CHAPITRE VII : Modélisation par AMEtank et élaboration des plans

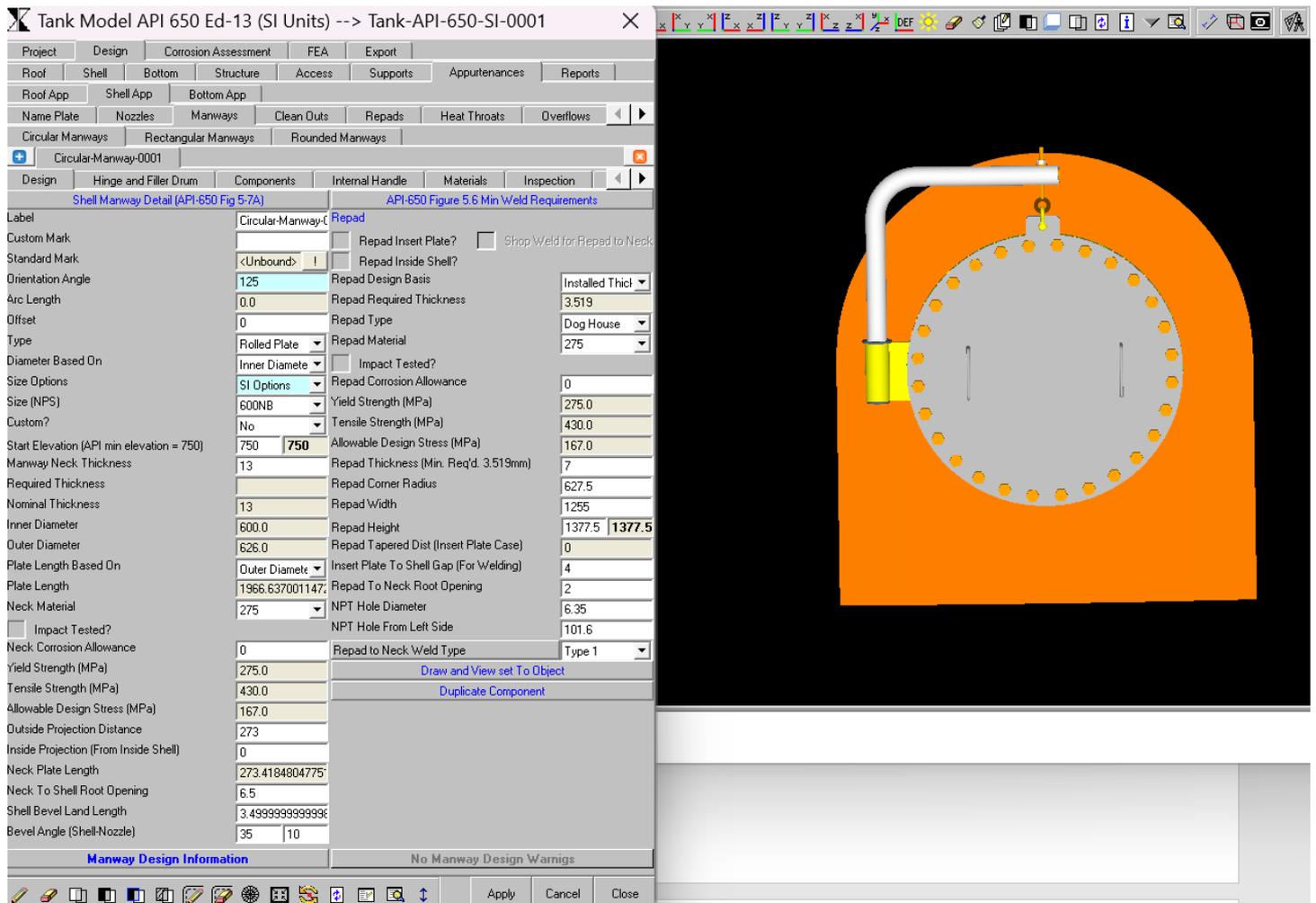


Figure (VII.19) : les caractéristiques et la vue 3D du passage d'homme sur la robe.

CHAPITRE VII : Modélisation par AMEtank et élaboration des plans

➤ Les ancrages :

Les ancrages on le trouve dans l'ongle supports est sont caractéristiques sont définir dans la figure 20 suivant.

Parameter	Value
Label	Anchor-Chair-Bolt
Custom Mark	
Standard Mark	<Unbound>
Anchor Chair Bolts Quantity (Min Req'd 17)	19
Anchor Chair Type	Type 1
Start Angle	0
Max Arc Spacing Between Anchor Chairs	
Anchor Chair Height (h) (Min. 305mm)	400
Anchor Chair Material	275
Anchor Chair Corrosion Allowance	1
Coupling Nut Length	153
Top Plate	
Edge Straight?	<input type="checkbox"/>
Top Plate Width (a)	200
Top Plate Center Length (b) (Min. 113mm)	204
Top Plate Outer Edge Length	204.6529398230
Top Plate Thickness (c) (Min. 29mm)	40
Plate Root Opening (s)	7
Top Plate Chamfer Width	0
Top Plate Chamfer Length	0
Top Plate Slotted Hole?	<input type="checkbox"/>
Side Plates	
Plates Spacing (g) (Min. 74mm)	108
Lower Width	50
Chamfer Length	10
Thickness (j) (Min. 18mm)	30
Anchor Bolt	
Anchor Bolt Design Based On	Design Temp
Anchor Bolt Type	Bolt
Anchor Bolt BOM Description	BOLT
Boils By Others?	<input checked="" type="checkbox"/>
Anchor Bolt Corrosion Allowance	0
Anchor Bolt Required Diameter (mm)	52.3
Bolt Nominal Size (d) (Min. m56)	M48
Anchor Chair Height (h) (Min. 305mm)	400
Anchor Chair Material	275
Anchor Chair Corrosion Allowance	1
Coupling Nut Length	153
Top Plate	
Edge Straight?	<input type="checkbox"/>
Top Plate Width (a)	200
Top Plate Center Length (b) (Min. 113mm)	204
Top Plate Outer Edge Length	204.6529398230
Top Plate Thickness (c) (Min. 29mm)	40
Plate Root Opening (s)	7
Top Plate Chamfer Width	0
Top Plate Chamfer Length	0
Top Plate Slotted Hole?	<input type="checkbox"/>
Side Plates	
Plates Spacing (g) (Min. 74mm)	108
Lower Width	50
Chamfer Length	10
Thickness (j) (Min. 18mm)	30
Anchor Bolt	
Anchor Bolt Design Based On	Design Temp
Anchor Bolt Type	Bolt
Anchor Bolt BOM Description	BOLT
Boils By Others?	<input checked="" type="checkbox"/>
Anchor Bolt Corrosion Allowance	0
Anchor Bolt Required Diameter (mm)	52.3
Bolt Nominal Size (d) (Min. m56)	M48

Figure (VII.20) : les caractéristiques des ancrages.

