

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



**UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU**  
**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**



# **Mémoire de fin d'étude**

**En vue d'obtention du diplôme de Master professionnel en Génie civil**  
**OPTION : Construction Métallique**

## **Thème**

**Dimensionnement d'un réservoir métallique de stockage de 35000 m<sup>3</sup>**

**Realisée par :**

**M<sup>elle</sup> Toumi Chahinaz**

**Encadré par :**

**Mr : Aliche. A**

**Devant les membres de jury :**

- Mr : Dahmani.L**
- Mr : Boudjemia.A**

**Année Universitaire :2020/2021**



## *Remerciements*

*Toute ma gratitude et grâce remerciement vont à **DIEU** le tout puissant de m'avoir donné la force, la volonté et la patience pour réaliser ce travail.*

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à **Mr ALICHE Amar**, enseignant au département de génie civil de m'avoir encadré et pour tous ses conseils et orientation qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.*

*Un très grand merci pour les personelles de l'entreprise national **SONATRACH** pour l'aide et le soutien qu'ils m'ont apporté.*

*Je tiens aussi à remercier mon professeur **Mr DAHMANI** Lahlou pour tout l'aide qu'il m'a apporté durant ma formation master à **UMMTO** et pour tous ses conseils.*

*Je souhaite exprimer ma gratitude aux membres de Jury **Mr DAHMANI** et **Mr BOUDJEMIA** qui m'ont accordé l'honneur d'examiner et de juger ce travail.*

*Je tiens à remercier tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation.*





## Dédicaces

*Je dédie ce mémoire :*

*A mes très chers parents qui m'ont toujours encouragé pour aller vers l'avant*

*Et qui m'ont soutenue le long de mon parcours scolaire.*

*A ma très chère tante Djamila qui porte une place très spéciale dans mon Cœur.*

*A mes frères Abd el krim et Mahieddine et mes sœurs Melinda et Alicia.*

*A ma très chère tante Samira et son mari Khoya Smail qui était toujours à mes coté et pour toute l'énergie positif qu'ils m'ont offert et d'avoir toujours cru en moi pour devenir la meilleur version de moi même*

*A ma tante Safia et son mari A mes grand parent paternel et tt mes chers Oncles*

*A mes grands-parents maternels que dieux les accueille dans ses vastes paradis*

*A tous mes amis spécialement djidji qui m'a soutenue le long de ce mémoire*

*A mes camarades de la section de charpente métallique, en particulier mon très chère Rafik qui m'a encouragé et soutenue le long de ce travail*



## Sommaire

### Chapitre I : Présentations du cadre d'étude

I.1 CONTEXTE DU PROJET.....	1
I.2 LOCALISATION DU SITE DU PROJET .....	1
I.3 CADRE PHYSIQUE DU MILLIEU (Sources Wikipédia et Atlas national) .....	2
I.3.1 LE CLIMAT.....	2
I.3.2 LA GEOGRAPHIE .....	2
I.3.2 LA GEOLOGIE .....	3
I.4 TYPOLOGIE DES RESERVOIR .....	4
I.4.1 INTRODUCTION.....	4
I.4.2 CONFIGURATION DES RESERVOIRS DE STOCKAGE.....	4
I.4.3 ROLE DU STOCKAGE.....	5
I.4.4 CLASSIFICATION DES RESERVOIRS DE STOCKAGES .....	5
I.4.5 CHOIX DU RESERVOIR DE STOCKAGE.....	13
I.4.6 TERMONOLOGIE CONCERNANT LES RESERVOIRS DE STOCKAGE ...	13

### Chapitre II : Evolutions des actions

II.1 Exposer de la méthode de calcul .....	14
II.1.1 Introduction.....	14
II.1.2 Domaine d'application :.....	14
II.2 Action permanente : .....	14
II.4 Action exercées par le vent : (RNV 2013, §2.6).....	15
II.4.1 Calcul des forces à l'aide des coefficients de forces :.....	15
II.4.2 Pression aérodynamique du vent : (RNV 2013, §2.5).....	15
II.4.3 Valeur de la pression dynamique de référence q <sub>réf</sub> : (RNV 2013, §2.3.1) .....	16
II.4.4 Zone du vent : ((RNV2013 ANNEX 1) .....	16
II.4.5 Pression dynamique de pointe : (EN1991-1-4, §1.4.5).....	18
II.4.6 Coefficient de rugosité : (RNV 2013, §2.4.5).....	19
II.4.7 Coefficient de topographie : (RNV 2013, §2.4.5).....	19
II.4.8 Intensité de turbulence : (RNV 2013, §2.4.6) .....	20
II.4.9 Facteurs de site : (RNV 2013, §2.4.3).....	20
II.4.10 Calcul du coefficient dynamique Cd: (RNV 2013, §3).....	21
II.4.11 Calcul du coefficient de force C <sub>f</sub> : (EN1991-1-4 ,§1.7.8).....	21
II.5 Action du sable dans la Zone D : .....	24

## **Chapitre III : Pré dimensionnement de l'ouvrage**

III.1 PRESENTATION DE L'OUVRAGE .....	26
III.2 CHOIX DES MATERIAUX .....	26
III.2.1. Critères de choix des matériaux .....	27
III.3 CALCUL DU TOIT FLOTTANT.....	29
III.3.1 Généralité.....	29
III.3.2 Vérification de la flottabilité.....	30
III.3.3 Dimensionnement de la charpente du toit.....	33
III.3.4 Dimensionnement des éléments structuraux du toit .....	37
III.4 CALCUL SELON EUROCODE 3.....	42
III.4.1 CONCEPTION DU FOND .....	42
III.4.2 DIMENSIONNEMENT DE LA ROBE .....	45
III.4.3 VERIFICATION DE LA STABILITE AU VENT : .....	47
III.5 CALCUL SELON L'API 650 .....	56
III.5.1 CONCEPTION DU FOND .....	56
III.5.2 DIMENSIONNEMENT DE LA ROBE .....	58
III.5.3 STABILITE DU RESERVOIR .....	60
III.5.4 RENVERSEMENT DU RESERVOIR DU A LA CHARGE DU VENT.....	65
III.6 COMPARAISON ET COMMENTAIRES .....	67
<b>Chapitre IV: Etude sismique</b>	
IV.1 INTRODUCTION.....	68
IV.2 OBJECTIF DE L'ETUDE HYDRODYNAMIQUE .....	69
IV.3 CHOIX DE LA METHODE DE CALCUL .....	69
IV.4 HYPOTHESES DE CALCUL DE LA METHODE DE HOUZNER.....	72
IV.5 CARACTERISIQUE DU SITE .....	73
IV.6 APPLICATION DE LA METHODE DE CALCUL.....	74
IV.6.1 Calcul des actions d'impulsions .....	74
IV.6.2 Calcul des actions d'oscillations.....	78
IV.6.3 Calcul des moments de flexion.....	79
IV.6.4 Calcul des moments de renversement .....	80
IV.6.5 Vérifications de la stabilité de l'ouvrage .....	81
IV.6.6 Vérification au flambement .....	83
CONCLUSION GENERAL .....	84

