

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou
Faculté génie du la construction
Département génie civil



Mémoire de master

En vue de l'obtention du Diplôme de Master II académique en génie civil
Option : Construction Métallique (CM)

Thème

**Analyse du comportement sismique d'un réservoir
industriel de 21300m³- Application du code parasismique
Algérien**

Réalisé par :

Mr. LAMRANI Lyes

Mr. BAKHTA Fouad abd el hafid

dirigé par :

Mr. ALICHE Amar

Année universitaire 2017/2018

Résumé

Ce projet comprend l'étude et la conception d'un réservoir métallique destiné à stocker du gasoil.

Notre travail ;

correspond tout d'abord à dimensionner un réservoir métallique de 21 300 m³ selon les deux codes EUROCODE 3 et API 650, puis faire l'étude sismique selon la nouvelle réglementation parasismique Algérienne sur les séismes (RPA 2003).

Une fois le dimensionnement effectué, nous effectuerons une comparaison sur les résultats des deux codes.

Pour finir nous allons effectuer une modélisation, et une étude complète sur le logicielle « Robot 2019 » pour prendre en compte tous les paramètres et combinaisons des charges.

Abstract

This project involves the study and design of a metal tank for storing diesel fuel.

Our work;

First of all, it is necessary to size a metal tank of 21,300 m³ according to the two codes EUROCODE 3 and API 650, and then to make the seismic study according to the new seismic earthquake regulations of Algeria (RPA 2003).

Once the sizing is done, we will make a comparison on the results of the two codes.

Finally we will perform a modeling, and a full software study "Robot 2019" for take into account all parameters and combinations of loads.

Remerciements

Nous adressons en premier lieu nos remerciements à Mr ALICHE Amar, enseignant 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 le Directeur de SONELGAZ, le chef de projet Mr Kartout Redouane et tout son équipe qui ont su nous apporter leurs conseils, leur aide et leur soutien tout au long de notre stage.

Nous tenons aussi à remercier du fond du cœur tous nos enseignants avec qui on a gardés de très bonnes relations en particulier Mr.Dahmani et Mr.Dahmous .

Nous souhaitons exprimer notre gratitude aux membres du jury le Président Mr. Dahmani ainsi que l' examinateur Mr.Benyahi pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous remercions les membres de nos familles qui ont toujours été à nos côtés pendant cette thèse et qui nous ont toujours encouragés.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette thèse.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

A mes parents qui m'ont toujours encouragé à aller de l'avant et qui m'ont soutenue tout au long de mon parcours scolaire.

A mes frères, Sofiane et Moumouh , mes oncles et tantes, mes cousins et cousines et mes grands-parents.

A mes amis, , Mourad, Sadi, Slimane, Hmed, Hcen, Salim, Houcine, Hichem, Redouane, kheireddine, Amine, Mouhand, Hamid, Youcef, lyes, kamar, Salamou et mes camarades et amis Hafid, Seddik, Ali , Yasser, Sidali, Oussama, Abdenour, Daoud et Yacine ainsi que tous les membres de la section M2 CM .

A toute ma famille et toutes les personnes que j'aime.

LAMRANI LYES

Dédicaces

Je dédie ce travail

A ma mère qui m'a poussé à aller de l'avant et m'a encouragé à reprendre Mes études.

A mon défunt père Mr BAKHTA Lounes qui j'espère est fier de moi que Dieu l'accueille dans son vaste paradis.

A mes frères Fateh et le petit Djamel et mes sœurs Samira , Salima , Lila et la petite Rachida que dieu les protège.

A ma belle-sœur Mounia et ces enfants Meriem , Lounes et Naila.

A la personne qui m'est chère à mes yeux, Chaimaie.

A mes amis et mes camarades Sid Ali , Yacine , Daoud , Oussama , Abdennour , Seddik , Ali , Yasser , Lyes, ainsi que tous les membres de la section M2 CM.

A toute ma famille et toutes les personnes que j'aime

BAKHTA FOUAD

Liste des notations

Diamètre du réservoir	D
Hauteur du réservoir	H
Hauteur max du liquide	H_L
Gravité du liquide	G
L'épaisseur de virole	t
Hauteur des viroles	H_r
Pression du vent	Psd
Le rayon intérieur du réservoir	r_i
Accélération de la pesanteur	G
Coefficient d'accélération	A
La période fondamentale	T
Facteur de correction	η
Coefficient de comportement	R
Facteur de qualité	Q
Le rayon extérieur du réservoir	R_e
Module d'élasticité de l'acier	E
Le poids de l'ouvrage	P
Le rayon de radier	R_{rad}
L'épaisseur de radier	ρ_r
La masse volumique du béton	ρ_b
Le poids volumique de l'acier	ρ_a
Flèche du toit sphérique	f
Rayon de courbure du toit sphérique	R_c
L'épaisseur de toit	ρ_t
Diamètre de radier	D_{rad}
Nombre d'ancrages	n_a
Diamètre d'implantation des ancrages	D_a
Épaisseur plaque de fond	t_{f1}
La distance de l'ancrage au bord libre	d1
Rayon des ancrages	tf2
Coefficient partiel de sécurité	γ_{M2}
Densité du gasoil	Dg
Résistance ultime à la traction de la tige (boulons M20)	fbu
Limite d'élasticité de la tige	fyb
Section résistante de la partie filetée	As
Coefficients réducteurs liés au type de cheville	RTV
Coefficients liés à l'entraxe des chevilles	RSV
Coefficients réducteurs liés à la distance au bord libre	REV
Capacités résistantes nominales en	V_{nom}
Volume de carburant dans la cuve	Vc

La masse de la cuve	M_c
La masse de carburant	M_l
La masse inerte	M_i
La hauteur du liquide inerte	H_i
La raideur de couplage	K_l
La accélération maximale	a_m
L'angle maximal d'oscillation	Φ_0
La pression hydrodynamique d'oscillation	P_0
La pression hydrodynamique d'impulsion	P_i
Le M de flexion sur les parois sous l'action d'impulsion	M_{fi}
Le M de flexion sur les parois sous l'action d'oscillation	M_{fo}
Le moment de flexion du à l'action sismique sur la paroi	M
Le niveau d'application des pressions d'impulsion	h^*i
Le M de renversement d'ensemble sous l'action d'impulsion	M_{ri}
Le niveau d'application des pressions d'oscillation	h_o^*
Le M renversement d'ensemble sous l'action d'oscillation	M_{ro}
Le moment de renversement	M_r
Le poids de radier	W_{rad}
Le poids de toiture	W_t
Le poids du fond	W_f
Le poids de robe	W_{rb}
Le poids du liquide	W_l
Le poids total du réservoir	W
Le moment stabilisant	M_s
La pulsation fondamentale de vibration du liquide en mouvement	W_0^2
La hauteur maximale des vagues	d_{max}
Le moment d'inertie de la paroi par rapport à l'axe O_x	I_x
La section horizontale de la paroi circulaire du réservoir	Ω
La contrainte normale verticale de compression	σ_{max}
La contrainte normale verticale de traction	σ_{min}
Coefficient d'amplification dynamique	D
L'effort tranchant à la base	V
Les efforts normal des ancrages	N
Les efforts dans les ancrages	F
La contrainte de membrane circonférentielle	$\sigma_{c,v}$
Résistance au cisaillement	V_R
L'effort tranchant appliqués à la cheville	V_E
Béton Armé aux Etats Limites	B.A.E.L
American Petroleum Institute	API
American Society Mechanical Engineers	ASME
Etats Limites Ultimes	ELU
Etats Limites de Services	ELS

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Réservoirs a toit fixe (ERGIL) (3)

Figure I.2 : ancrage d'un réservoir en acier..... (6)

Chapitre II

Figure II.1 : réservoir métallique a toit fixe (11)

Figure II.2 : spécification du matériau et niveau de remplissage (14)

Figure II.2 : Joint d'enveloppe (25)

Chapitre III

Figure III.1: Système physique et mécanique équivalent des pressions d'impulsion.... (35)

Figure III.2 : Système physique et mécanique équivalent des pressions d'oscillations sur les parois..... (35)

Figure III.3: Modèle à une masse passive M_i (impulsion) et une masse active M_o (Oscillation).....(36)

Figure III.4: Système physique et mécanique équivalent des pressions d'oscillation actions sur les parois et sur la basse.....(36)

Figure III.5 :Organigramme de l'étude hydrodynamique approchée par la méthode de Housner.....(38)

Chapitre IV

Figure IV .1 : type de structure.....(59)

Figure IV .2 : préférences de l'affaire(59)

Figure IV .3 : définition des axes..... (60)

Figure IV .4 : définition du fond et des véroles.....(60)

Figure IV .5 : définition du toit.....(61)

Figure IV .6 : définition des appuis.....(61)

Figure IV .7 : Définition des Cas de charges(62)

Figure IIV .8 : Définition des charges(62)

Figure IV .9 : Options de calcul.....(63)

Figure IV .10 : Calcul final(63)

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau II.1 : caractéristiques du réservoir.....	(12)
Tableau II.2 : Coefficient d'accélération des zones.....	(13)
Tableau II.3 : périodes caractéristiques.....	(13)
Tableau II.4 : caractéristiques des aciers.....	(14)
Tableau II.5 : Données du réservoir.....	(15)
Tableau II.6 : Résultats des épaisseurs des viroles selon l'EUROCODE	(17)
Tableau II.7 : dimensions minimales des raidisseurs secondaires.....	(18)
Tableau II.8 : hauteurs équivalentes.....	(19)
Tableau II.9 : Résultats des épaisseurs des viroles selon l'API 650.....	(21)
Tableau II.10 : hauteurs équivalentes selon l'API 650.....	(22)
Tableau II.11 : Condition de Charge de Conception.....	(24)
Tableau II.12 : segment d'étanchéité selon l'API650.....	(26)
Tableau II.13 : Données de Conception du Boulon d'Ancrage.....	(29)
Tableau II.14 : Charges de Soulèvement.....	(31)
Tableau II.15 : tableau résumant les résultats des deux règlements « EUROCODE3 » et « API 650 (2011) ».....	(32)

Chapitre III

Tableau III.1 : Coefficient d'accélération des zones.....	(40)
Tableau III.2 : valeurs de ζ (%).....	(41)
Tableau III.3 : Valeurs des pénalités.....	(41)
Tableau III.4 : périodes caractéristiques.....	(42)
Tableau III.5 : Calcul des contraintes de membrane circonférentielles.....	(48)
Tableau III.6 : les contraintes critiques de flambement pour les viroles.....	(49)
Tableau III.7 : les efforts dans les ancrages.....	(50)
Tableau III.8 : la Résistance au cisaillement.....	(50)

Sommaire :

Introduction général	(1)
-----------------------------------	-----

Chapitre 1 : Généralités sur les réservoirs de stockage

I. Introduction	(3)
II. Classification des réservoirs de stockage	(3)
1. L'usage.....	(4)
2. la nature du liquide stocké	(4)
3. Caractéristiques physiques.....	(4)
4. forme de la cuve.....	(4)
5. mode de couverture.....	(4)
III. Exigences techniques	(5)
1. Aspect Résistance.....	(5)
2. Etanchéité.....	(5)
3. Durabilité.....	(5)
IV. Réservoirs sous sollicitation sismique : facteurs affectants le comportement de l'ouvrage	(6)
➤ Effet des ancrages.....	(6)
➤ Effet de site.....	(6)
➤ Effet de l'interaction sol-structure (ISS).....	(6)
➤ Effet de l'interaction fluide-structure (IFS).....	(7)

Chapitre 2 : Dimensionnement d'un réservoir de 21300 m³

I. Introduction	(9)
II. Présentation de l'organisme d'accueil	(9)
1. Historique.....	(9)
2. Organisation.....	(9)
3. Mission.....	(10)
4. Moyens humains.....	(10)
II.3.1 Présentation de l'ouvrage	(11)
II.3.2 Caractéristiques du site	(12)
II.4 Caractéristiques géométrique et des matériaux	(14)
II.5 Dimensionnement de l'ouvrage selon l'Eurocode	(15)
• Données du réservoir	(15)
I. Calcul des épaisseurs de la robe.....	(15)
a. Epaisseur minimale de la tôle	(15)
b. Calcul des épaisseurs	(15)
c. Condition des essais hydrauliques.....	(17)
d. Condition des essais hydrauliques.....	(17)
II. Calcul des plaques de fond et annulaires.....	(18)

a.	Plaques de fond.....	(18)
b.	Plaques annulaires.....	(18)
III.	Calcul des raidisseurs primaires et secondaires.....	(18)
	Les hauteurs équivalentes	(19)
IV.	Calcul de la toiture.....	(20)
II.6	Dimensionnement de l'ouvrage : selon L'API 650	(20)
1)	Formules de calcul.....	(20)
a)	Épaisseur de l'Enveloppe de Conception, td (mm).....	(20)
b)	Épaisseur de l'Enveloppe des Essais Hydrauliques, tt (mm).....	(20)
2)	Calcul et résultats.....	(21)
a.	Épaisseur de la robe.....	(21)
b.	Contrôle de la Stabilité de la Robe du Réservoir contre la Charge de Vent (Basé sur Clause 5.9.7).....	(21)
c.	Calcul de la Plaque du fond (selon Clause 5.4.1).....	(22)
d.	Plaque Inférieure Annulaire (API 650 Para.5.5).....	(23)
e.	Conception du Toit (selon Clause 5.10).....	(24)
1)	Condition de Charge de Conception	(24)
2)	Combinaisons de charges	(24)
3)	Toit Conique supporté (selon Clause 5.10.2.2)	(24)
4)	Détail du Toit : (Type du segment d'étanchéité : Type 1)	(25)
5)	Section transversale du toit au Joint d'enveloppe	(25)
6)	Angle au Sommet / Segment d'Étanchéité	(26)
II.7	Vérification de la stabilité de l'ouvrage selon l'API650.....	(27)
7.1	Calcul de la charge du Vent	(27)
a)	Charge du vent sur cuve	(27)
b)	Moment du vent, Mw	(28)
c)	Vérification de la stabilité de renversement (5.11)	(28)
d)	Conception du boulon d'ancrage	(29)
•	Comparaison et commentaires	(32)

Chapitre 3 : Etude au séisme d'un réservoir industriel

I.	Introduction	(34)
II.	Choix de la méthode de calcul.....	(37)
III.	Présentation de la méthode D'HOUSNER	(37)
IV.	Application de le Méthode de calcul	(39)
a)	Calcul des actions d'impulsions.....	(39)
➤	Coefficient D'accélération A	(39)
➤	Coefficient de comportement R.....	(40)
➤	Facteur d'amplification dynamique D.....	(40)
➤	Facteur de la qualité Q	(41)
b)	Calcul de l'effort tranchant à la base.....	(42)
c)	Calcul de la période fondamentale T.....	(42)

d)	Calcul des actions d'oscillations.....	(43)
e)	Calcul des moments de flexion.....	(44)
f)	Calcul des moments de renversement.....	(44)
V.	Vérification de la stabilité de l'ouvrage.....	(45)
a.	État limite ultime de stabilité.....	(45)
b.	État limite de service du niveau de fonctionnement minimal.....	(46)
VI.	Vérification au flambement	(48)
VII.	Calcul des ancrages.....	(49)
VIII.	Vérification des ancrages au cisaillement.....	(50)
IX.	Conclusion.....	(51)

Chapitre 4 : Modélisation du réservoir par éléments finis

I.	Introduction.....	(53)
II.	Méthode d'analyse par éléments finis	(53)
III.	Les différents modules de calcul de robot.....	(54)
IV.	Étapes essentielles de modélisation.....	(59)
V.	Résultats	(65)
VI.	Interprétation des résultats.....	(67)

Conclusion général

Annexe 1.....	(69)
---------------	------

Références bibliographiques.....	(70)
----------------------------------	------

Plans

1.	vue de face.....	(71)
2.	Détail du boulon et tige d'ancrage.....	(72)
3.	Développement de la plaque inférieure.....	(73)
4.	Développement de la plaque du toit.....	(74)
5.	Disposition de la plaque d'enveloppe.....	(75)
6.	Vue en plan de la structure du toit.....	(76)

Introduction général

Le stockage massif des liquides, pour les différents produits rencontrés dans différents domaines l'industrie du pétrole, de la pétrochimie et de la chimie, s'effectue principalement dans des réservoirs métalliques, de construction soudée, installés à l'air libre et reposant sur le sol.

Ces réservoirs ont des capacités très variables. Elles n'excèdent pas quelques centaines de mètres cubes pour de nombreux produits chimiques, tandis que, dans le domaine pétrolier, les réservoirs de pétrole brut par exemple dépassent de beaucoup ces limites.

En Algérie, classé comme zone de forte sismicité, ces ouvrages sont utilisés à grand échelle dans le stockage de produits pétroliers. Or, l'un des problèmes majeurs qui conduisent à la ruine de ce type d'ouvrage sont les tremblements de terre. Ainsi, vue l'importance et la nature du produit stocker, la ruine d'un ouvrage peut entraîner des dégâts et des réactions socio-économique incontournables plus le séisme lui-même.

Cependant, pour répondre à l'aspect sécurité, qui est d'une grande importance, une évaluation du comportement sismique de ce type d'ouvrage est plus qu'importante.

Par ailleurs, le code parasismique algérien ne prend en considération ce type d'ouvrage, ce qui met les ingénieurs des bureaux d'étude dans l'obligation de recourir a des codes de dimensionnement étrangers (API 650, Eurocode...).

L'objectif de ce manuscrit, consiste à proposer une méthode d'analyse du comportement sismique des réservoirs de grande capacité posé au sol. La méthodologie développée est basée sur un couplage entre le modèle physique inspiré du modèle hydrodynamique de Housner (1963) auquel nous avons adapté le spectre de réponse du RPA. Le modèle a fait l'objet d'une application numérique qui permet d'illustrer la méthode de calcul exposée avec une analyse et commentaires des résultats.

Chapitre 1 : Généralités sur les réservoirs de stockage

I. Introduction

Dans le domaine de génie civil, les réservoirs de stockage sont considérés comme des ouvrages d'art hydraulique, qui occupent une place particulière parmi les ouvrages de génie civil. Selon le règlement parasismique algérien (RPA), ces ouvrages sont classés comme étant des ouvrages de grande importance de groupe 1B. L'importance de ces ouvrages réside dans la nature des produits stockés. Les réservoirs de stockage en acier sont souvent de type cylindriques ancrés, perpendiculaires à la terre, avec des fond plats métallique et un toit fixe ou flottant.

Dans ce premier chapitre, nous donnons une brève revue de littérature qui englobe, les modes de classification de ce type d'ouvrage ainsi que leurs exigences technique.

II. Classification des réservoirs de stockage

Pour répondre à la grande variété des produits à stocker, les constructeurs ont recours à des réservoirs de formes diverses et de conceptions différentes, étudiés pour s'adapter le plus rationnellement et le plus économiquement possible aux caractéristiques du produit à traiter, ainsi, ils existent plusieurs critères selon lesquels nous pouvons classer un réservoir de stockage en acier, les plus répandues sont selon :

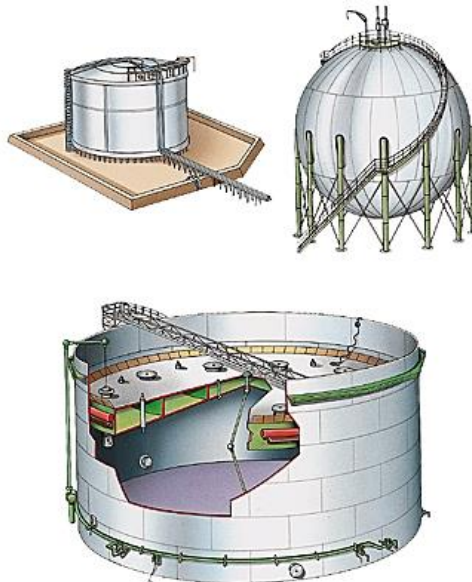


Figure I.1 : Réservoirs a toit fixe (ERGIL)

II.1. L'usage

- Réservoir de stockage pour divers types de liquides.
- Cuve à gazomètre.
- Bassin de traitement ...etc.

II.2. la nature du liquide stocké

- Réservoir pour le stockage d'eau potable
- Réservoir pour le stockage des produits toxique et/ou inflammable (hydrocarbures, gaz (LNG))
- Réservoir pour le stockage du bitume. ...etc.

II.3. Caractéristiques physiques

- Réservoirs à grande profondeur.

II.4. forme de la cuve

La forme cylindrique est la plus courante en raison de sa simplicité de mise en œuvre et de sa bonne résistance à la pression interne, généralement utilisé pour stocker les liquides.

Lorsque la pression interne est importante, on a recours à des formes sphériques mieux adaptées que les cylindres et qui permettent de réduire les épaisseurs de paroi, notamment les gaz.

II.5. mode de couverture

De grand mode de couverture sont distingué, à savoir :

- les réservoirs à toit fixe, utilisés pour le stockage d'huile non stabilisée (c'est-à-dire de pétrole comportant encore des hydrocarbures volatils pouvant dégazer). Il existe deux types de toits fixes, les toits de formes coniques et les toits en forme de dôme (sphérique ou ellipsoïdal).



- les réservoirs à toit flottant (simple pont ou double ponts), utilisés pour le stockage d'huile stabilisée (ne présentant pas de risque de dégazage). Le toit flotte sur le produit stocké et fait étanchéité avec la robe du réservoir au moyen d'un joint.



III. Exigence techniques

Lors de la conception d'un réservoir de stockage, le choix d'une forme acceptable, fonctionnelle et économique est plus que nécessaire. Cependant, pour garantir la fonction primaire d'un réservoir, qui est le stockage, la satisfaction de certaines exigences techniques pour ce type de construction est primordiale, à savoir :

III.1. Aspect Résistance

Un réservoir de stockage doit reprendre les différents types d'effort, à savoir : le chargement statique (liquide) et le chargement dynamique (séisme et vent) auxquels il est soumis, pour garantir la sécurité du produit stocké et l'environnement au alentour de la zone d'implantation de l'ouvrage pour certaine type de produit (inflammable et /ou toxique)

III.2. Etanchéité

La fonction principale d'un réservoir est d'assuré le stockage du produit contenu. A cet effet l'ouvrage doit être étanche : c'est-à-dire ne doit pas contenir des fuites dus à la présence de fissures ou à des erreurs dans la mise en œuvre des éléments constituant l'ouvrage (cuve et fond).

III.3. Durabilité

Un réservoir de stockage est un ouvrage de grande importance, la mise hors service de ce type d'ouvrage peu engendré des réactions socio-économiques. A cet effet, un réservoir doit avoir la possibilité de rester fonctionnel pendant toute la durée de vie pour laquelle il est conçu. En outre, les matériaux constituant l'ouvrage qui sont en contact avec le produit stocké, doivent conserver leurs propriétés intactes pendant toute la durée de vie.

IV. Réservoir sous sollicitation sismique : facteurs affectant le comportement de l'ouvrage

Plusieurs paramètres peuvent changer Le comportement dynamique d'un réservoir :

➤ **Effet des ancrages**

Dans les réservoirs de stockage les ancrages ont le rôle de s'opposer au découlement de l'ouvrage sous l'effet de l'action sismique. Les ancrages sont constitués de plusieurs boulons qui assurent la fonction de distribution des efforts dans les viroles constituant l'ouvrage. D'autre part, la liaison ancrage-virole, est considérée comme un point faible sujet à la rupture par cisaillement sous sollicitation sismique, à cet effet, cette zone nécessite un niveau de ductilité élevé.

Du point de vue résistance, les ancrages sont conçus d'une manière à ce que l'état limite de résistance dans les boulons soit atteint avant celui des liaisons ancrage-virole et fond – virole.



Figure I.2 : ancrage d'un réservoir en acier

➤ **Effet de site**

Le site d'implantation d'un ouvrage est 'un paramètre essentiel dans le traitement parasismique d'un projet. Le choix du site d'implantation est dicté par la capacité de ce dernier à mettre l'ouvrage à l'abri de certains facteurs qui peuvent affecter le comportement sismique de l'ouvrage à savoir : la rupture des surfaces et d'éventuels effets induits tels que les glissements de terrain ainsi que la liquéfaction des sols. Dans le domaine de génie civil, quel que soit la performance de la conception parasismique d'un ouvrage, elle est affecté par un échec si les sols sur lesquels il implanté ont un comportement défavorable lors d'une action sismique.

➤ **Effet de l'interaction sol-structure (ISS)**

Lors d'une secousse sismique, les charges appliquées sur l'infrastructure proviennent de deux types de forces à savoir les forces d'inerties qui se développent dans la superstructure et les

forces de déformation du sol, imposée à l'infrastructure, provoquée par le passage des ondes sismiques. Ces deux chargements sont appelés :

- Chargement inertiel
- Chargement cinématique

En génie parasismique, la relation entre ces deux chargements est nommée interaction sol-structure (ISS). Dans la conception sismique des ouvrages, les ingénieurs civils emploient ce terme pour désigner le chargement inertiel en ignorant la part du u chargement cinématique.

La réponse d'une structure à la sollicitation sismique dépend de trois paramètres importants, qui sont :

- La nature du mouvement sismique
- Les caractéristiques dynamiques d'un ouvrage
- Les caractéristiques dynamiques du sol

➤ **Effet de l'interaction fluide-structure (IFS)**

L'interaction fluide structure (IFST), est un domaine de la mécanique, qui concerne la façon dont le mouvement du liquide modifie le comportement des structures (structures de stockage, structures immergées dans l'eau). Ce domaine se situe donc à la limite entre la dynamique des structures et la dynamique des fluides.

En fait l'aspect spécifique des IFS est de décrire comment les mouvements d'une paroi modifient un écoulement et comment cela se traduit sur le champ des efforts s'exerçant sur cette paroi.

Chapitre 2 : dimensionnement de d'un réservoir de 21300 m³

II.1. Introduction

Ce chapitre a pour but de présenter le contexte général dans lequel s'inscrit le projet de recherche, en précisant son cadre et ses objectifs.

II.2. Présentation de l'organisme d'accueil



Société nationale de l'électricité et du gaz



Sonelgaz, acronyme de **Société nationale de l'électricité et du gaz**, est une compagnie chargée de la production, du transport et de la distribution de l'électricité et du gaz en Algérie.

II.2.1. Historique

La société a été créée le 28 juillet 1969, en remplacement de l'entité précédente Électricité et gaz d'Algérie (EGA), et on lui a donné un monopole de la distribution et de la vente de gaz naturel dans le pays, de même pour la production, la distribution, l'importation, et l'exportation d'électricité. En 2002, le décret présidentiel n° 02-195, la convertit en une société par actions SPA entièrement détenue par l'État.

En 2002, la loi n° 02-01 du 5 février 2002 ouvre le secteur de la production d'énergie électrique à la concurrence et met fin à son monopole.

En 2003, elle produisait 29 milliards de kilowattheures par an, vendait 4,6 milliards de mètres cubes de gaz par an.

En 2006, elle employait environ 28 000 personnes.

En 2010, on parle de *Groupe Sonelgaz*.

II.2.2. Organisation

La Sonelgaz est organisé en groupe industriel constitué de 39 filiales et cinq sociétés en participation exerçant des métiers de bases, travaux, périphériques.

Parmi ces filiales :

- la Société de production de l'électricité (SPE) ;
- Sharikat Kahraba wa takat moutadjadida (SKTM) ;
- la Société de l'engineering de l'électricité et du gaz (CEEG) ;

- la Société de gestion du réseau de transport de l'électricité (GRTE)
- la Société de gestion du réseau de transport gaz (GRTG) ;
- l'Opérateur système électrique (OS), chargée de la conduite du système de production et de transport de l'électricité ;
- la Société de distribution de l'électricité et du gaz d'Alger (SDA) ;
- la Société algérienne de distribution de l'électricité et du gaz (SDC)

Sonalgaz s'est restructurée une première fois et a donné naissance à cinq (05) entreprises travaux spécialisées ainsi qu'une entreprise de fabrication :

- KAHRIF pour l'électrification rurale;
- KAHRAKIB pour les infrastructures et installations électriques.
- KANAGHAZ pour la réalisation des réseaux gaz.
- INERGA pour le Génie Civil.
- ETTERKIB pour le montage industriel.
- AMC pour la fabrication des compteurs et appareils de mesure et de contrôle.

C'est grâce à ces sociétés que Sonalgaz dispose actuellement d'infrastructures électriques et gazières répondant aux besoins du développement économique et social du pays.

II.2.3. Mission

Sonalgaz a pour mission principale la production et la commercialisation de l'électricité ainsi que le gaz sur le marché national.

Elle intervient dans les domaines :

- Production de l'électricité
- Transport de l'électricité
- Transport de gaz
- Réseaux de distribution de l'électricité et du gaz

II.2.4. Moyens humains

Le Groupe Sonalgaz est considérée comme l'un des plus gros employeurs du paysage industriel. Ces trente-cinq dernières années, les effectifs, toutes catégories confondues, sont passés de 15 760 agents en 1980 à près de **88 500** agents à fin 2016.

En termes de répartition de la ressource humaine par secteur d'activité, la société holding n'emploie que 418 agents, l'essentiel des effectifs étant réparti sur les autres sociétés du Groupe.

Les filiales de distributions présentent le plus important nombre de personnel, avec plus de 30.000 agents, suivies des prestations de services avec près de 25.000 agents, viennent en troisième position les activités de travaux et production industrielles avec 15.890 agents et enfin les Activités de transport avec un effectif de 11.600 agents.

II.3.1 Présentation de l'ouvrage

Le projet consiste à réaliser un réservoir cylindrique à toit fixe d'une capacité de 23562 m³ le réservoir est constitué de 9 viroles pour une hauteur totale de 18 m et de 40 m de diamètre. Il est destiné au stockage de carburant (fioul) pour l'alimentation des turbines de la centrale électrique de kais, wilaya de kenchela.