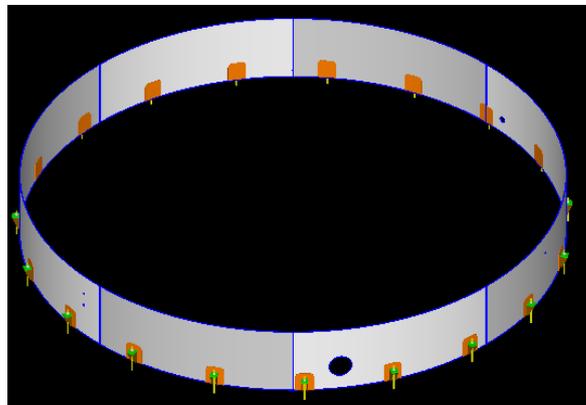
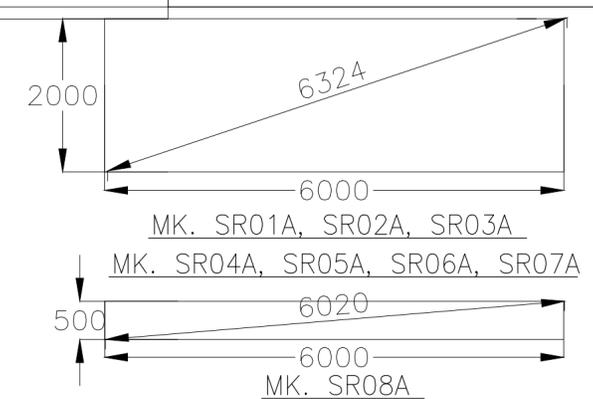
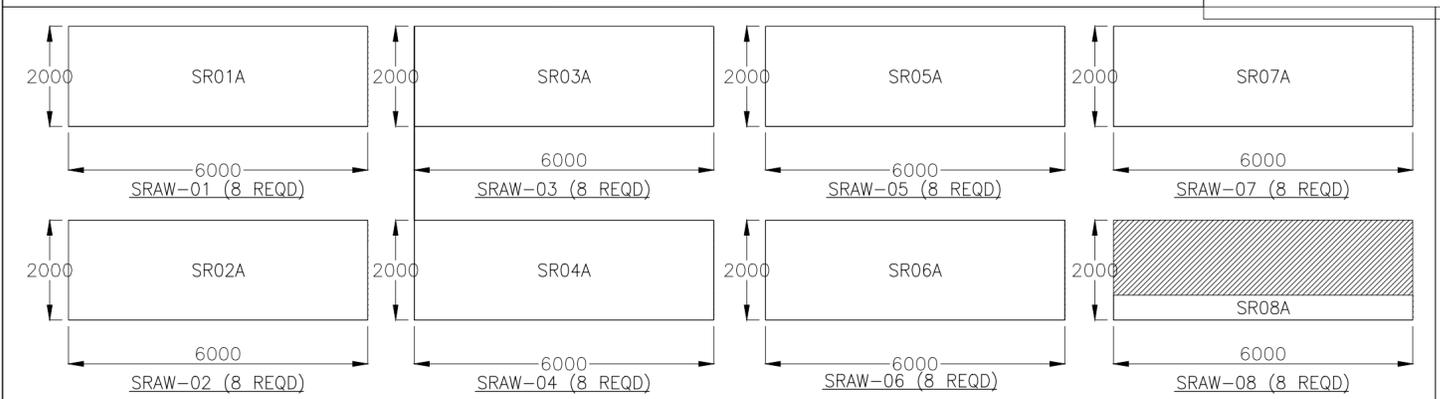
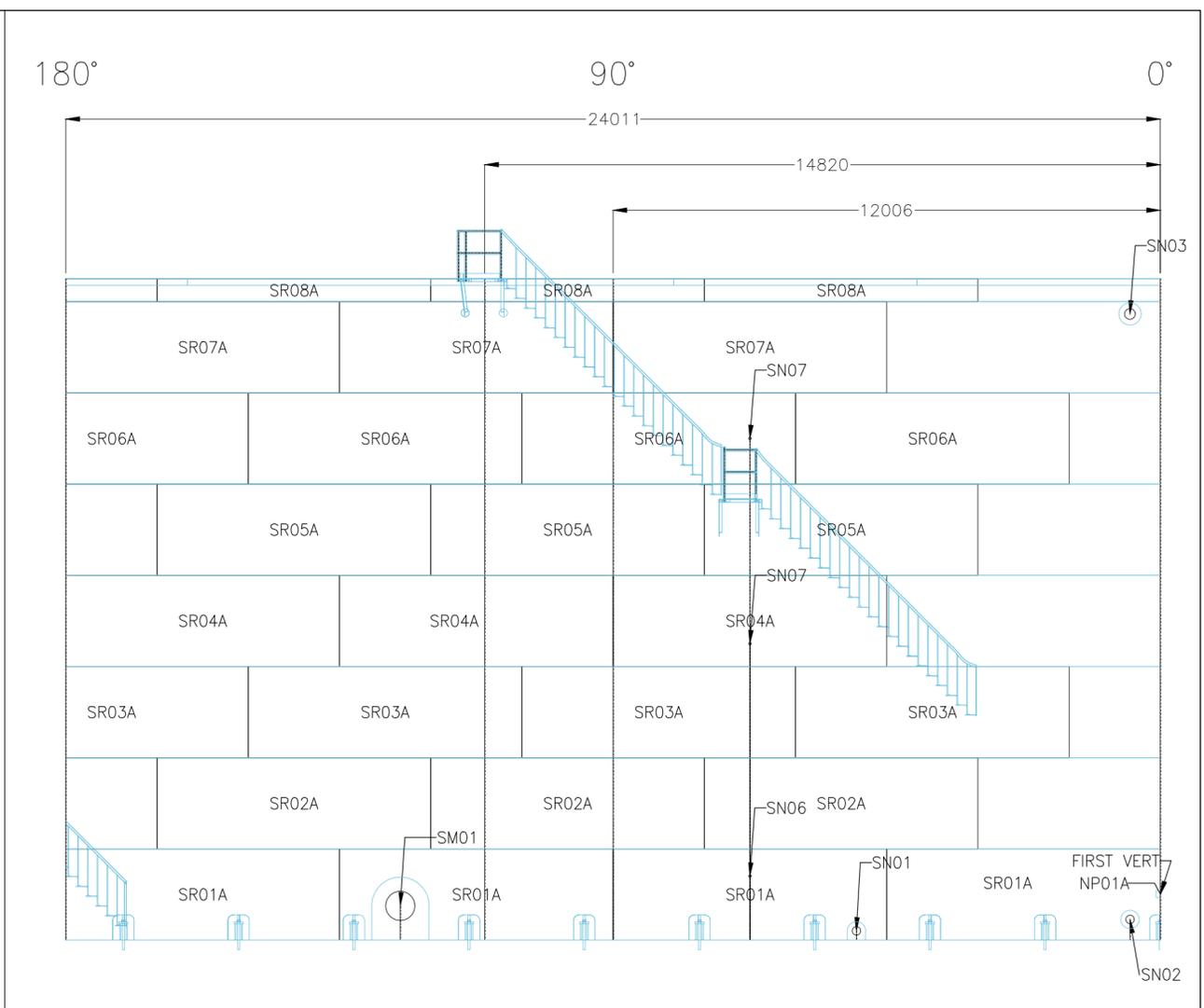
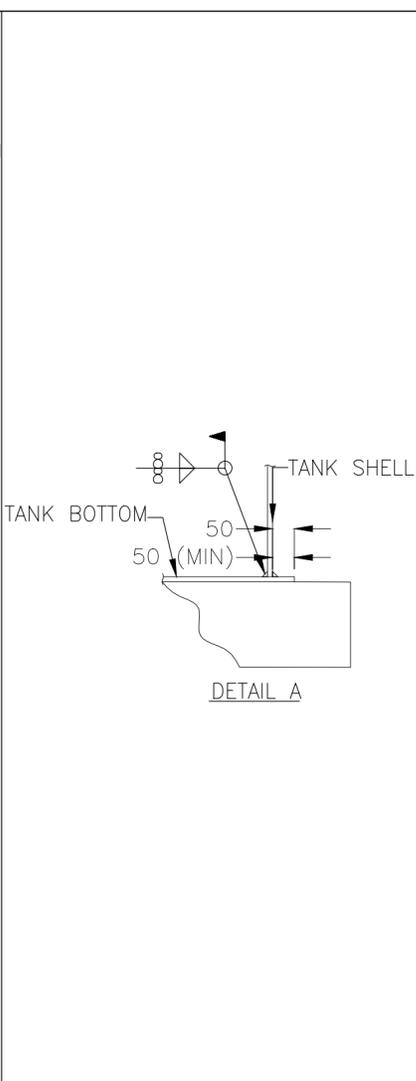
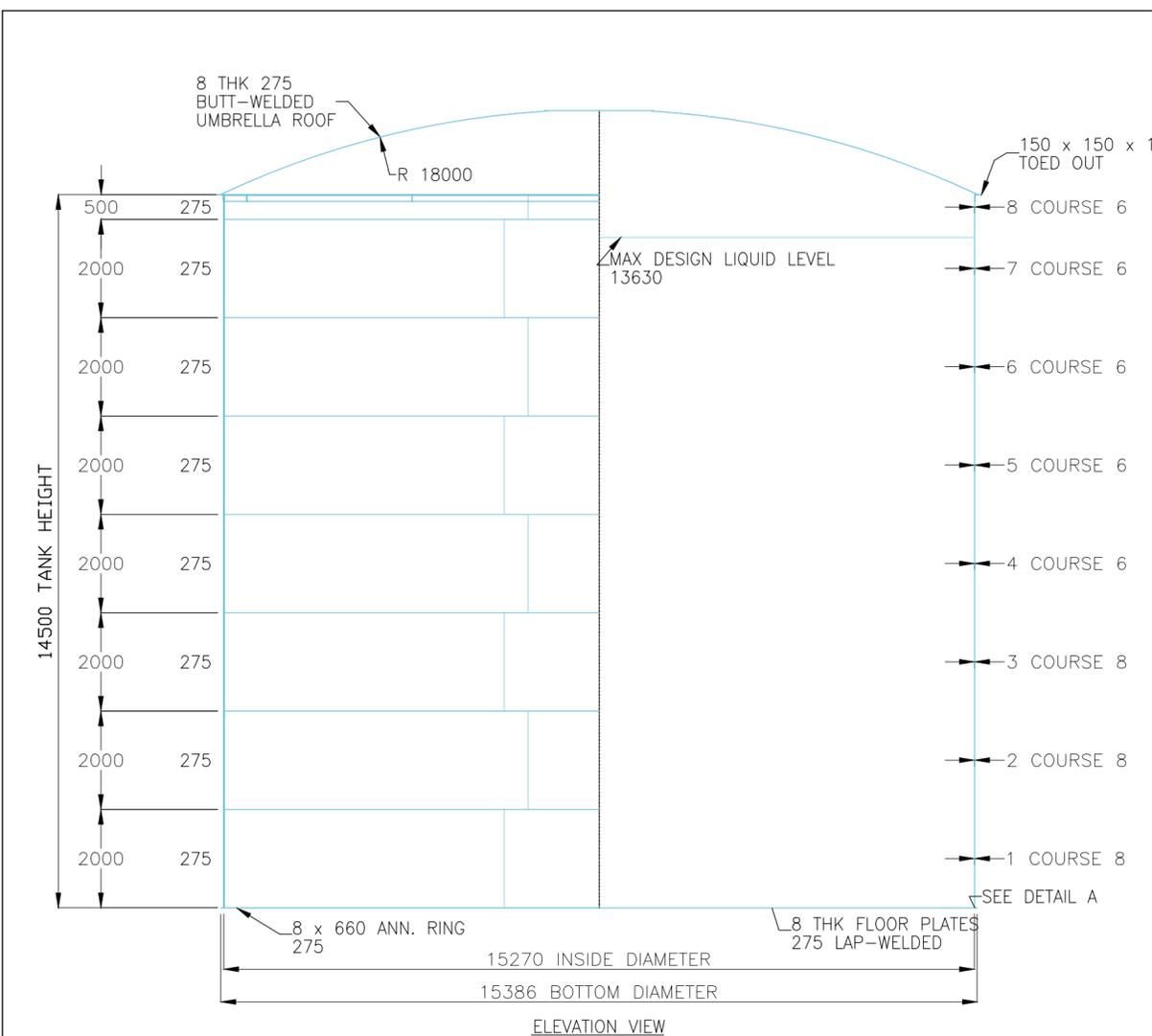


Figure (VII.21) : vue 3D des ancrages.

CHAPITRE VII : Modélisation par AMEtank et élaboration des plans

Conclusion :

Le logiciel AMETank s'est révélé être un outil indispensable pour la conception et la fabrication de réservoirs de stockage. Grâce à son interface intuitive et à ses fonctionnalités avancées, il permet de gagner un temps précieux tout en assurant une grande précision dans la réalisation des projets.



NOTE 1: FABRICATION TOLERANCE = ± 4 COMPARED TO DRAWING DIMENSION UNLESS OTHERWISE NOTED.
NOTE 2: DIMENSIONS SHOWN ARE BEFORE ROLLING.
NOTE 3: ROLL ALL SHELL PLATES TO 7635 INSIDE RADIUS.
NOTE 4: FABRICATION TOLERANCE FOR BEVEL ANGLE AT PLATE EDGE IS -5°, +5°.
NOTE 5: TOTAL WEIGHT PLATES SHOWN = 37251 KGS
NOTE 6: THE LENGTH OF THE PLATES IS CALCULATED USING THE CENTER OF DIAMETER OF THE TANK.
BILL OF MATERIALS LISTED FOR (1) TANK - (1) TANK REQUIRED.
ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.


جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

Université Abderrahmane Mira de Béjaia
 Faculté de Technologie
 Département de génie civil

WORK INSTRUCTIONS									
REC'D	CUT	ROLL	FIT	WELDED	READY TO COAT	SENT TO VENDOR	COATING COMPLETE	READY TO SHIP	SHIPPED

BILL OF MATERIALS								
QTY	SHPG MARK	ASSY QTY	ASSY MARK	DESCRIPTION	LENGTH	SPEC MATL	REMARKS	KGS WEIGHT
8	SR01A			SHELL PL. 8 x 2000 x 6000	275	ROLL	[6021]	
8	SR02A			SHELL PL. 8 x 2000 x 6000	275	ROLL	[6021]	
8	SR03A			SHELL PL. 8 x 2000 x 6000	275	ROLL	[6021]	
8	SR04A			SHELL PL. 6 x 2000 x 6000	275	ROLL	[4515]	
8	SR05A			SHELL PL. 6 x 2000 x 6000	275	ROLL	[4515]	
8	SR06A			SHELL PL. 6 x 2000 x 6000	275	ROLL	[4515]	
8	SR07A			SHELL PL. 6 x 2000 x 6000	275	ROLL	[4515]	
8	SR08A			SHELL PL. 6 x 500 x 6000	275	ROLL	[1129]	

ELEVATION VIEW APPURTENANCE								
MARK	CUST. MARK	DESCRIPTION	OUTSIDE PROJ	INSIDE PROJ	ORIENT	ELEVATION	REMARKS	REF DWG
AC01A		ANCHOR CHAIRS	---	---	SEE TABLE	---		AC01
AS01A		SPIRAL STAIRWAY (CW)	---	---	350°	---		SW01
NP01A		STD API	---	---	0°	1010		NP01
SM01A		600NB SHELL MANWAY	272	0	125°	750	w/ DAVIT	SM01
SN01A		150NB SHELL NOZZLE	200	0	50°	200		SN01
SN02A		150NB SHELL NOZZLE	200	0	5°	450		SN02
SN03A		200NB SHELL NOZZLE	200	0	185°	13730		SN03
SN03A		200NB SHELL NOZZLE	200	0	5°	13730		SN03
SN04A		50NB SHELL NOZZLE	150	0	315°	13575		SN04
SN05A		25NB SHELL NOZZLE	150	0	185°	1400		SN05
SN05A		25NB SHELL NOZZLE	150	0	315°	200		SN05
SN06A		40NB SHELL NOZZLE	150	0	67.5°	1400		SN06
SN06A		40NB SHELL NOZZLE	150	0	185°	1000		SN06
SN07A		40NB SHELL NOZZLE	150	0	67.5°	11000		SN07
SN07A		40NB SHELL NOZZLE	150	0	67.5°	6500		SN07
SN07A		40NB SHELL NOZZLE	150	0	185°	6500		SN07
SN07A		40NB SHELL NOZZLE	150	0	185°	11000		SN07

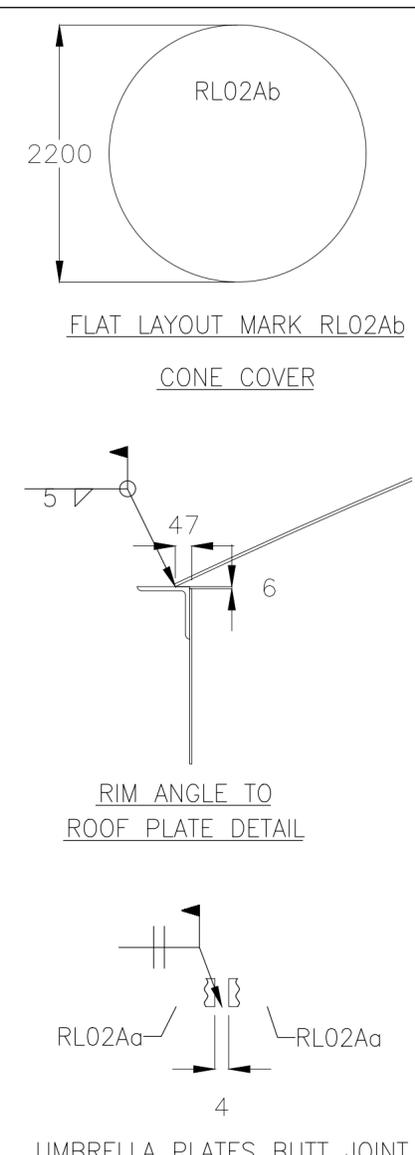
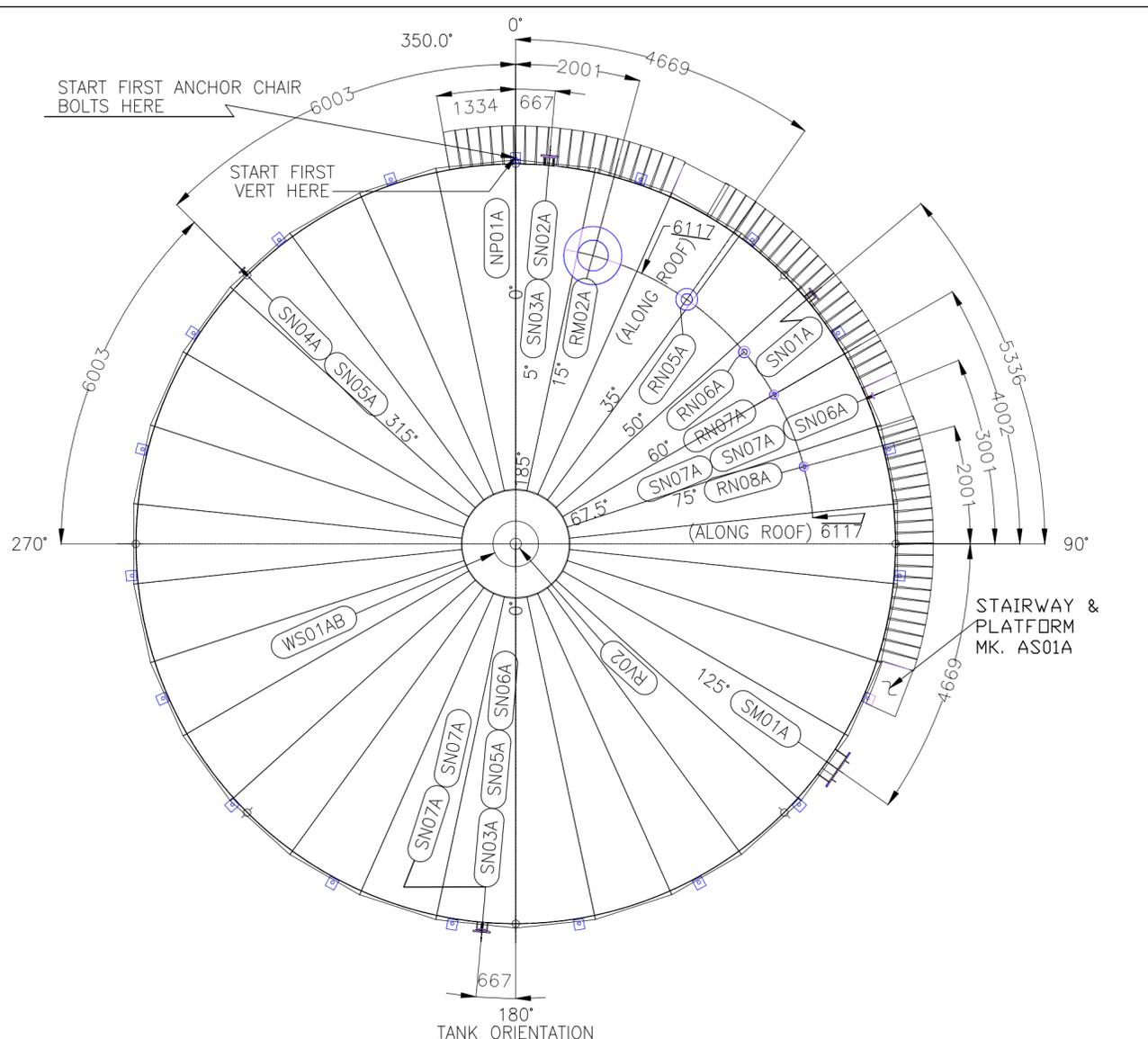
Projet fin d'étude: Etude d'un réservoir de stockage d'huile de capacité 2500 m3 selon API650
Option: Structures

TITRE:
LA ROBE ET DÉTAIL DES PLAQUES

Fait par: AZIRI EL-HACHEMI
 MANSERI LEILA

DATE: Juin2024
Encadré par: Mr A.LARABAT ZIANE

ECHELLE: -
DESSIN No: S-01
REV:



PLAN VIEW APPURTENANCE

MARK	CUST. MARK	DESCRIPTION	OUTSIDE PROJ	INSIDE PROJ	ORIENT	RADIUS	REMARKS	REF DWG
RM02A		600NB ROOF MANWAY	186	0	15°	6000		RM01
RN05A		200NB ROOF NOZZLE	150	0	35°	6000		RN01
RN06A		100NB ROOF NOZZLE	150	0	50°	6000		RN02
RN07A		80NB ROOF NOZZLE	150	0	60°	6000		RN03
RN08A		80NB ROOF NOZZLE	150	0	75°	6000		RN04
RV02		8" GOOSENECK ROOF VENT	150	0	0°	0		RV01
WR01A		WINGRAIL	--	--	112°	7555		WR01
WS01AB		915" BOTTOM SUMP	--	--	0°	0		WS01

NOTE 1: RADIUS SHOWN IS HORIZONTAL

ELEVATION VIEW APPURTENANCE

MARK	CUST. MARK	DESCRIPTION	OUTSIDE PROJ	INSIDE PROJ	ORIENT	ELEVATION	REMARKS	REF DWG
AC01A		ANCHOR CHAIRS	--	--	SEE TABLE	--		AC01
AS01A		SPIRAL STAIRWAY (CW)	--	--	350°	--		WS01
NP01A		STD API	--	--	0°	1010		NP01
SM01A		600NB SHELL MANWAY	272	0	125°	750	W/ DAVIT	SM01
SNO1A		150NB SHELL NOZZLE	200	0	50°	200		SNO1
SNO2A		150NB SHELL NOZZLE	200	0	5°	450		SNO2
SNO3A		200NB SHELL NOZZLE	200	0	185°	13730		SNO3
SNO3A		200NB SHELL NOZZLE	200	0	5°	13730		SNO3
SNO4A		50NB SHELL NOZZLE	150	0	315°	13575		SNO4
SNO5A		25NB SHELL NOZZLE	150	0	185°	1400		SNO5
SNO5A		25NB SHELL NOZZLE	150	0	315°	200		SNO5
SNO6A		40NB SHELL NOZZLE	150	0	67.5°	1400		SNO6
SNO6A		40NB SHELL NOZZLE	150	0	185°	1000		SNO6
SNO7A		40NB SHELL NOZZLE	150	0	67.5°	11000		SNO7
SNO7A		40NB SHELL NOZZLE	150	0	67.5°	6500		SNO7
SNO7A		40NB SHELL NOZZLE	150	0	185°	6500		SNO7
SNO7A		40NB SHELL NOZZLE	150	0	185°	11000		SNO7