## Liste des figures

**Figure I.1 :** Carte géographique de l'Algérie

**Figure I.2 :** Situation du site (Google Earth)

**Figure I.3 :** Carte géologique du Sahara septentrional

**Figure I.4 :** Sphères

**Figure I.5 :** Sphéroïde

**Figure I.6 :** Ballon aérien

**Figure I.7 :** Cuves ouverte

**Figure I.8 :** Toits fixe autoportant

**Figure I.9 :** Réservoirs à toit fixe

**Figure I.10 :** Type ponton annulaire

**Figure I.11 :** Réservoirs à toit flottant simple pont

**Figure I.12 :** Réservoir à toit flottant double pont

**Figure I.13 :** Type double pont

**Figure I.14 :** Toit flottant interne dans un réservoir à toit fixe

**Figure II.1 :** Carte de la valeur de base de la vitesse de référence en Algérie

**Figure II.2 :** Valeurs du facteur d'élanement  $\psi_{\lambda}$ , en fonction de l'élanement  $\lambda$  de l'opacité de la construction

**Figure II.3 :** Coefficient de force  $C_{r,0}$  des cylindres à base circulaire sans écoulement de contournement d'extrémités et pour différentes rugosités équivalentes  $k/b$ .

**Figure III.1 :** Le toit flottant

**Figure III.2 :** Accessoires du toit

**Figure III.3 :** Compartiment adjacents

**Figure III.4 :** Béquille

**Figure III.5 :** La Goupille

**Figure III.6 :** Pont supérieur

**Figure III.7 :** Disposition des chevrons

**Figure III.8 :** La surface du chevron

**Figure III.9 :** La charge appliquée sur le chevron

**Figure III.10** : Profilé UPN100

**Figure III.11** : Recouvrement des tôles de fond

**Figure III.12** : Exemple de fondation du bac

**Figure III.13** : Epaisseur et distance des plaques annulaires.

**Figure III.14** : Dissymétrie de chargement du à la pression de vent

**Figure III.15** : Flambement en patte d'éléphant (Photo : Courtesy Of University Of California Brekely).

**Figure III.16** : Réservoir de stockage de 35000 m<sup>3</sup> destiner au condensat

**Figure III.17** : Dimension du raidisseur Primaire selon l'Eurocode3

**Figure III.18** : Vue en plan – Fond

**Figure III.19** : Cornière de rive

**Figure III.20** : Poutre principale

**Figure III.21** : Poutre secondaire

**Figure IV.1** : Flambement en pointe de diamant (Photos Courtesy of University of California, Brekely)

**Figure IV.2** : Dommage par ballonnement du toit des réservoirs (Séisme de 1999 en Turquie. Photo par Gayle Johnson)

**Figure IV.3**: Système physique et mécanique équivalent les pressions d'impulsion

**Figure IV.4**: Système physique et mécanique équivalent des pressions d'oscillations sur les parois

**Figure IV.5** : Modèle d'une masse passive  $M_i$  (impulsion) et une masse active  $M_0$  (oscillation)

**Figure IV.6** : Système physique et mécanique équivalent des pressions d'oscillation actions sur les parois et sur la base

**Figure IV.7** : Carte sismique de l'Algérie

## Liste des tableaux

**Tableau I.1** : Série de dépôts géologiques

**Tableau II.1:** Pression dynamique de référence

**Tableau II.2:** Valeurs de la vitesse de référence du vent

**Tableau II.3** : Classifications des zones du vent en Algérie

**Tableau II.4** : Coefficients de topographie

**Tableau II.5** : Catégories de terrain

**Tableau II.6** : Rugosité de surface équivalente  $k$

**Tableau II.7** : Charge du sable dans la zone D

**Tableau III.1** : Caractéristique géométrique

**Tableau III.2** : composition chimique

**Tableau III.3** : caractéristiques mécaniques

**Tableau III.4** : composition chimique

**Tableau III.5** : caractéristiques mécaniques

**Tableau III.6** : Constante relative aux plaques rectangulaire encastées aux lisères et supportant aux charges uniformes (**RDM TIMOSHENKO P140**)

**Tableau III.7** : Résultat des épaisseurs des Viroles selon l'EUROCODE 3.

**Tableau III.8:** Calcul des sections et moments d'inerties de chaque élément selon l'EUROCODE3

**Tableau III.9** : Hauteur équivalente.

**Tableau III.10** : Dimensions minimale des raidisseurs secondaires

**Tableau III.11** : Hauteur des liquides

**Tableau III.12** : Calcul des sections et moments d'inerties de chaque élément du raidisseur primaire selon l'API 650

**Tableau III.13** : Les tailles équivalentes approximatives qui peuvent être utilisées pour tenir compte de la disponibilité locale des matériaux d'après l'API

**Tableau III.14** : Calcul des sections et moments d'inerties de chaque élément du raidisseur primaire selon l'API 650

**Tableau III.15** : Calcul des hauteurs transformées de la robe

**Tableau III.16** : Calcul des sections et moments d'inerties de chaque élément du raidisseur secondaire selon l'API 650

**Tableau IV.1 :** Coefficient d'accélération des zones

**Tableau IV.2 :** Valeur de  $\xi$  (%)

**Tableau IV.3 :** Valeur de Pénalités

**Tableau IV.4 :** Périodes caractéristiques

**Tableau IV.5 :** les contraintes de membrane circonférentielles

**Tableau IV.6 :** les contraintes critiques de flambement pour les viroles

## Notations :

$W_t$  : Poids de la toiture

$W_{rb}$  : Poids de la robe

$W_f$  : Poids du fond

$F_w$  : force exercées par le vent

$q_p(z_e)$  : pression dynamique de pointe à la hauteur  $z_e$

$C_f$  : est le coefficient de force applicable à la construction ou à l'élément de construction.