L'ouvrage est implanté sur un sol de type sable très dense à Kais, wilaya de Khenchela (Algérie), classée zone de moyenne sismicité.



Figure II.1 : réservoir métallique a toit fixe

Les caractéristiques géométriques ainsi que celle du produit stocké sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : caractéristiques du réservoir

Données	Valeurs appliquées			
Diamètre du Réservoir	D =40			m
Hauteur du Réservoir	H =18,750			m
Capacité du Réservoir (Nominale / Maximale / Net de Travail)	23 562 / 21 300 / 20 043			m ³
Pression de Conception	Atmosphère(ATM)			kg/cm ² g
Pression Externe	Atmosphère(ATM)			kg/cm ² g
Densité	870			Kg/ m ³
Vitesse du Vent (RNV 2013 (ZONE-II))	97.2	km/hr	27.0	m/sec
Vitesse du vent de conception de la rafale de 3-Secondes	145.8	km/hr	40.5	m/sec
Poids à Vide	508 500			kg
Poids Opérationnel	19 039 500			kg
Poids total	24 070 400			kg
Produit Stocké	gasoil			
Niveau Haut de Liquide,	HLL = 16,950			m
Niveau Bas de Liquide,	LLL = 1,000			m

II.3.2 Caractéristiques du site

Classification des zones sismiques

Le territoire national est divisé en cinq (05) zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones s=de sismicité et le tableau associé qui précise cette répartition par wilaya et par commune,soit :

- a- Zone 0 : sismicité négligeable.
- b- Zone I : sismicité faible.
- c- Zones IIa et IIb : sismicité moyenne.

d- Zone III : sismicité élevée.

Le réservoir qui fait l'objet de notre étude est d'une capacité de 21300 m³. L'ouvrage est implanté dans la région de Kais, wilaya de Khenchla, classé comme zone de moyenne sismicité (IIa) par le règlement parasismique Algérien (RPA 2003).

Tableau II.2 : Coefficient d'accélération des zones

Groupe	Zone sismique			
	I Sismicité faible	II a Sismicité moyenne	IIb Sismicité moyenne	III Sismicité élevés
1A	0.15	0.25	0.30	0.40
1B	0.12	0.20	0.25	0.30
2	0.10	0.15	0.20	0.25
3	0.07	0.10	0.14	0.18

Tableau II.3 : périodes caractéristiques

Site	S1	S2	S3	S4
T ₁ (sec)	0.15	0.15	0.15	0.15
T ₂ (sec)	0.3	0.4	0.5	0.7

II.4. Caractéristiques géométrique des matériaux

3. Spécification du Matériau

3.1 Matériau Principal

- 1) Coque Supérieure : A573-485
- 2) Coque Inférieure : A573-485
- 3) Toit : A283-C
- 4) Plaque Inférieure : A283-C
- 5) Plaque Annulaire : A573-485
- 6) Structure du Toit : S355 JR

3.2 Autre Matériel

- 1) Colonne de Support : -
- 2) Chaise d'Ancrage : A283-C
- 3) Boulon d'Ancrage : S355 JR

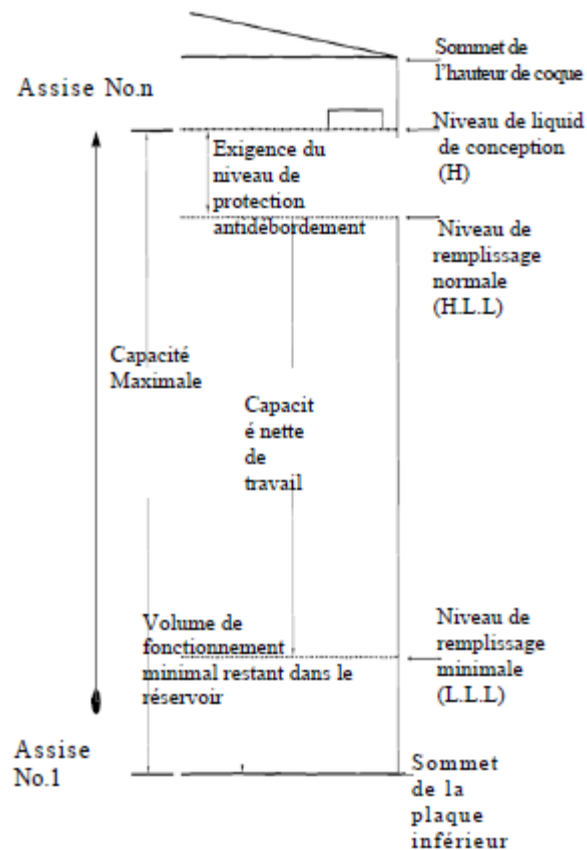


Figure II.2 : spécification du matériau et niveau de remplissage

Matériaux des Plaques Inférieures & de Toit, d'Enveloppe (ANNEXE 2) :

Tableau II.4 : caractéristiques des aciers

	Coque Supérieur	Coque Inférieure
Limite d'Élasticité Minimale	Sy = 290.0 Mpa	Sy = 290.0 Mpa
Résistance Minimale à la Traction	ST = 485.0 Mpa	ST = 485.0 Mpa
Tension de Conception du Produit	Sd = 193.0 Mpa	Sd = 193.0 Mpa
Tension des Essais Hydrauliques	St = 208.0 Mpa	St = 208.0 Mpa
référence	Ma = A573-485	Ma = A573-485

Les plaques d'aciers qui constituent la coque et le toit ont des dimensions standard de largeur égale à 2.1 m et de longueur égale à 4 mètres.

II.5. Dimensionnement de l'ouvrage selon L'EUROCODE

Données du réservoir

Tableau II.5: Données du réservoir

Eléments	désignation
Toiture	fermée
Type de toiture	toit fixe
Type de réservoir	cylindrique
Pression du vent Psd	1100.95N/m ²
Pression de calcul P ₀	0 Mbar (cuve couverte)
Vitesse du vent V	145.8 km/h = 27 m/s

II.5.1. Calcul des épaisseurs de la robe

a- Epaisseur minimale de la tôle

Selon le règlement EUROCODE-3 l'épaisseur minimale de chaque virole doit être supérieure ou égale à 8 mm.

b- Calcul des épaisseurs

La pression hydrostatique est résistée par la contrainte circonférentielle σ_{θ} .

$$\sigma_{\theta} = \frac{pr}{t} \leq f_{y,d}$$

D'où :

$$t = \frac{pr}{f_{y,d}}$$

$$p = \gamma \cdot \gamma_f \cdot g \cdot (H_j - 0.3) + p_0$$

$p_0=0$: pression interne

$$t \geq \frac{(\gamma \cdot \gamma_f \cdot g \cdot (H_j - 0.3)) \cdot r}{f_{y,d}}$$

Avec: (pour le gasoil)

- $\gamma_f=1.2$
- $g= 870 \text{ kg/m}^3$
- $G=10\text{m/s}^2$

Ainsi :

$$f_{y,d} = \frac{fy}{\gamma_{Mo}} = \frac{290}{1.1} = \mathbf{263.63 \text{ N/mm}^2}$$

$$\gamma_f \cdot g \cdot G = 1.2 \times 870 \times 10 = 1,044 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3 = \mathbf{10.44 \text{ KN/m}^3}$$

Ainsi:

$$t \geq \frac{10.44(H_j - 0.3)r}{263.63 * 1000}$$

D'où :

$$t = 3.96 \times 10^{-5} (H_j - 0.3) . r$$

- calcul l'épaisseur de la 1^{ère} rangée (virole 1) : H=16.95 m
 $t = 0.0396 \times 10^{-3} (16.95 - 0.3) . 20 = \mathbf{0.0131 \text{ m}}$
- calcul l'épaisseur de la 2^{ème} rangée (virole 2) : H=14.85 m
 $t = 0.0396 \times 10^{-3} (14.85 - 0.3) . 20 = \mathbf{0.0115 \text{ m}}$
- calcul l'épaisseur de la 3^{ème} rangée (virole 3) : H= 12.75 m
 $t = 0.0396 \times 10^{-3} (12.75 - 0.3) . 20 = \mathbf{0.0098 \text{ m}}$
- calcul l'épaisseur de la 4^{ème} rangée (virole 4) : H=10.65 m
 $t = 0.0396 \times 10^{-3} (10.65 - 0.3) . 20 = \mathbf{0.0082 \text{ m}}$
- calcul l'épaisseur de la 5^{ème} rangée (virole 5) : H=8.55 m
 $t = 0.0396 \times 10^{-3} (8.55 - 0.3) . 20 = \mathbf{0.0065 \text{ m}}$
- calcul l'épaisseur de la 6^{ème} rangée (virole 6) : H = 6.45 m
 $t = 0.0396 \times 10^{-3} (6.45 - 0.3) . 20 = \mathbf{0.0048 \text{ m}}$
- calcul l'épaisseur de la 7^{ème} rangée (virole 7) : H= 4.35 m
 $t = 0.0396 \times 10^{-3} (4.35 - 0.3) . 20 = \mathbf{0.0032 \text{ m}}$
- calcul l'épaisseur de la 8^{ème} rangée (virole 8) : H= 2.25 m
 $t = 0.0396 \times 10^{-3} (2.25 - 0.3) . 20 = \mathbf{0.0015 \text{ m}}$
- calcul l'épaisseur de la 9^{ème} rangée (virole 9) : H=0.15 m
 $t = 0.0396 \times 10^{-3} |0.15 - 0.3| . 20 = \mathbf{0.00011 \text{ m}}$

Le réservoir que nous calculons a un diamètre supérieur à 33 mètres, le règlement nous préconise une épaisseur minimale de 8 mm.

c- Condition des essais hydrauliques

$$t = 4.55 \times 10^{-5} (H_J - 0.3) \cdot r$$

- Calcul l'épaisseur de la 1^{ère} rangée (virole 1) : H=18.75 m
 $t = 4.55 \times 10^{-5} (18.75 - 0.3) \cdot 20 = \mathbf{0.0167 \text{ m}}$
- Calcul l'épaisseur de la 2^{ème} rangée (virole 2) : H=16.65 m
 $t = 4.55 \times 10^{-5} (16.65 - 0.3) \cdot 20 = \mathbf{0.0148 \text{ m}}$
- Calcul l'épaisseur de la 3^{ème} rangée (virole 3) : H= 14.55 m
 $t = 4.55 \times 10^{-5} (14.55 - 0.3) \cdot 20 = \mathbf{0.0129 \text{ m}}$
- Calcul l'épaisseur de la 4^{ème} rangée (virole 4) : H=12.45 m
 $t = 4.55 \times 10^{-5} (12.45 - 0.3) \cdot 20 = \mathbf{0.0110 \text{ m}}$
- Calcul l'épaisseur de la 5^{ème} rangée (virole 5) : H=10.35 m
 $t = 4.55 \times 10^{-5} (10.35 - 0.3) \cdot 20 = \mathbf{0.0091 \text{ m}}$
- Calcul l'épaisseur de la 6^{ème} rangée (virole 6) : H = 8.25 m
 $t = 4.55 \times 10^{-5} (8.25 - 0.3) \cdot 20 = \mathbf{0.0072 \text{ m}}$
- Calcul l'épaisseur de la 7^{ème} rangée (virole 7) : H= 6.15 m
 $t = 4.55 \times 10^{-5} (6.15 - 0.3) \cdot 20 = \mathbf{0.0053 \text{ m}}$
- Calcul l'épaisseur de la 8^{ème} rangée (virole 8) : H= 4.05 m
 $t = 4.55 \times 10^{-5} (4.05 - 0.3) \cdot 20 = \mathbf{0.0034 \text{ m}}$
- Calcul l'épaisseur de la 9^{ème} rangée (virole 9) : H=1.95 m
 $t = 4.55 \times 10^{-5} (1.95 - 0.3) \cdot 20 = \mathbf{0.0015 \text{ m}}$

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.6 : Résultats des épaisseurs des viroles selon l'EUROCODE 3.

Condition de conception				Condition des essais hydrauliques			Epaisseur utilisée (mm)
N° = Virole	largeur d'assise (m)	H (m)	t _a (mm)	Largeur d'assise (m)	H _t (m)	t _t (mm)	
1	2,1	16,95	13.1	2,1	18,75	16,78	18
2	2,1	14,85	11.5	2,1	16,65	14.87	16
3	2,1	12,75	9.8	2,1	14,55	12.96	14
4	2,1	10,65	8.2	2,1	12,45	11,05	12
5	2,1	8,55	6.5	2,1	10,35	9,10	10
6	2,1	6,45	4.8	2,1	8,25	7,20	8
7	2,1	4,35	3.2	2,1	6,15	5,30	6
8	2,1	2,25	1.5	2,1	4,05	3,40	6
9	1,95	0,15	0.1	1,95	1,95	1,50	6

Avec :

t_{cal} : l'épaisseur calculé

t_{min} : l'épaisseur minimale à prendre en tenant compte de t_{cal} et de t_{min} du règlement.

t_{sc} : l'épaisseur finale à prendre.

t_d : épaisseurs calculées pour le gasoil

t_t : épaisseurs calculées pour l'eau

II.5.2. Calcul des plaques de fond et annulaires

a- Plaques de fond

Pour le cas de la plaque du fond l'épaisseur minimale est donnée directement par l'Eurocode 3, ainsi pour un fond en acier carbone l'épaisseur est de l'ordre de 6mm. La Surépaisseur de corrosion est estimé à 3mm, d'où on opte alors pour une épaisseur $t_b = 9$ mm.

b- Plaques annulaires

On a $D=40m > 12.5m \implies t_a = (t_s/3) + 3 = \frac{15}{3} + 3 = 8mm$

Soit $t_a = 8mm$

II.5.3. Calcul des raidisseurs primaires et secondaires

Les réservoirs à toit fixe avec structure peuvent être considérés comme suffisamment raidis au sommet de coque par la structure du toit, il n'est donc pas nécessaire d'utiliser un raidisseur primaire.

D'après les **EUROCODES**, les dimensions minimales à donner aux raidisseurs secondaires pour éviter le voilement local de la coque sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Les dimensions minimales des raidisseurs secondaires

Tableau II.7 : dimensions minimales des raidisseurs secondaires

Les dimensions minimales des raidisseurs secondaires	
Diamètre du réservoir (m)	Cornière de rive (mm)
$D \leq 20m$	100×65×9
$20m < D \leq 36m$	120×80×10
$36m < D \leq 48m$	150×100×10
$D > 48m$	200×100×12

L'ouvrage qui fait l'objet de notre étude est classé dans la plage $36\text{m} < D=40\text{m} \leq 48\text{m}$, d'où on utilisera comme raidisseurs secondaires des cornières aux dimensions suivantes : **150×100×10**.

Pour la mise en place des raidisseurs, il convient de transformer la hauteur du réservoir à une hauteur équivalente ayant l'épaisseur t_{\min} . la Hauteur équivalente de la virole h_e :

$$h_e = h \left[\frac{t_{\min}}{t} \right]^{2.5}$$

t_{\min} : épaisseur de la virole la plus faible.

t : épaisseur de la virole prise en compte.

h : est la hauteur de la virole prise en compte.

Les hauteurs équivalentes

Tableau II.8 : hauteurs équivalentes

N° de virole	Hauteur équivalente H_e (m)
1	0.276
2	0.319
3	0.436
4	0.623
5	0.762
6	1.2
7	2.1
8	2.1
9	1.95

$$H_e = \sum_{x=1}^9 h_{ex} = h_{e.1} + h_{e.2} + h_{e.3} + h_{e.4} + h_{e.5} + h_{e.6} + h_{e.7} + h_{e.8} + h_{e.9}$$

$$H_e = 0.276 + 0.319 + 0.436 + 0.623 + 0.762 + 1.2 + 2.1 + 2.1 + 1.95$$

$$\mathbf{H_e = 9.766m}$$

H_e correspond à la hauteur sur laquelle le voilement peut se produire.

La hauteur maximale entre raidisseurs est donnée par la relation :

$$H_p = 0.46 \left[\frac{E}{Psd} \right] \left(\frac{t_{\min}}{r} \right)^{2.5} r \times k$$

Avec:

- L'épaisseur minimale des viroles, $t_{\min} = 8.00$ mm
- Le rayon du réservoir $r = 20$ m

- Coefficient d'ajustement $k=1$
- La pression due au vent et aux forces du vide partiel, $P_{sd}=1.08841 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$

H_p = l'espacement maximal autorisé entre les anneaux.

$$H_p = 0.46 \left[\frac{2.1 \times 100000}{0.00108841} \right] \left(\frac{8}{20000} \right)^{2.5} \times 20000 \times 1.0$$

$$H_p = 5682.35 \text{ mm} = \mathbf{5.682 \text{ m}}$$

$H_e = 9.766 > H_p = 5.682 \text{ m} \rightarrow$ les raidisseurs sont nécessaires.

On a : $20 \text{ m} < D = 28 \text{ m} \leq 36 \text{ m}$

On opte pour un raidisseur **150 × 100 × 10 à mi-hauteur.**

II.5.4. calcul du toiture

Selon le règlement EUROCODE 3 l'épaisseur de la toiture est calculée comme suite :

$$P_{i,sd} \leq 0.05 \left[1.21 E \left(\frac{t}{r_0} \right)^2 \right]$$

$$t \leq 24 \cdot \sqrt{\frac{1}{1.21 \cdot 0.05 \cdot 2.1 \cdot 100000}} = \mathbf{0.0067 \text{ m}}$$

L'épaisseur utilise est égale a $t = \mathbf{8 \text{ mm}}$

II.6. Dimensionnement de l'ouvrage : selon l'API 650

II.6.1. Formules de Calcul

a- Épaisseur de l'Enveloppe de Conception, t_d (mm)

$$t_d = \frac{4.9 \times D \times (H + H_e - 0.3) \times G}{S_d} + CA$$

b- Épaisseur de l'Enveloppe des Essais Hydrauliques, t_t (mm)

$$t_t = \frac{4.9 \times D \times (H_t + H_{et} - 0.3)}{S_t}$$

Où,

- D = Diamètre de l'enveloppe de conception = 40.018 m
- H, H_t = Niveau du liquide de conception et/ou Hauteur du fond d'assise considéré à la hauteur de remplissage limité par débordement du réservoir = 16.950 m
- H_e = Hauteur équivalant à pression interne = $10 \times P / G = 0 \text{ m}$

- Het = Hauteur équivalente à la pression des essais hydrauliques = $10 \times Pt = 0 \text{ m}$
- G = Densité de Conception de Liquide = 0.8700 Kg/ m^3
- CA = Surépaisseur de Corrosion = 2.0 mm
- Sd = Contrainte admissible pour Condition de Conception. Sd = 193.0 Mpa Pour Coque supérieure / Coque Inférieure
- St = Contrainte admissible pour Condition des Essais hydrauliques. St = 208.0 Mpa Pour Coque supérieure / Coque Inférieure
- F = Facteur de Réduction (Selon Annexe M Tableau M-1) = 1.000

L'épaisseur minimale admissible y compris surépaisseur de corrosion est égale à **8mm** selon le règlement.

II.6.2. Calcul & Résultats

a- Epaisseur de la robe

La hauteur standard des tôles qui composent les véroles est de 2.1 m , donc le nombre de véroles est de :

$$N = \frac{18.75}{2.1} = 9 \text{ véroles.}$$

Tableau II.9 : Résultats des épaisseurs des viroles selon l'API 650

Condition de conception					Condition des essais hydrauliques			
N° = Virole	largeur d'assise (m)	H (m)	td (mm)	épaisseur utilisée (mm)	largeur d'assise (m)	Ht (m)	tt (mm)	épaisseur utilisée (mm)
1	2,1	16,95	16,717	18	2,1	18,75	17,393	18
2	2,1	14,85	14,861	17	2,1	16,65	15,414	17
3	2,1	12,75	13,005	15	2,1	14,55	13,434	15
4	2,1	10,65	11,149	13	2,1	12,45	11,454	13
5	2,1	8,55	9,292	12	2,1	10,35	9,474	12
6	2,1	6,45	7,436	10	2,1	8,25	7,495	10
7	2,1	4,35	5,58	8	2,1	6,15	5,515	8
8	2,1	2,25	3,724	8	2,1	4,05	3,535	8
9	1,95	0,15	1,867	8	1,95	1,95	1,556	8

Nb : la numérotation s'effectue de bas en haut.

b- Contrôle de la Stabilité de la Robe du Réservoir contre la Charge de Vent (Basé sur Clause 5.9.7)

$$H1 = M \times F_m \times 9.47 \times t \times \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 * \left(\frac{190}{V}\right)^2} = 11.500 \text{ (m)}$$

Où,

- t = Épaisseur de la virole la plus fine (mm)
- V = Vitesse du vent de conception = 145.8 km/h = 40.5 m/s
- $H1$ = Hauteur maximale de l'enveloppe non raidie (m)
- ME = Rapport de l'élasticité du module de matériau à la température de conception maximale à 199 MPa. = 1 (maximum = 1.0)

La pression dynamique, p (1.72 kPa) est inférieure à 1.91 kPa. (Selon Clause 5.9.7.1, Note 2)

Par conséquent, $H1$ ne doit pas être modifié en raison du rapport, $F_m = 0.90$ avec F_m = Rapport de 1.72 kPa à la pression modifiée.

Tableau II.10 : hauteurs équivalentes selon l'API 650

Largeur W_i (m)	Épaisseur (mm)	Épaisseur minimale (mm)	Hauteur transformée h_i (m)	Jugement	$H1$ (m)	W_{tr} (m)
W1=1,95	8	8	h1=1,950	<	11,5	1,95
W2=2,10	8	8	h2=4,05	<	11,5	2,1
W3=2,10	8	8	h3=4,15	<	11,5	2,1
W4=2,10	10	8	h4=7,352	<	11,5	1,202
W5=2,10	12	8	h5=8,114	<	11,5	0,762
W6=2,10	13	8	h6=8,738	<	11,5	0,624
W7=2,10	15	8	h7=9,174	<	11,5	0,436
W8=2,10	17	8	h8=9,493	<	11,5	0,319
W9=2,10	18	8	h9=9,77	<	11,5	0,277
$\Sigma w_i=18,75$						$\Sigma W_{tr}=9,77$

$h_i < H1$ donc, les raidisseurs Intermédiaires ne sont pas nécessaires.

Où :

- W_{tr} = Largeur transposée de chaque virole de réservoir = $W_i \times (t_{uniforme} / t_{actuel})^{2.5}$.
- W_i = Largeur actuelle de chaque virole de réservoir.
- $t_{uniforme}$ = Épaisseur nominale de virole de réservoir la plus fine.
- t_{actuel} = Épaisseur nominale de virole de réservoir étant calculée.
- h_i = Hauteur de l'enveloppe transformée = Somme des largeurs transposée des assises.

c- Calcul de la Plaque du fond (selon Clause 5.4.1)

- Épaisseur minimale = $6 + CA = 8.0$ mm.
- Épaisseur utilisée = 8.0 mm.

d- Plaque Inférieure Annulaire (API 650 Para.5.5)

- Contrainte maximale du produit.

$$S_d = 4.9 \times D \times (H - 0.3) \times G / (t - CA) = \mathbf{177.5 \text{ MPa}} > 160 \text{ MPa (selon Clause 5.5.1)}$$

- Contrainte maximale des essais hydrauliques.

$$S_t = 4.9 \times D \times (H_t - 0.3) / t = \mathbf{200.9 \text{ MPa}} > 171.0 \text{ MPa (selon Clause 5.5.1)}$$

Où :

- t = Épaisseur nominale de virole de réservoir de fond = 18 mm
- H = Niveau maximal de liquide de conception = 16.95 m
- H_t = Hauteur du réservoir = 18.75 m
- CA = Surépaisseur de corrosion de plaque inférieure annulaire = 2 mm
- G = Densité de Conception de Liquide = 0.870 kg/m³

Des plaques inférieures annulaires soudées bout à bout doivent être utilisées.

- Épaisseur minimale (selon Tableau 5-1) + Surépaisseur de corrosion = 8.0 mm

$$\frac{\text{Épaisseur minimale}}{6} + \frac{\text{Surépaisseur de corrosion}}{2} = \mathbf{8.0 \text{ mm}}$$

(Tableau 5-1 est applicable pour la hauteur effective de produit, H x G

$$= 14.7 \text{ m} < 23.0 \text{ m})$$

Épaisseur utilisée : **tb = 8 mm**

Largeur minimale de la plaque annulaire, W (selon Clause 5.5.2)

$$w = \sqrt{215 \times t \times b / (H \times G)} = \mathbf{447.9 \text{ mm}}$$

$$\Rightarrow 792 \text{ mm (Largeur minimale = 600 mm)}$$

Ou :

tb = Épaisseur nominale de la plaque annulaire = **8 mm**

H = Niveau maximal de liquide de conception = **16.95 m**

G = Densité de conception de liquide à stocker = **0.87**

W est une largeur radiale entre l'intérieur de l'enveloppe et aucun joint soudé à recouvrement dans le reste de la partie inférieure.

- Largeur de la plaque annulaire utilisée, Wu

$$W_u = W + 77 \text{ (projet sans enveloppe)} + t_s + t_b + 65 \text{ (joints à recouvrements recommandés au fond)} = \mathbf{960.0 \text{ mm}}$$

(ts : Épaisseur nominale de virole de réservoir de fond)

-Largeur de la plaque annulaire

Diamètre intérieur de la plaque annulaire = **38,270 m**

Diamètre extérieur de la plaque annulaire = **40,190 m**

e- Conception du toit (selon Clause 5.10)

1) Condition de charge de conception

Charge statique pour la plaque de toit **DL = 47.1 kg/m²**

= Épaisseur de la plaque de toit x masse volumique de la Plaque

Tableau II.11 : Condition de Charge de Conception

Charge dynamique Lr	102 kg/m ²
Charge de neige déséquilibrée Su	0
Charge de neige équilibrée Sb	58 kg/m ²
Charge due à vide interne Pe	25.5 kg/m ² = 0.25 kpa

$$W_t = L_r + S_u + S_b + P_e = 232.6 \text{ Kg/m}^2$$

2) Combinaisons de charges

a) - DL + (Lr ou Su ou Sb) + 0.4 x Pe = 159.3 Kg/m²

b) - DL + Pe + 0.4 x (Lr ou Su ou Sb) = 113.4 Kg/m²

La charge totale des valeurs ci-dessus plus 10 % d'admission sera appliquée au calcul supplémentaire.

Donc ; utiliser **p = 175.3 kg/m²**

3) Toit Conique supporté (selon Clause 5.10.2.2)

Épaisseur minimale $t_m = 5 + CA = 6.0 \text{ mm}$

Épaisseur utilisée $t = 6.0 \text{ mm}$

4) Détail du Toit :_(Type du segment d'étanchéité : Type 1)

- t_c = Épaisseur de la plaque d'enveloppe (corrodée) = 6.0 mm
- t_b = Épaisseur de barre (corrodée) = 0 mm
- t_h = Épaisseur de la plaque du toit (corrodée) = 5.0 mm
- θ = Angle entre le toit et l'horizontale = 3.576 deg. (Pente de toit)
- R_c = Rayon intérieur de la robe du réservoir (corrodée) = 20.002 m
- R_2 = Longueur de la normale au toit à partir de l'axe vertical du réservoir
- $R_2 = R_c / \sin\theta$

$$W_c = 0.6 \times \sqrt{(R_c \times t_c)} = 207.9 \text{ mm}$$

$$W_h = 0.3 \times \sqrt{(R_2 \times t_h)} = 300.0 \text{ mm (Max. 300 mm)}$$

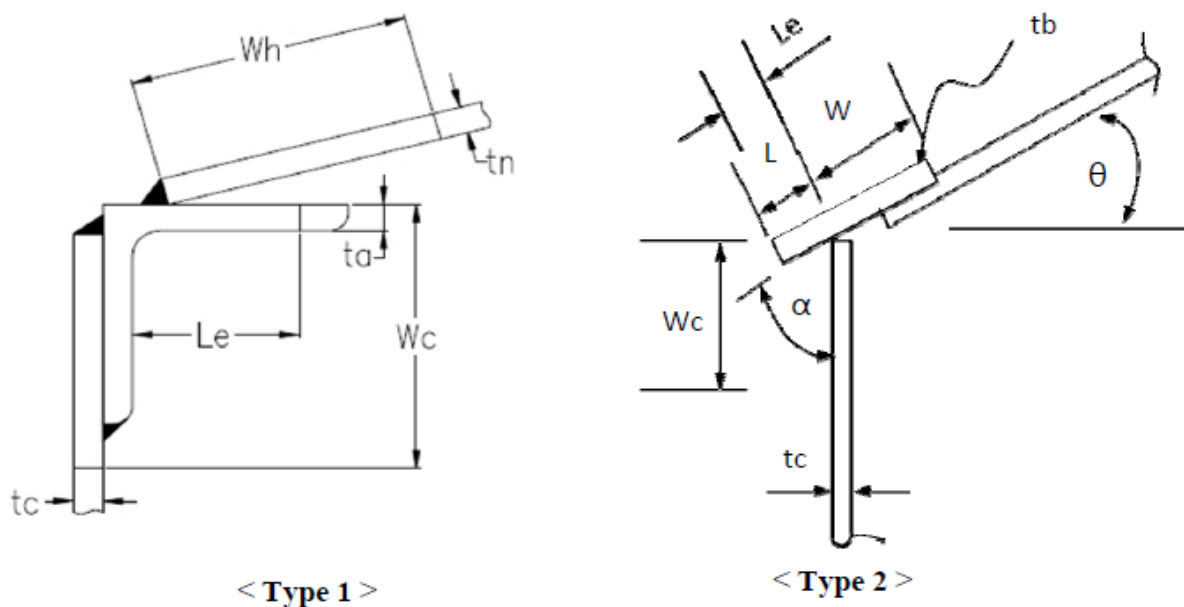


Figure II.2 : Joint d'enveloppe

5) Section transversale du toit au Joint d'enveloppe

$$\text{Zone d'angle} = 1\ 683.0 \text{ mm}^2$$

$$\text{Zone du toit} = t_h \times W_h = 1\ 500.0 \text{ mm}^2$$

$$\text{Zone d'enveloppe} = t_c \times W_c = 1\ 247.1 \text{ mm}^2$$

$$\text{Zone totale réelle, } A_{ac} = 4\ 430.1 \text{ mm}^2$$

Zone de Participation Requise au joint de l'enveloppe-au-toit sous la Charge Externe sur le

Toit, (selon 5.10.5)

$$A_r(p) = p \times D^2 / (8 \times F_a \times \tan \theta) = 44\ 762.2 \text{ mm}^2$$

Zone requise, $A_r = 44\,762.2 \text{ mm}^2$

$A_r = 44\,762.2 > A_{ac} = 4\,430.1 \rightarrow$ Colonne de support ou ferme est Nécessaire

Où :

$p =$ plus de combinaisons de charges (e)(1) et (e)(2) de l'Annexe R

$= 175.3 \text{ kg/m}^2 = 1.719 \text{ kPa}$

$D =$ Diamètre nominal de la robe du réservoir $= 40.018 \text{ m}$

$\theta =$ Angle d'éléments de cône à l'horizontale $= 3.576 \text{ deg.}$

$F_a =$ La moindre contrainte admissible de traction pour des matériaux dans le joint de l'enveloppe au toit $= 123.0 \text{ Mpa} = 123\,000 \text{ kPa.}$

6) Angle au Sommet / Segment d'Étanchéité

Selon API 650, (Clause 5.1.5.9), diamètre du réservoir para port à la taille de l'angle au sommet :

Tableau II.12: segment d'étanchéité selon l'API650

Diamètre du réservoir	Taille minimale de l'angle au sommet
$D \leq 11 \text{ (m)}$	L 50 x 50 x 5
$11 \text{ m} < D \leq 18 \text{ m}$	L 50 x 50 x 6
$D > 18 \text{ (m)}$	L 75 x 75 x 10

Taille de l'angle au sommet utilisé : L100 x 100 x 10 ($A = 1\,683.0 \text{ mm}^2$)

- Longueur non raidie efficace :

$$L_e = \frac{250 t_a}{\sqrt{F_y}} = 158.1 \text{ mm (} t_a = 10.0 \text{ mm)}$$

f- Calcul du trou d'homme et buses pour la coque et le toit

a- Trous d'homme et buses de coque

L'exigence d'ouverture (épaisseur du col, renforcement) des trous d'homme et de la buse doivent être sélectionnés conformément à la norme API 650, Clause 5.7 Ouvertures de l'Enveloppe.

b- Trous d'homme et buses du toit

L'exigence d'ouverture (épaisseur du col, renforcement) des trous d'homme et de la buse d'être sélectionné conformément à la norme API 650, Clause 5.8.4 Trous d'homme du Toit et Clause 5.8.5 Ventilation du Toit.