WORK INSTRUCTIONS

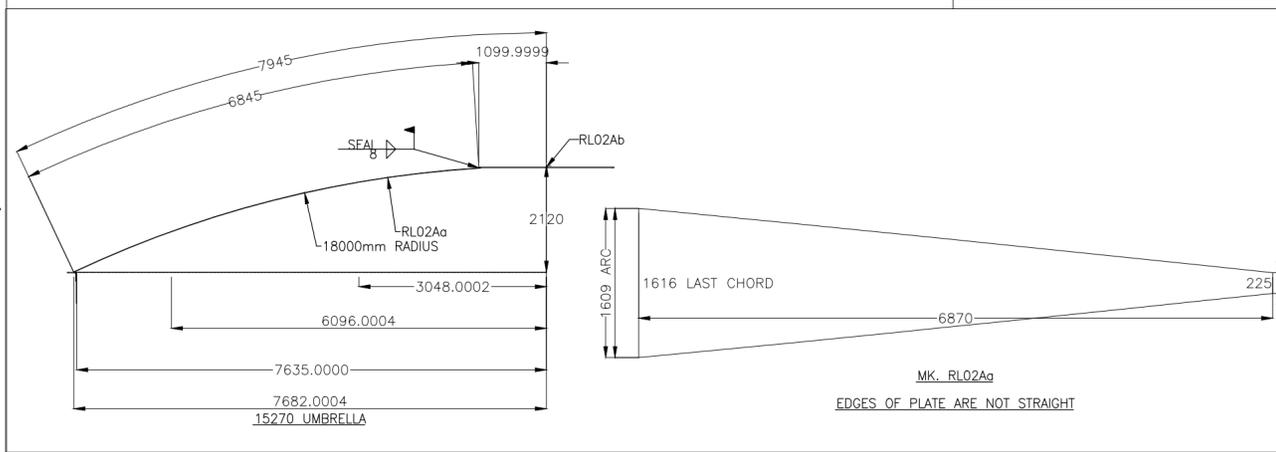
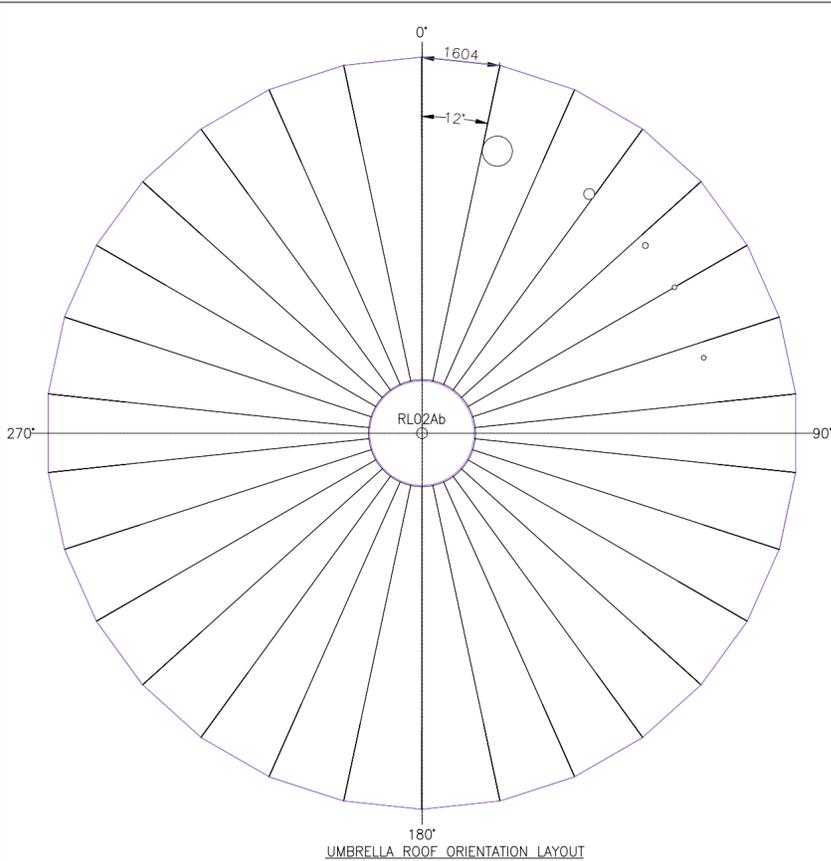
RECVD	CUT	ROLL	FIT	WELDED	READY TO COAT	SENT TO VENDOR	COATING COMPLETE	READY TO SHIP	SHIPPED

BILL OF MATERIALS

QTY	SHPG MARK	ASSY QTY	ASSY MARK	DESCRIPTION	LENGTH	SPEC MATL	REMARKS	KGS WEIGHT
1	RL02A			ROOF UMBRELLA				[12232]
		30	RL02Aa	PL. 8 x 1616 x 6870	6870	275		11996
		1	RL02Ab	PL. 8 x 2200 DIA		275		236

RAW MATERIAL

QTY	MK	PLATES	DESCRIPTION	LENGTH	MATERIAL	CUT LENGTH	WEIGHT
15	RRAW-01	RL02Aa, RL02Aa	PL. 8mm x 20000 x 12000	275	31301	225795	



1.- FABRICATION TOLERANCE = ± 4 COMPARED TO DRAWING DIMENSION.
 BILL OF MATERIALS LISTED FOR (1) TANK -
 (1) TANK REQUIRED.
 ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.



Université Abderrahmane Mira de Béjaia
 Faculté de Technologie
 Département de génie civil

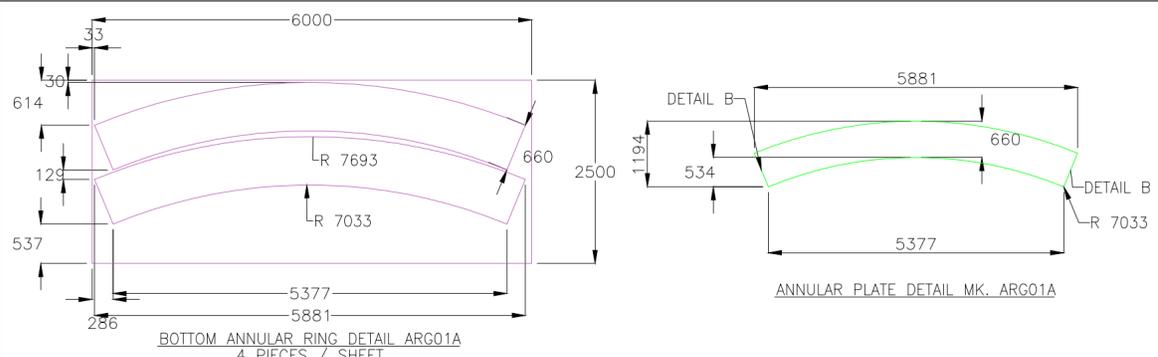
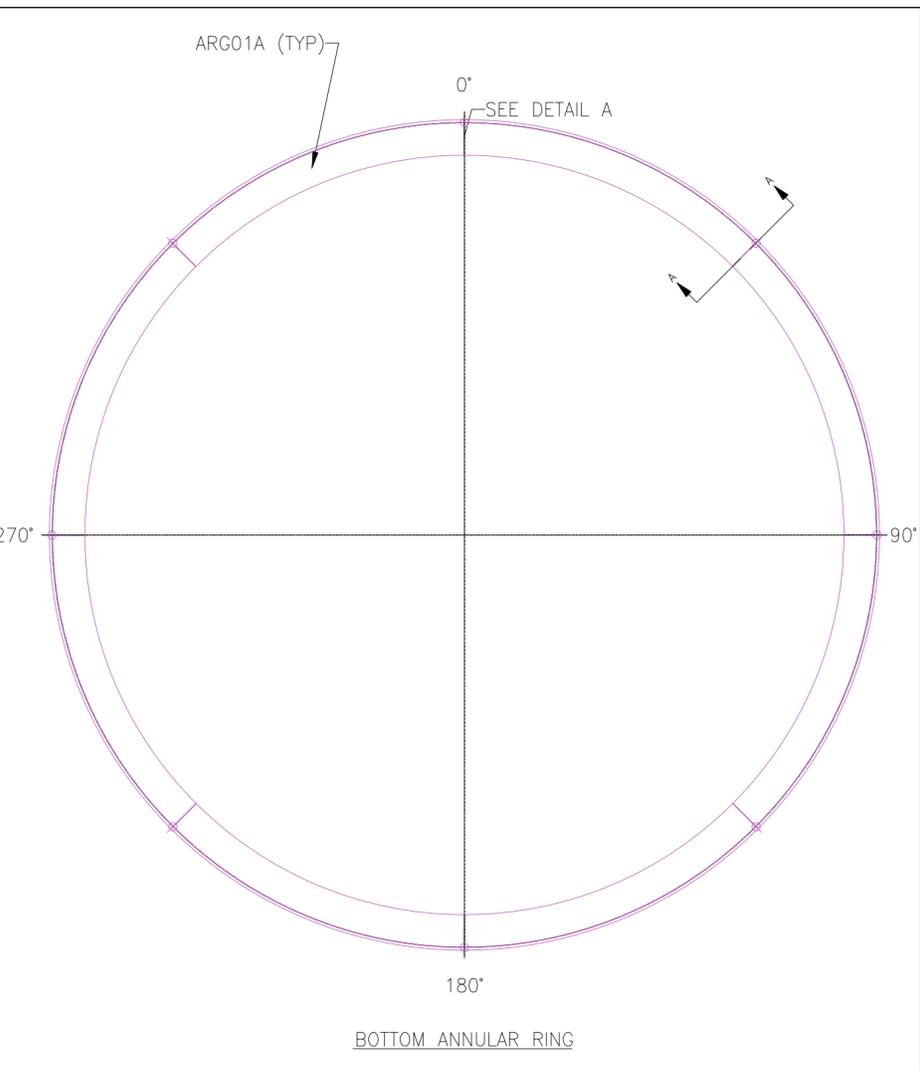
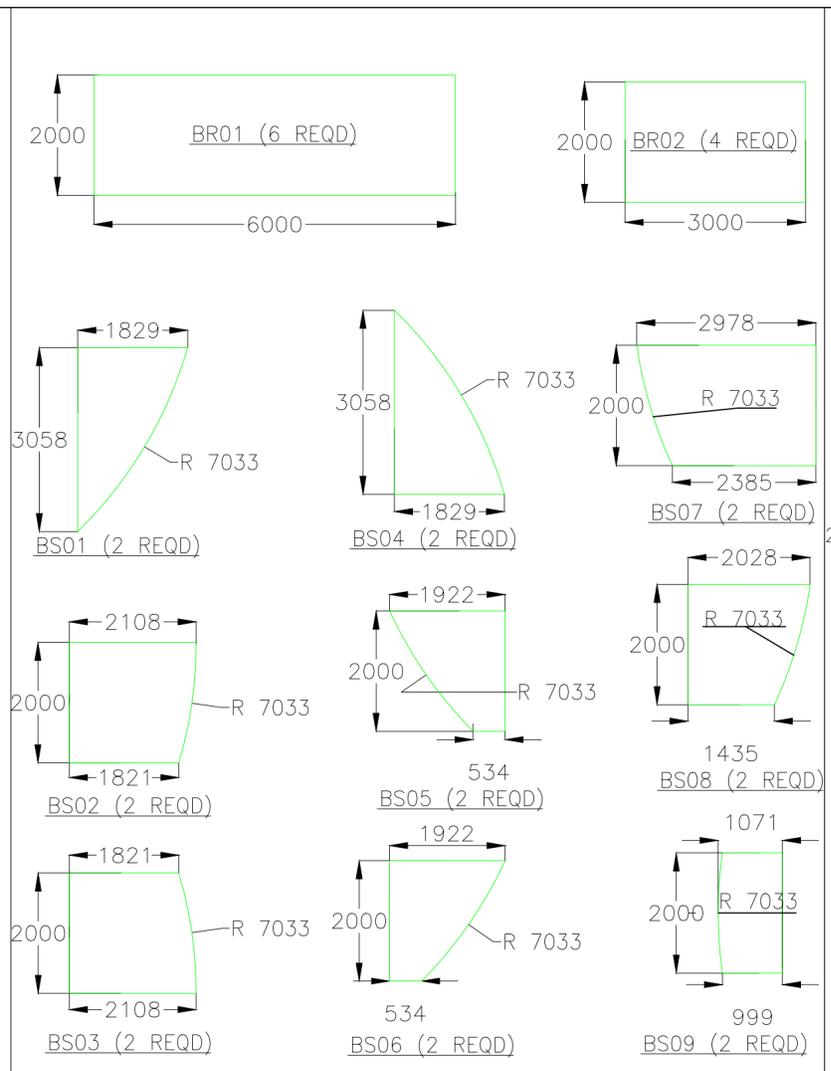
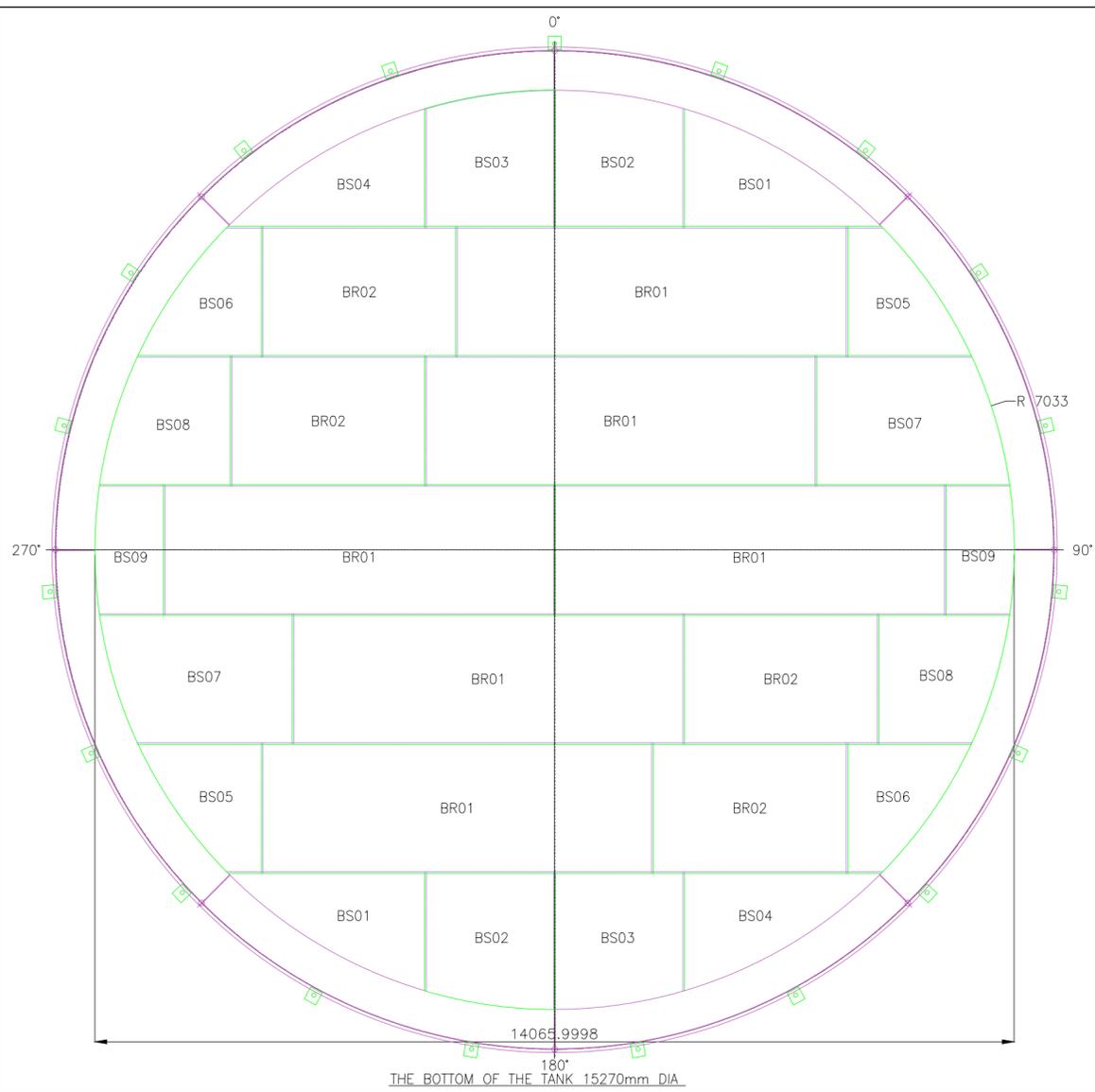
Projet fin d'étude: Etude d'un réservoir de stockage d'huile de capacité 2500 m3 selon API650
Option: Structures