$A_{ref}$  : l'air de référence (air d'influence de l'élément considéré)

$C_d$  : coefficient dynamique

$W_e$  : La pression aérodynamique

$q_{ref}$  : La pression dynamique de référence

$V_{ref}$  : La vitesse de référence du vent

$q_b$  : La pression de vitesse de base

$V_b$  : la vitesse de vent de base

$C_e(z)$  : est le coefficient d'exposition

$C_r$  : Le coefficient de rugosité

$K_T$  : Facteur de terrain.

$Z_0$  : Paramètre de rugosité.

$Z_{min}$  : Hauteur minimale.

$Z$  : hauteur considéré

$C_t$  : coefficient topographique

$\psi_\lambda$  : Le facteur d'effet final

$\lambda$  : L'élancement effectif.

$R_e$  : Le nombre de Reynolds

$\nu$  : la viscosité cinématique de l'air est considérée

$k$  : Rugosité de surface équivalente

$P_t$  : La masse du toit avec tous ses accessoires

$V$  : volume de produit repoussé

$\rho$  : la masse volumique de liquide en (t/m<sup>3</sup>) donné par l'API 650.

$P_{\text{(fluide déplacé)}}$  : poids du fluide déplacé par l'objet en (t).

$q_{\text{(toit)}}$  : charge du toit

$q_{\text{(échelle)}}$  : charge de l'échelle

$R$  = Rayon du réservoir

$S_{\text{(pont inférieur)}}$  : surface du pont inférieur

$h_{e1}$  = la hauteur de flottabilité nécessaire (L'enfoncement de toit)

$h_{\text{toit}}$  : hauteur du toit

$V_{\text{dep}}$  : volume déplacé

$q_{\text{sable}}$  : La charge de sable

$D_e$  : diamètre extérieur

$D_i$  : diamètre intérieur

$e$  : épaisseur

$M_{\text{linéaire}}$  : masse linéaire

$i$  : rayon de giration

$\varepsilon$  : la limite élastique

$l_f$  : longueur de flambement

$V_{\text{pl,Rd}}$  : la valeur de calcul de la résistance plastique au cisaillement.

$\chi$  : Coefficient de réduction pour le mode de flambement à considérer

$N_{\text{c,Rd}}$  : résistance de calcul à la compression de la section transversale

$N_{\text{b,Rd}}$  : résistance de calcul de la section brute au voilement

$\alpha$  : Facteur d'imperfection.

$f_{\text{max}}$  : la flèche maximal

$Mf_{\text{max}}$  : Le moment fléchissant maximal

$\sigma_{\text{max}}$  : La contrainte maximal

$S$  : La surface chargée

$q_{\text{Plaque sup}}$  : Charge de la plaque supérieur

$q_{\text{exp}}$  : Charge d'exposition

**D** : diamètre du réservoir

**t<sub>a</sub>** : Epaisseur de la tôle annulaire

**t<sub>s</sub>** : épaisseur de la plaque de la 1<sup>ère</sup> virole

**H** : est la hauteur de calcul maximale du liquide, en mètres ;

**W<sub>a</sub>** : est la largeur exposée minimal

**P<sub>0</sub>** : est la surpression de calcul au-dessus de niveau de liquide

**ρ** : densité du liquide

**g** : La gravité

**t<sub>cal</sub>** : l'épaisseur calculée

**t<sub>min</sub>** : l'épaisseur minimale à prendre en tenant compte de t<sub>cal</sub> et t<sub>min</sub> du règlement

**t<sub>sc</sub>** : l'épaisseur finale à prendre.

**W<sub>min</sub>** : est le module résistant élastique minimal (en cm<sup>3</sup>)

**t<sub>sc.cor</sub>** : est l'épaisseur de la plaque sur laquelle le raidisseur primaire sera soudé sans prise en compte de la corrosion.

**X<sub>G</sub>** : centre d'inertie

**I<sub>y</sub>** : l'inertie de la section

**H<sub>e</sub>** : Hauteur équivalente

**E** : Le module de Young

**σ<sub>x,d</sub>** : La contrainte axiale

**V** : est la force du vent ;

**h** : est la hauteur du réservoir ;

**W** : est le poids total du réservoir à l'état vide ;

**D** : est le diamètre du réservoir ;

**M<sub>r</sub>** : est le moment de renversement ;

**M<sub>s</sub>** : est le moment stabilisant

**A** : Le maitre couple

**V<sub>c</sub>** : Volume du cylindre

**h<sub>j</sub>** : Hauteur de la virole j

**t<sub>j</sub>** : Épaisseur de la virole j

**S<sub>d</sub>** : Contrainte admissible théorique.

**S<sub>t</sub>** : Contrainte admissible hydrostatique

**C<sub>A</sub>** : surépaisseur de corrosion, en mm

**H<sub>th</sub>**: Niveau du liquide de conception ou hauteur du fond d'assise considéré à la hauteur de remplissage limité par débordement du réservoir.

**η<sub>Viroles</sub>** : Le nombre de viroles

**Z** : Moment résistant exigé (cm<sup>3</sup>)

**M<sub>Pi</sub>** : moment au fond de la robe dû à la pression intérieure

**F<sub>s</sub>** : charge du vent la coque

**L<sub>s</sub>** : De mi-hauteur du réservoir

**M<sub>DL</sub>** : moment au fond de la robe dû au poids propre de la robe et du toit qui s'appuie sur la robe (s'il existe).