II.7. Vérification de la stabilité de l'ouvrage selon l'API 650

II.7.1 Calcul de la charge du Vent

Selon RNV 2013 et API 650, Clause 5.2.1 k. Condition de Conception :

Diamètre extérieur de l'enveloppe Do	40.036 m
Hauteur total du réservoir (et hauteur du toit) L	20.006 m
Épaisseur d'isolation It	0.0 mm
Vitesse de base du vent (10 minutes) V	27.0 m/s
Vitesse du vent de conception de la rafale de 3-Secondes V	40.5 m/s
Pression dynamique du vent qz	110.95 kgf/m ²
Facteur d'importance Iw	1.00
Coefficient de force Cf	0.70
Coefficient de rafale G	0.85
Poids de conception (poids opérationnel) Wo	18 993 100 kg
Poids de conception (poids à vide) WE	458 390 kg

a) Charge du vent sur cuve

$$F_w = q_z \times G \times C_f \times A_f = 63\,451.4 \text{ kg}$$

Où :

$$D_e = \text{Diamètre effectif} = \text{Supérieure à } (D_{e1}, D_{e2}) = \mathbf{48.043 \text{ m}}$$

- $D_{e1} = (D_o + 2 \times I_t) \times 1.2 = 48.043 \text{ m}$

- $D_{e2} = (D_o + 2 \times I_t) + 0.6 = 40.636 \text{ m}$

$$q_z = 0.613 K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \times I_w = 1\,088.06 \text{ N/m}^2$$

(API 650 Clause 5.2.1 k.)

Coefficient d'exposition de la pression dynamique K	1.14
Facteur topographique Kzt	1.0
Facteur de direction du vent Kd	0.95

b) Moment du vent, Mw

$$M_w = \frac{F_w \cdot L}{2} + M_{PWR} = 2\,807\,853 \text{ kg-m}$$

c) Vérification de la stabilité de renversement (5.11)

$$0.6M_w + M_{pi} = 1\,684\,712 \text{ kg m} < MDL/1.5 + MDLR = 4\,054\,740 \text{ kgm} \quad \text{Stable}$$

$$M_w + F_p(M_{pi}) = 2\,807\,853 \text{ kg m} < (MDL + MF)/2 + MDLR = 188\,721\,658 \text{ kgm} \quad \text{Stable}$$

Par conséquent, aucun soulèvement. Ce réservoir n'est pas ancré.

Où :

$$M_{pwr} = \left(\frac{PWR \times \pi \times D^2}{4} \right) \left(\frac{D}{2} \right) = 2\,173\,149 \text{ kg m}$$

Avec

- M_{pwr} = Moment de renversement par le soulèvement sur la zone horizontale projetée des surfaces coniques.
- F_p = Facteur de combinaison de pression (Annexe R.2) = 0.400
- M_{pi} = Moment à propos de l'enveloppe au joint de fond à partir de la pression Interne de conception = 0.0 kg m
- MDL = Moment à propos de l'enveloppe au joint de fond à partir du poids nominal et le toit structurel soutenu par l'enveloppe qui n'est pas fixée à la plaque de toit = 4 358 735 kg m
- MF = Moment à propos de l'enveloppe au joint de fond à partir du Poids du liquide = 370 786 748 kg m
- $MDLR$ = Moment à propos de l'enveloppe au joint de fond à partir du poids nominal de la plaque de toit et tout structurel attaché = 1 148 916 kg m

c) stabilité au Glissement Fs

$$F_s = \text{Poids à vide} \times \mu = 458\,390 \times 0.4 = 183,356 \text{ kg}$$

$$F_s = 183,356 > F_w = 63\,451$$

Par conséquent :

la vérification de cisaillement d'ancrage n'est pas nécessaire.

d) Conception du boulon d'ancrage

1) Données de Conception

Tableau II.13 : Données de Conception du Boulon d'Ancrage

Matériau du Boulon d'Ancrage	S355 JR
Surépaisseur d'un côté pour le boulon d'ancrage Ca	0.0 mm
Limite d'élasticité du boulon d'ancrage Fy	3 416.05 kgf/cm ²
Température de conception Td	85.0 °c
Facteur de réduction de la contrainte (API 650, M.3.9) Rs	1.0
Diamètre du réservoir D	40 m
Pression de conception P	0 KPA
Pression des essais internes Pt	0 KPA
Pression de ruptures calculée Pf	0 KPA
Épaisseur de la plaque de toit corrodée thcor	5 mm
Épaisseur de la plaque de toit conforme à l'exécution thasb	6 mm
Pression du vent sur l'enveloppe PWS	1908.96 N/m ²
Moment de Ringwall Sismique Mrw	135 034 227 N-m

- MWH : Moment du vent horizontal = $PWS \times D \times H2 / 2 = 1\ 369\ 320\ \text{kgf m}$
 $= 13\ 428\ 440\ \text{N m}$
- PWR : Sous-pression du vent de conception sur le toit = $1.44 \times (V/190)^2$
 $= 38.43\ \text{kg/m}^2 = 0.38\ \text{Kpa}$
- W1 : Charge statique de l'enveloppe moins toute surépaisseur de corrosion et tout poids propre autre que la plaque de toit agissant sur l'enveloppe moins toute surépaisseur de corrosion = $217\ 839\ \text{kgf}$
 $= 2\ 136\ 268\ \text{N}$
- W2 : Charge statique de l'enveloppe moins toute surépaisseur de corrosion et tout poids propre autre que la plaque de toit agissant sur l'enveloppe moins toute surépaisseur de corrosion = $345\ 259\ \text{kgf}$
 $= 3\ 376\ 164\ \text{N}$
- W3 : Charge statique de l'enveloppe à l'aide l'épaisseur conforme à l'exécution et tout poids propre autre que la plaque de toit agissant sur l'enveloppe à l'aide l'épaisseur conforme à l'exécution = $236\ 476\ \text{kgf} = 2\ 319\ 033\ \text{N}$

2) Charges nettes de Soulèvement

(selon Tableau 5-21, API 650)

(1) Pression de conception :

$$U1 = [(P - 0.08\ thcor) \times D^2 \times 785] - W1$$
$$= -2\ 639\ 120.4\ \text{N} = \mathbf{-269\ 115.3\ \text{kgf}}$$

(2) Pression des essais

$$U2 = [(Pt - 0.08\ thasb) \times D^2 \times 785] - W1 = -2\ 639\ 120.4\ \text{N}$$

$$= -269\ 115.3\ \text{kgf}$$

(3) Pression de rupture : pour toit frangible

$$\begin{aligned} U3 &= [(1.5 \times 3 \times Pf - 0.08 \text{ thasb}) \times D^2 \times 785] - W3 \\ &= -2\ 922\ 455.5\ \text{N} = \mathbf{-298\ 007.5\ \text{kgf}} \end{aligned}$$

(4) Charge du vent

$$\begin{aligned} U4 &= PWR \times D^2 \times 785 + \left[\frac{4 \times MWH}{D} \right] - W2 = -2,060,153.2\ \text{N} \\ &= \mathbf{-210\ 077.1\ \text{kgf}} \end{aligned}$$

(5) Charge sismique

$$\begin{aligned} U5 &= \left[\frac{4 \times MWH}{D} \right] - W2 (1 - 0.4 A_v) \\ &= 9,694,014.6\ \text{N} = \mathbf{988\ 514.2\ \text{kgf}} \end{aligned}$$

(6) Pression de conception + Vent

$$\begin{aligned} U6 &= [(0.4P + PWR - 0.08 \text{ thcor}) \times D^2 \times 785] + \left[\frac{4 \times MWH}{D} \right] - W1 \\ &= -823\ 109.7\ \text{N} = \mathbf{-83\ 933.8\ \text{kgf}} \end{aligned}$$

(7) Pression de conception + Sismique

$$\begin{aligned} U7 &= [(0.4P - 0.08 \text{ thcor}) \times D^2 \times 785] + \left[\frac{4 \times MWH}{D} \right] - W1 (1 - 0.4 A_v) \\ &= 10\ 898\ 367.0\ \text{N} = \mathbf{1\ 111\ 323.9\ \text{kgf}} \end{aligned}$$

3) Charges de Soulèvement, Zone de Boulon d’Ancrage et Cas de Conception de Direction (selon API 650, Clause 5.12.2)

Tableau II.14 : Charges de Soulèvement

	Cas de charge de Soulèvement	Sous-pression totale U(kgf)	contrainte admissible du boulon d’ancrage Sab(kgf/cm ²)	Zone Totale du Boulon d’ancrage minimal requis Atb=U/Sab (cm ²)
U1	pression de conception	-269 115	1423,35	-189,1
U2	pression des essais	-269115	1897,8	-141,8
U3	pression de rupture	-298007	3416,05	-87,2
U4	charge du vent	-210077	2732,84	-76,9
U5	charge sismique	988154	2732,84	361,7
U6	pression de conception + Vent	-83934	1897,8	-44,2
U7	pression de conception + sismique	1111324	2732,84	406,7

4) Condition de Conception du Boulon d’Ancrage

- Cas de Conception de Direction : Cas N° U7, Pression de Conception + Sismique

Zone du Boulon d’Ancrage Requise, $Ab = U / (N \times Sab) = 847.2 \text{ mm}^2$

- Partie de Fond Actuelle du Boulon, Ac

$$Ab = 847.2 < Ac = 1\ 082.7 \text{ mm}^2$$

Par conséquent, la conception d’ancrage est **satisfaisante** au Cas N° U7

Pression de Conception + Sismique.

- Où :

- Matériau de boulon Mat = S355 JR

- Taille de boulon Size = M42 x 4.5

- Nombre de boulon N = 48

- Limite d’élasticité de boulon $Fy = 34.16 \text{ kg/mm}^2$

- Contrainte admissible de boulon $Sab = 27.33 \text{ kg/mm}^2$

- Partie de fond de boulon $A_c = 1\,082.7 \text{ mm}^2$

- Diamètre du cercle de boulonnage $D_b = 40\,256 \text{ mm}$

- **Comparaison et commentaires**

**Tableau II.15: tableau résumant les résultats des deux règlements
« EUROCODE3 » et « API 650 (2011) »**

	EUROCODE 3	API 650 (2011)
N° = Virole	Tcal (mm)	tcal (mm)
1	16.78	17,393
2	14.87	15,414
3	12.96	13,434
4	11.05	11,454
5	9.1	9,474
6	7.2	7,495
7	5.3	5,515
8	3.4	3,535
9	1.5	1,556
Epaisseur de la plaque de fond (mm)	8	8
Raidisseur primaire	Pas nécessaire	Pas nécessaire
Raidisseur secondaire	150×100×10	

Du tableau, on constate que le règlement API 650 (2011) abouti a des épaisseurs pour les véroles plus importantes que celle de l'EUROCODE 3, et ne nécessite pas de raidisseurs secondaires contrairement à l'EUROCODE 3, ce qui est due au surdimensionnement des véroles.

Donc on conclue que le règlement API 650 aboutie a des résultats plus sécuritaires que l'EUROCODE 3.

En revanche l'EUROCODE 3 est plus économique et utilise des règles de calcul beaucoup plus simple et moins compliquées que celles de l'API 650.

Chapitre 3 : Etude au séisme d'un réservoir industriel

III.1 Introduction: (étude hydrodynamique)

Lors d'une excitation sismique, un réservoir plein et couvert ne subit pas mouvement du liquide par rapport au réservoir.

En fait tout se passe comme si ces derniers constituent une seule masse. Par contre, dans les réservoirs à moitié plein, l'excitation sismique provoque la formation des vagues en surface entraînant ainsi la naissance des contraintes sur les parois.

L'approche développée par Housner (Housner, 1963), utilisée pour étudier l'action du liquide sur les parois du réservoir dans laquelle l'action du liquide est décomposée en une action passive provoquant des efforts d'impulsion et une action active provoquant des efforts d'oscillation.

L'action passive provoque des efforts d'impulsion qui proviennent de la réaction, d'une partie de la masse du liquide.

On obtient un système mécanique en considérant une masse M_i liée à la paroi du réservoir d'une hauteur H_i de façon à ce qu'elle exerce les mêmes efforts horizontaux que la masse de gazoil équivalente.

L'action active provoque des efforts d'oscillations qui proviennent du mouvement d'oscillation de l'autre masse du mouvement qui est provoquée par l'action sismique.

On obtient un système mécanique en considérant une masse M_0 retenue par des ressorts de raideurs K_0 à un niveau H_0 dont les oscillations horizontales exerçant les mêmes efforts de vibrations que la masse active du liquide.

Les actions sur la paroi sont les seules qu'on prend en considération pour le calcul du moment de flexion des parois. Tandis que l'action des surpressions sur le fond du réservoir est prise en compte pour le calcul du moment de renversement de l'ensemble comme le montre les figures ci-dessous :

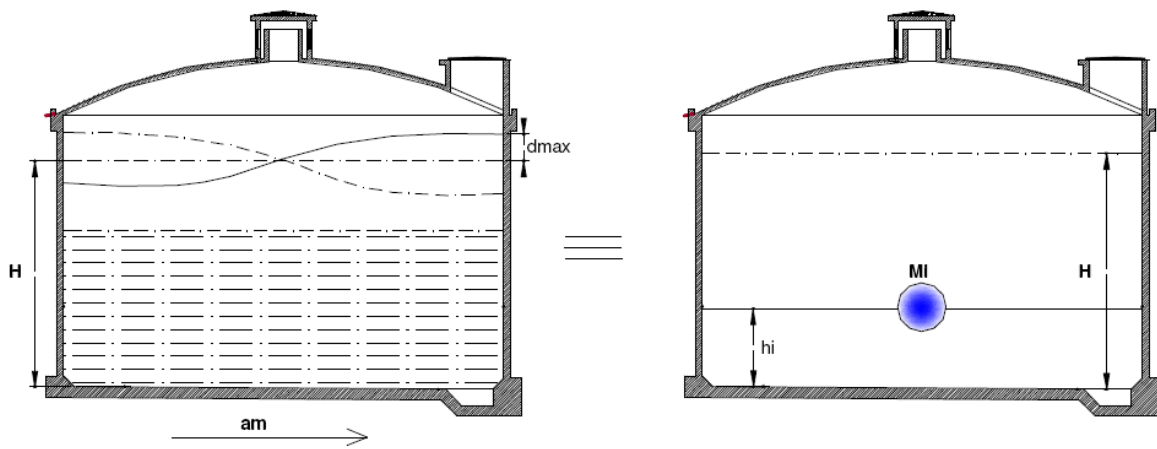


Figure III.1: Système physique et mécanique équivalent des pressions d'impulsion

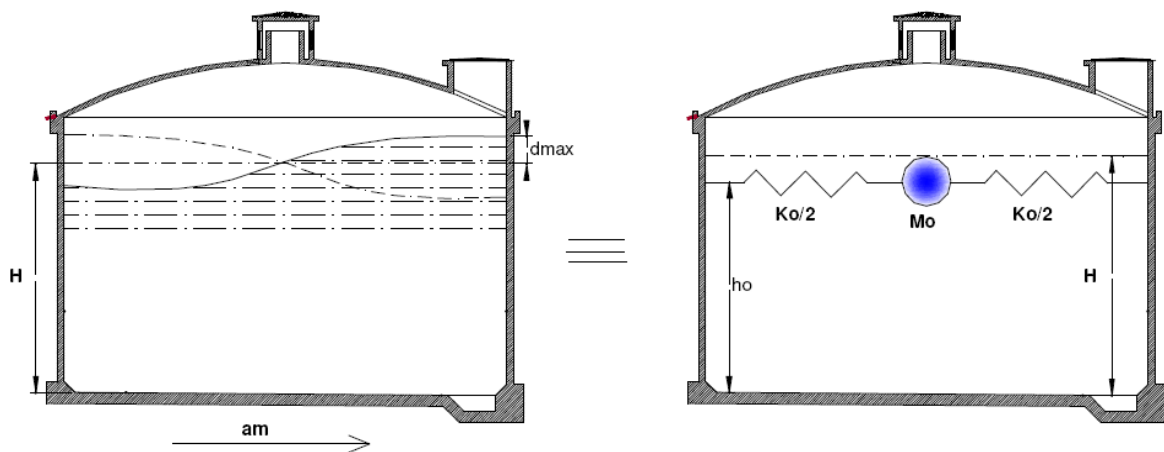


Figure III.2 : Système physique et mécanique équivalent des pressions d'oscillations sur les parois.

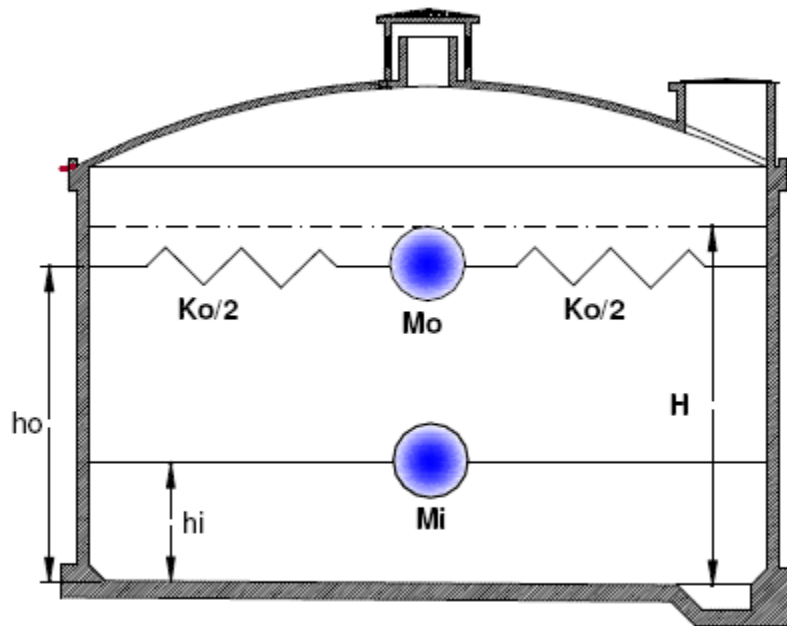


Figure III.3: Modèle à une masse passive M_i (impulsion) et une masse active M_o (oscillation).

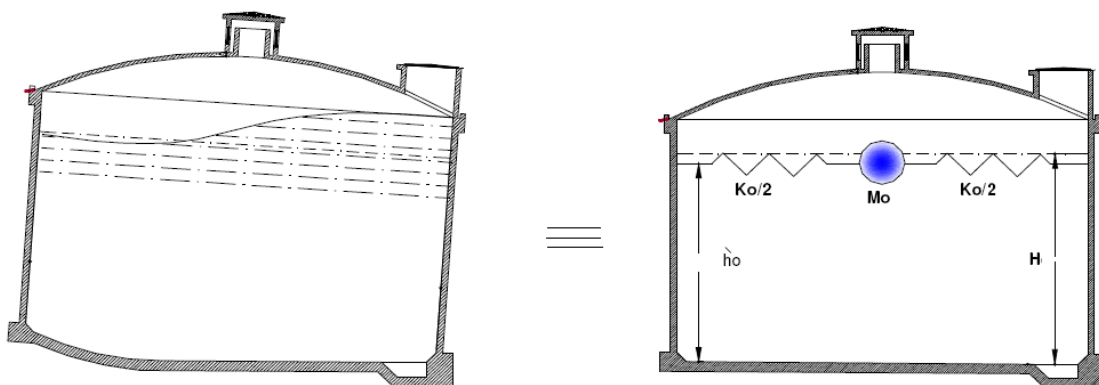


Figure III.4: Système physique et mécanique équivalent des pressions d'oscillation actions sur les parois et sur la basse.

III.2 Choix de la méthode de calcul

Quatre méthodes de calcul ont été développées ; considérant des hypothèses différentes selon la dépendance de la surpression par rapport au temps.

➤ **Méthode de JACOBSON :**

Cette méthode ne considère que la surpression d'impulsion avant que ne commencent l'oscillation du liquide. De plus le champ de vitesse dans le réservoir

est directement proportionnel à la vitesse du sol ; ceci a pour première conséquence de pouvoir évoluer la surpression sans préjuger de la forme de l'accélération.

➤ **Méthode de HUNT et PRIESTLEY :**

Cette méthode tient compte à la fois des phénomènes d'impulsion et d'oscillations ; conduit à une relation entre les champs de vitesse du temps et l'accélération du sol.

➤ **Méthode de HOUSNER :**

Housner sépare les deux phénomènes ; impulsion et oscillation et n'est applicable que pour un taux de remplissage $h/r \leq 1,5$.

Les deux méthodes de calcul de HUNT et PRIESTLEY et de HOUSNER donnent des résultats comparables dans le cas des réservoirs ayant un taux de remplissage $h/r < 1,5$; par contre pour les réservoirs ayant un taux de remplissage $h/r > 1,5$, la méthode de HOUSNER donne des résultats approché à 10 % près. Donc dans le cas des réservoirs pour lesquels une meilleure précision est requise ; on utilise de préférence la méthode de HUNT et PRIESTLEY.

Avec

- h: hauteur du liquide
- r: rayon du réservoir

d'où

$$A .N: \quad h/r \leq = 18.75/20 = \mathbf{0.9375} < \mathbf{1.5}$$

D'où la méthode de HOUSNER est applicable.

III.3 Présentation de la méthode D'HOUSNER

Suivants l'énoncé de la méthode de HOUSNER, l'action de liquide est décomposé en deux types d'action:

- Une action passive provoquant des efforts d'impulsion.
- Une action active provoquant des efforts d'oscillations.

III.3.1 Hypotese de calcul

- La dissipation d'énergie due à la viscosité du fluide dans les réservoirs sera négligée.
- Le liquide dans les réservoirs sera considéré comme incompressible
- Les réservoirs sont liés rigidement à leurs sol de fondation, ce qui leur confère la même accélération que celle du sol .

III.3.2 Organigramme de calcul

L'étude hydrodynamique approchée par la méthode analytique de Housner, souvent méconnue par les ingénieurs civils de bureaux d'études, se prête bien à la programmation.

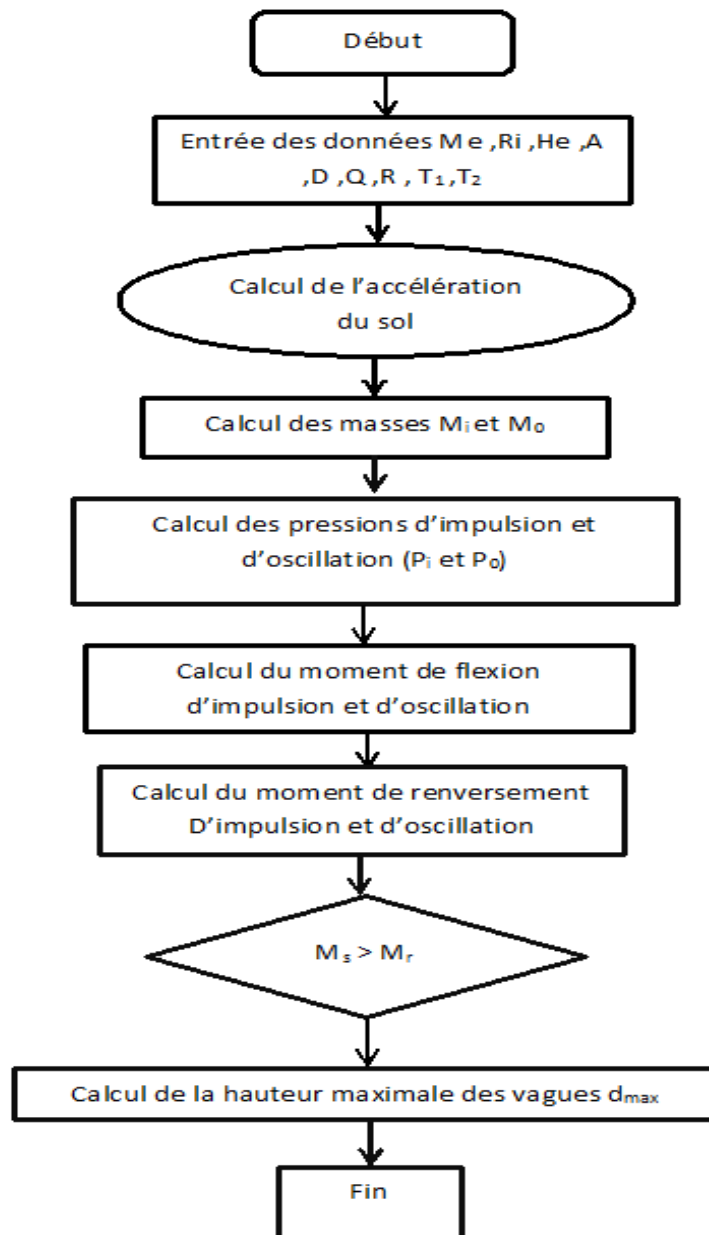


Figure III.5 : Organigramme de l'étude hydrodynamique approchée par la méthode de Housner.

III.4 Méthode de calcul

III.4.1 Calcul des actions d'impulsions :

Soit un réservoir cylindrique à base horizontale et parois verticales soumis à une accélération maximale a_m .

En considérant un liquide incompressible et en exprimant le principe de conservation masse et le principe fondamental de la dynamique, on détermine l'expression de la résultante des pressions hydrodynamique horizontales d'impulsion P_i :

$$P_i = a_m * M_i \quad \text{Avec} \quad M_i = M_e * \frac{th(\sqrt{3} \frac{R_i}{H_i})}{(\sqrt{3} \frac{R_i}{H_i})}$$

*Calcul de la masse d'inertie M_i :

* Calcul de la masse du gasoil M_e :

$$M_e = V_c \cdot \gamma = 21300 * 0.87 = 18531 \text{ KN}$$

$$M_i = 18531 * \frac{th(\sqrt{3} \frac{19.982}{16.95})}{(\sqrt{3} \frac{19.982}{16.95})}$$

Calcul de l'accélération a_m selon la méthode dynamique d'analyse modale spectrale

L'accélération a_m est l'accélération du sol à l'excitation sismique elle est donné par les différents codes selon la sismicité de la zone et certains paramètres.

Selon le **RPA**, elle est déterminée selon les relations suivantes :

$$\frac{a_m}{g} = \begin{cases} 1.25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & \text{si } 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) & \text{si } T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{\frac{2}{3}} & \text{si } T_2 \leq T \leq 0.3s \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3}{T} \right)^{\frac{5}{3}} & \text{si } T \geq 3.0s \end{cases}$$

a) Coefficient D'accélération A

A : coefficient d'accélération de la zone pris suivant la zone sismique et le groupe d'usage de l'ouvrage.

Pour notre cas : Groupe d'usage: 1A ; Zone sismique: IIa

Tableau III.1 : Coefficient d'accélération des zones

Groupe	Zone sismique			
	I Sismicité faible	II a Sismicité moyenne	IIb Sismicité moyenne	III Sismicité élevés
1A	0.15	0.25	0.30	0.40
1B	0.12	0.20	0.25	0.30
2	0.10	0.15	0.20	0.25
3	0.07	0.10	0.14	0.18

On trouve : **A= 0,25.**

b) Coefficient de comportement R

R : coefficient de comportement global de la structure, il est donné en fonction du système de contreventement.