TITRE: LA TOITURE

Fait par: AZIRI EL-HACHEMI MANSERI LEILA

DATE: Juin2024 **Encadré par:** Mr A.LARABAT ZIANE

ECHELLE: - **DESSIN No:** R-01 **REV:**

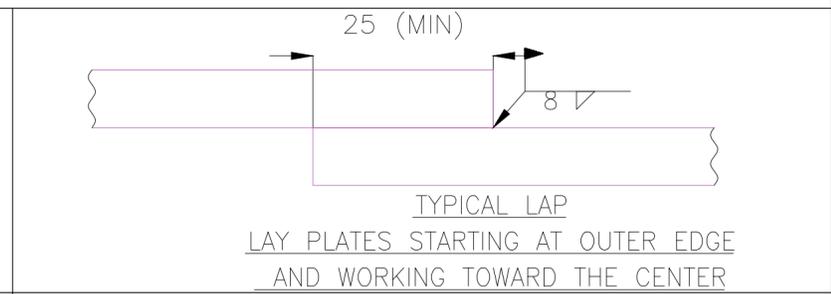


WORK INSTRUCTIONS

CUT	ROLL	FIT	WELDED	READY TO COAT	SENT TO VENDOR	COATING COMPLETE	READY TO SHIP	SHIPPED
-----	------	-----	--------	---------------	----------------	------------------	---------------	---------

BILL OF MATERIALS

QTY	SHPG MARK	ASSY QTY	ASSY MARK	DESCRIPTION	LENGTH	SPEC MATL	REMARKS	KGS WEIGHT
8	ARG01A			PL. 8 x 1194 x 5881	5881	275	SEE DETAIL [1912]	[1912]
8			ARG01Ad	FB. 7 x 50 x 600	600	275		[14]



WORK INSTRUCTIONS

CUT	ROLL	FIT	WELDED	READY TO COAT	SENT TO VENDOR	COATING COMPLETE	READY TO SHIP	SHIPPED
-----	------	-----	--------	---------------	----------------	------------------	---------------	---------

BILL OF MATERIALS

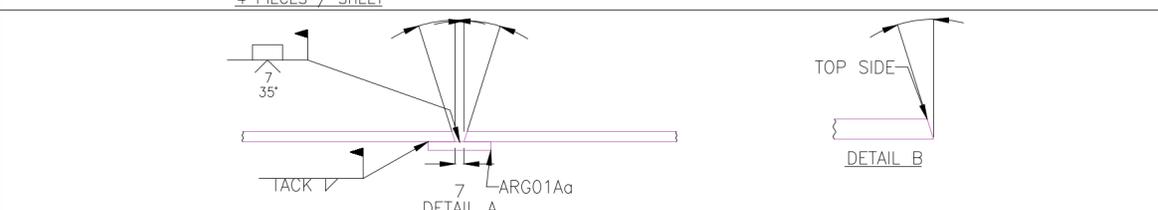
QTY	SHPG MARK	ASSY QTY	ASSY MARK	DESCRIPTION	LENGTH	SPEC MATL	REMARKS	KGS WEIGHT
6	BR01			BOTTOM PL. 8 x 2000 x 6000	6000	275	RECT	[4516]
4	BR02			BOTTOM PL. 8 x 2000 x 3000	3000	275	RECT	[1505]
2	BS01			BOTTOM PL. 8 x 1829 x 3058	3058	275		[419]
2	BS02			BOTTOM PL. 8 x 2000 x 2108	2108	275		[505]
2	BS03			BOTTOM PL. 8 x 2000 x 2108	2108	275		[505]
2	BS04			BOTTOM PL. 8 x 1829 x 3058	3058	275		[419]
2	BS05			BOTTOM PL. 8 x 1922 x 2000	2000	275		[330]
2	BS06			BOTTOM PL. 8 x 1922 x 2000	2000	275		[330]
2	BS07			BOTTOM PL. 8 x 2000 x 2978	2978	275		[686]
2	BS08			BOTTOM PL. 8 x 2000 x 2028	2028	275		[448]
2	BS09			BOTTOM PL. 8 x 1071 x 2000	2000	275		[263]

جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

Université Abderrahmane Mira de Béjaia
Faculté de Technologie
Département de génie civil

Projet fin d'étude: Etude d'un réservoir de stockage d'huile de capacité 2500 m3 selon API650
Option: Structures