**M<sub>F</sub>** : moment au fond de la robe dû au poids du liquide avec poids du liquide

**F<sub>by</sub>** : limite élastique des tôles annulaires du fond.

**M<sub>e</sub>** : masse du condensat

**M<sub>i</sub>** : la masse d'inertie

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

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

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

**η**: Facteur d'amortissement

**ξ (%)** : est le pourcentage d'amortissement critique en fonction du matériau constitutif du type de structure et de l'importance de remplissages

**Q** : Facteur de qualité de la structure

**P<sub>q</sub>** : Pénalité à retenir selon que la critère de qualité «q» est satisfait ou non

**I<sub>x</sub>** : Moment d'inertie de la paroi par rapport à l'axe horizontale

**R<sub>i</sub>** : Rayon intérieur du réservoir

**R<sub>e</sub>** : Rayon extérieur du réservoir

**M<sub>0</sub>**: La masse oscillante du condensat

$\omega$  : la pulsation fondamentale de vibration du liquide

$\emptyset_0$  : L' angle maximal d'oscillation

$M_{f_0}$  : Le moment de flexion sur les parois sous l'action d'impulsion

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

$h_i'$  : Le niveau d'application des pressions d'impulsion

$h_o'$  : Le niveau d'application des pressions d'oscillations incluant l'effet de la pression sur la base .

$M_{renv}$ : moment de renversement

$M_{stab}$ : moment stabilisateur

$D_{max}$  : la hauteur des vagues maximaux

$\sigma_H$  : Contrainte circonférentielle

$\sigma_{cr}$  : Contrainte critique

## INTRODUCTION GENERAL

La révolution industrielle initiée par l'utilisation de la vapeur comme source d'énergie, prend réellement son essor avec l'exploration intensive des énergies fossiles, depuis cette époque la demande d'énergie n'a cessé d'augmenter dans le monde en particulier en Algérie pour accompagner la croissance exceptionnelle de la population. Par contre carrer la raréfaction des matières première fossiles, l'industrie pétrolière se doit de surpasser les barrières technologiques et théorique jusque-là suffisantes afin de renouveler les réserves disponibles. Ainsi, la recherche industrielle dans le domaine pétrolier s'est étendue progressivement depuis 20-30 ans au développement du gisement dit non conventionnels comme l'offshore ultra-profond (deep offshore), les huiles extra lourdes (extra-Heavy oil)...etc

Le stockage massifs des liquides pour les différent produits rencontrée dans l'industrie du pétrole de la pétrochimie et de la chimie, s'effectue principalement dans des réservoirs en acier cylindrique à la pression atmosphérique ou à la base pression.

Au stockage des produits industriels, les concepteurs se basent a des réservoirs a formes divers, dont la configuration dépend a des impératifs essentiels, qui sont d'une part, la conservation des produits en limitant ou en interdisant les évaporations et d'autre parts, la tenue de la structure à la pression interne développer par le produit en maintenant à un certain niveau pour faciliter l'exploitation.

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.

Dans le cadre de ce mémoire notre étude sera basé sur la chaudronnerie qui est une branche industrielle de la construction métallique qui couvre l'ensemble des activités de mise en œuvre des métaux en feuilles, des tubes et des profilés entrants dans la réalisation d'équipement destinés aux secteurs des industries de l'alimentaires, de la chimie, de l'énergie (pétrole, gaz).

Cependant dans notre cas on consacrera une attention particulière aux réservoirs à toit flottant qui sont les moyens les plus répandus pour diminuer la perte lorsque des produits pétroliers volatils sont stockés.

L'objectif principal de ce projet est de réaliser une étude climatique en utilisant les règlements (**RNV2013** et **EUROCODE1**) afin de déterminer les pressions du vent et charges de sables agissant sur les parois du réservoir.

Ensuite on a mené une étude de conception et d'analyse selon le nouveau règlement **EUROCODE** et de comparer ensuite les résultats obtenus avec le règlement Américain **API650**

Vers la fin on a étudié le comportement du réservoir dans une zone classé de sismicité élever en utilisant une méthodologie develloper baser sur un couplage entre le modèle physique inspiré du modèle hydrodynamique de Housner auquel nous avons adapté le spectre de réponse du **RPA**.

# Chapitre I : Présentation du cadre d'étude



MASTER 2 CM  
UMMTO 2020/2021





**Figure I.2.** Situation du site (Google Earth)

### **I.3 CADRE PHYSIQUE DU MILLIEU (Sources Wikipédia et Atlas national)**

#### ***I.3.1 LE CLIMAT***

Le climat de la wilaya d'Ilizi est de type saharien désertique et très sec, caractérisé par de grandes chaleurs, un air très sec et des précipitations très réduites. La répartition des pluies est très irrégulière. Certaines années sont totalement sèches, alors que d'autres connaissent de violents orages qui, en quelques heures sont capables de réaliser la totalité de la pluviométrie annuelle. En témoignent les inondations qui ont touché In Amenas, OHANET, Illizi, etc. ces dernières années. Le mois le plus chaud de l'année est le mois de juin (de 34 à 48 °C) ; le mois le plus froid est le mois de janvier (de 4 à 9° C). Les vents dominants sont généralement modérés et de direction Sud- Est. Les vents les plus forts soufflent souvent durant les mois de mars, avril, mai et septembre et leur vitesse peut atteindre 120 km/h, c'est la saison des vents de sable qui paralysent la vie et le trafic sur les routes.

#### ***I.3.2 LA GEOGRAPHIE***

La région d'étude (Ouest d' In Amenas) est située dans le bas Sahara oriental d'Algérie, sur la plateforme saharienne, dans le bassin d'Ilizi, près des frontières libyennes. La plateforme saharienne est constituée d'un socle précambrien recouvert de sédiments phanérozoïques transgressifs. Différents éléments tectoniques délimitent des bassins sédimentaires dans lesquels la litho stratigraphie est plus ou moins complète. Cette plateforme est située au Sud de l'Algérie alpine et appartient au Craton Nord-Africain. Elle comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structurée au paléozoïque en plusieurs bassins séparés par des zones hautes.



Les séries rencontrées, situées dans les sédiments du Mésozoïque, sont résumés dans le Tableau suivant :

**Tableau I.1** : Série de dépôts géologiques

<b>PROFONDEUR (M)</b>	<b>DEPOT GEOLOGIQUE</b>
<b>0-20</b>	Calcaire et dolomies du céno-manien
<b>20-177</b>	Argile et gypses
<b>177-243</b>	Argile et grès de la série d'In-Akamil
<b>243-268</b>	Argiles +sable + grès de la série du Taouratine supérieur
<b>268-283</b>	Argile + sable + grès de la série du Taouratine moyen
<b>283-400</b>	Argile + sable + grès de la série Taouratine inférieur

## **I.4 TYPOLOGIE DES RESERVOIR**

### **I.4.1 INTRODUCTION**

Le stockage massif des liquides, pour les différents produits rencontrer s'effectue principalement dans des réservoirs métalliques, de construction soudée installés à l'air libre et reposant sur le sol. Ces ouvrages sont de capacités fixes destinés au stockage de différents liquides : corrosif, inflammable et dangereux pour l'environnement en cas de perte de confinement.