Notre cuve est supportée par des parois en acier (voiles porteurs) --**R=2** (tableau 4,3..... RPA99)

c) Facteur d'amplification dynamique D

D : facteur d'amplification dynamique moyen ; il prend en compte les variations de la structure lorsqu'elle est soumise à un séisme.

Puisque les réservoirs sont liés rigidement à leur sol de fondation ; ce qui leur confère la même accélération que le sol

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(T_2/T)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(T_2/3.0)^{\frac{2}{3}}(3.0/T)^{\frac{5}{3}} & T \geq 3.0s \end{cases}$$

Donc :

D = 2.5η car (0 < T < T₂)

T₂ = 0.4 site S2

d) η : facteur de correction d'amortissement donné par la formule :

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \zeta)} \geq 0.7 = 1$$

e) ζ (%) est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

Dans notre cas **ζ = 5%** donc **η = 1**

Tableau III.2 : valeurs de ζ (%)

Remplissage	portique		voiles ou murs
	Béton	acier	Béton armé / maçonnerie
Léger	6	4	1
Dense	7	5	0

Donc

$$D = 2.5 * 1 = 2.5$$

d) Facteur de la qualité Q

Q : facteur de la qualité de la structure il est fonction de :

- redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent
- la régularité en plan et en élévation
- la qualité du contrôle de la construction

La valeur de Q est déterminée par la formule : $Q=1+\sum_i P_q$

P_q: Pénalité à retenir selon que le critère de qualité « q » est satisfait ou non, sa valeur est donnée dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : Valeurs des pénalités

Critère « q »	P _q
Condition minimales sur les files de contreventement	0
Redondance en plan	0
Régularité en plan	0
Régularité en élévation	0
Contrôle de qualité des matériaux	0
Contrôle de qualité de l'exécution	0
Total	0

e) Calcul de l'effort tranchant à la base

La formule à utiliser :

$$V = \frac{ADQ}{R} W$$

$$V = \frac{ADQ}{R} W = \frac{0.25 * 4.7 * 1 * 19039.50}{2}$$

$$V = 112103.646 \text{ KN}$$

T1, T2 sont des périodes caractéristiques associées à la catégorie du site Si.

Tableau III.4 : périodes caractéristiques

Site	S1	S2	S3	S4
T ₁ (sec)	0.15	0.15	0.15	0.15
T ₂ (sec)	0.3	0.4	0.5	0.7

f) Calcul de la période fondamentale T

La formule à utiliser :

$$T = 1.79 H_t^2 \sqrt{\frac{P}{gEI}}$$

- le poids de l'ouvrage **P = 5085 KN**
- Hauteur de la structure **Ht = 18.75 m**
- E : Module d'élasticité de l'acier **E = 2.1*10⁵ MPa** .
- Moment d'inertie de la paroi par rapport à l'axe horizontal **I_x** :

$$I_x = \frac{\pi}{4} * (R_e^4 - R_i^4)$$

avec $\begin{cases} R_i : \text{Rayon intérieur de du réservoir} = 19.982\text{m} \\ R_e : \text{Rayon extérieur de du réservoir} = 20\text{m} \end{cases}$

$$I_x = \frac{\pi}{4} * (20^4 - 19.982^4) = 451.77 \text{ m}^4$$

Donc : **T = 0.046 s**

$$1.25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) \text{ si } 0 \leq T \leq T_1$$

$$\frac{a_m}{g} = 1.25 * 0.25 * (1 + (0.046/0.15) * ((2.5 * 1.84) * (1/2) - 1))$$

$$\frac{a_m}{g} = 0.22$$

$$a_m = 2.2$$

D'où: $P_i = 2.2 * 8585.59$

$$P_i = 19408.167 \text{ KN}$$

III.4.2 Calcul des actions d'oscillations

En partant de même hypothèse que précédemment en exprimant d'une part l'énergie potentielle acquise par la formation de vague en surface et d'autre part l'énergie cinétique de l'ensemble du système, on établit l'expression de distribution surpressions hydrodynamiques.

La résultante de pression hydrodynamique horizontale d'oscillation (P_0) sera donnée par la formule suivante:

$$P_0 = 1.2 M_0 g \phi$$

a) Calcul de la masse oscillante M_0

La masse oscillante du gazoil est donnée par la formule:

$$M_0 = M_e 0.318 \frac{R_i}{H_e} T_h \left(1.84 \frac{H_e}{R_i} \right)$$

$$M_0 = 6361.209 \text{ kN/m}^3$$

Calcul de la pulsation fondamentale de vibration du liquide ω :

$$\omega^2 = \frac{g}{R_i} 1.84 t_h \left(1.84 \frac{H_e}{R_i} \right)$$

$$\omega^2 = 0.838 \text{ rad/s}$$

L'angle maximal d'oscillation ϕ_0 de la surface libre est donné par la relation suivante :

$$\phi_0 = 0.83 \frac{a_m}{g}$$

$$\phi_0 = 0.1826$$

D'où: $P_0 = 1.2 * 6341.209 * 10 * 0.1826$

$$P_0 = 14277.33 \text{ KN}$$

b) Action d'oscillations :

Le moment de flexion sur les parois sous l'action d'impulsion est donné par la formule suivante:

$$M_{f0} = P_0 * h_0$$

Avec:

h_0 : Le niveau d'application des pressions d'impulsion par rapport au radier exprimé par:

$$h_0 = H_e \cdot \left[1 + \frac{1}{1.84 \operatorname{th}\left(1.84 \frac{H_e}{R_i}\right)} + \frac{1}{1.84 \frac{H_e}{R_i} \operatorname{sh}\left(1.84 \frac{H_e}{R_i}\right)} \right] = 16,75 \cdot \left[1 + \frac{1}{1.84 \operatorname{th}\left(1.84 \frac{16,75}{19,982}\right)} + \frac{1}{1.84 \frac{16,75}{19,982} \operatorname{sh}\left(1.84 \frac{16,75}{19,982}\right)} \right]$$

$$h_0 = 12.32 \text{ m.}$$

D'où: $M_{f0} = 142773.33 * 12.32$

$$M_{f0} = 1759116.459 \text{ KNm.}$$

III.4.3 Calcul des moments de flexion

a) Action d'impulsion

Le moment de flexion sur les parois sous l'action d'impulsion est donné par la formule suivante:

$$M_{fi} = P_i * h_i$$

Avec :

h_i : Le niveau d'application des pressions d'impulsion par rapport au radier exprimé par

$$h_i = 3/8 h$$

$$h_i = (3/8) * 16.75$$

$$h_i = 6.28 \text{ m}$$

D'où: $M_{fi} = 19408.167 * 6.28$

$$M_{fi} = 121907.55 \text{ KN.m}$$

III.4.4 Calcul des moments de renversement

a) Action d'impulsion

Le moment de renversement d'ensemble, sous l'action d'impulsion, est donné par:

$$M_{ri} = P_i * h_i'$$

Avec:

h_i' : Le niveau d'application des pressions d'impulsion, incluant l'effet de la pression sur la base s'écrit:

$$hi' = \frac{3}{8} H_e + \frac{1}{2} \left[\frac{\sqrt{3} \frac{Ri}{He}}{th(\sqrt{3} \frac{Ri}{He})} \right] = \frac{3}{8} * 16.75 + \frac{1}{2} \left[\frac{\sqrt{3} \frac{19.982}{16.95}}{th(\sqrt{3} \frac{19.982}{16.95})} \right]$$

$$hi' = 7.34 \text{ m}$$

D'où:

$$M_{ri} = 19407.167 * 7.34$$

$$M_{ri} = 142612.52 \text{ KNm.}$$

b) Action d'oscillations

Le moment de renversement d'ensemble, sous l'action d'impulsion, est donné par:

$$M_{r0} = P_0 \cdot h_0'$$

Avec:

h_0' : Le niveau d'application des pressions d'oscillation incluant l'effet de la pression sur la base est tel que:

$$h_0' = H_e \left[1 - \frac{\text{ch}\left(1.84 \frac{He}{Ri}\right) - 2}{1.84 \frac{He}{Ri} \text{sh}\left(1.84 \frac{He}{Ri}\right)} \right] = 16.75 \left[1 - \frac{\text{ch}\left(1.84 \frac{16.95}{19.982}\right) - 2}{1.84 \frac{16.95}{19.982} \text{sh}\left(1.84 \frac{16.95}{19.982}\right)} \right]$$

$$h_0' = 14.584 \text{ m}$$

D'où:

$$M_{r0} = 14277.33 * 14.584$$

$$M_{r0} = 208231.54 \text{ KN.m}$$

III.5 Vérifications de la stabilité de l'ouvrage

III.5.1 Etat limite ultime de stabilité

Sous l'effet de l'action sismique à l'ELU, la stabilité d'ensemble de réservoir vis à vis l'effondrement doit être satisfaisante. La stabilité d'ensemble se rapportant à un comportement de corps rigide peut être perdue par glissement ou renversement. À cet effet il y a lieu de satisfaire la condition suivante:

$$\frac{\text{Moment Stabilisant}}{\text{Moment renversant}} \geq 1.5$$

Pour le moment renversement, nous considérons, la somme des deux moments de renversement, précédemment calculés (d'impulsion et d'oscillation). Quant à la résultante des forces horizontales, nous considérons la somme de la force d'impulsion et de la

force d'oscillation.

a) **Le moment de renversement max:**

$$M_{\text{renv}} = M_{\text{ri}} + M_{\text{r0}} = 142\,612.528 + 208\,231.5483$$

$$M_{\text{renv}} = \mathbf{350\,844.07\text{KN.m}}$$

b) **Le moment stabilisateur:**

- Poids du réservoir plein $M_C = \mathbf{235619\text{ KN}}$
- Rayon extérieur du réservoir $R_{\text{ext}} = \mathbf{20.1\text{m}}$.

$$M_{\text{stab}} = M_C * R_{\text{ext}} = M_{\text{stab}} = 235619 * 20.1$$

$$M_{\text{stab}} = \mathbf{473\,594\,1.9\text{ KN.m}}$$

$$\text{Rapport : } \frac{M_s}{M_r} = \mathbf{13.49}$$

Alors pas de risque de renversement

III.5.2 Etat limite de service de niveau de fonctionnement minimal:

Il ya lieu de s'assurer que sous l'effet de l'action sismique de dimensionnement approprié, le réservoir peut subir un endommagement de certains de ces composants, dans la mesure où toutefois, après les opérations de contrôle des dommages.

La hauteur maximale des vagues, après oscillations est donnée par la relation suivante :

$$d_{\text{max}} = \frac{0.408 R_i}{\left(\frac{g}{\omega_0^2 \phi_0 R_i} - 1 \right) \text{th} \left(1.84 \frac{H_e}{R_i} \right)}$$

La pulsation fondamentale de vibration du liquide en mouvement

$$\omega_0 = \mathbf{0.915\text{rd/s}}$$

donc :

$$d_{\text{max}} = \mathbf{4.096\text{ m}} \quad (\text{balottement non vérifié})$$

➤ **calcul du poids de l'ouvrage**

- Poids de radier $W_{\text{rad}} = 45224 \text{ KN}$
- Poids de toiture $W_t = 1878.5 \text{ KN}$
- Poids de robe $W_{\text{rb}} = 2364.8 \text{ KN}$
- Poids du fond $W_f = 841.7 \text{ KN}$
- Poids de liquide $W_l = 185\,310 \text{ KN}$
- Poids total du réservoir à l'état vide $W_1 = 50\,309 \text{ KN}$
- Poids du réservoir (sans radier et sans liquide) $W_2 = 5085 \text{ KN}$
- Poids total du réservoir (sans radier) $W_3 = 190\,395 \text{ KN}$
- Poids total du réservoir $W_4 = 235\,619 \text{ KN}$

➤ **Calcul des contraintes circonférentielles**

Les cylindres verticaux des réservoirs reprennent la pression hydrostatique par de simples tensions circonférentielles sans qu'aucun raidisseur ne soit nécessaire. La traction circonférentielle dans la coque variera directement suivant la direction verticale en fonction de la hauteur du fluide contenu, depuis la surface du liquide jusqu'à la profondeur maximale. A une profondeur H, la contrainte es donné par la formule suivante : (*COURS SILOS ET RESERVOIRS, DAHMANI*).

$$\sigma_H = \frac{H \rho g D}{2 * t}$$

Tableau III.5 : Calcul des contraintes de membrane circonférentielles

Calcul des contraintes de membrane circonférentielles				
Eléments	Indices	Valeurs	contraintes admissibles	unités
1	$\sigma_{c,v1}$	179.16	290	Mpa
2	$\sigma_{c,v2}$	168.45	290	Mpa
3	$\sigma_{c,v3}$	166.840	290	Mpa
4	$\sigma_{c,v4}$	164.72	290	Mpa
5	$\sigma_{c,v5}$	148.350	290	Mpa
6	$\sigma_{c,v6}$	141.900	290	Mpa
7	$\sigma_{c,v7}$	132.225	290	Mpa
8	$\sigma_{c,v8}$	87.075	290	Mpa
9	$\sigma_{c,v9}$	41.925	290	Mpa

III.6 Vérification au flambement

Parmi les risques d'endommagement d'un réservoir, lors d'un séisme, figure le flambement des coques qui est le phénomène d'instabilité le plus complexe. Il s'agit d'une déformation d'une partie de la robe. Il pourrait s'agir de n'importe quelle virole. Ainsi, les différents codes de dimensionnement proposent des normes à respecter afin d'éviter ce genre de déformation. L'expression à vérifier pour les structures en acier est donné par la relation :

$$\sigma_{cr} = \left[\frac{1}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \right] \frac{E.t}{r} = 0.605 * E . t / r$$

Tableau III.6 : les contraintes critiques de flambement pour les viroles

vérification au flambement			
Eléments	indices	valeurs	unités
la contrainte critique de flambement pour la virole 1	σ_{cr1}	114,345	MPA
la contrainte critique de flambement pour la virole 2	σ_{cr2}	107,9925	MPA
la contrainte critique de flambement pour la virole 3	σ_{cr3}	95,2875	MPA
la contrainte critique de flambement pour la virole 4	σ_{cr4}	82,5825	MPA
la contrainte critique de flambement pour la virole 5	σ_{cr5}	76,23	MPA
la contrainte critique de flambement pour la virole 6	σ_{cr6}	63,525	MPA
la contrainte critique de flambement pour la virole 7	σ_{cr7}	50,82	MPA
la contrainte critique de flambement pour la virole 8	σ_{cr8}	50,82	MPA
la contrainte critique de flambement pour la virole 9	σ_{cr9}	50,82	MPA

III.7 Calcul des ancrages

Les ancrages font globalement références à des éléments mécaniques assurant un rôle dans l'interface entre l'équipement et son support. En réalité, les ancrages peuvent concerner l'interface entre la structure support intermédiaire et la structure support principale (*DT III GUIDE STRUCTURE*). Il existe plusieurs types d'ancrage en fonction de leur mode de mise en place et de leur mode de fonctionnement :

- Les ancrages passifs : chevillés et pré scellés
- Les ancrages actifs : ancrages précontraints
- Les ancrages : traversant ou non, avec ou sans fourreau

Pour les réservoirs à toit fixe, il convient de rajouter un ancrage pour éviter un quelconque soulèvement de la coque. Ce soulèvement peut être causé par plusieurs facteurs comme les actions des vents contrecarrés par le poids sous corrosion réel du toit, la pression interne de calcul combinée aux actions des vents, un liquide externe dû aux inondations (*DAHMANI 2017*). La distance entre les ancrages est la même tout autour du réservoir, ils sont fixés à la paroi de la coque et à la couronne en béton du radier. Selon l'EUROCODE, les efforts d'ancrage sont obtenus à partir de formule suivantes :

$$F = N \frac{\pi D}{n_a}$$

Où F est l'effort des ancrages.
Pour l'ancrage ductile, on a :

$$N = \frac{8 M_r}{3 \pi D_a^2} - W$$

Tableau III.7 : les efforts dans les ancrages

calcul les efforts dans les ancrages			
Eléments	indices	Valeurs	unités
les efforts normaux des ancrages	N	275648108.4	N
les efforts dans les ancrages	F	726263.588	N

III.8 Vérification des ancrages au cisaillement

Pour les ancrages nous avons utilisé des boulons M42, ainsi nous allons vérifier leur résistance au cisaillement. Pour cela, nous allons utiliser la relation suivante :

$$V_R = F_{vb,Rd} = \frac{(0.44 - 0.0003 f_{yb}) f_{ub} A_s}{\gamma_{m2}} \quad \text{donc} \quad V_R = 182962.84 \text{ kn/m}^2$$

$$V_E = V_{nom} * R_{TV} R_{SV} R_{EV} \quad \text{donc} \quad V_E = 137222.1312 \text{ kn/m}^2$$

$$\frac{V_E}{V_R} \leq 1 \quad \text{Pour qu'il n'y ait pas de cisaillement}$$

Tableau III.8 : la Résistance au cisaillement

calcul la Résistance au cisaillement			
Eléments	indices	valeurs	unités
Résistance au cisaillement	V _R	182962.84	KN/m ²
l'effort tranchant appliqués à la cheville	V _E	137222.1312	KN/m ²

$$\frac{137222.1312}{182962.84} = 0.75$$

V_{nom} : capacités résistantes nominales en cisaillement

R_{TV} : coefficient réducteur lié au type de cheville

R_{SV} : coefficient lié à l'entraxe des chevilles

R_{EV} : coefficient réducteur lié à la distance au bord libre

Conclusion

L'étude hydrodynamique, en faisant intervenir les effets et les lois de l'hydrodynamique, nous montre qu'on ne peut pas négliger l'effet des vagues, qui est un phénomène qui peut provoquer la ruine de la toiture, d'où le débordement du liquide. A cet effet, les calculs et les vérifications ont montré que la hauteur du front-bord n'est suffisante pour amortir ces effets, la paroi et la coupole risquent d'être endommager par le mouvement de fluide.

Chapitre 4 : Modélisation du réservoir par éléments finis

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019



I. Introduction :

Créé à l'origine par l'entreprise Robobat sous le nom de Robot Millenium, le logiciel Robot est devenu avec le rachat de Robobat par la société Autodesk Robot Structural Analysis.

Logiciel de CAO / DAO (mais plutôt CAO que DAO), il permet de modéliser, calculer, vérifier, dimensionner différentes structures du Génie Civil. Cette dernière étape permet de définir des notes de calcul ainsi que des plans de ferrailage.

L'intégration de ce logiciel à la société Autodesk lui a permis de devenir une pièce maîtresse dans le BIM.

En effet, des maquettes numériques réalisées sous Revit ou des plans réalisés sous Autocad peuvent être directement importés sous Robot. Les plans de ferrailages peuvent, eux, être exportés et exploités directement sous Autocad, permettant une meilleure circulation des documents et une rapidité d'exécution dans les calculs.

1) Méthode d'analyse par éléments finis

L'analyse par éléments finis (FEA) est une méthode informatisée qui permet d'anticiper la réaction d'un produit exposé à des forces du monde réel, à des vibrations, à de la chaleur, à des écoulements de fluides et à d'autres manifestations physiques. Elle détermine si un produit peut rompre, s'user ou fonctionner tel qu'il a été conçu. Bien qu'on l'appelle analyse, elle intervient dans le processus de développement des produits et permet d'anticiper d'éventuelles conséquences de l'utilisation du produit.

Ce processus consiste à diviser un objet réel en une multitude (des milliers, voire des centaines de milliers) d'éléments finis, tels que des petits cubes.

L'analyse par éléments finis permet de prévoir le comportement de certains produits qui subissent divers effets physiques, parmi lesquels :

- Contraintes mécaniques
- Vibrations mécaniques
- Fatigue
- Mouvements
- Echanges thermiques
- Ecoulement de fluides
- Electrostatique
- Moulage par injection de plastique

II. Les différents modules de calcul de robot

Le logiciel Robot Structural Analysis 2019 nous propose 16 modules de modélisations :

1. pour les 12 premières icônes, de définir le type de la structure à étudier, ouvrir une structure existante.
2. pour les 2 suivantes, de charger des modules métier de dimensionnement de structures.
3. pour les 2 dernières, d'utiliser un outil de Robot.

1) Conception de Bâtiments



Ce module permet de réaliser des maquettes 3D d'ouvrages afin d'effectuer un dimensionnement complet de l'ouvrage.

Il ne s'agit pas d'un module tel que CBS (Concrete Building Structures) qui se trouve être une extension de ROBOT et donc un logiciel à part

2) Création de portiques spatiaux



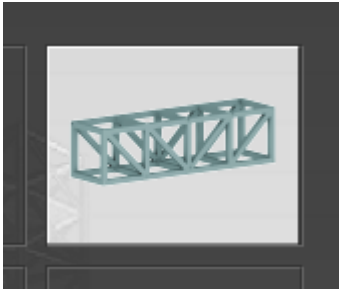
Il s'agit du module par excellence, celui qui permet de créer n'importe quelle structure en 3D dans Robot et d'y effectuer l'ensemble des calculs de Résistance des Matériaux nécessaires.

3) Etude d'une coque



Ce module permet de modéliser les éléments coques

4) Treillis spatiaux



Ce module permet de modéliser des treillis en 3D

Les barres de ce module sont par défaut bi-articulées et donc ne travaillent qu'en traction / compression

5) Etude de plaques



Ce module permet l'étude d'éléments dits "plaques", comme des planchers de bâtiment

6) Études de portiques plans



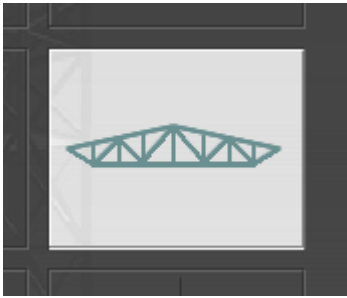
Ce module est permet l'étude de structures composées de poutres en 2D. Il est très pratique pour des calculs de Résistance des Matériaux.

7) Etude d'un grillage



Comme son nom l'indique, ce module est destiné à la modélisation et au dimensionnement de structures de type "grillage"

8) Etude de Treillis plans



Ce module permet le calcul rapide de treillis en 2D.

Comme pour le treillis en 3D, les barres de ce module sont par défaut bi-articulées et donc ne travaillent qu'en traction – compression.

9) Modélisation en Volumiques



Ce module est destiné aux structures massives, ne pouvant pas être modélisées par des éléments de type poutres ou plaques, comme des barrages poids par exemple.

10) Modélisation en contraintes planes



Ce module est adapté à la modélisation et au calcul des éléments verticaux de type voiles ou poutre-voiles.

11) Etude en déformations planes



Ce module est adapté à la modélisation et aux calculs d'éléments de type poutres

12) Modélisation de structures axisymétriques



Ce module est adapté à la modélisation de structures axisymétriques tels que, par exemple, des silos ou autres réservoirs dont les éléments ne peuvent pas être considérés comme des coques.

13) Conception des éléments en béton armé



Ce module est destiné à la modélisation et au calcul de ferraillage des éléments en béton armé suivant :

- poutres
- poteaux
- semelles

14) Étude d'assemblages



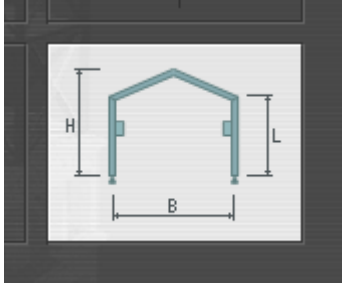
Ce module correspond à une application directe de construction métallique, permettant le calcul des assemblages.

15) Étude de sections



Très pratique, ce module permet de calculer les caractéristiques géométriques et mécaniques d'une section quelconque.

16) Etude d'une structure paramétrée



Ce module peut être utilisé en phase d'avant-projet quand la géométrie de la structure n'est pas entièrement définie ou quand un grand nombre de projets regroupent des structures similaires, mais géométriquement différentes.

Autodesk Robot Structural Analysis n'est pas uniquement un logiciel de charpente métallique. Il prend aussi en charge la conception pour le béton armé et l'acier grâce à 40 normes acier internationales et 30 normes béton armé. La conception et le choix des matériaux sont facilités ainsi que la validation des éléments structurels.

Avec le logiciel Robot Structural Analysis vous pouvez aussi gérer des modèles complexes grâce à des techniques de maillage automatique. Chaque panneau peut être travaillé individuellement avec du maillage automatique ou avec des paramètres de maillage définis manuellement. Vous obtenez ainsi des éléments finis de haute qualité.

Vous pouvez travailler en équipe de conception multinationale (le logiciel prend en charge de multiples langues). Robot vous permet de réaliser une étude structurelle dans une langue et d'éditer les résultats dans une autre. Il vous est aussi possible d'utiliser les unités de mesure métriques et impériales conjointement sur le même modèle.

Le logiciel Robot Structural Analysis offre la possibilité aux ingénieurs structure de travailler avec des formes de profilés spécifiques à certains pays. En effet, vous avez à disposition de multiples codes de conception et bases de données de section et matériaux du monde entier.

Enfin, les ingénieurs structure qui utilisent Robot bénéficient des technologies Microsoft COM (Component Object Model) et donc des avantages d'une interface de programmation d'application (API) souple et ouverte.

III. Etapes essentiels de modélisation avec le logiciel Robot Structural Analysis

➤ Sélection du projet

Choisir le type de structure a modéliser parmi les modèles suggérer.



Figure IV.1 : type de structure

➤ Les préférences de l'affaire

Les préférences de l'affaire vous permettent de changer le fond de votre étude à savoir les unités, les matériaux, les normes, etc.

Tout comme les Préférences, vous y accéder dans le menu déroulant Outils.

Vous naviguez dans l'arborescence de **ROBOT** afin de régler les différentes unités de Forces, Dimensions et Normes.

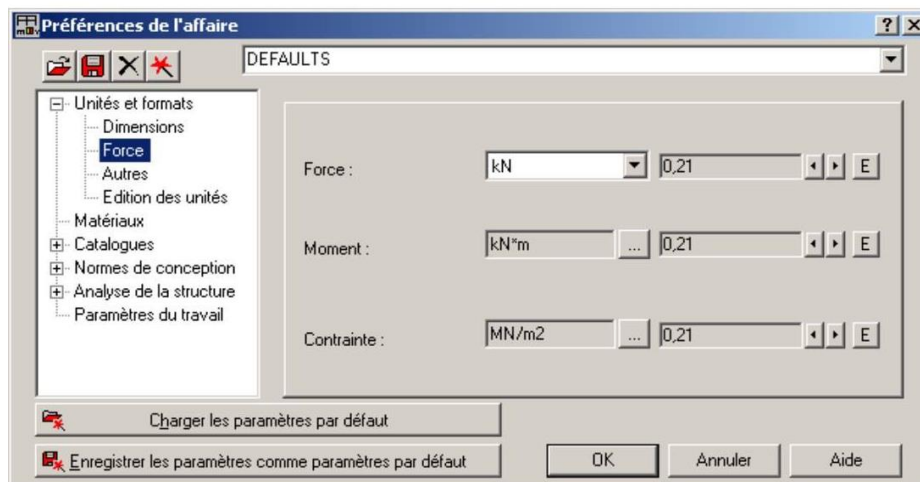


Figure IV.2 : préférences de l'affaire

➤ Définition des axes

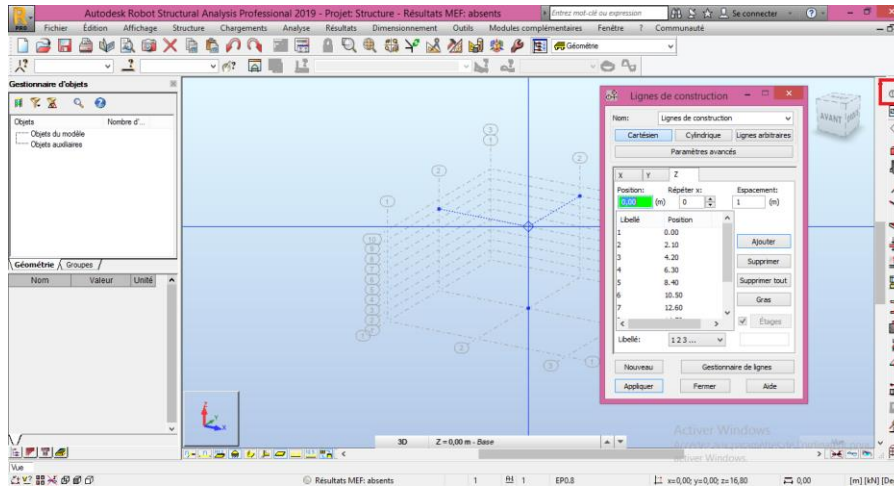


Figure IV.3 : définition des axes

- Assurez-vous d'être dans le bureau initial **Démarrage**
- Sélectionner l'icône de définition de lignes de construction
- Définissez les lignes de construction afin de vous faciliter la mise en place des barres.

➤ Définition du fond et des véroles

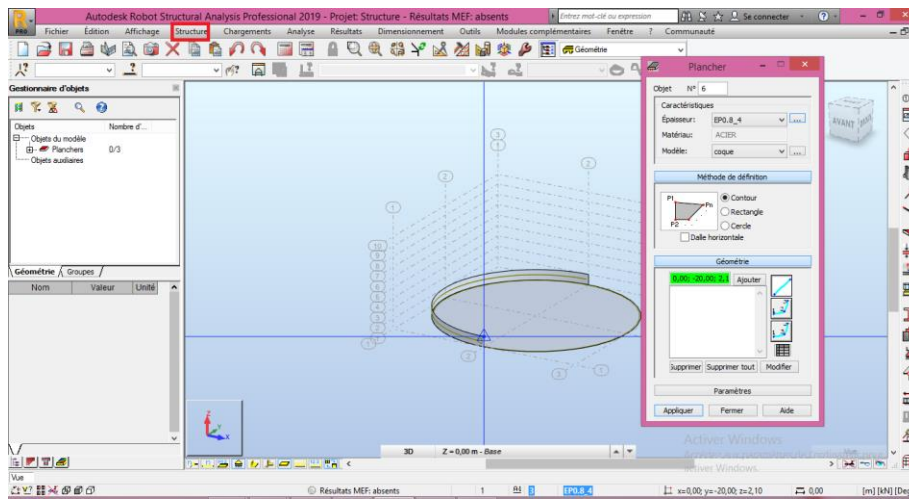


Figure IV.4 : Définition du fond et des véroles

- Dans la rubrique **structures** vous choisissez l'option **Plancher**.
- Dans **plancher** définissez les caractéristiques, et commencez à dessiner le fond grâce à l'option **cercle** et l'option **contour** pour les véroles.