TITRE:
LE FOND CENTRALE, ANNULAIRE ET DÉTAIL DES PLAQUES

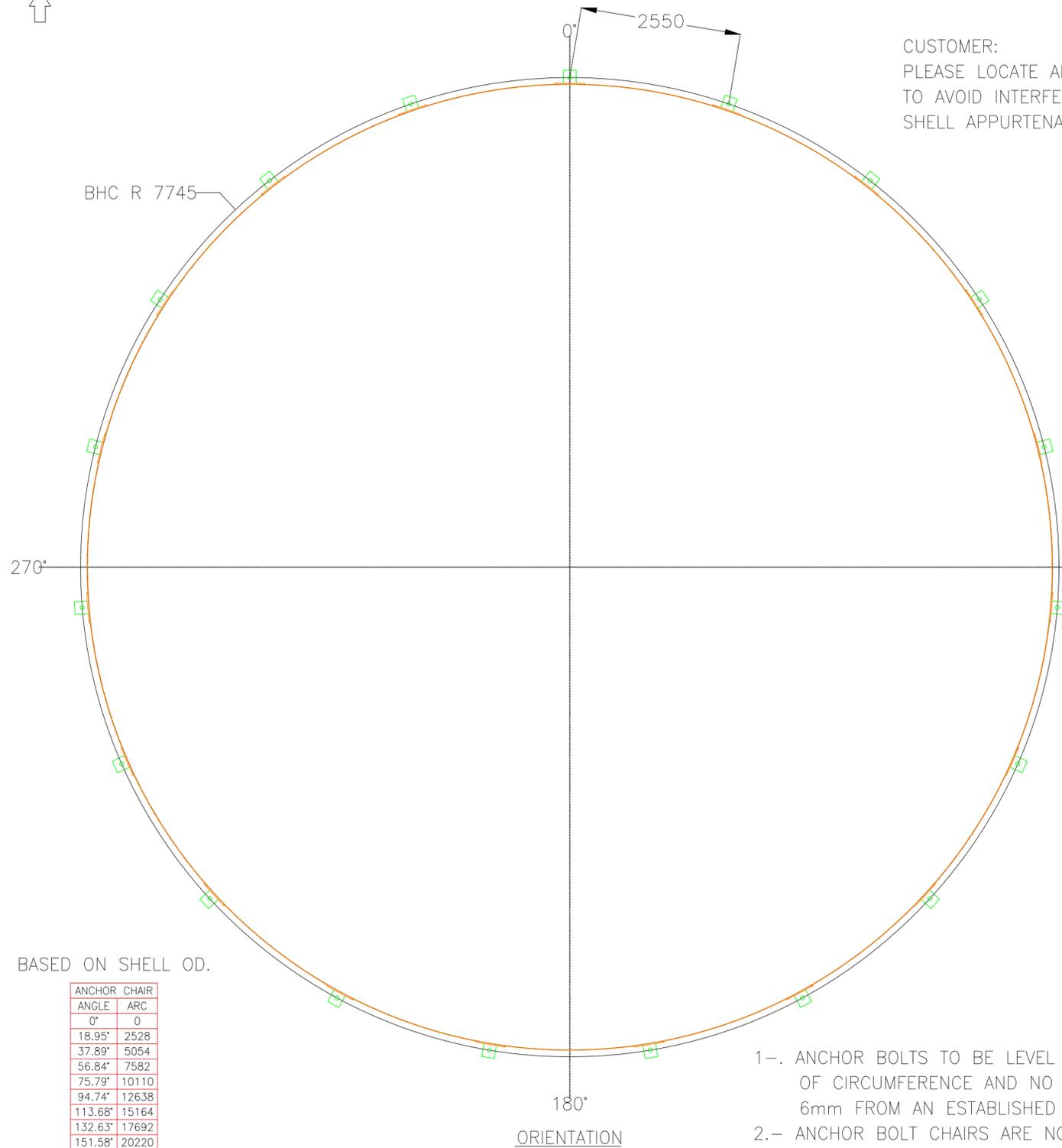


RAW MATERIAL

QTY	MK	PLATES	DESCRIPTION	CUT LENGTH	WEIGHT
4	ARGRAW-01	ARG01A, ARG01A	PL. 8 x 2500 x 6000	25745	3727

BILL OF MATERIALS LISTED FOR (1) TANK - (1) TANK REQUIRED.
 NOTE 1: FABRICATION TOLERANCE = ± 4 COMPARED TO DRAWING
 ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.

Fait par: AZIRI EL-HACHEMI MANSERI LEILA	DATE: Juin2024	Encadré par: Mr A.LARABAT ZIANE
ECHELLE: -	DESSIN No: B-01	REV:



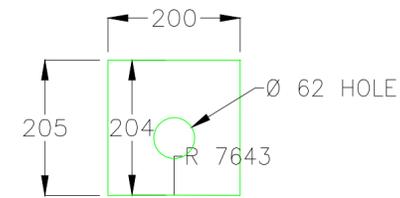
BASED ON SHELL OD.

ANCHOR CHAIR	
ANGLE	ARC
0°	0
18.95°	2528
37.89°	5054
56.84°	7582
75.79°	10110
94.74°	12638
113.68°	15164
132.63°	17692
151.58°	20220
170.53°	22748
189.47°	25274
208.42°	27802
227.37°	30330
246.32°	32858
265.26°	35384
284.21°	37912
303.16°	40440
322.11°	42968
341.05°	45495

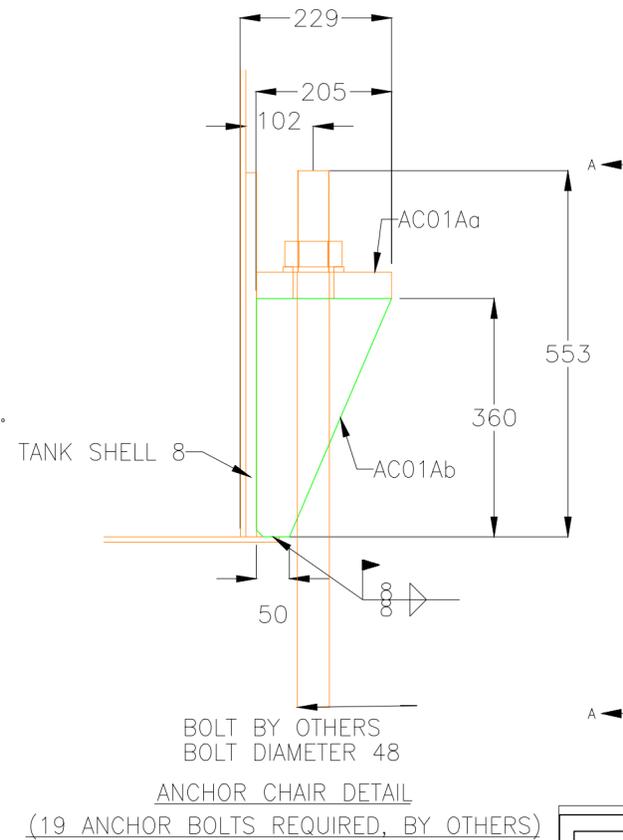
BASED ON BHC.

ANGLE	ARC	# OF BOLTS	TYP CHORD
303.16°	40440	2	2550mm
322.11°	42968	3	5029mm
341.05°	45495	4	7372mm

CUSTOMER:
PLEASE LOCATE ANCHOR BOLTS
TO AVOID INTERFERENCE WITH
SHELL APPURTENANCES



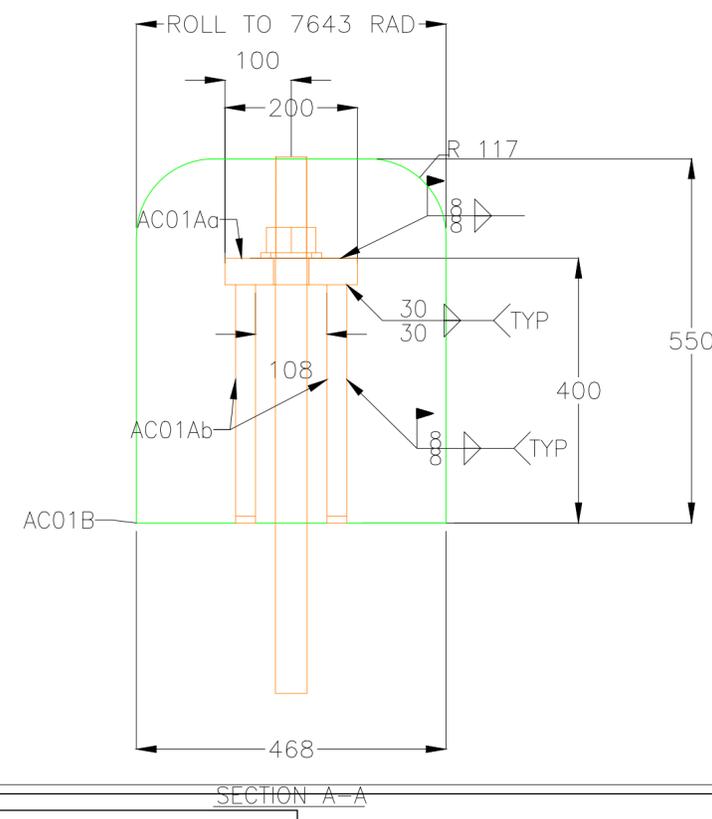
TOP PLATE AC01Aa DETAIL



ANCHOR CHAIR DETAIL
(19 ANCHOR BOLTS REQUIRED, BY OTHERS)

WORK INSTRUCTIONS								
RECV	CUT ROLL	FIT	WELDED	READY TO COAT	SENT TO VENDOR	COATING COMPLETE	READY TO SHIP	
BILL OF MATERIALS								
QTY	SHPG MARK	ASSY QTY	ASSY MARK	DESCRIPTION	LENGTH	SPEC MATL	REMARKS	KGS WEIGHT
19	AC01A			ANCHOR CHAIR DETAILS				[646]
		1	AC01Aa	PL. 40 x 200 x	205	275		12
		2	AC01Ab	PL. 30 x 204 x	360	275		22
19	AC01B			REPAD PL. 16 x 468 x	550	275		[601]

BILL OF MATERIALS LISTED FOR (1) TANK - (1) TANK REQUIRED.
ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.



SECTION A-A



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

Université Abderrahmane Mira de Béjaïa
Faculté de Technologie
Département de génie civil

Projet fin d'étude: Etude d'un réservoir de stockage d'huile de capacité 2500 m3 selon API650
Option: Structures