Le stockage de ses produits consiste à immobiliser temporairement certains volumes des hydrocarbures dans des capacités de stockage appelées aussi appareils à pression ou réservoirs selon que le produit stocké ou n'est pas sous pression. Ces réservoirs de différente tailles et de différents matériaux tel que l'acier, le béton ou la fibre de verre, ainsi on trouve les réservoirs à toit fixe et flottant pour les carburants et les pétroles bruts, les sphères, et les cigares pour les gaz liquéfier, ainsi que les stockages cryogéniques pour G.N.L.

### **I.4.2 CONFIGURATION DES RESERVOIRS DE STOCKAGE**

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

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

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

Dans le domaine pétrolier, les réservoirs de pétrole brut par exemple dépassent de beaucoup ces limites. C'est ainsi que, sur le parc de certains terminaux de chargement du Moyen-Orient, il existe des réservoirs de 240000 m<sup>3</sup> et qu'il n'est pas rare, sur les terminaux de réception européens, de compter des réservoirs de 100 000 à 150 000 m<sup>3</sup> (Algérie il existe des réservoirs de 50 000 m<sup>3</sup> pour le pétrole et le condensât).

### ***1.4.3 ROLE DU STOCKAGE***

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

Le stockage doit être assuré aux différentes étapes du cheminement du pétrole, depuis les puits de production jusqu'aux lieux de consommation.

Les dépôts pétroliers importants se trouvent essentiellement sur les lieux de production du pétrole brut, aux extrémités des oléoducs, dans les terminaux de chargement et de déchargement du pétrole, à proximité des raffineries. Ces stockages concernent le pétrole brut, les charges, les coupes intermédiaires les produits finis avant expédition.

Les principales catégories de stockages regroupent :

- Les réservoirs de stockage à température ambiante : ils ont pour fonction de stocker les liquides. (Exemples de produits stockés: pétroles bruts, essences, kérosène, benzène, toluène...)
- Les réservoirs de stockage à température contrôlée sont réservés aux gaz liquéfiés dont la température au point normal d'ébullition (PNE) est inférieure à la température ambiante et qui, par conséquent, sont caractérisés par une forte pression effective à la température du site. (Exemples de produits stockés: propane, propylène, ammoniac, chlore, dioxyde de carbone, éthane, éthylène, etc.)
- Les silos sont destinés au stockage de produits pulvérulents et secs. (Exemples de produits stockés: grains, céréales, produits agro-alimentaires, ciments...)

### ***1.4.4 CLASSIFICATION DES RESERVOIRS DE STOCKAGES***

#### ***a) Réservoir de stockage à température ambiante***

Ceux-ci constituent la presque totalité des capacités qui forment les parcs de stockage, car, à l'évidence, ils représentent la solution logique et naturelle pour stocker les liquides. Les produits sont conservés dans l'état physique où la température du site les maintient.

Dans cette situation et en fonction de leur degré de volatilité, une pression de vapeur plus ou moins importante s'établit au-dessus du liquide. Lorsque celle-ci est inférieure à la Pression atmosphérique, aucune pression effective n'existe dans l'enceinte de stockage et l'on peut alors mettre en œuvre des réservoirs atmosphériques (I).

Les réservoirs sous pression concernent principalement les hydrocarbures liquéfiés, dont la pression de vapeur à 15°C est supérieure à 1 bar. Ces derniers se trouvent alors stockés sous leur propre tension de vapeur et la pression de stockage dépend uniquement :

- De la nature du produit.
- De la température de stockage.

Le plus souvent, les gaz liquéfiés sont stockés à la température ambiante. Pour ce mode de stockage différents types de capacités sont utilisés : Les sphères, Sphéroïdes et ballon.

### ✚ Les sphères

Elles représentent la forme idéale pour les stockages sous forte pression car c'est sur ce type de coque que le niveau des contraintes de membrane reste le plus faible. Elles permettent de réaliser économiquement des capacités importantes.

La forme sphérique permet de mieux utiliser la résistance de la tôle et d'obtenir un moindre coût de fabrication. Le remplissage et la vidange s'effectuent à la partie inférieure de la sphère par une conduite sur laquelle est monté en général un clapet hydraulique de sécurité. Des escaliers permettent l'exploitation des matériels tels que jauges manuelles, manomètres, événements, thermomètres, soupapes, situés au sommet. La protection incendie est assurée par des rampes de pulvérisation d'eau qui peuvent être éventuellement utilisées l'été comme rampe de réfrigération.

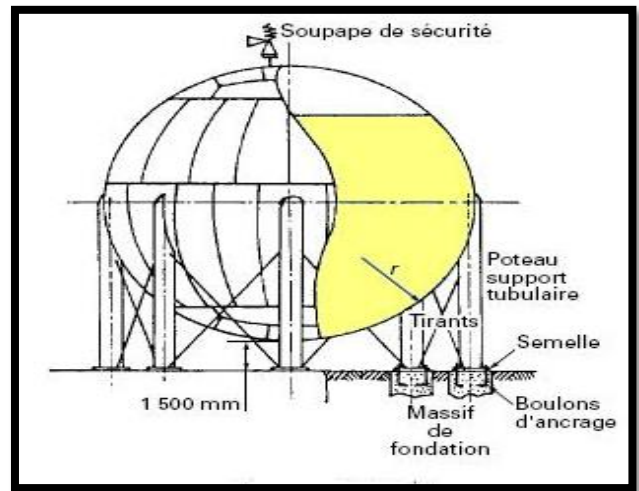


Figure I.4 : Sphères

### ✚ Les sphéroïdes

Ils sont utilisés comme moyen de stockage intermédiaire entre les réservoirs cylindriques verticaux sous faible pression et les ballons ou les sphères sous forte pression



Figure I.5 : Sphéroïde

### + Les ballons

Ils peuvent être aériens ou placés sous un talus de terre. Ils conviennent bien pour le stockage sous forte pression et c'est leur destination.