➤ Définition du toit

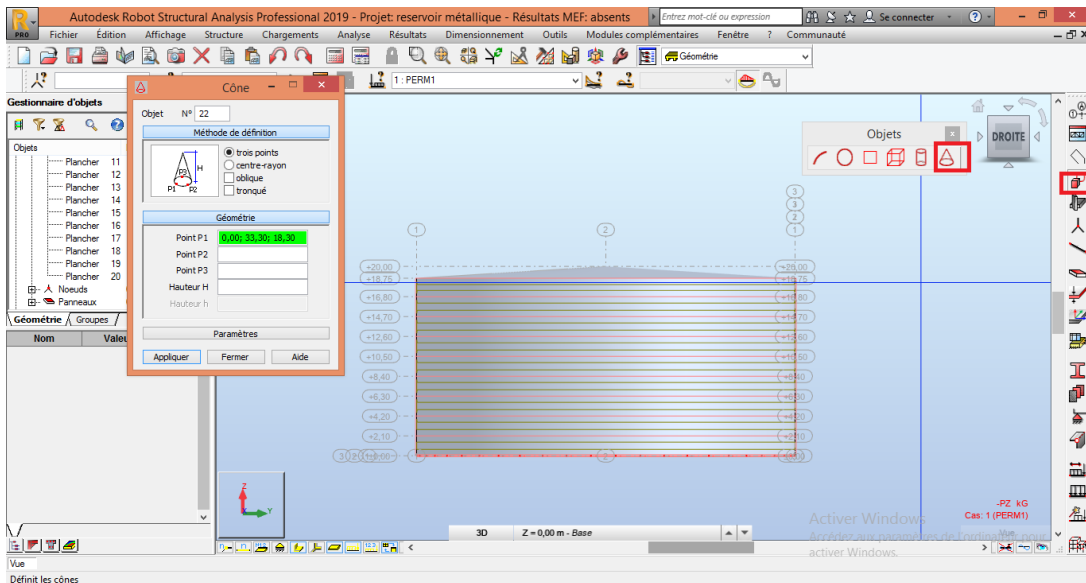


Figure IV.5 : Définition du toit

→ Dans la rubrique **Objets** vous choisissez l'option **Cône**

→ Dans **Cône** définissez les caractéristiques, et dessinez le toit de forme conique.

➤ Définition des appuis

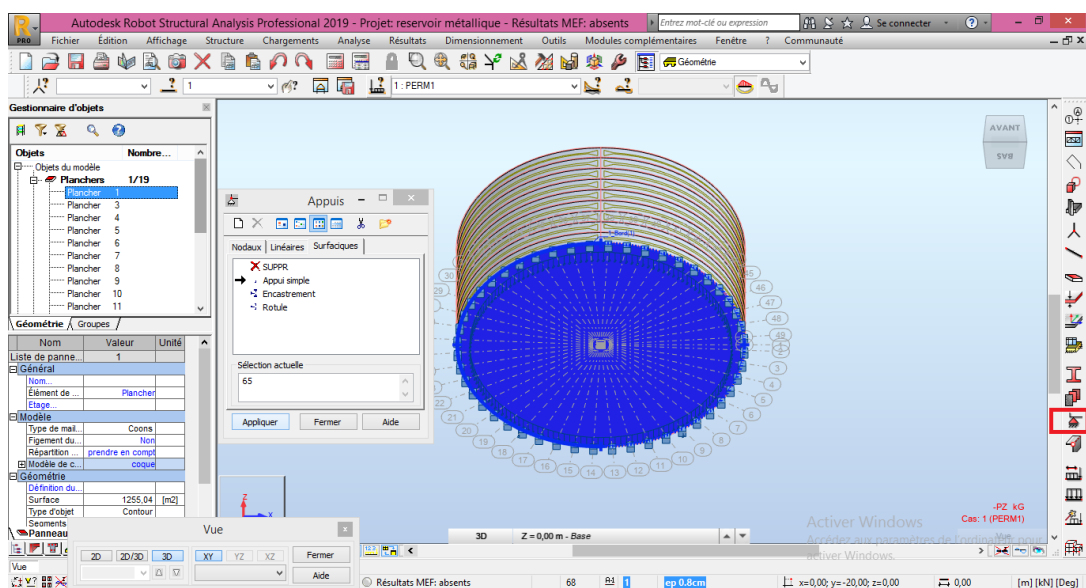


Figure IV.6 : Définition des appuis

→ Dans la rubrique **Appuis** vous définissez les appuis nodaux, surfaciques et linéaires.

4) Etapes essentielles de calculs avec le logiciel Robot Structural Analysis :

➤ Définition des Cas de charges

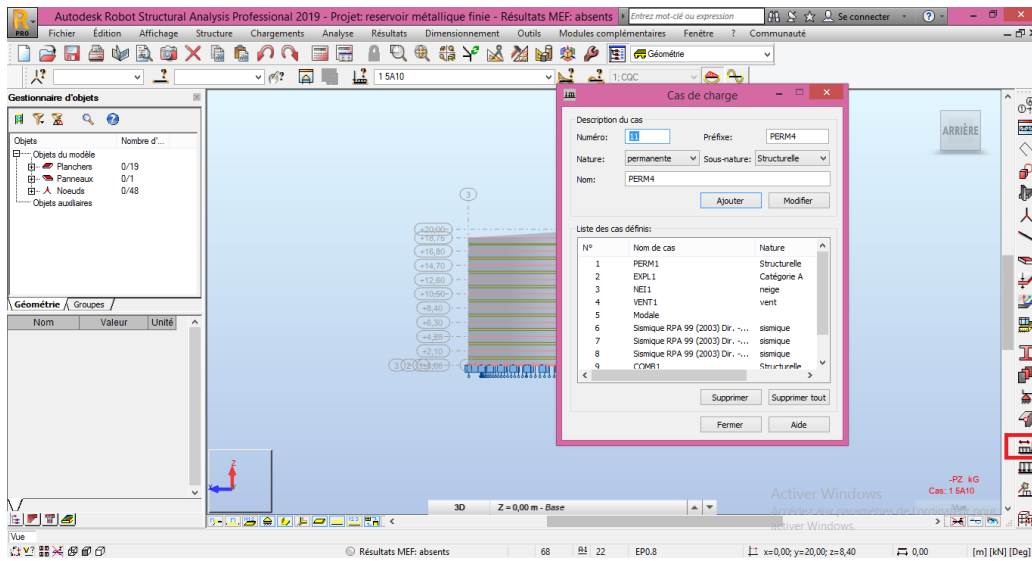


Figure IV.7 : Définition des Cas de charges

→ Sélectionner l'icône **cas de charge**.

→ Ajouter les charges une par une dans le tableau ouvert.

➤ Définition des charges

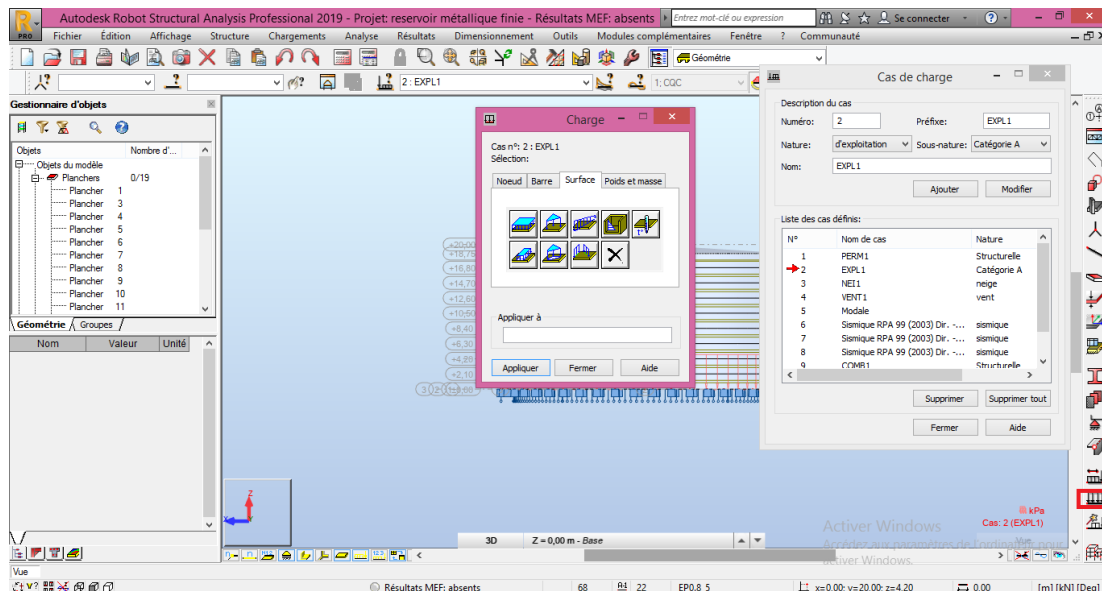


Figure IV.8 : Définition des charges

→ Sélectionner un cas de charge dans l'icône **cas de charge**.

→ Sélectionner l'icône **Définir charges**.

- Choisir le type de charge dans **Charge**.
- Appliquer a la structure la charge choisie en sélectionnant son point d'application.
 - **Options de calcul**

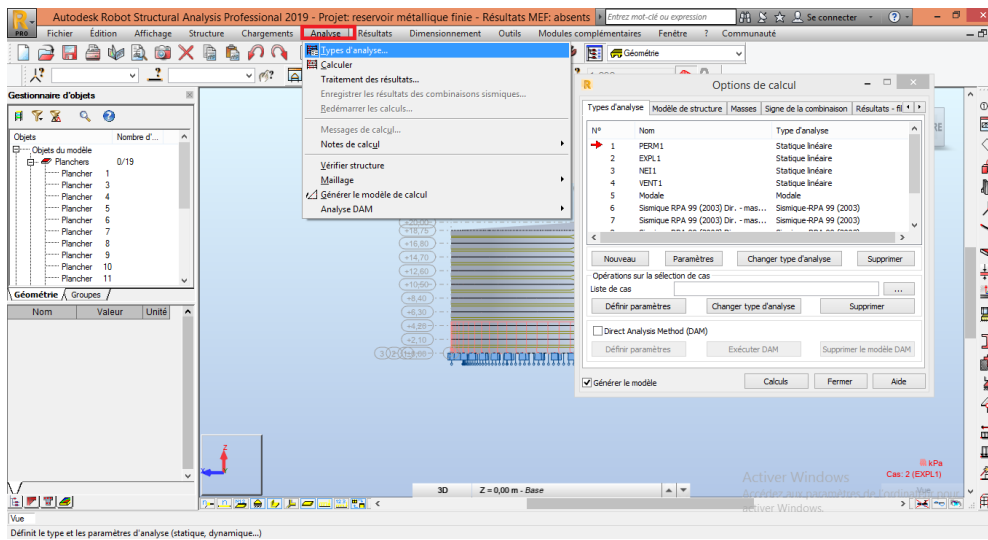


Figure IV.9 : Options de calcul

- Dans la rubrique **Analyse** vous choisissez l'option **Types d'analyse**.
- Définir les options de calcul.

➤ **Calcul final**

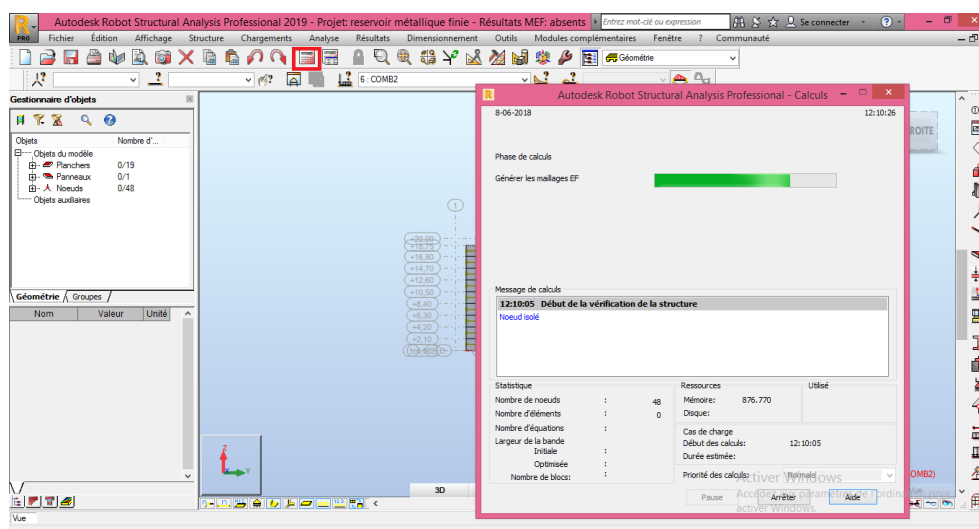


Figure IV.10 : Calcul final

- Lancer le calcul en cliquant sur **Calculer**.

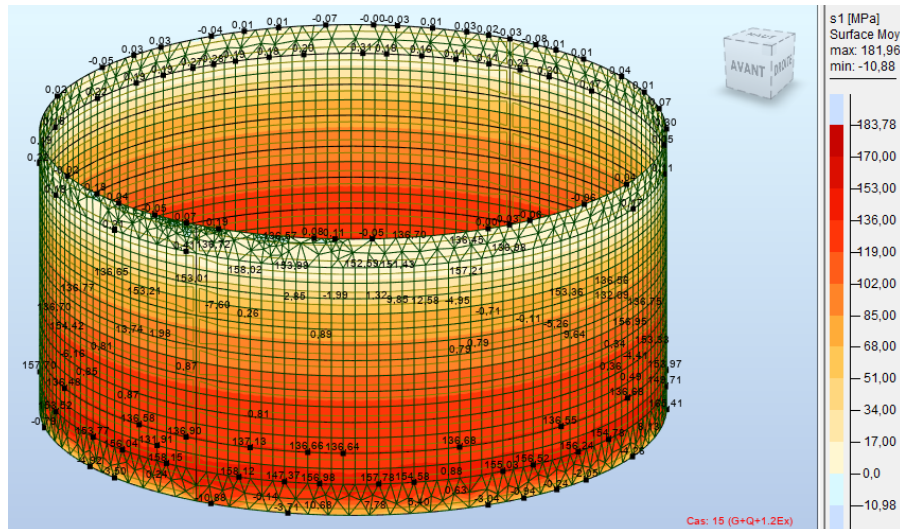
Modélisation du réservoir métallique sur Robot 2019

Vue en élévation



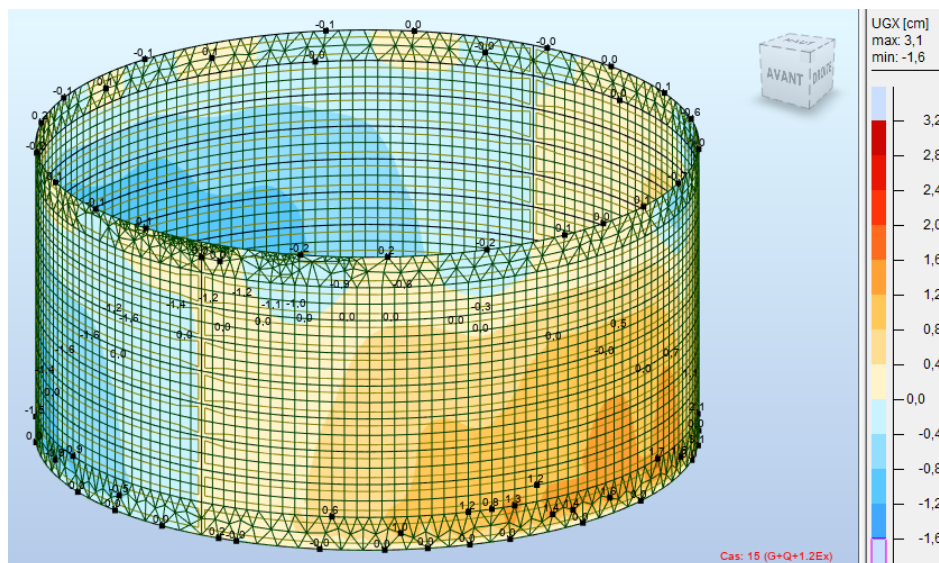
Résultats

- Contraintes développées



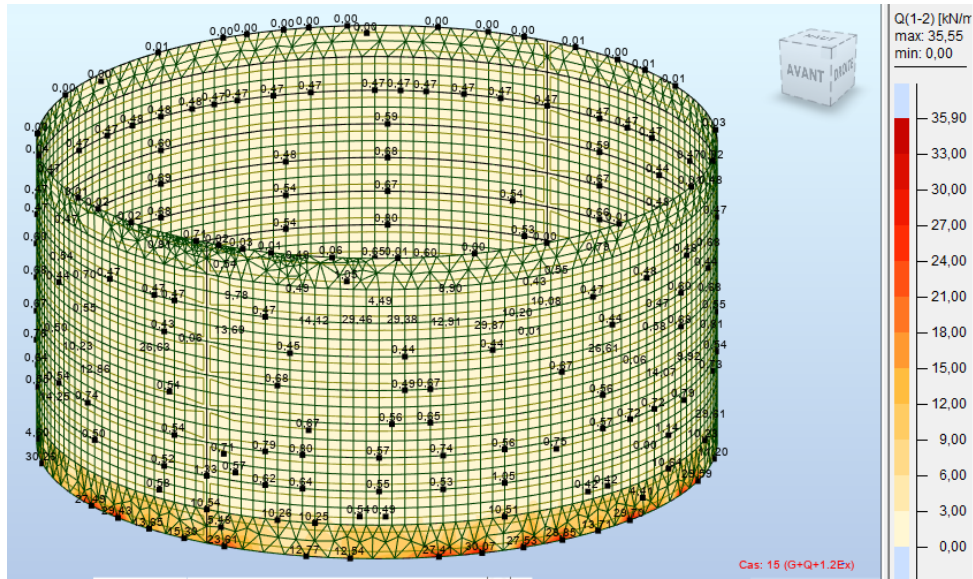
Sous chargement sismique les contraintes développées sont concentrées essentiellement au niveau de la première virole (183 MPa), et de moins dans la deuxième virole, ce qui est dû à la forte pression développée par l'effet du liquide à ce niveau de l'ouvrage.

- Les déplacements



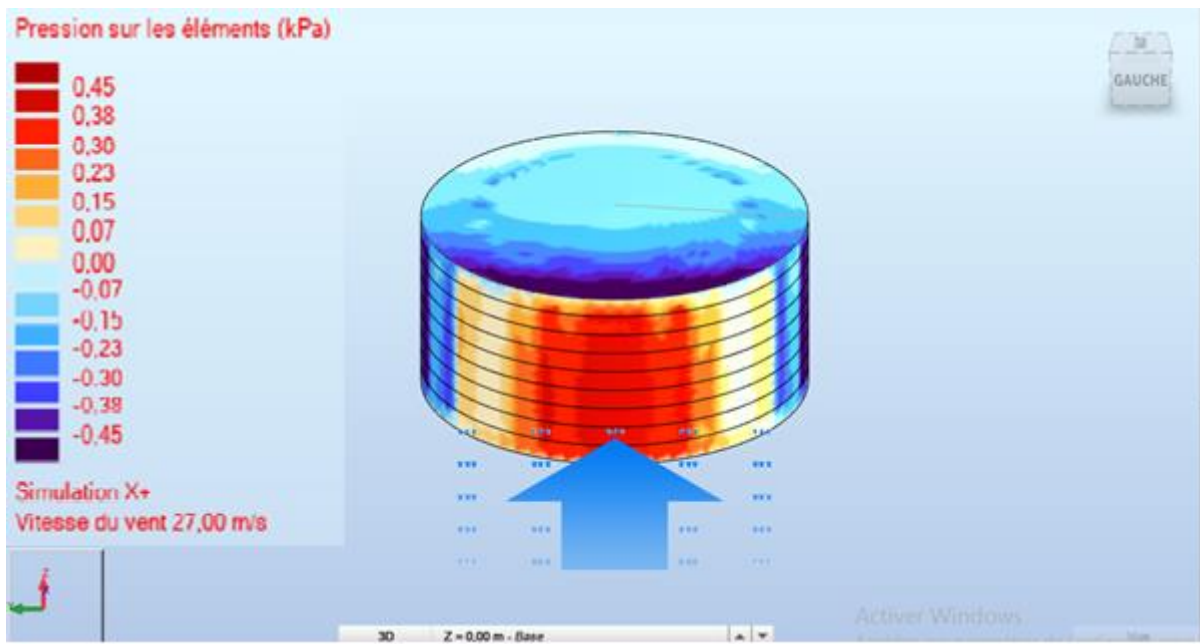
En termes de déplacement, l'action sismique à provoquer un déplacement au sommet de l'ouvrage comme le montre la figure de 3.2 cm.

- Les efforts tranchants



En outre sous l'effet de l'action sismique, un effort tranchant max de 35.90 KN est développé a la base de l'ouvrage. Ces efforts sont essentiellement concentré au niveau des ancrages.

- Action du vent sur l'ouvrage



Le vent exerce une compression sur les parois qui sont en contacte directe, qui diminue en s'éloignant, tandis que le toit subie une traction qui diminue elle aussi en s'éloignant de la zone de contacte.

Interprétation des résultats :

- La contrainte maximale résultante nous ait donnée par la combinaison des charges statiques plus la charge sismique ($G + Q + 1.2Ex$) qui est de valeur 183.78 Mpa qui est largement inférieur a la résistance élastique des véroles qui est de 290 Mpa .
- Le déplacement maximale résultant nous ait donnée par la combinaison des charges statiques plus la charge sismique ($G + Q + 1.2Ex$) qui est de 3.2 cm < $h/200 = 10$ cm
- L'effort tranchant maximale résultant nous ait donnée par la combinaison des charges statiques plus la charge sismique ($G + Q + 1.2Ex$) qui est de $35.55 \cdot 10^{-3}$ N/mm² au niveau des ancrages $F_y = 341.6$ N/mm² qui est largement inférieur a la contrainte admissible de boulon $Sab = 270.33$ N/mm².
- La contrainte maximale exercer par le vent est de $45 \cdot 10^{-5}$ N/mm² dans le sens **x-x** qui est largement inférieur a la contrainte admissible de boulon $Sab = 270.33$ N/mm² et des veroles qui est de 290 N/mm².

Conclusion générale

La réalisation de ce mémoire nous a permis d'identifier les règles, les procédures, la construction et l'exploitation d'un réservoir métallique destiné à stocker du gasoil.

La réalisation de ce genre de réservoir est surtout basée sur le calcul des épaisseurs des parois qui forment le réservoir (robe, plaque du fond et annulaires ...etc.). La nature et la quantité du produit à stocker font que l'épaisseur de ces réservoirs varie d'un produit à un autre.

Des deux règlements les plus utilisés de par le monde l'API 650 permet un dimensionnement plus strict que l'EUROCODE 3 qui utilise des règles beaucoup plus simple que l'API 650.

Durant la réalisation de ce mémoire on a observés les avantages qu'apporte un réservoir métallique à toit fixe, on site :

- La simplicité de ce genre de toits qui nécessite beaucoup moins d'entretien.
- La fiabilité de ce système qui utilise une mécanique basique qui tombe rarement en panne.
- L'économie de l'espace contrairement à un réservoir à toit flottant qui nécessite un fond de sécurité.
- Le cout de réalisation qui reste beaucoup plus faible que les autres types de toits.

En revanche, il présente quelque inconvénient tels que :

- La perte du produit stockée par évaporation.
- L'écologie de ce type de toiture qui est plus polluant que les autres types de toitures.

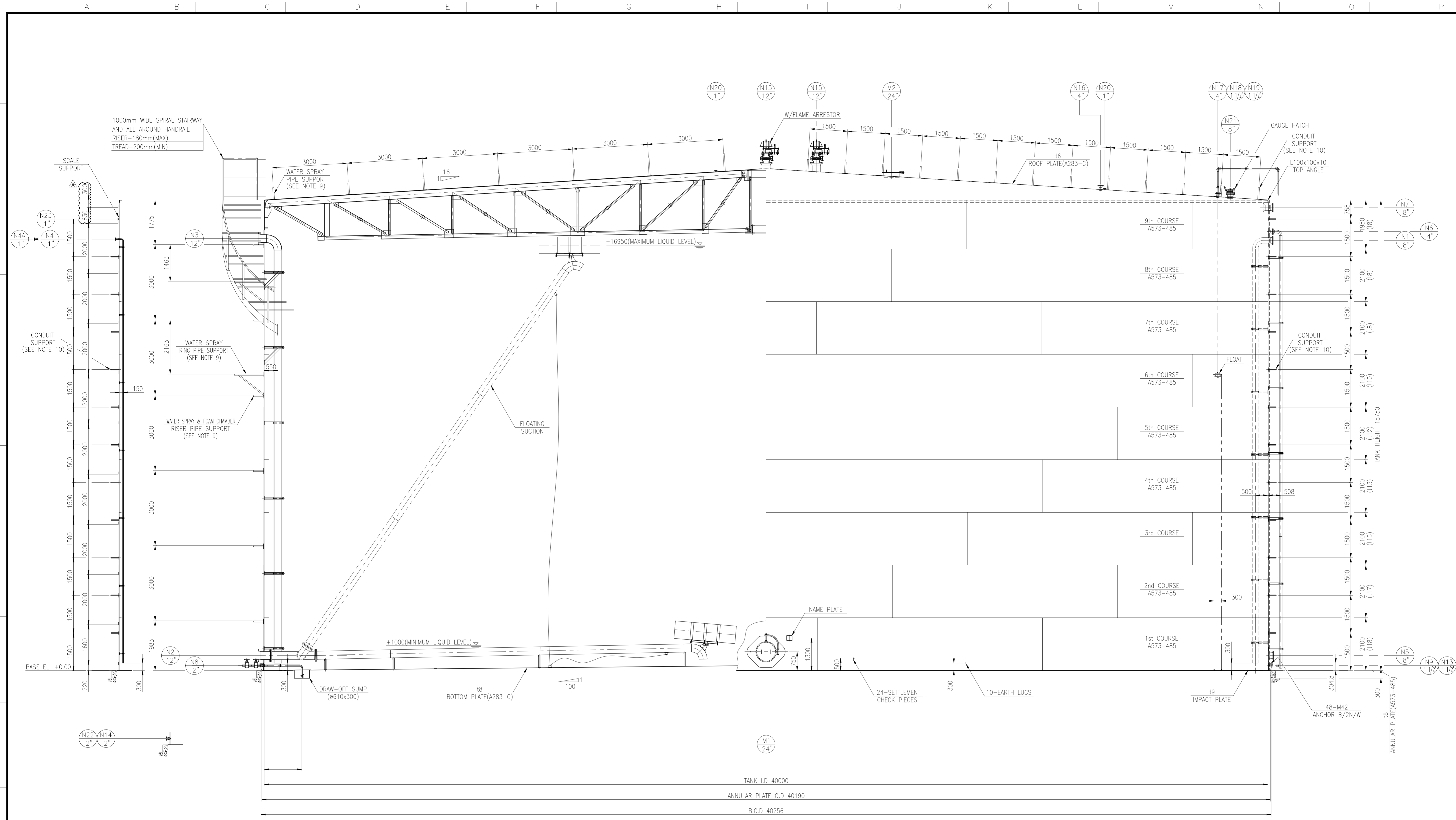
En résumé, ce mémoire de fin d'études a pour but d'informer et de donner des indications sur la conception et les performances des réservoirs métalliques à toit fixe.