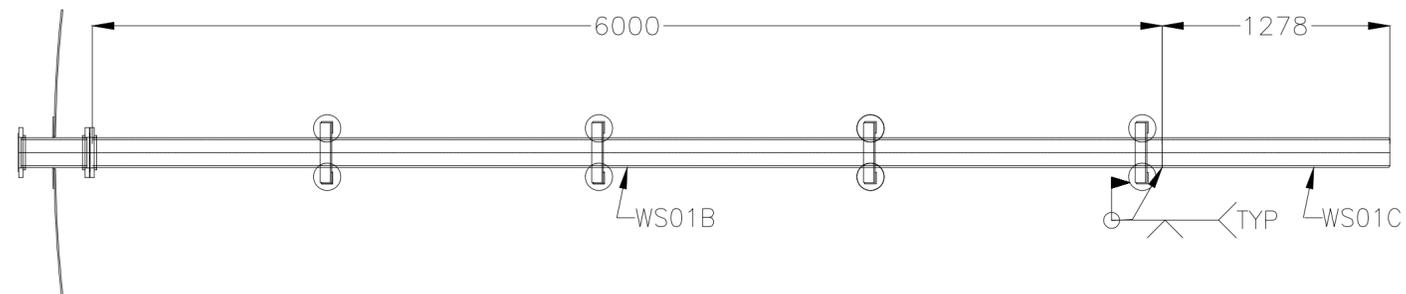
TITRE: LES ANCRAGES

Fait par: AZIRI EL-HACHEMI
MANSERI LEILA

DATE: Juin2024 **Encadré par:** Mr A.LARABAT ZIANE

ECHELLE: - **DESSIN No:** AN-01 **REV:**

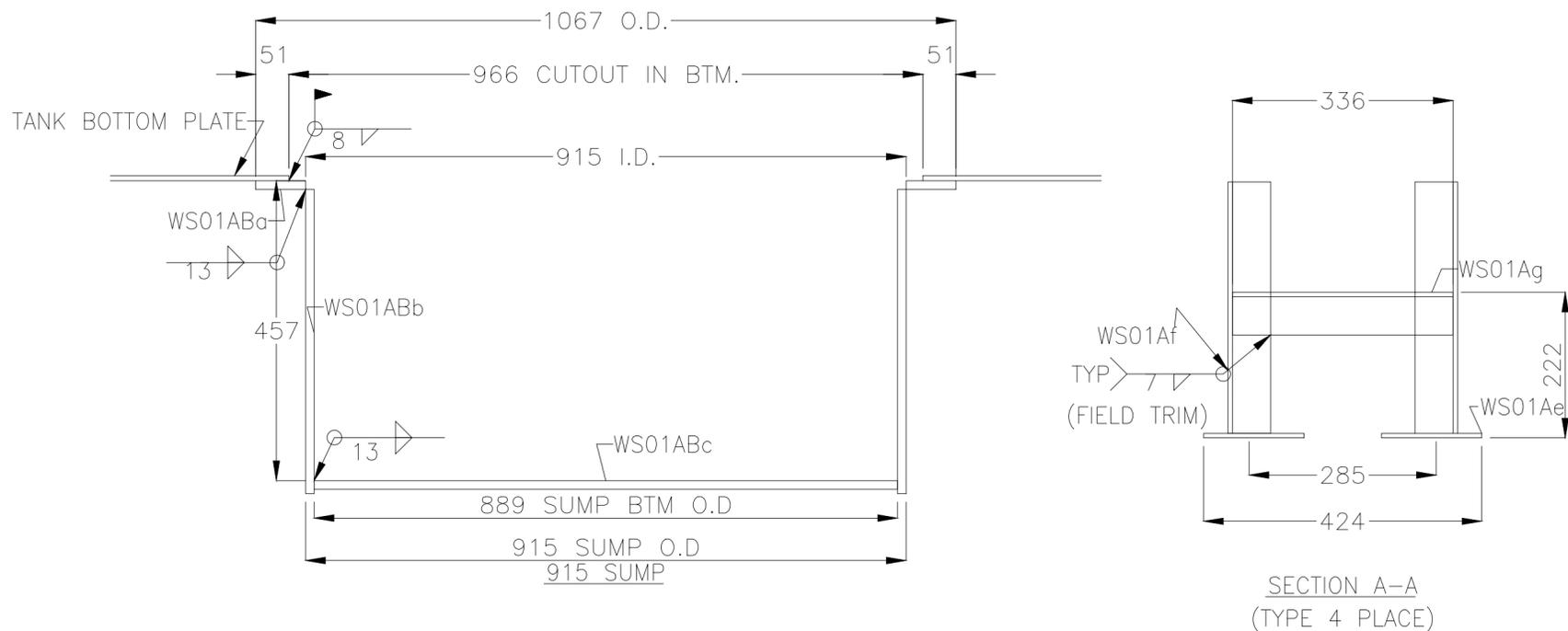
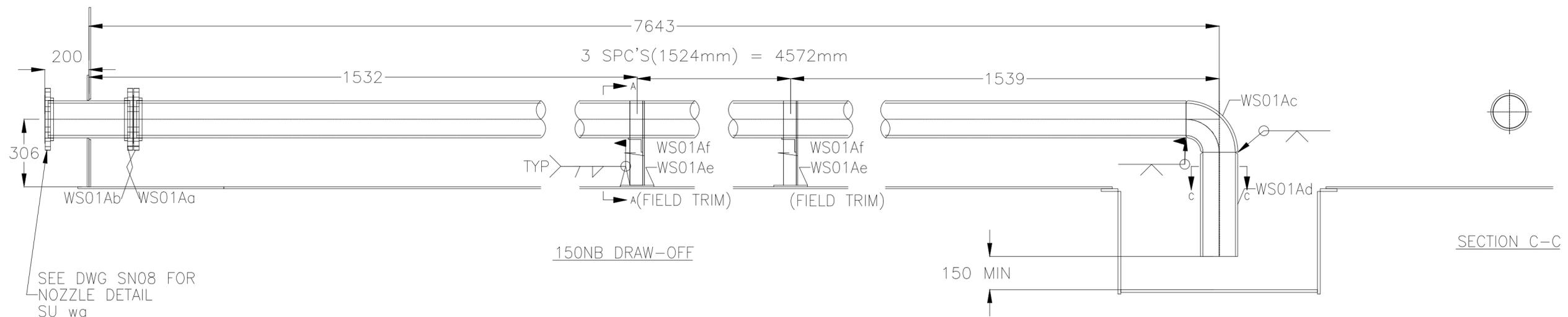
- 1.- ANCHOR BOLTS TO BE LEVEL WITHIN ± 3mm IN 9144mm OF CIRCUMFERENCE AND NO BOLT SHALL VARY MORE THAN 6mm FROM AN ESTABLISHED ELEVATION.
- 2.- ANCHOR BOLT CHAIRS ARE NOT TO BE SLOTTED IN THE SHOP OR FIELD UNLESS PERMISSION IS RECEIVED FROM ENGINEERING.



MULTIPLE PIPE DETAILS

WORK INSTRUCTIONS									
RECV	CUT ROLL	FIT	WELDED	READY TO COAT	SENT TO VENDOR	COATING COMPLETE	READY TO SHIP	SHIPPED	
BILL OF MATERIALS									
QTY	SHPG MARK	ASSY QTY	ASSY MARK	DESCRIPTION	LENGTH	SPEC MATL	REMARKS	KGS WEIGHT	
1	WS01A			150NB DRAW OFF				[93]	
		1	WS01Aa	150 - 150# R.F. S.O. FLANGE		A105		8	
		8	WS01Ab	MACHINE BOLT 20 DIA W/HN x	78	A193-B7		3	
		1	WS01Ac	150NB SCH XS 90° SR WELD ELBOW		A53-A		10	
		1	WS01Ad	150NB SCH XS PIPE x	471	A53-B		20	
		8	WS01Ae	PL. 7 x 153 OD		275		16	
		8	WS01Af	ANGLE 65 x 65 x 7 x	383	A36		24	
		4	WS01Ag	ANGLE 65 x 65 x 7 x	336	A36		12	
1	WS01B			150NB SCH XS PIPE x	6000	A53-B		[255]	
1	WS01C			150NB SCH XS PIPE x	1278	A53-B		[55]	
1	WS01AB			915mm SUMP				[224]	
		1	WS01ABa	PL. 13 x 915 ID x 1067 OD		275		25	
		1	WS01ABb	PL. 13 x 464 x	2834	275		135	
		1	WS01ABc	PL. 13 x 889 OD		275		64	

BILL OF MATERIALS LISTED FOR (1) TANK - (1) TANK REQUIRED. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.



Université Abderrahmane Mira de Béjaia
Faculté de Technologie
Département de génie civil

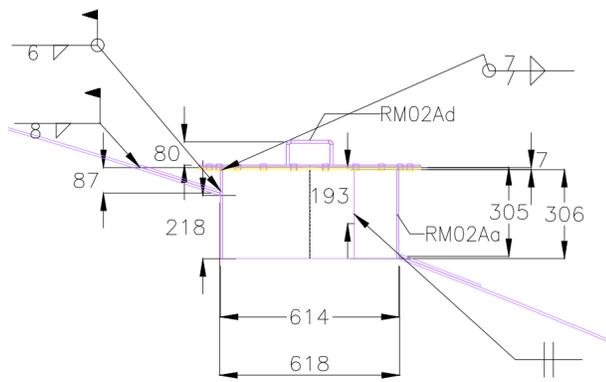
Projet fin d'étude: Etude d'un réservoir de stockage d'huile de capacité 2500 m3 selon API650
Option: Structures

TITRE: LA CUVETTE DE VIDANGE

Fait par: AZIRI EL-HACHEMI
MANSERI LEILA

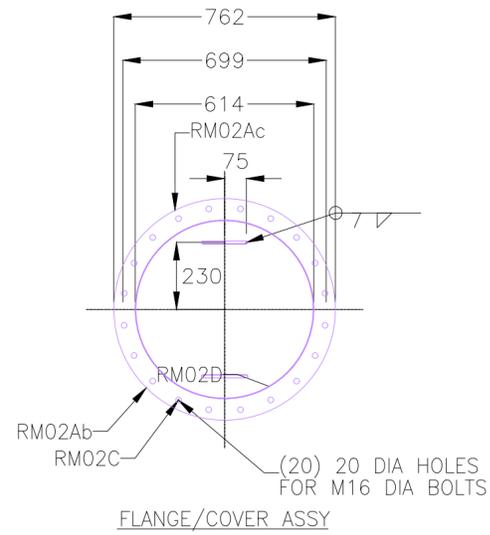
DATE: Juin2024 **Encadré par:** Mr A.LARABAT ZIANE

ECHELLE: - **DESSIN No:** CV-01 **REV:**

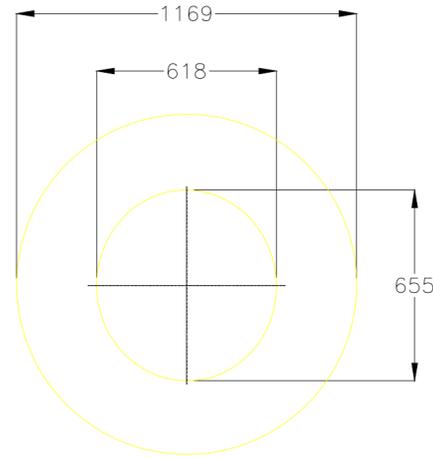


600NB MANWAY, MK. RM02A

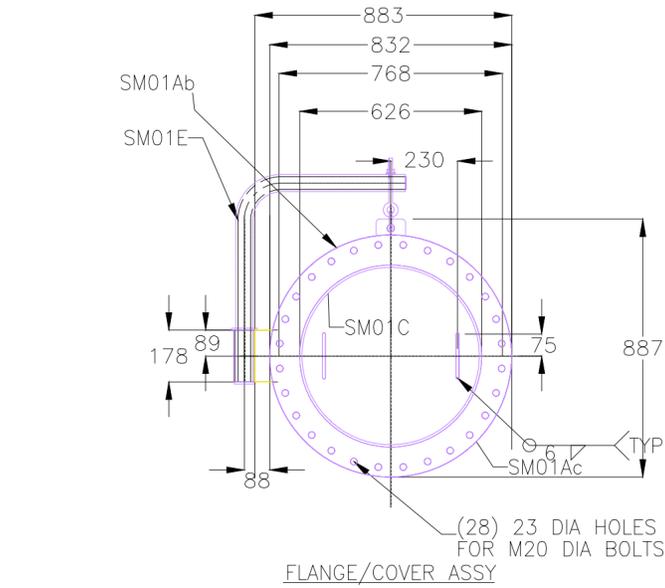
DETAIL FOR MANWAY
CIRCULAR-MANWAY-0002
TRIM FOR INSIDE ROOF