Figure I.6 : Ballon aérien

### b) Réservoirs de stockages à température contrôlées

Ce sont des réservoirs cylindriques verticaux à fond plat que l'on peut différencier par le type de couverture. La capacité maximale de ces réservoirs atmosphériques peut être très importante.

Elle est seulement limitée par la hauteur et le diamètre qu'il est possible de réaliser. Le choix de la hauteur est lié à la nature du terrain car les réservoirs reposent à même le sol. En tenant compte de la résistance moyenne des sols habituellement rencontrés, elle est le plus souvent comprise entre 14 et 22 m.

Ces réservoirs comprennent :

### + Les cuves ouvertes :

Elles ne comportent pas de toit et leur emploi est limité aux quelques liquides que l'on peut, sans danger pour leur qualité ou pour l'environnement, exposer à l'air libre. (Exemples de produits stockés : eau, incendie et industrielle, eau potable...).

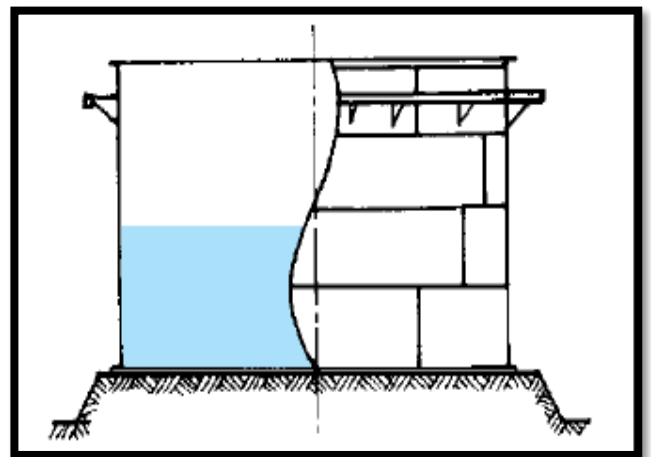


Figure I.7 : Cuves ouverte

### ✚ Les réservoirs à toit fixe

Le réservoir équipé d'un toit fixe du type conique, en ombrelle, ou en parasol, est le plus économique à installer. Le toit fixe est d'une construction simple et, selon la taille du réservoir, il peut être du type autoportant ou non.

Le toit autoportant conique à peu près la forme d'un cône droit très plat et n'est supporté qu'à sa périphérie. Il n'est utilisé que pour des réservoirs de petits diamètres. (Même remarque pour toits autoportants, en dôme, ombrelle ou parasol).

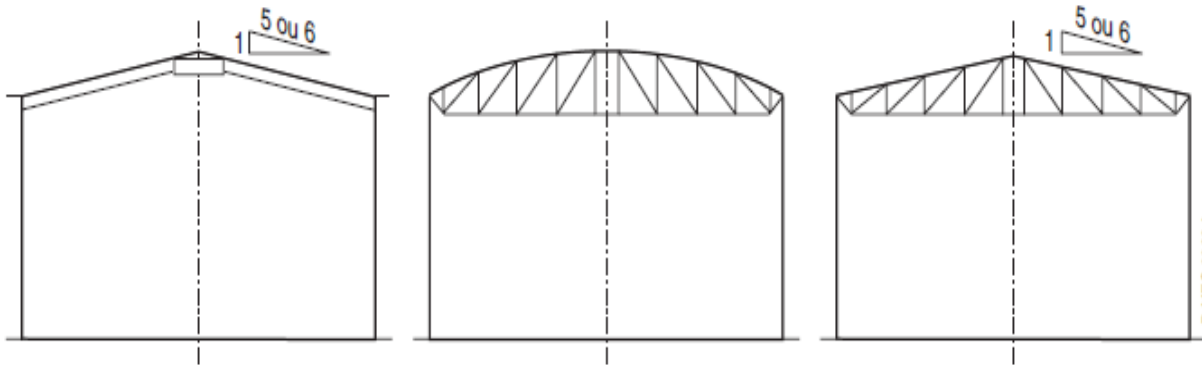


Figure I.8 : Toits fixe autoportant

Le toit conique supporté a approximativement la forme d'un cône. Les tôles du toit sont supportées par des profilés disposés en parapluie, supportés eux-mêmes par des profilés concentriques reposant sur des rangées de poteaux intérieurs. Plus le réservoir est grand, plus il faut de rangées de poteaux pour supporter le toit.

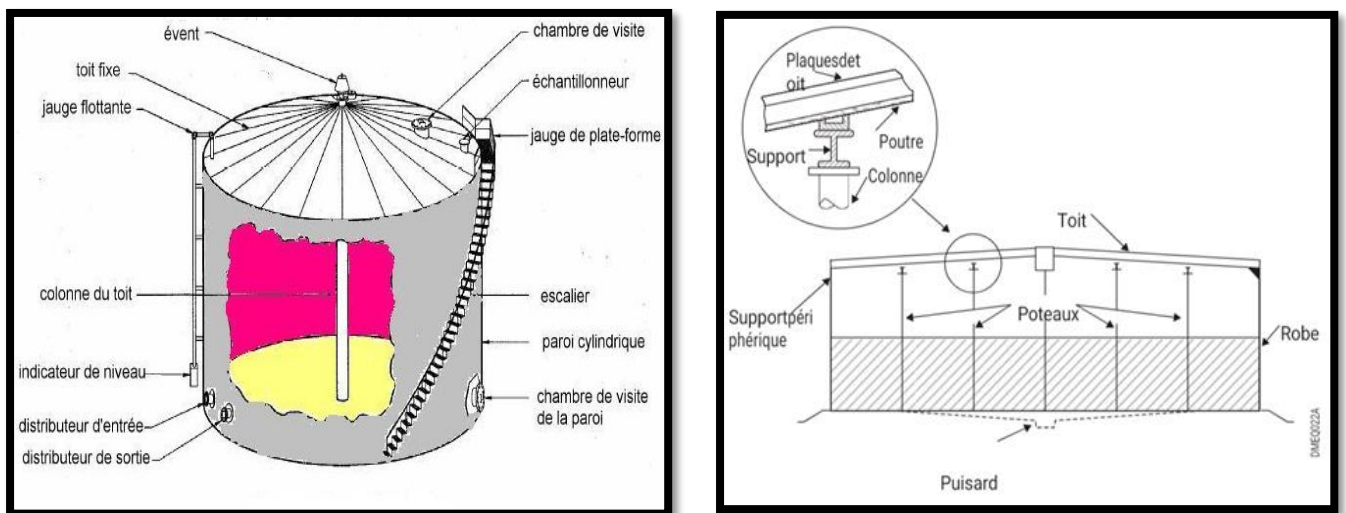


Figure I.9 : Réservoirs à toit fixe

### ✚ Les réservoirs à toit flottant

Le toit flottant permet d'éviter la présence d'un ciel gazeux qui est une source de pertes de produits pour les réservoirs à toit fixe. Le toit flottant est posé directement sur la surface du liquide.