ANNEX 1

Table 3-2—Permissible Plate Materials and Allowable Stresses

Plate Specification	Grade	Minimum Yield Strength MPa (psi)	Minimum Tensile Strength MPa (psi)	Product Design Stress S_d MPa (psi)	Hydrostatic Test Stress S_t MPa (psi)
ASTM Specifications					
A 283M (A 283)	C (C)	205 (30,000)	380 (55,000)	137 (20,000)	154 (22,500)
A 285M (A 285)	C (C)	205 (30,000)	380 (55,000)	137 (20,000)	154 (22,500)
A 131M (A 131)	A, B, CS (A, B, CS)	235 (34,000)	400 (58,000)	157 (22,700)	171 (24,900)
A 36M (A 36)	—	250 (36,000)	400 (58,000)	160 (23,200)	171 (24,900)
A 131M (A 131)	EH 36 (EH 36)	360 (51,000)	490 ^a (71,000 ^a)	196 (28,400)	210 (30,400)
A 573M (A 573)	400 (58)	220 (32,000)	400 (58,000)	147 (21,300)	165 (24,000)
A 573M (A 573)	450 (65)	240 (35,000)	450 (65,000)	160 (23,300)	180 (26,300)
A 573M (A 573)	485 (70)	290 (42,000)	485 ^a (70,000 ^a)	193 (28,000)	208 (30,000)
A 516M (A 516)	380 (55)	205 (30,000)	380 (55,000)	137 (20,000)	154 (22,500)
01 A 516M (A 516)	415 (60)	220 (32,000)	415 (60,000)	147 (21,300)	165 (24,000)
A 516M (A 516)	450 (65)	240 (35,000)	450 (65,000)	160 (23,300)	180 (26,300)
A 516M (A 516)	485 (70)	260 (38,000)	485 (70,000)	173 (25,300)	195 (28,500)
A 662M (A 662)	B (B)	275 (40,000)	450 (65,000)	180 (26,000)	193 (27,900)
A 662M (A 662)	C (C)	295 (43,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 537M (A 537)	1 (1)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 537M (A 537)	2 (2)	415 (60,000)	550 ^a (80,000 ^a)	220 (32,000)	236 (34,300)
A 633M (A 633)	C, D (C, D)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 678M (A 678)	A (A)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 678M (A 678)	B (B)	415 (60,000)	550 ^a (80,000 ^a)	220 (32,000)	236 (34,300)
A 737M (A 737)	B (B)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 841M (A 841)	Class 1 (Class 1)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
CSA Specifications					
G40.21M	260W	260 (37,700)	410 (59,500)	164 (23,800)	176 (25,500)
G40.21M	300W	300 (43,500)	450 (65,300)	180 (26,100)	193 (28,000)
G40.21M	350WT	350 (50,800)	480 ^a (69,600 ^a)	192 (27,900)	206 (29,800)
G40.21M	350W	350 (50,800)	450 (65,300)	180 (26,100)	193 (28,000)
National Standards					
00	235	235 (34,000)	365 (52,600)	137 (20,000)	154 (22,500)
	250	250 (36,000)	400 (58,300)	157 (22,700)	171 (25,000)
	275	275 (40,000)	430 (62,600)	167 (24,000)	184 (26,800)
ISO 630					
00	E 275	265 (38,400)	425 (61,900)	170 (24,700)	182 (26,500)
	E 355	345 (50,000)	490 ^a (71,000 ^a)	196 (28,400)	210 (30,400)

● ^aBy agreement between the purchaser and the manufacturer, the tensile strength of these materials may be increased to 515 MPa (75,000 psi) minimum and 620 MPa (90,000 psi) maximum [and to 585 MPa (85,000 psi) minimum and 690 MPa (100,000 psi) maximum for ASTM A 537M, Class 2, and A 678M, Grade B]. When this is done, the allowable stresses shall be determined as stated in 3.6.2.1 and 3.6.2.2.



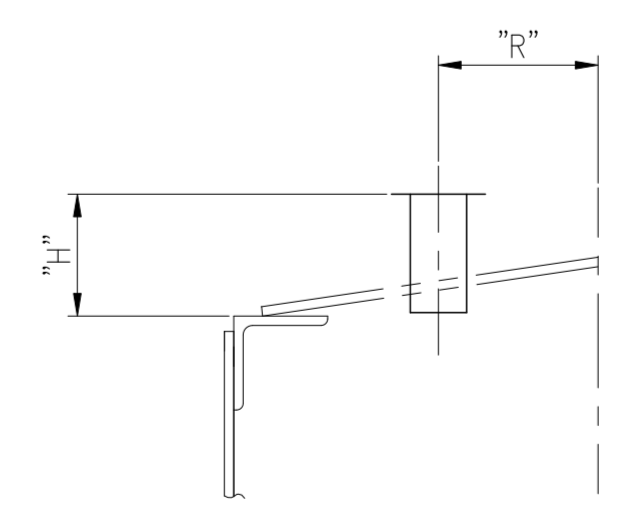
TANK ELEVATION

		NOZZLE SCHEDULE							
PART	MARK	SIZE	SCH.	QTY	RATING, TYPE & FACING	"H"	"R"	DESCRIPTION	REMARKS
ROOF NOZZLES	N21	8"	80	1	ASME #150 WN. RF	248.5	18500	GAUGE HATCH	
	N20	1"	80	7	ASME #150 SW. RF	1179.8/461	2000/13500	PROBE TYPE HEAT DETECTOR	
	N19	1 1/2"	80	1	ASME #150 SW. RF	280	18000	TEMPERATURE TRANSMITTER	
	N18	1 1/2"	80	3	ASME #150 SW. RF	280	18000	LEVEL INDICATOR	FLOAT AND BOARD TYPE
	N17	4"	40	1	ASME #150 WN. RF	280	18000	SPARE	W/BLIND FLANGE
	N16	4"	40	1	ASME #150 WN. RF	580	13330	LEVEL TRANSMITTER	RADAR TYPE
	N15	12"	STD	3	ASME #150 WN. RF	1475	CENTER	P.R.V.	W/FLAME ARRESTOR
	M2	24"	16	2	API 650	1095	5000	MANHOLE	W/COVER & HINGE
	N23	1"	80	6	ASME #150 SW. RF	18000	20058	PROBE TYPE HEAT DETECTOR	
	N22	2"	80	1	ASME #150 SW. RF	250	20170	LEVEL TRANSMITTER	DP TYPE
SHELL NOZZLES	N14	2"	80	1	ASME #150 SW. RF	250	20170	LEVEL TRANSMITTER	DP TYPE
	N13	1 1/2"	80	1	ASME #150 SW. RF	200	20170	SPARE	W/BLIND FLANGE
	N9	1 1/2"	80	1	ASME #150 SW. RF	200	20170	TEMPERATURE INDICATOR	
	N8	2"	80	1	ASME #150 SW. RF	200	20870	TO FO DRAIN SUMP	W/DRAW-OFF SUMP
	N7	8"	80	3	ASME #150 WN. FF	18450	20210	FOAM CHAMBER	
	N6	4"	80	1	ASME #150 WN. RF	17500	20185	OVERFLOW	W/EXTERNAL PIPE
	N5	8"	80	2	ASME #150 WN. RF	600	20220	SPARE	W/BLIND FLANGE
	N4	1"	160	1	ASME #150 WN. RF	17200	20160	SPARE	W/INTERNAL PIPE/BLIND FLANGE
	N4	1"	160	1	ASME #150 SW. RF	17200	20160	FORWARDING PUMP RECIRCULATION LINE	W/INTERNAL PIPE
	N3	12"	XS	1	ASME #150 WN. RF	17220	20240	FUEL OIL RETURN FROM GT'S	W/INTERNAL PIPE
	N2	12"	XS	1	ASME #150 WN. RF	600	20245	OUTLET (W/FLOATING SUCTION)	W/INTERNAL PIPE
	N1	8"	80	1	ASME #150 WN. RF	17150	20210	FROM FUEL OIL UNLOADING PUMP(MAIN INLET)	W/INTERNAL PIPE
	M1	24"	18	2	API 650	750	20320	MANHOLE	W/COVER & DAVIT

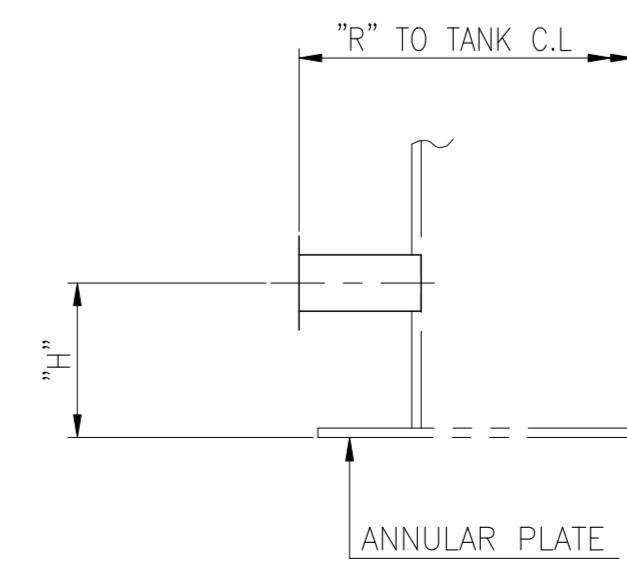
MATERIAL SPECIFICATIONS	
SHELL PLATE, PADS WELDED TO SHELL	A573-485
ROOF PLATE, PADS WELDED TO SHELL	A283-C
BOTTOM PLATE/ANNULAR PLATE	A283-C/A573-485
NOZZLE NECK (PLATE/PIPE)	A573-485/A106-B
INTERNAL PIPE	A53-B
FORCED FLANGES, COVERS, CPL'G	A105/A573-485
INTERNAL SUPPORTS	A36
EXTERNAL BOLTS/NUTS	A193-B7/A194-2H (H.D.GALV)
INTERNAL BOLTS/NUTS	A193-B7/A194-2H (H.D.GALV)
GASKET	SEE NOTE "6"
PAINTING	AS PER SPEC. KAIS-00-PPS-PIP-038
INSULATION	-
NAME PLATE, EARTH LUG	316 S.S
PLATFORM, WALKWAY	-
STAIRWAY/HANDRAIL	S335-JR/A53-B (H.D.GALV)
ANCHOR BOLT/NUT	S335-JR (H.D.GALV)
ROOF STRUCTURE/TOP ANGLE	S355-JR

DESIGN DATA			
CODE	API 650 11TH ED.+ADD3	NO OF TANK	2
FLUID	FUEL OIL	TYPE OF TANK	CRT
OPER TEMP. (°C)	AMBIENT	OPERATION PRESSURE (mmHg)	ATM
DESIGN TEMP. (°C)	85	DESIGN PRESSURE (mmHg)	ATM
MDMT. (°C)	3.1	HYDRO. TEST PRESS. (mmHg)	
LIQUID SPEC.GR.	0.87	ROOF	1
RADIOGRAPHY TEST	AS PER CODE	SHELL	2
JOINT EFFICIENCY	0.85	BOTTOM	2
EARTHQUAKE FACTOR	RPA-99-2003(ZONE-IIA)	ROOF STRUC.	2
PEAK GROUND ACC	0.25g	INSULATION (mm)	-
10 MIN WIND SPEED (RNV 2013 (ZONE-II))	97.2 (km/hr)	(SHELL/ROOF/BOTTOM)	
3-SEC GUST WIND SPEED TO ASCE7-10 Fp(CR5-1)	145.8 (km/hr)	ROOF LIVE LOAD (kg/m²)	102
SNOW	RNV 2013(ZONE-B)	ROOF SNOW LOAD (kg/m²)	58

CAPACITY & WEIGHT (ESTIMATED)		
EMPTY WEIGHT	509	TON.
TOTAL OPERATING WEIGHT	19,040	TON.
HYDROSTATIC WEIGHT	24,071	TON.
TANK NET CAPACITY	20,043	m³
TANK GROSS CAPACITY	21,300	m³



ROOF NOZZLE



SHELL NOZZLE

- ### GENERAL NOTES
- ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER UNLESS OTHERWISE NOTED. NORMAL PIPE SIZES ARE SHOWN IN INCH.
 - ALL WELDS SHALL BE CONTINUOUSLY PERFORMED EXCEPT OTHERWISE NOTED ON THE DRAWINGS.
 - ALL FLANGE BOLT HOLES SHALL STRADDLE THE PLANT NORTH-SOUTH CENTER LINE OR NATURAL HORIZONTAL AND VERTICAL LINE OF THE TANK.
 - NOZZLE PROJECTIONS ARE FROM CENTER LINE OF TANK OR TOP OF TOP ANGLE TO GASKET FACE OF FLANGE.
 - ALL REINFORCING PADS FOR SHELL NOZZLES SHALL BE PROVIDED A TEST HOLE AS NPT 1/4" TELLTALE HOLE W/PLUG IN ACCORDANCE WITH API 650 STANDARD.
 - GASKET MATERIAL:
GASKET FOR NOZZLE : SPIRAL WOUND GASKET (14.5)
- FILLER : GRAPHITE
- HOOP : SS304
- INNER RING : SS304
- OUTER RING : CARBON STEEL
 - ALL OPENING CONNECTIONS REQUIRING REINFORCEMENT IN A SHELL PLATE SHALL BE THERMALLY STRESS RELIEVED AT SITE AS DESCRIBED IN PARA. 5.7.4 OF API STD-650
 - COUNTER FLANGE ALONG WITH BOLTS/NUTS AND GASKETS WILL BE SUPPLIED BY M/S POSCO PLANTEC.
 - WATER SPRAY & FOAM CHAMBER PIPING PAD PLATE SIZE SHALL BE 250mmx250mmx10mm(THICK) AND SAME SHALL BE PROVIDED ON ALL THE LOCATIONS.
 - CONDUIT SUPPORT PAD PLATE SIZE SHALL BE 150mmx150mmx6mm(THICK) AND SAME SHALL BE PROVIDED ON ALL THE LOCATIONS.
 - SHELL THICKNESS IS CALCULATED BY CONSIDERING THE MAXIMUM LIQUID LEVEL AS A STATIC FLUID HEAD.
 - FABRICATED NOZZLES IN THE SHOP WILL BE ATTACHED AT SITE AND PLATE WILL BE CUT FOR NOZZLE HOLE AT SITE.
 - SCALE SUPPORT WILL BE PROVIDED NEAR TO THE FLOAT AND BOARD NOZZLE N18.

الشركة الجزائرية لإنتاج الكهرباء
Société Algérienne de Production de l'Electricité

MANDATAIRE DÉSIGNÉ PAR LE MAÎTRE D'OUVRAGE : COMPAGNIE DE L'INGÉNIERIE DE L'ELECTRICITE ET DU GAZ «CEEG-SPA»

DIRECTION DE L'INGÉNIERIE DES MOYENS DE PRODUCTION
IMMEUBLE 700 BUREAUX RN N° 38 GUE DE CONSTANTINE KOUBA ALGER
TEL: 01 83 84 90 - FAX: 01 83 90 17

CENTRALE ELECTRIQUE EN CYCLE COMBINE KAIS

1 266,71 MW Aux conditions site

N° Contrat : N°2014RDKM N°07ISPE2014 Statut de Distribution : FOR INFORMATION Numérotation Client : KIS EM 593 625

Espace réservé aux tampons (Revue et validation du document - si nécessaire):

Historique des Révisions:

N°	Fi	FOR INFORMATION	Date	Auteur	Vérifié	Contrôlé	Approuvé
06	FI	FOR INFORMATION	10-03-2017	JSK	KJK	MYS	HYW
05	FI	FOR INFORMATION	20-01-2017	JSK	KJK	MYS	HYW
04	FI	FOR INFORMATION	05-08-2016	JSK	KJK	MYS	HYW
03	FI	FOR INFORMATION	07-06-2016	JSK	KJK	MYS	HYW
02	FI	FOR INFORMATION	29-12-2015	JSK	KJK	MYS	HYW
01	FI	FOR INFORMATION	12-11-2015	JSK	KJK	MYS	HYW
00	FI	FOR INFORMATION	26-02-2015	JSK	KJK	MYS	HYW

Rév. Stat. Description de la révision Date Auteur Vérifié Contrôlé Approuvé

Titre : **FUEL OIL STORAGE TANK GENERAL ASSEMBLY (00EGB10BB001/00EGB20BB001)**

GS Engineering & Construction CO / DAELIM Industrial CO, Ltd MANDATAIRE DÉSIGNÉ : CEEG/KDM

N° Projet : 130070 Emetteur : SOUS-TITRE : Numérotation du Constructeur : KAIS 00 MEA EGB 246

None et logo Fournisseur : POSCO PLANTEC Numérotation du Fournisseur : KAIS 00 MEA EGB 246

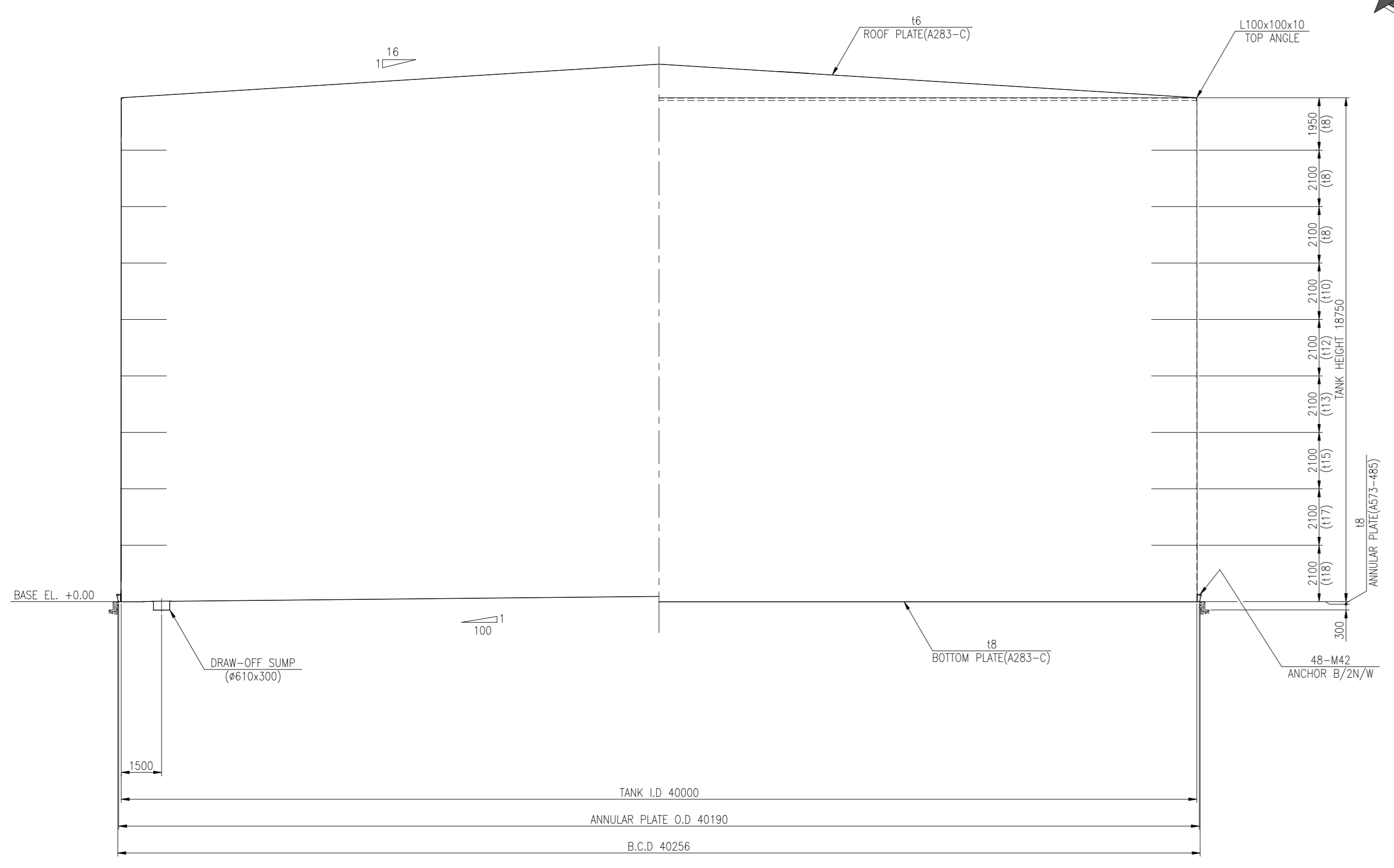
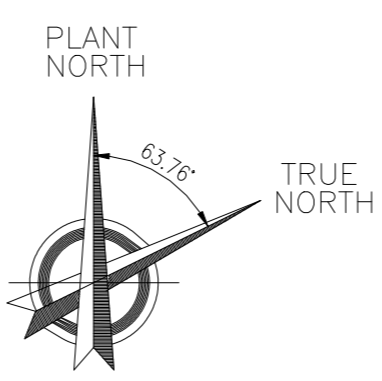
Type doc. : Classe Confidentialité : Dérivé de : Echelle : Format : Suite F. : 1:60 A0 001 001 001

IL6.3.III.12.2

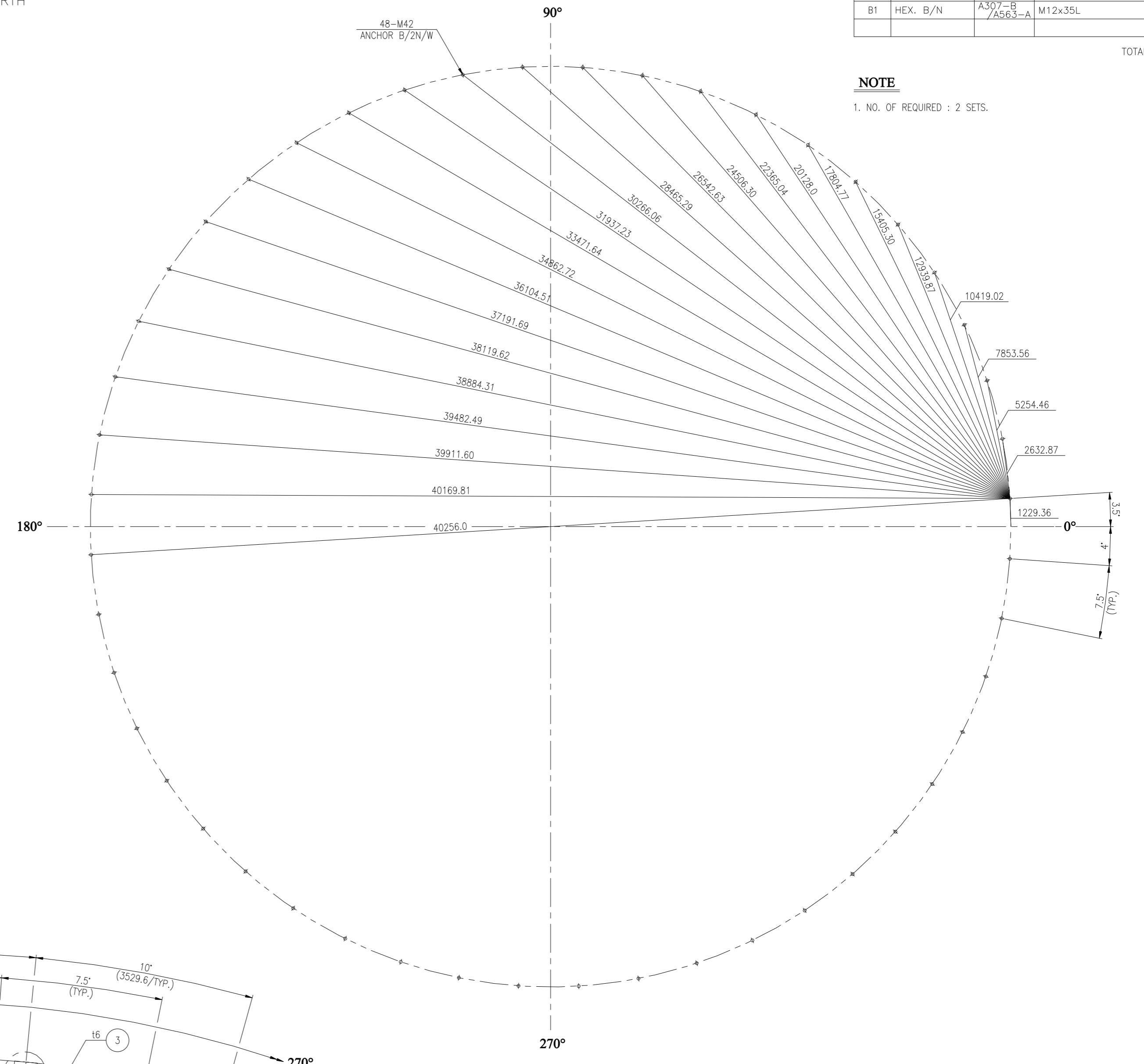
BILL OF MATERIAL						
PART NO.	PART NAME	MATERIALS	DIMENSIONS	Q'TY	W.T (KG)	REMARK
1	ANCHOR BOLT / HEAVY HEX.NS	S355-JR	M42-1870L	48	1.2	H.D.GALV
2	WASHER	C.S	119x90x90	48	57.6	H.D.GALV
3	ANCHOR BASE RING	A283-C	16x195x3529.6	72	32.4	2332.8
4	BACK PLATE	A283-C	16x195x200	72	1.8	129.6
B1	HEX. B/N	A307-B / A563-A	M12x35L	288	-	H.D.GALV

TOTAL WEIGHT = 2520.0 Kg

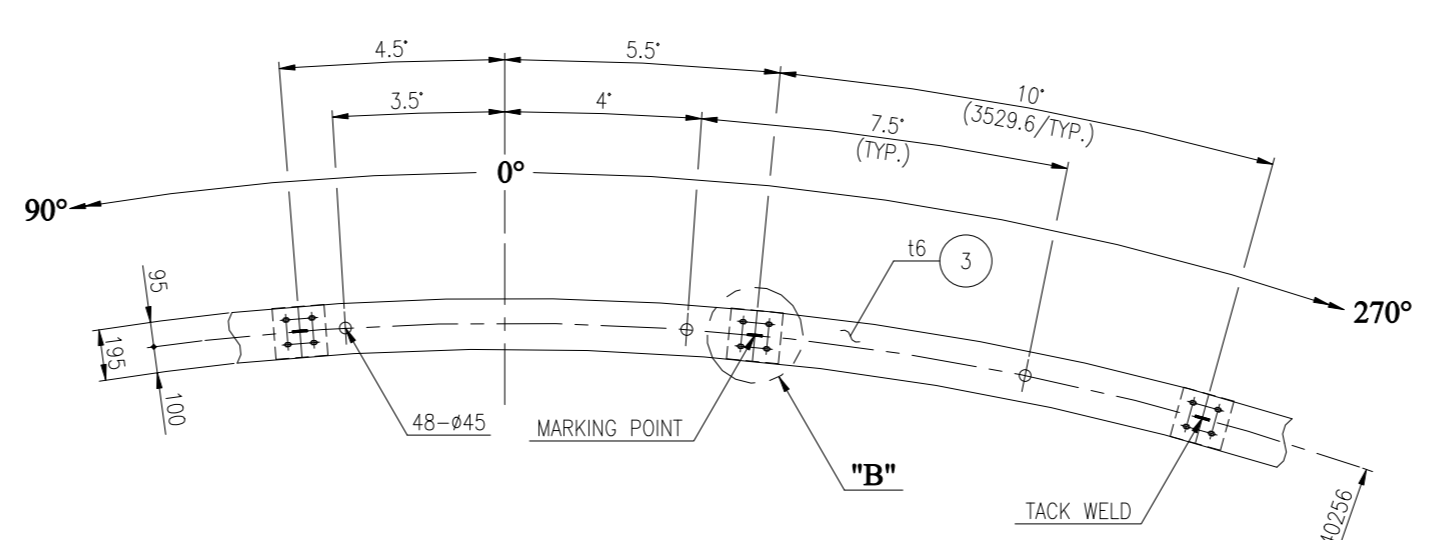
NOTE
1. NO. OF REQUIRED : 2 SETS.