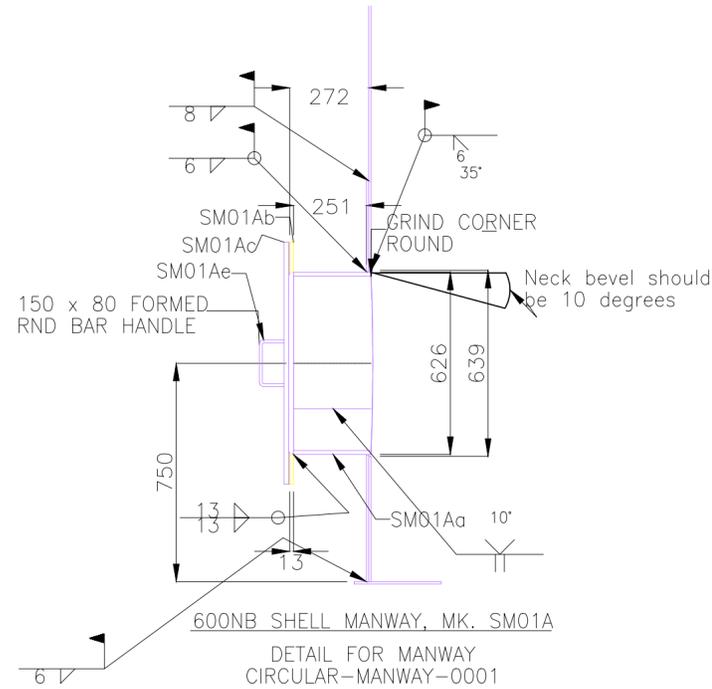
FLANGE/COVER ASSY



MK. RM02B (1 REQ'D)

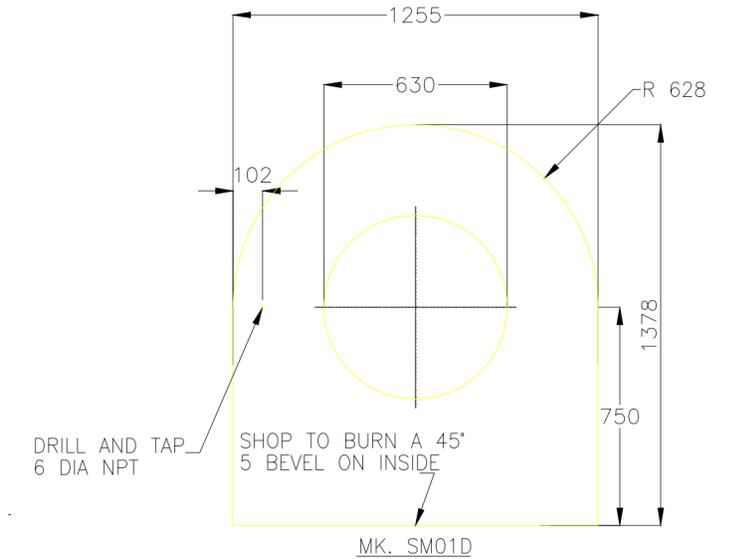


FLANGE/COVER ASSY

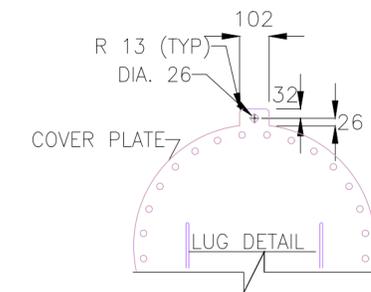


600NB SHELL MANWAY, MK. SM01A

DETAIL FOR MANWAY
CIRCULAR-MANWAY-0001



MK. SM01D



COVER PLATE

LUG DETAIL

WORK INSTRUCTIONS								
RCV	CUT ROLL	FIT	WELDED	READY TO COAT	SENT TO VENDOR	COATING COMPLETE	READY TO SHIP	SHIPPED
BILL OF MATERIALS								
QTY	SHPG MARK	ASSY QTY	ASSY MARK	DESCRIPTION	LENGTH	SPEC MATL	REMARKS	KGS WEIGHT
1	RM02A			600NB ROOF MANWAY				[72]
		1	RM02Ac	PL. 7 x 306 x	1929	275		33
		1	RM02Ab	FLANGE PL 7 x 614 ID x 762 OD		275		9
		1	RM02Ac	COVER PL. 7 x 762 OD		275		26
		2	RM02Ad	RND. BAR 10 DIA x	310	A36	BEND	2
		4	RM02Ae	MACHINE BOLT M16 DIA W/HN (SHIPPING) x	43	A193-B7	W/ H. NUTS	2
1	RM02B			REPAD PL. 8 x 1169 OD		275		[52]
20	RM02C			MACHINE BOLT M16 DIA W/HN (SERVICE) x	43	A193-B7	W/ H. NUTS	[8]
1	RM02D			GSKT. 2 THK x 610 ID x 762 OD		Rubber		[1]

BILL OF MATERIALS LISTED FOR (1) TANK - (1) TANK REQUIRED.
ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.

NOTES

- FABRICATION TOLERANCE = ± 4 COMPARED TO DRAWING DIMENSION EXCEPT FLANGE ALIGNMENT TO BE + 2, - 0

WORK INSTRUCTIONS								
RCV	CUT ROLL	FIT	WELDED	READY TO COAT	SENT TO VENDOR	COATING COMPLETE	READY TO SHIP	SHIPPED
BILL OF MATERIALS								
QTY	SHPG MARK	ASSY QTY	ASSY MARK	DESCRIPTION	LENGTH	SPEC MATL	REMARKS	KGS WEIGHT
1	SM01A			600NB SHELL MANWAY				[151]
		1	SM01Ac	PL. 13 x 273 x	1967	275	ROLL	53
		1	SM01Ab	FLANGE PL 13 x 832 x	883	275		25
		1	SM01Ac	COVER PL. 16 x 832 x	887	275		68
		2	SM01Ae	RND. BAR 10 DIA x	310	A36	BEND	2
		4	SM01As	MACHINE BOLT M20 DIA W/HN (SHIPPING) x	59	A193-B7	W/ H. NUTS	3
28	SM01B			MACHINE BOLT M20 DIA W/HN (SERVICE) x	59	A193-B7	W/ H. NUTS	[15]
1	SM01C			GSKT. 3 THK x 610 ID x 832 OD		Rubber		[2]
1	SM01D			REPAD PL. 8 x 1255 x	1378	275	ROLL	[79]
1	SM01E			600 MANWAY DAVIT				

BILL OF MATERIALS LISTED FOR (1) TANK - (1) TANK REQUIRED.
ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.



Université Abderrahmane Mira de Béjaia

Faculté de Technologie
Département de génie civil

Projet fin d'étude: Etude d'un réservoir de stockage d'huile de capacité 2500 m3 selon API650
Option: Structures

TITRE:

TROU D'HOMME DE LA ROBE ET DE LA TOITURE

	Fait par: AZIRI EL-HACHEMI MANSERI LEILA
DATE	Jun2024
ENCADRÉ PAR:	Mr A.LARABAT ZIANE
ECHELLE	DESSIN No
-	MA-01
	REV

Conclusion Générale

La réalisation de ce mémoire nous a permis d'acquérir une compréhension approfondie des règles, des procédures, de la construction et de l'exploitation des réservoirs métalliques destinés au stockage de liquides tels que l'huile. Nous avons pu consolider nos connaissances existantes tout en acquérant de nouvelles, notamment en ce qui concerne l'étude climatique, sismique ainsi les fondations, présentation de logiciel AMEtank, l'élaboration des plans de fabrication, d'exécution et le dimensionnement des tôles avec des valeurs proches de la réalité pratique.

Le dimensionnement des réservoirs repose principalement sur le calcul des épaisseurs des parois (robe, plaque du fond, annulaires, etc.), influencé par la nature et la quantité du produit à stocker. L'API 650, l'EUROCODE 3 et CODRES sont des règlements les plus utilisés mondialement.

Durant la réalisation de ce mémoire, nous avons observé les avantages d'un réservoir métallique à toit fixe, notamment :

- La simplicité de ce type de toit, nécessitant beaucoup moins d'entretien.
- La fiabilité de ce système, qui utilise une mécanique basique rarement sujette aux pannes.
- L'économie d'espace, contrairement à un réservoir à toit flottant qui nécessite un fond de sécurité.
- Le coût de réalisation, nettement inférieur à celui des autres types de toits.

Au final ce mémoire de fin d'études est pour but d'étudier la fiabilité et de fournir des indications sur la conception et les performances des réservoirs métalliques à toit fixe.

REFERENCES:

[1] : American Petroleum Institute, “API Standard 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage”,

13th Edition, (2020)

[2] : NF EN 1993-1-1 Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-1 : règles générales

et règles pour les bâtiments

[3] : CODRES Division 1 Code De Construction Des Réservoirs De Stockage Cylindrique

verticaux, Edition 2007.

[4] : R.N.V (2013) DTR C 2-47 (Algérie). Règlement Neige et Vent (version 2013)

[5] : Haroun, M.A., and Housner, G.W., “Seismic Design of Liquid Storage Tanks,” Journal of

Technical Councils, ASCE, Vol. 107, April 1981, pp. 191 – 207.

[6] : AMEtenk, TechnoSoft Inc. 11180 Reed Hartman Hwy Cincinnati, OH 45242

www.technosoft.com

[7] : <http://www.largestoragetank.com/news/How-Many-Storage-Tank-type-Do-You-Know-.html>

[8] : <https://storagetech.de/fr/ecrans-flottants-et-joints/>

[9] : <https://reservoir-silo.fr/construction/construction-dune-fondation/>

[10] : <https://www.binomairah.com/projectDetail/22>

[11] : <https://reservoir-silo.fr/construction/construction-dune-fondation/>

[12] : <https://whatispiping.com/storage-tank-erection-conventional-vs-jacking-method/>

[13] : <http://www.largestoragetank.com/technology/Storage-Tank-Installation/Jacking-Method.html>

[14] : [Geotechnical Aspects of Storage Tank Foundation Types - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Example-of-tank-foundation-with-concrete-ring-wall_fig6_314082895](https://www.researchgate.net/figure/Example-of-tank-foundation-with-concrete-ring-wall_fig6_314082895) [accessed 14 Oct 2024]

[15] : <https://arvengtraining.com/en/anchor-bolts-stability-and-safety-in-api-650-storage-tanks/>