Le surcoût entraîné par la construction du toit flottant est compensé par les gains réalisés de par la préservation du stock. De plus, il limite la pollution atmosphérique, comme l'exige la réglementation.

Les réservoirs à toit flottant sont principalement utilisés pour le stockage de liquides volatiles, dont la tension de vapeur absolue à température ambiante est comprise entre 0.1 et 0.75 Pa où dont le point éclair est inférieur à 55°C. Tel est le cas des pétroles bruts, des naphthas, des diverses essences et carburants.

Le toit flottant est un disque mobile qui flotte sur le liquide en suivant les mouvements de descente et de montée du produit. Pour permettre ces déplacements, un espace annulaire libre existe entre le toit et la robe du réservoir. Cet espace est obturé par un système d'étanchéité déformante qui permet au toit de coulisser sans contrainte à l'intérieur de la robe.

Ces toits sont exposés aux intempéries et doivent donc être conçus pour résister aux effets du vent, de la pluie et de la neige. Ils sont calculés sur un liquide de 70 kg/m<sup>3</sup> de masse Volumique, en supportant une charge d'eaux pluviales correspondant à une chute de 250 mm pendant 24 h, en supposant que le système de drainage est inopérant. Lorsque le toit est au repos sur le fond du réservoir, il doit pouvoir soutenir une surcharge de 120 daN/m<sup>2</sup> sans accumulation d'eau.

Il y a deux types de toi flottant : à simple pont ou à double pont.

- **Toit flottant à simple pont**

Ils sont constitués par une membrane circulaire centrale, appelée pont, qui repose directement sur le liquide stocké et qui est bordée sur sa périphérie par un caisson annulaire. Ce caisson est lui-même annulaire et divisé, par des cloisons radiales, en compartiments étanches au liquide. Le but de ces compartiments est d'assurer la flottabilité de la structure, en service normal, en cas d'accumulation d'eau ou de pluie sur le pont ou lors d'une éventuelle crevaison du pont.

La surface du caisson représente environ 20 à 25% de la surface, sauf sur les petits réservoirs où elle peut atteindre 35%. La partie inférieure du caisson peut être horizontale mais elle est le plus souvent réalisée avec une pente. Cette pente est alors orientée vers le haut, pour diriger et piéger sous le pont central les vapeurs émises par le produit, lorsque la température extérieure augmente.

La flexibilité du pont central permet ainsi à ces vapeurs de former un dôme gazeux qui agit ensuite comme un isolant au-dessus du liquide. La partie supérieure du caisson a une pente inverse qui draine les eaux de pluie vers le pont central, à partir duquel elles sont ensuite évacuées à l'extérieur du réservoir. Le drainage se fait par le centre du pont au moyen d'une canalisation flexible ou articulée, placée sous le toit flottant, et qui chemine dans le produit jusqu'à une canalisation située au bas de la robe.

Le pont central est réalisé à l'aide de tôles rectangulaires, avec une épaisseur minimale de 5 mm, assemblées par recouvrement et soudées sur leur face supérieure.

Le toit flottant comporte une série de supports tubulaires (béquilles) disposés régulièrement sur le caisson annulaire et sur le pont central. Ils servent à poser le toit flottant sur le fond du réservoir.

Les toits flottants à simple pont sont utilisés pour les réservoirs de 15 à 100 m de diamètre.

## Chapitre I : Présentation du cadre d'étude

Ils sont plus légers et plus économiques que les toits flottants doubles pont.

Cependant, ils sont plus sensibles aux effets du vent.

Deux variantes ont été développées :

- Toit flottant simple pont avec caisson central : un caisson de flottabilité cylindrique est installé au centre du pont central,
- Toit flottant simple pont avec bouées multiples : c'est un ensemble de petits caissons fermés, cylindriques ou cubiques disposés au-dessus du pont et sur toute sa surface selon une maille régulière.

L'objectif de ces variantes est de réaliser une structure plus économique, obtenue par une réduction de la largeur du caisson.

L'inconvénient principal provient du drainage des eaux qui est plus difficile. Il peut apparaître des problèmes de corrosion sur le pont.

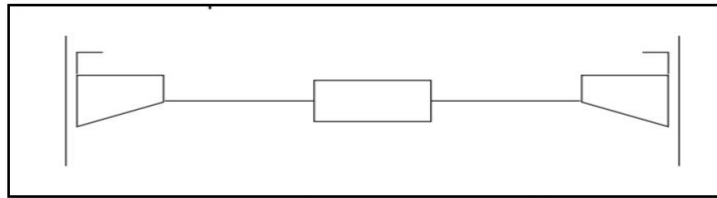


Figure I.10 : Type ponton annulaire Les caissons recouvrent jusqu'à 50 % de la surface du liquide