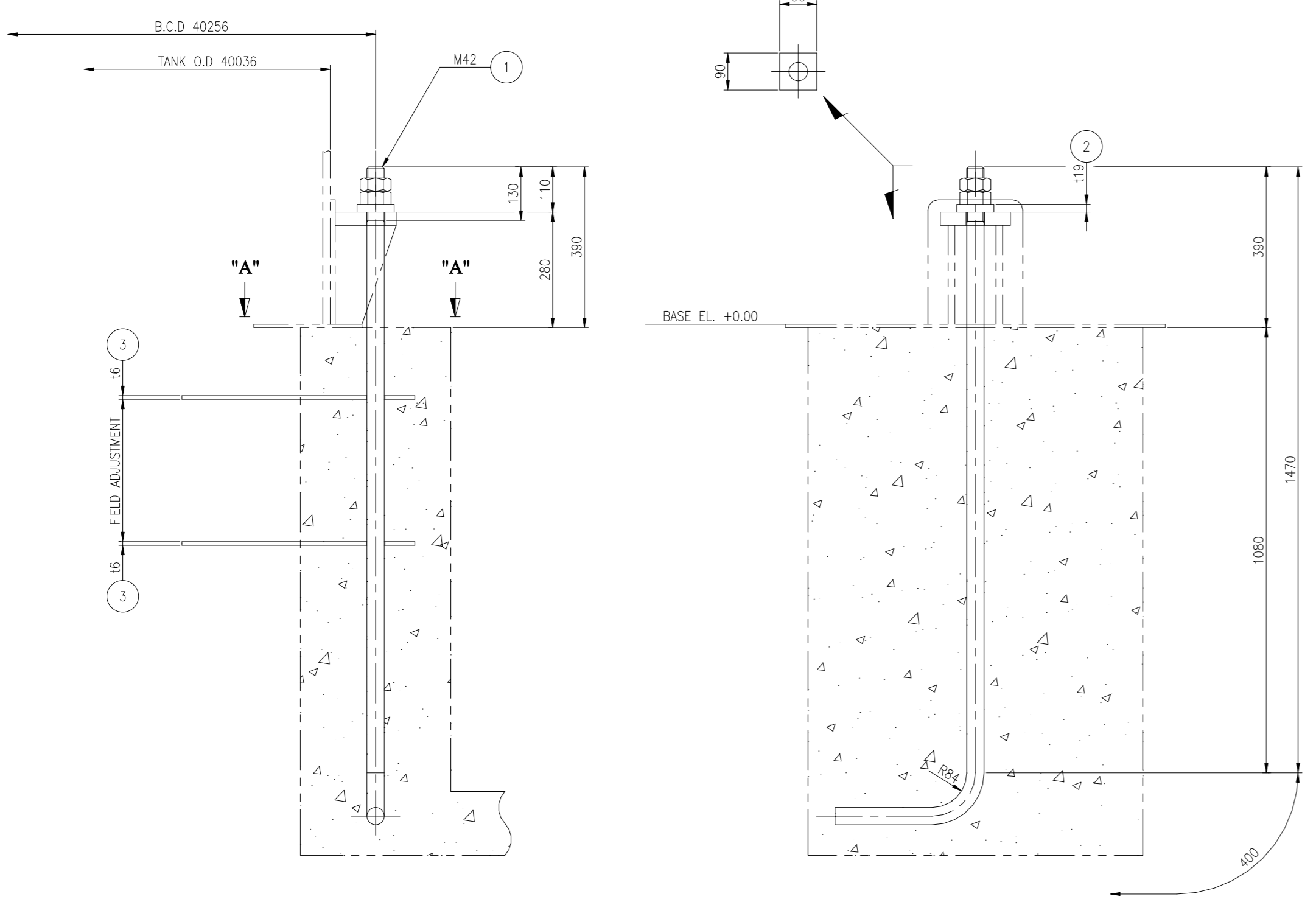
TANK ELEVATION



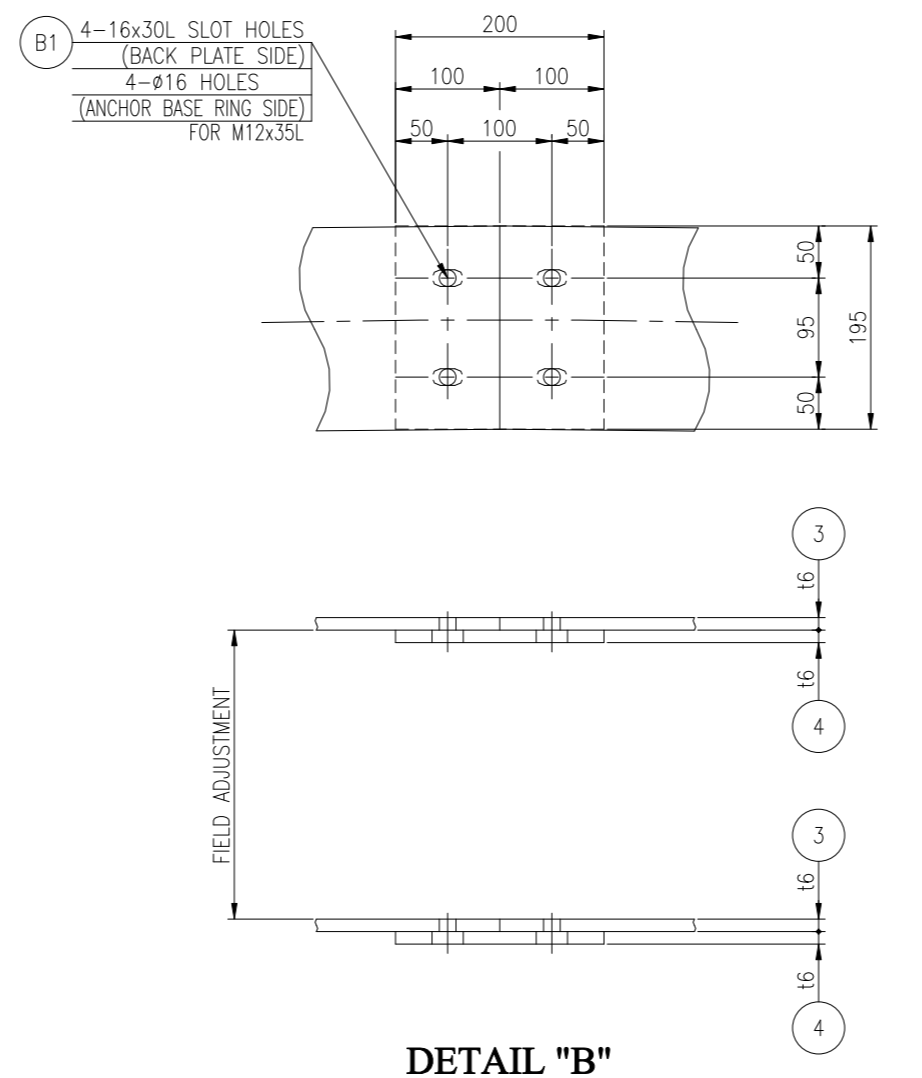
ANCHOR PLAN



SECTION "A"- "A"



ANCHOR BOLT & NUT DETAIL



DETAIL "B"

LOADING DATA			
WEIGHT	EMPTY WEIGHT	509	ton
	TOTAL OPERATING WEIGHT	19,040	ton
	HYDROSTATIC WEIGHT	24,070	ton
WIND LOAD	SHEAR	63.45	ton
AT BASE	MOMENT	2,807.85	ton-m
SEISMIC LOAD	SHEAR	2,016.29	ton
AT BASE (*)	MOMENT	13,763.57	ton-m
SEISMIC LOAD	SHEAR	107.26	ton
AT BASE	MOMENT	1,005.58	ton-m
SHEAR FORCE PER BOLT	SEE BELOW NOTE (**)		ton
TENSION (*)		23.2	ton
10 MIN WIND SPEED (RIV 2013 (ZONE-II))		27	m/s
3-SEC GUST RREF TO ASCE7-10 Fig.C26.5-1		40.5	m/s
SEISMIC LOAD (RPA 99 ver 2003 & ZONE II-A)		SUG III, SITE CLASS D	

(*) : OPERATING CONDITION
(**) : SLIDING RESISTANCE BY FRICTION IS LARGER THAN BASE SIESMIC SHEAR FORCE(V) THEREFORE NO SHEAR FORCE IS OCCURRED AT ANCHOR BOLT.

الشركة الجزائرية لإنتاج الكهرباء
Société Algérienne de Production de l'Electricité

MANDATAIRE DESINE PAR LE MAITRE D'OUVRAGE : COMPAGNIE DE L'ENGINEERING DE L'ELECTRICITE ET DU GAZ «CEGSPA»
DIRECTION DE L'ENGINEERING DES MOYENS DE PRODUCTION
IMMEUBLE 700 BUREAUX RN N° 38 GUE DE CONSTANTINE KOUBA ALGER
TEL: 021 83 84 00 - FAX: 021 83 90 17

CENTRALE ELECTRIQUE EN CYCLE COMBINE
KAIS
1 266,71 MW Aux conditions site

N° Contrat : N°2014/03/KO.M FOR INFORMATION FOR INFORMATION KIS EM 593 627
Statut de Distribution : MANDATAIRE DESINEUR : CREG/KCOM
Numérotation du Constructeur : KAS 00 MEA EGB 248

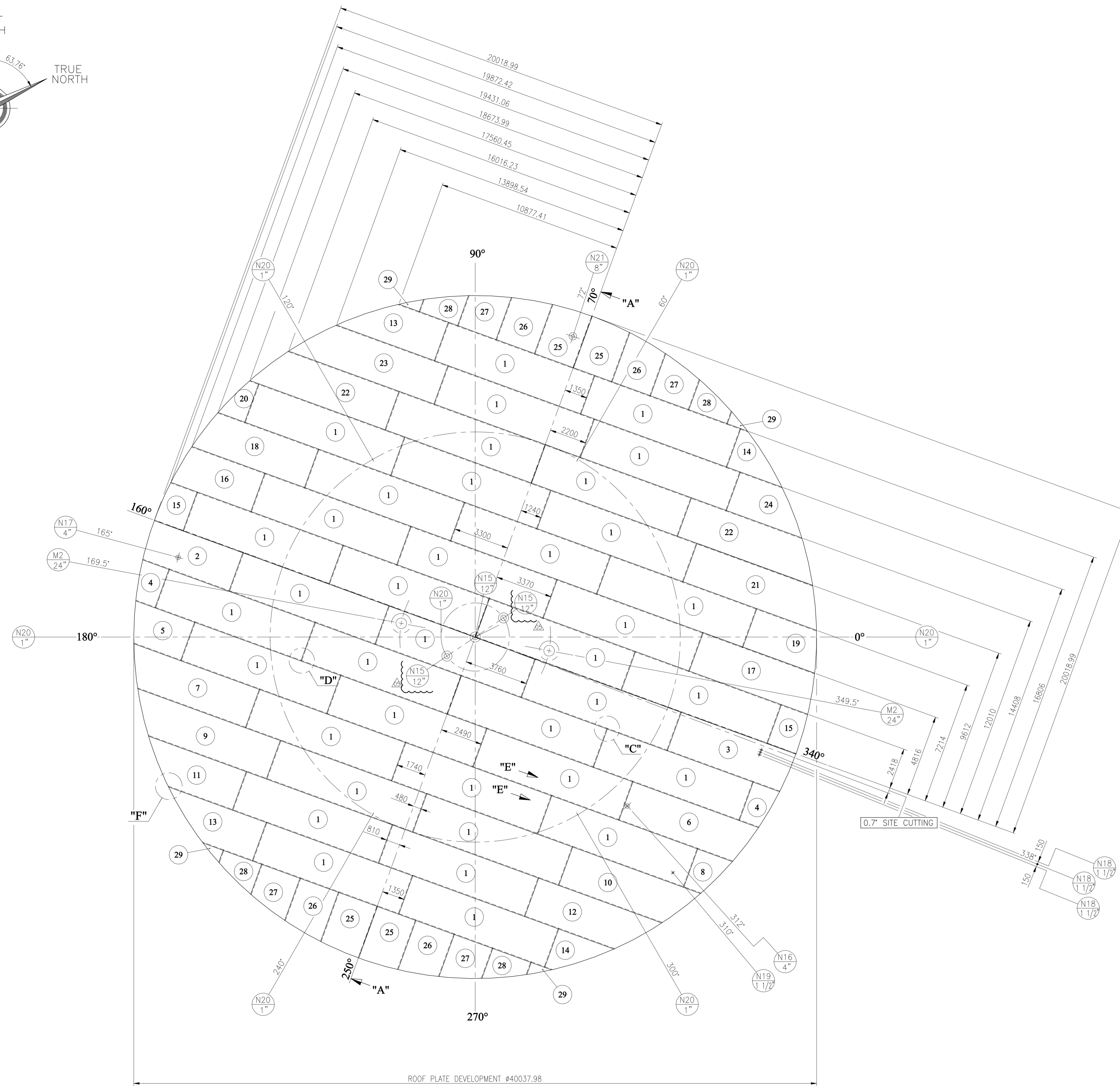
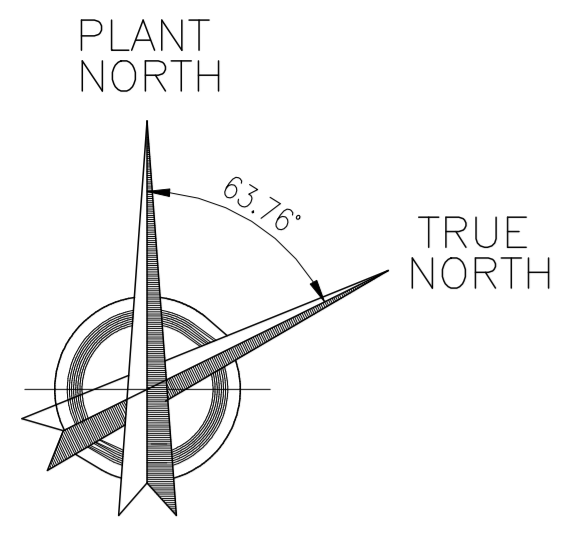
Historique des Révisions:

N°	Stat.	Description de la révision	Date	Auteur	Vérifié	Contrôlé	Approuvé
01	FI	FOR INFORMATION	16-06-2015	JSK	KJK	MYS	HYW
00	FI	FOR INFORMATION	03-06-2015	JSK	KJK	MYS	HYW

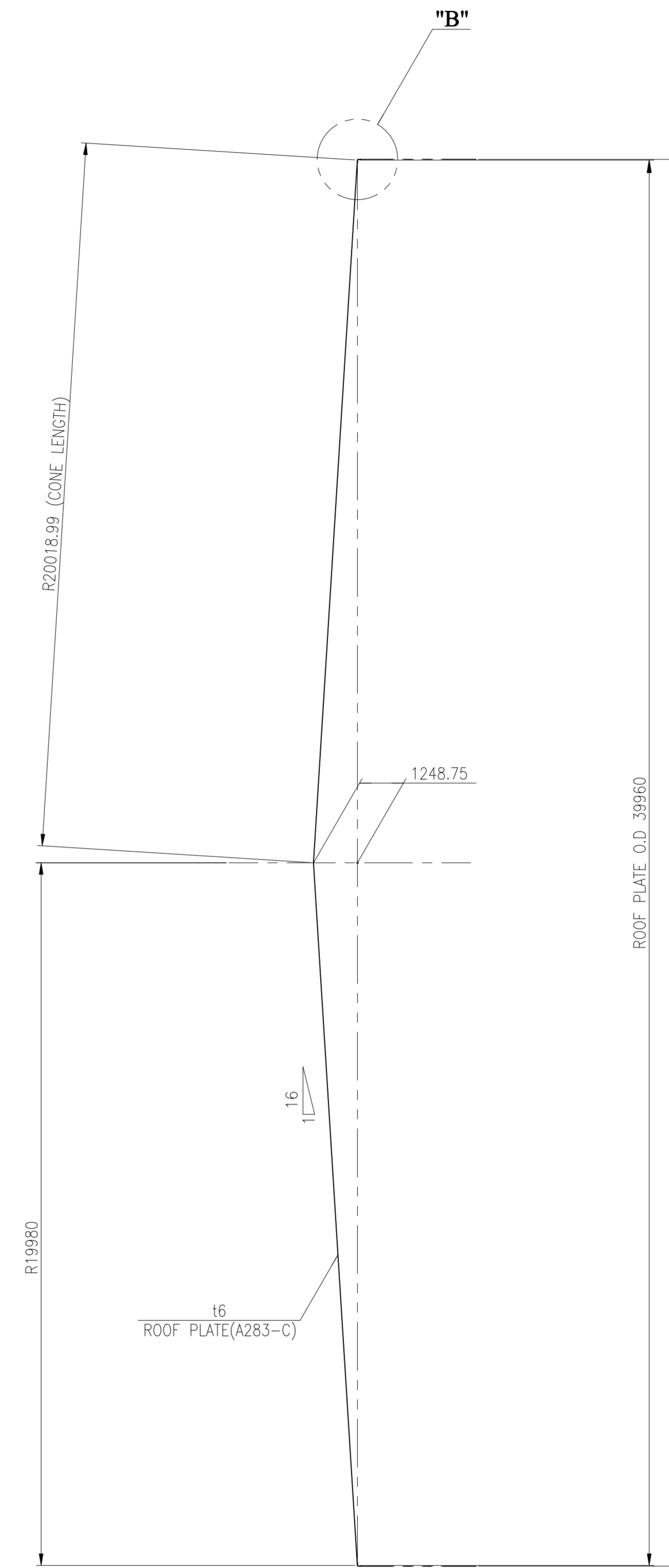
Titre : **FUEL OIL STORAGE TANK**
LOADING DATA
(00EGB10BB001/00EGB20BB001)

GS Engineering & Construction CO / DAELIM Industriem CO, Ltd MANDATAIRE DESINEUR : CREG/KCOM
GS E&C DAELIM

N° Projet : 130070 Emetteur : Sous-Titre : Numérotation du Fournisseur : KAS 00 MEA EGB 248
Nom et logo Fournisseur : POBOO Numérotation du Fournisseur : KAS 00 MEA EGB 248
Type doc.: Classe Confidentialité : Dérivé de : Echelle : Format : Feuille : De : Suit F. :
IL.6.3.II.12 1:100 A0 001 001 001



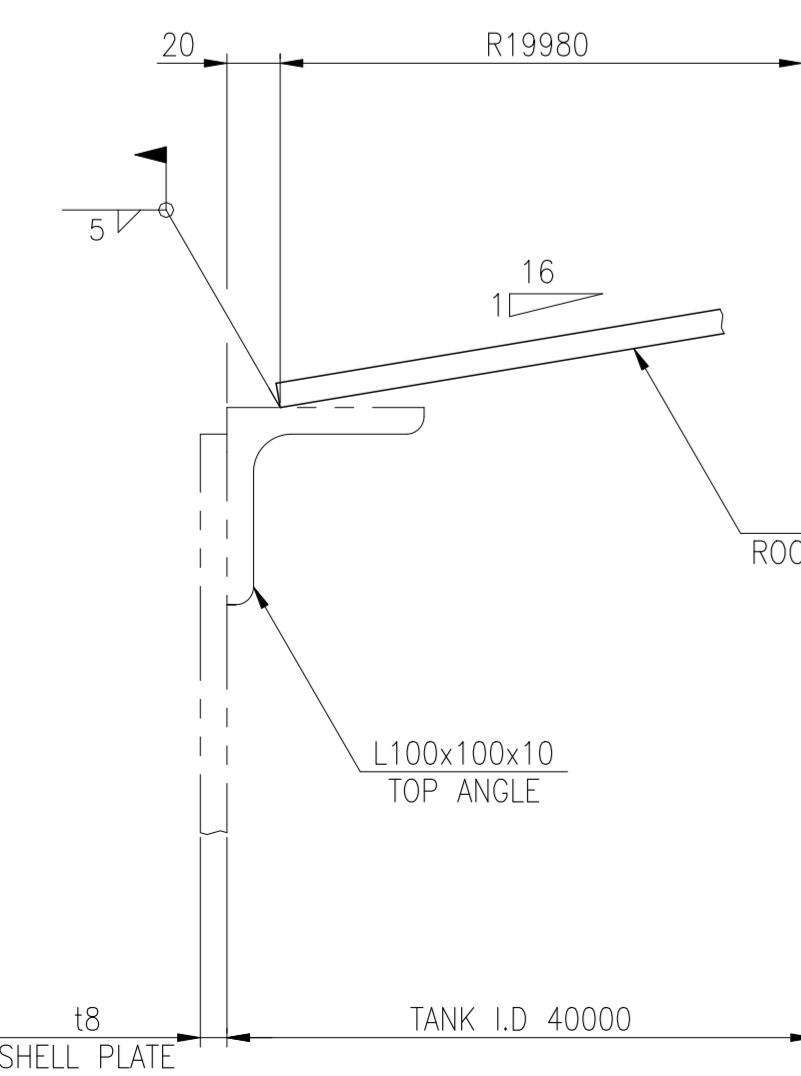
ROOF PLATE DEVELOPMENT #40037.98



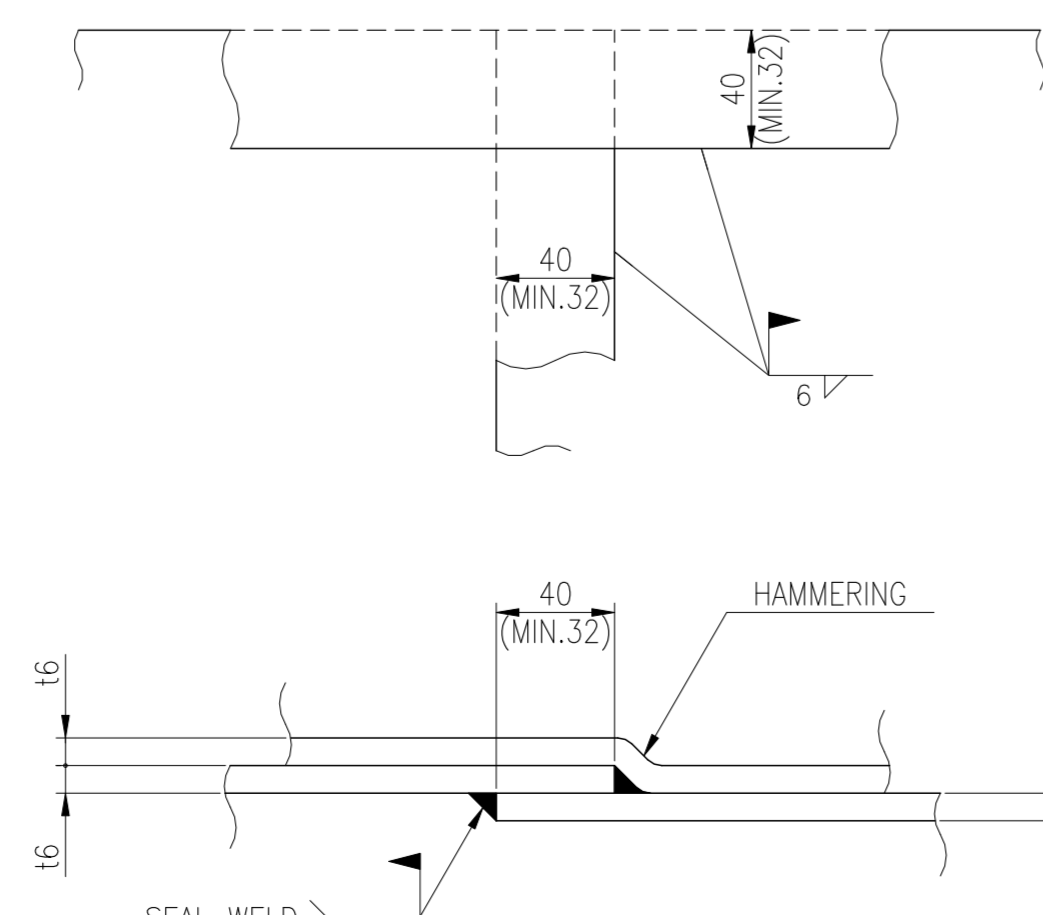
SECTION "A"-"A"

NOTE

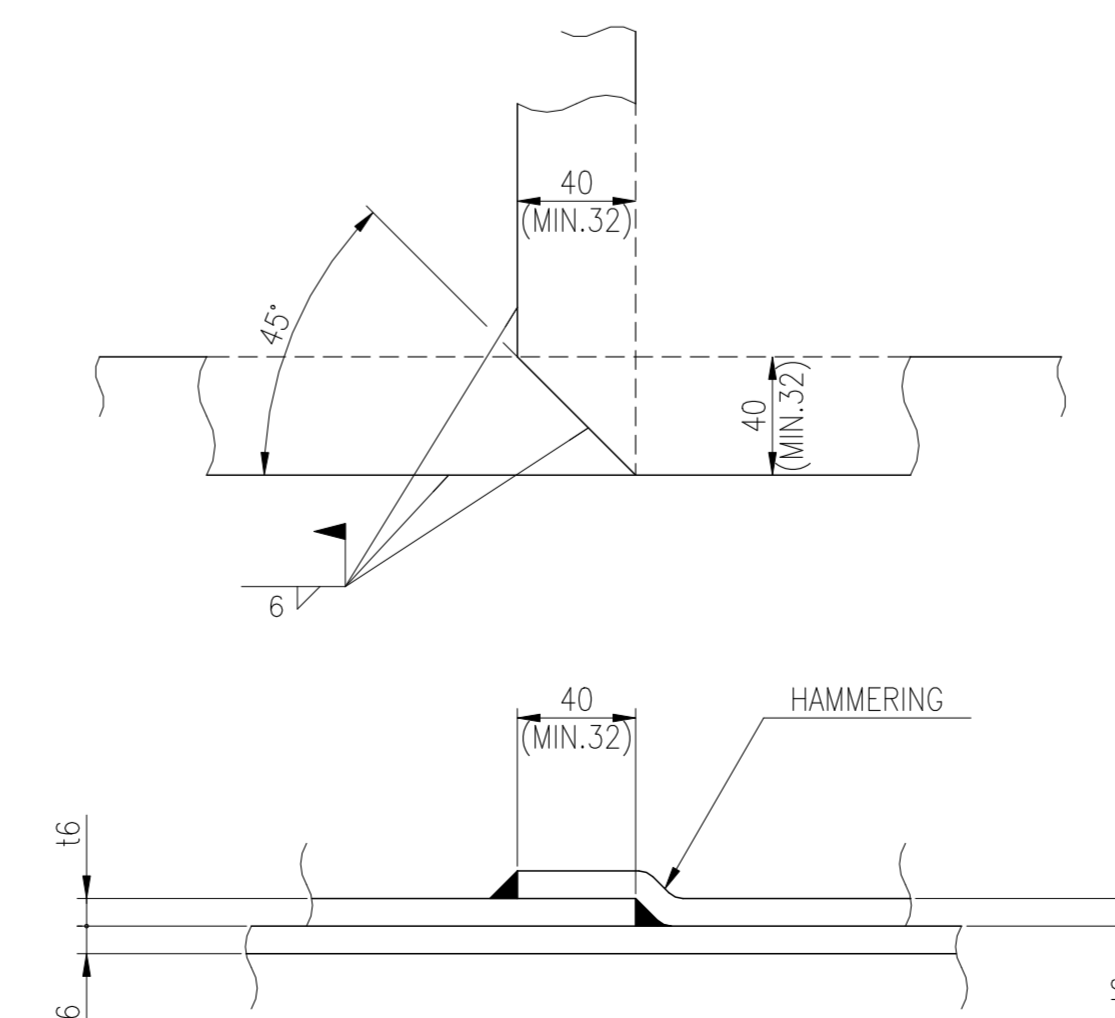
1. NO. OF REQUIRED : 2 SETS.
2. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER UNLESS OTHERWISE NOTED.
3. FABRICATED NOZZLES IN THE SHOP WILL BE ATTACHED AT SITE. AND PLATE WILL BE CUT FOR NOZZLE HOLE AT SITE.
4. REFERENCE DRAWING NO. : KIS EM 593 631



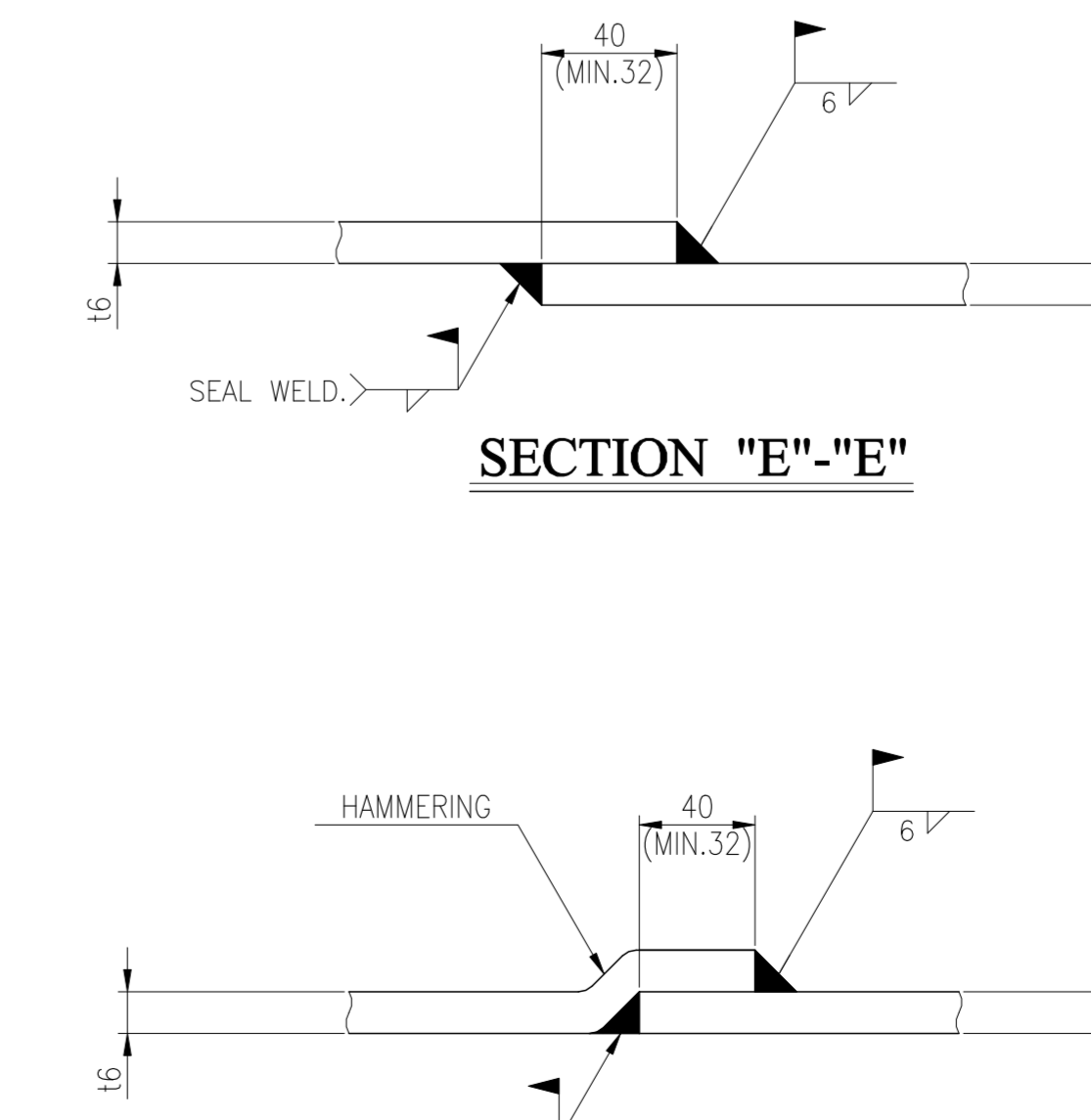
DETAIL "B"



DETAIL "C"



DETAIL "D"



DETAIL "E"

الشركة الجزائرية لإنتاج الكهرباء
Société Algérienne de Production de l'Electricité

MANDATAIRE DÉSIGNÉ PAR LE MAÎTRE D'OUVRAGE : COMPAGNIE DE L'ENGINEERING DE L'ELECTRICITE ET DU GAZ «CEEG-SPA»
DIRECTION DE L'ENGINEERING DES MOYENS DE PRODUCTION
IMMEUBLE 700 BUREAUX RN N° 38 GUE DE CONSTANTINE KOUBA ALGER
TEL. 021 83 84 00 - FAX 021 83 90 17

CENTRALE ELECTRIQUE EN CYCLE COMBINE KAIS
1 266,71 MW Aux conditions site

N° Contrat : 42014RDKM / 07/ISPE/2014 Statut de Distribution : FOR INFORMATION Numérotation Client : KIS EM 593 630

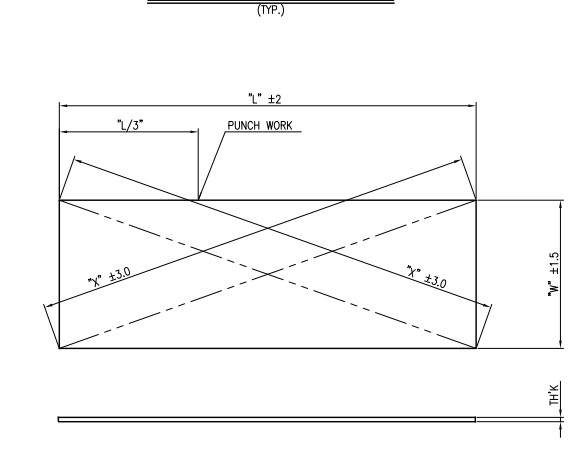
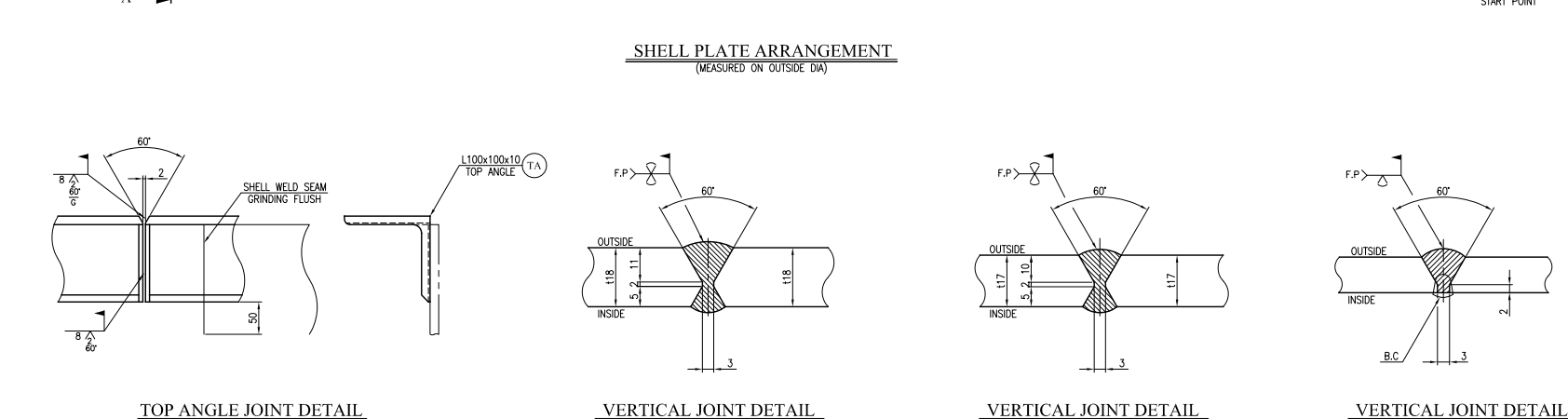
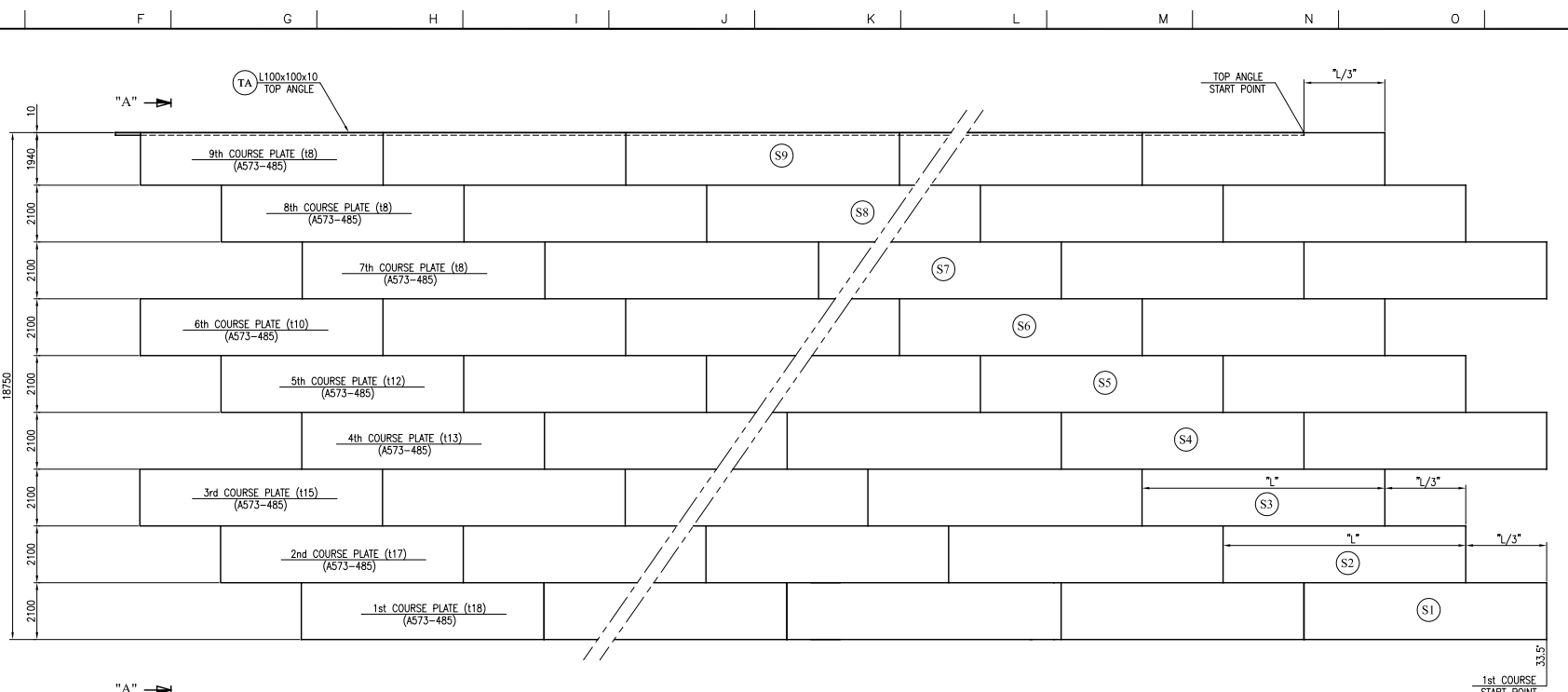
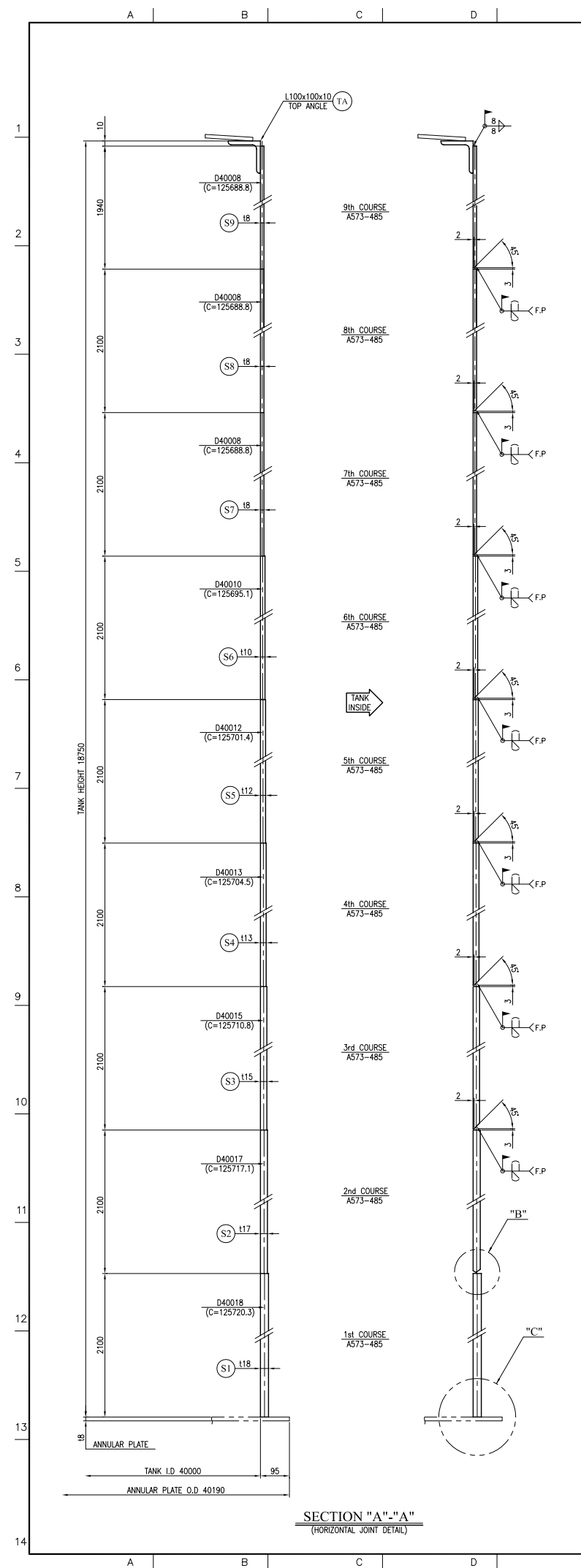
Espace réservé aux tampons (Revue et validation du document - si nécessaire):

Historique des Révisions :						
N°	Statut	Date	Auteur	Vérifié	Approuvé	
05	FI	09-09-2016	JSK	KJK	MYS	HYW
04	FI	07-09-2016	JSK	KJK	MYS	HYW
03	FI	27-01-2016	JSK	KJK	MYS	HYW
02	FI	12-11-2015	JSK	KJK	MYS	HYW
01	FI	20-07-2015	JSK	KJK	MYS	HYW
00	FI	26-02-2015	JSK	KJK	MYS	HYW

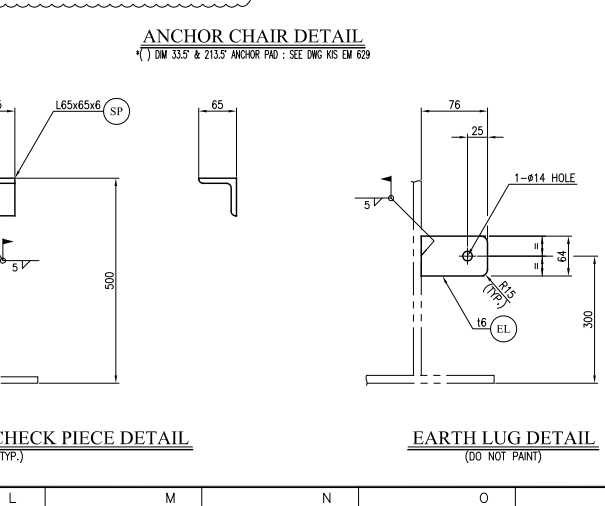
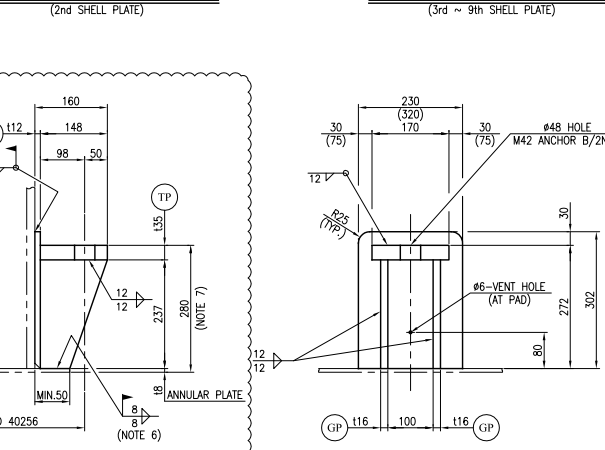
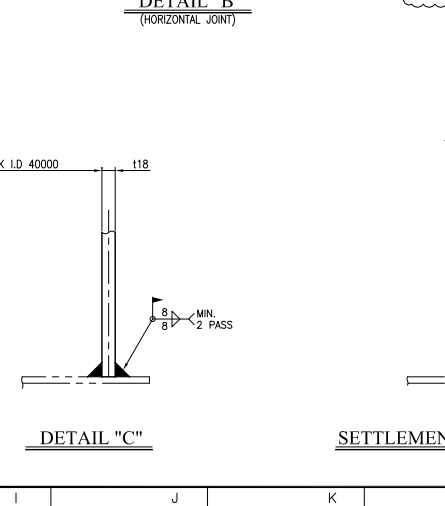
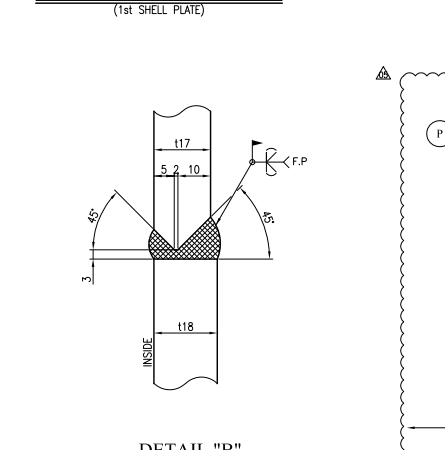
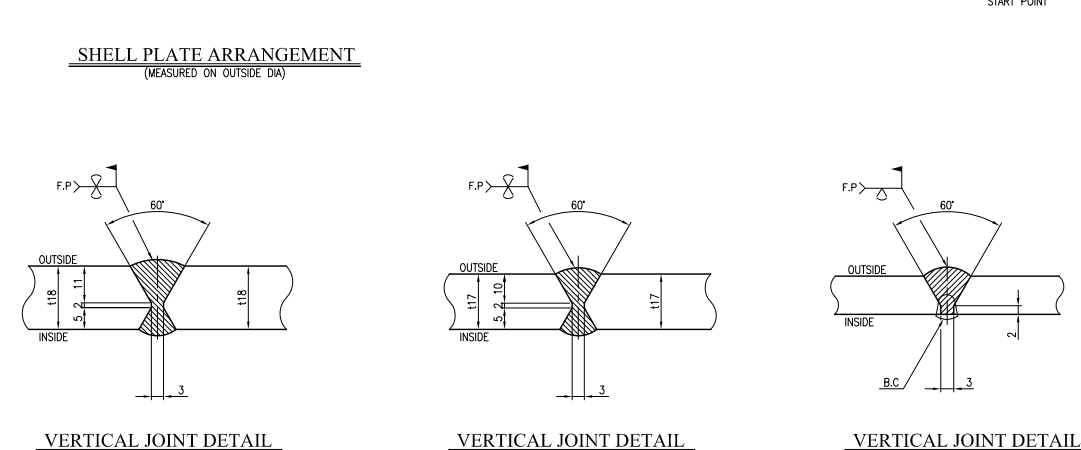
Rév. Stat. Description de la révision Date Auteur Vérifié Contrôlé Approuvé

Titre : **FUEL OIL STORAGE TANK ROOF PLATE ARRANGEMENT (00EGB10BB001/00EGB20BB001)**

OS Engineering & Construction CO / DAELIM Industrial CO, Ltd MANDATAIRE DESIGNER : CEEG/KDM
GSE&C DAELIM شركة هندسة الكهرباء والغاز
N° Projet : 130070 Emetteur : KASIS 00 MEA EGB 251 Numérotation du Constructeur : KASIS 00 MEA EGB 251
Noms et logos Fournisseurs : POSCO PLANTING KASIS 00 MEA EGB 251
Type doc. : Classe Confidentialité : Dérivé de : Echelle : Format : De : Suit F. :
II.6.3.III.12 I:110 A0 001 001 001

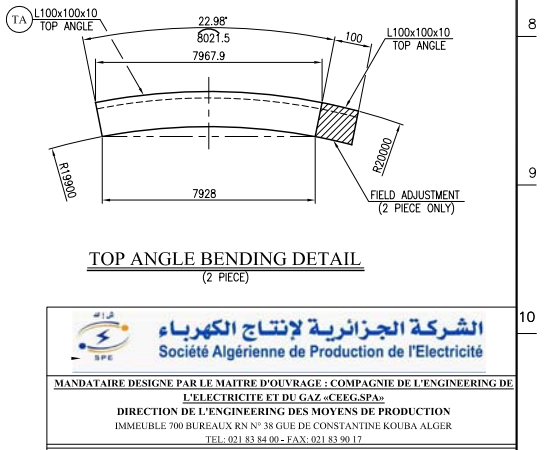
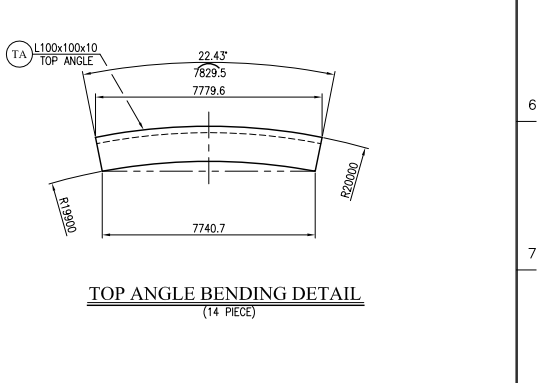


DIMENSION FOR CUTTING (PER MEAN DIA)					
PART NO.	TH'K	Q'TY	"L"	"W"	"X"
(S1)	t18	14	8980.0	2100	9222.3
(S2)	t17	14	8979.8	2100	9222.1
(S3)	t15	14	8979.3	2100	9221.6
(S4)	t13	14	8978.9	2100	9221.2
(S5)	t12	14	8978.7	2100	9221.0
(S6)	t10	14	8978.2	2100	9220.5
(S7)	t8	14	8977.8	2100	9220.1
(S8)	t8	14	8977.8	2100	9220.1
(S9)	t8	14	8977.8	1940	9185.0



BILL OF MATERIAL						
PART NO.	PART NAME	MATERIALS	DIMENSIONS	Q'TY	WT (KG)	REMARK
S1	SHELL PLATE	A573-485	t18x2100x8980	14	2664.6	37304.4
S2	SHELL PLATE	A573-485	t17x2100x8979.8	14	2516.5	35231.0
S3	SHELL PLATE	A573-485	t15x2100x8979.3	14	2220.4	31085.6
S4	SHELL PLATE	A573-485	t13x2100x8978.9	14	1924.2	26938.8
S5	SHELL PLATE	A573-485	t12x2100x8978.7	14	1776.2	24868.8
S6	SHELL PLATE	A573-485	t10x2100x8978.2	14	1480.1	20721.4
S7	SHELL PLATE	A573-485	t8x2100x8977.8	14	1184.0	16576.0
S8	SHELL PLATE	A573-485	t8x2100x8977.8	14	1184.0	16576.0
S9	SHELL PLATE	A573-485	t8x1940x8977.8	14	1093.8	15313.2
TA	TOP ANGLE	A36	L100x100x10 -125900L	1	1875.9	SEE NOTE 5
EL	EARTH LUG	316 S.S	16x6x76	10	0.2	2.0
SP	SETTLEMENT CHECK PIECE	A36	1.65x65x6 -65L	24	0.4	9.6
TP	TOP PLATE	A283-C	135x148x170	48	6.9	331.2
GP	GUSSET PLATE	A283-C	t16x148x237	96	4.4	422.4
P	PAD PLATE	A573-485	t12x230x302	46	6.5	299.0
P1	PAD PLATE	A573-485	t12x302x320	2	9.1	18.2
TOTAL WEIGHT = 227571.5 Kg						

- NOTE**
- NO. OF REQUIRED : 2 SETS.
 - ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER UNLESS OTHERWISE NOTED.
 - LEGEND : "F.P" = FULL PENETRATION "B.C" = BACK CHIPPING
 - FABRICATED NOZZLES IN THE SHOP WILL BE ATTACHED AT SITE AND PLATE WILL BE CUT FOR NOZZLE HOLE AT SITE.
 - CHANGING ACCORDING TO CONTRACT DOCUMENT KAIS-00-MGS-0ME-001
 - ANCHOR CHAIR WELDING IS SITE ADJUSTMENT.
 - ANCHOR CHAIR HEIGHT IS SITE ADJUSTMENT.



الشركة الجزائرية لإنتاج الكهرباء
Société Algérienne de Production de l'Électricité

MANDATAIRE DESIGNÉ PAR LE MAÎTRE D'OUVRAGE : COMPAGNIE DE L'ENGINEERING DE L'ELECTRICITE ET DU GAZ -CEEG-SPAR
DIRECTION DE L'ENGINEERING DES MOYENS DE PRODUCTION
IMMEUBLE 700 BUREAUX RN N° 38 GUE DE CONSTANTINE KOUBA ALGER
TEL: 001 83 84 00 - FAX: 001 83 90 17

CENTRALE ELECTRIQUE EN CYCLE COMBINE
KAIS
1 266,71 MW Aux conditions site

N° Contrat : N°2014/03/KO/M FOR INFORMATION FOR INFORMATION KIS EM 593 628
Espace réservé aux impressions. (Revue et validation du document - si nécessaire)

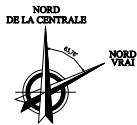
Historique des Révisions					
NO	DESCRIPTION	DATE	AUTEUR	VERIFIE	CONTROLE
05	FOR INFORMATION	13-02-2018	JSK	KJK	MYS HYW
04	FOR INFORMATION	25-11-2017	JSK	KJK	MYS HYW
03	FOR INFORMATION	06-11-2017	JSK	KJK	MYS HYW
02	FOR INFORMATION	09-09-2016	JSK	KJK	MYS HYW
01	FOR INFORMATION	28-07-2015	JSK	KJK	MYS HYW
00	FOR INFORMATION	28-02-2015	JSK	KJK	MYS HYW

FUEL OIL STORAGE TANK
SHELL PLATE ARRANGEMENT
(00EGB10BB001/00EGB20BB001)

GS Engineering & Construction CO., DAEJIN Industrial CO. Ltd. MANDATAIRE DESIGNÉ : CEEG-KDM
GS&C DAEJIN

N° Projet : 130070 Emetteur : Sous-Titre : Numération du Constructeur : KAIS 00 MEA EGB 249
Type doc : Classé Confidentiel : Dérivé de : KAIS 00 MEA EGB 249
Echelle : Format : Feuille : Dc. : 1:90 A0 001 001 001

II.6.3.III.12



DÉTAIL DES PLANS DE RÉFÉRENCE

FERME	: KIS GC 593 635 - 637	POUTRE "A"	: KIS GC 593 640, 642
ANNEAU SUPÉRIEUR	: KIS GC 593 638	POUTRE "B"	: KIS GC 593 640, 642
ANNEAU INFÉRIEUR	: KIS GC 593 638	POUTRE "C"	: KIS GC 593 641, 642
CHEVRON "A"	: KIS GC 593 639, 642	POUTRE "D"	: KIS GC 593 641, 642
CHEVRON "B"	: KIS GC 593 639, 642	POUTRE "E"	: KIS GC 593 641, 642
CHEVRON "C"	: KIS GC 593 639, 642	POUTRE "F"	: KIS GC 593 641, 642
CONTREDE EN Y "X"	: KIS GC 593 642	POUTRE "G"	: KIS GC 593 640, 642
CONTREDE EN Y "Y"	: KIS GC 593 642		

BILL OF MATERIAL								
PART NO.	PART NAME	MATERIALS	DIMENSIONS	Q'TY	N°(KG)	UNIT	TOTAL	REMARK
1	PLAQUE DE SUPPORT	A36	125x260x900	18	45.9	KG	826.3	
2	PLAQUE DE SUPPORT	A36	120x120x900	36	18.4	KG	662.4	
3	PLAQUE GOUSSET	A36	112x269.1x380.3	36	8.6	KG	346.8	
4	PLAQUE GOUSSET	A36	112x100x400	36	3.8	KG	136.8	
5	PLAQUE DE GOUSSET	A36	112x1100x1300	18	1347	KG	2424.6	
6	PLAQUE DE SUPPORT	A36	112x219.2x267.5	54	5.5	KG	297.0	
7	PLAQUE DE COUSSET	A36	110x112x180	54	1.4	KG	76.0	

NOTE

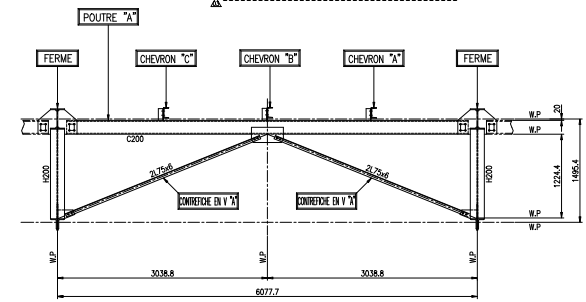
POIDS TOTAL = 4768.63 Kg

1. NOMBRE REQUIS : 2 ENSEMBLES.
 2. TOUTES LES DIMENSIONS SONT INSCRITES EN MM SAUF INDICATION CONTRAIRE.
 3. NUMÉRO DES PLANS DE RÉFÉRENCE : KIS GC 593 635 - 642
 4. MODIFICATION DE LA TITRE DE LA NORME JS 3 LA NORME EN

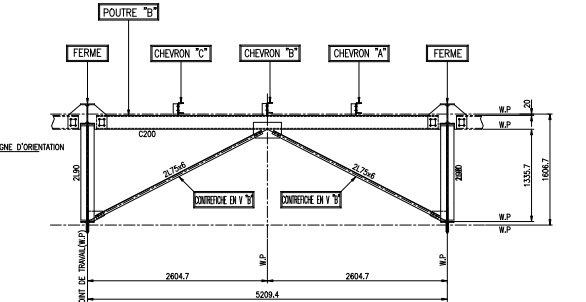
180°

270°

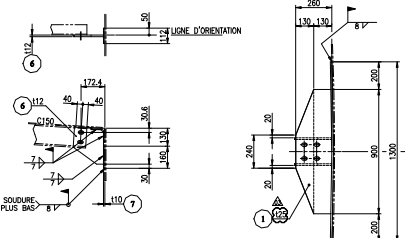
VUE EN PLAN DE LA STRUCTURE DE TOIT



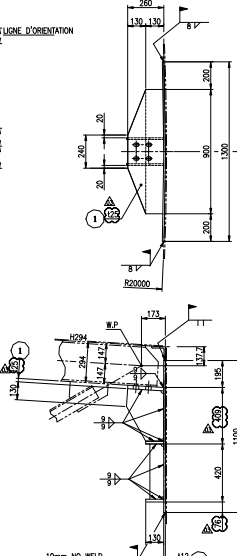
SECTION "A-A"



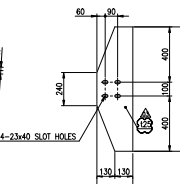
SECTION "B-B"



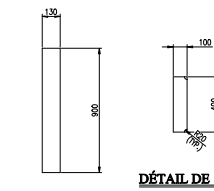
SECTION "D-D"
54 PLACES



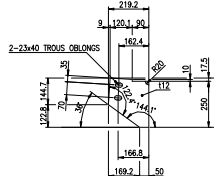
SECTION "C-C"
18 PLACES



DÉTAIL DE 1



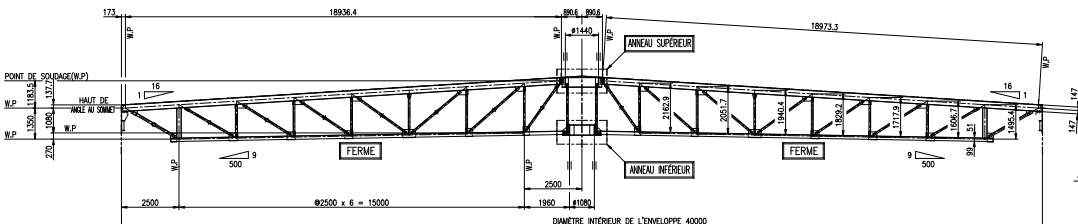
DÉTAIL DE 2



DÉTAIL DE 3

LISTE DES MEMBRES

MARQUE	TAILLE
H204	H204 x 200 x 8/12
UC200	UC203 x 203 x 9/2
UC150	UC152 x 152 x 30/3
UC20	UC20 x 50 x 10/2.5
IPC150	IPC150 x 75 x 17/2
L150	L150 x 90 x 12
L100	L100 x 100 x 10
L80	L80 x 90 x 10
UB202	UB 202 x 30 x 12/3
L75-9	L75 x 75 x 9
L75-6	L75 x 75 x 6
L50-6	L50 x 50 x 6



ÉLEVATION DE LA STRUCTURE DE TOIT

الشركة الجزائرية لإنتاج الكهرباء
 Société Algérienne de Production de l'Électricité

MANUFACTURE DESIGN PAR LE MATRE POUTRAGE : COMAGHNE DE L'INGENIERING DE L'ELECTRICITE ET DU GAS-CEROPAS

DIRECTION DE L'INGENIERING DES MOYENS DE PRODUCTION
 BUREAU 700 BUREAU DE RESEAU ET DE RESEAU DE CONSTRUCTION FICHA ALGOS
 TEL: 011 81 81 06 743; 011 81 91 17

CENTRALE ELECTRIQUE EN CYCLE COMBINE KAIS

1 266,71 MW Axe conditions site

PC Client: M'BARAKOUH
 M'BARAKOUH
 POUR INFORMATION
 KIS GC 593 634

PC Client: M'BARAKOUH
 M'BARAKOUH
 POUR INFORMATION
 KIS GC 593 634

Managers des Adhésions:

CE / PI	POUR INFORMATION	08-11-2017	JKK	EJK	MYE	HYW
CE / PI	POUR INFORMATION	08-09-2015	JKK	EJK	MYE	HYW
CE / PI	POUR INFORMATION	16-07-2015	JKK	EJK	MYE	HYW
CE / PI	POUR INFORMATION	04-03-2015	JKK	EJK	MYE	HYW

Titre: **DISPOSITION DE LA STRUCTURE DE TOIT DU RESERVOIR DE STOCKAGE DE FIOUL (00BG10BB001/00BG20BB001)**

09 Engineering & Construction CO / BAILEY Industries CO, Ltd. MANUFACTURE DESIGN : COMAGHNE DE L'INGENIERING DE L'ELECTRICITE ET DU GAS-CEROPAS

CS E&C BAILEY

PC Projet: 150670
 Revue: 1
 Date: 15/06/2017
 Nomenclature de Construction: KAIS 09 MISA BCB 205

Plan: 01
 Date: 15/06/2017
 Nomenclature de Construction: KAIS 09 MISA BCB 205
 1/20 AP | 01 | 001 | 001