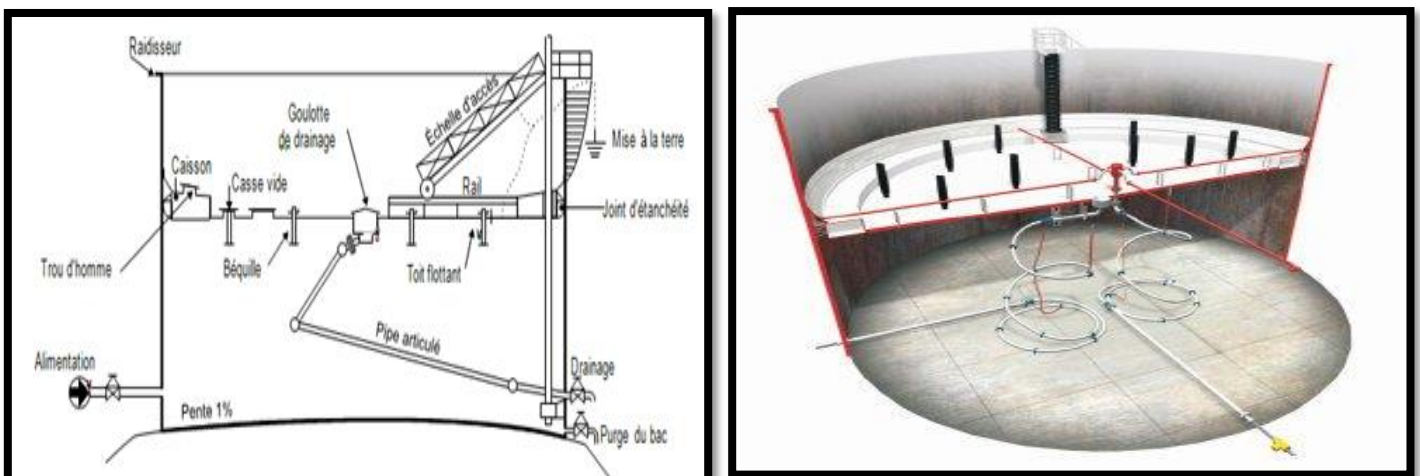


Figure I.11 : Réservoirs à toit flottant simple pont

- **Toit flottant à double pont**

Ils sont constitués de deux voiles circulaires en tôle, le pont inférieur étant en contact avec le liquide et le pont supérieur. Ces ponts sont séparés par une série de couronnes concentriques verticales formant des caissons de flottaison étanche au liquide. Le caisson annulaire extérieur est de plus divisé en compartiments par des cloisons radiales, qui sont également étanches au liquide.

Le pont inférieur est le plus souvent plat, mais il peut être construit avec une légère forme conique dirigée vers le haut. Quelle que soit sa configuration, le toit à double pont possède une capacité de déformation suffisante pour piéger les évaporations au centre du toit.

## Chapitre I : Présentation du cadre d'étude

Les effets de la température extérieure sont aussi bien moindres sur ce toit, car le matelas d'air entre les deux ponts constitue une bonne isolation thermique.

Le pont supérieur est posé sur des chevrons en profilés, installés radialement entre les couronnes concentriques qui séparent les deux ponts. Il comporte une pente qui favorise le drainage des eaux vers le centre du toit. Pour les toits de diamètre supérieur à 60 m, le pont supérieur est souvent réalisé avec un profil conique à deux pentes opposées, de façon à limiter la hauteur de la couronne extérieure sur laquelle est fixé le joint d'étanchéité. Dans ce cas, le point bas de collecte des eaux se situe sur un cercle intermédiaire où l'on installe trois systèmes de drainage, identiques à ceux qui sont installés sur les toits à simple pont.

Les toits flottants à double pont sont habituellement équipés de drains de secours qui permettent, en agissant comme des trop-pleins (évacuation d'eau dans le produit), de limiter la charge sur le toit. L'utilisation de ces trop-pleins, réalisés par de simples tubes ouverts traversant les deux ponts, n'est pas envisageable sur les toits flottants à simple pont à cause de la trop grande déformation du pont central sous la charge, qui ne permet pas l'installation de ces accessoires.

L'équipement des toits à double pont comprend aussi un ensemble de pieds supports tubulaires.

Les toits flottants à double pont sont employés pour les réservoirs dont le diamètre est compris entre 15 et 125 m.

La surface lisse du pont supérieur permet un entretien plus facile, une meilleure résistance à la corrosion et une prise au vent plus faible. La couche d'air emprisonnée entre les deux ponts est un bon isolant. L'augmentation de la température de surface du liquide stocké, au contact du toit flottant exposé au soleil, est inférieure d'environ 10°C. Sur le double pont par

Rapport au simple pont. De plus, sous des climats très froids, cet espace permet l'installation d'une isolation thermique.

Enfin, la possibilité d'évacuer le trop-plein d'eau peut constituer une solution avantageuse pour les régions connaissant des pluies torrentielles.

Son coût est plus élevé que le simple.

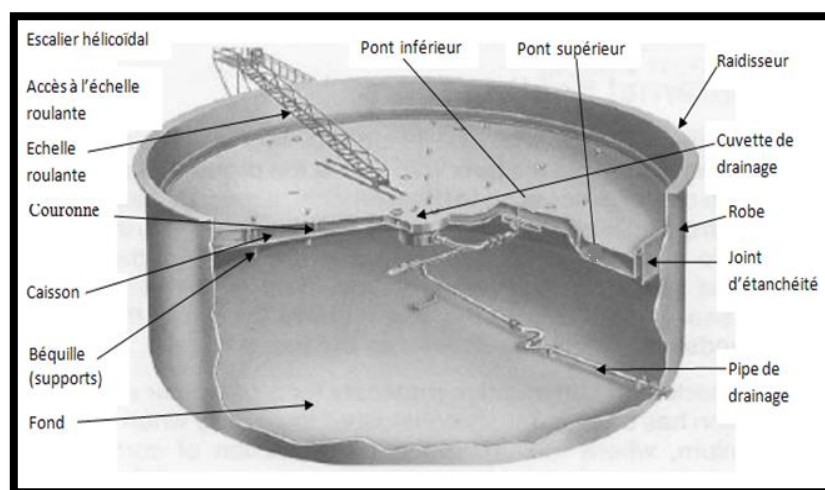
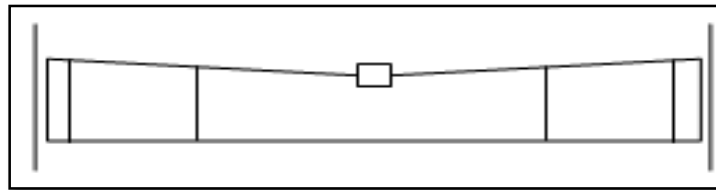


Figure I.11 : Réservoir à toit flottant double pont

Le toit à double pont est constitué par 2 couches de tôle d'acier, séparées par un espace vide d'environ 40 cm compartimenté en caissons indépendants renforçant la structure du toit.



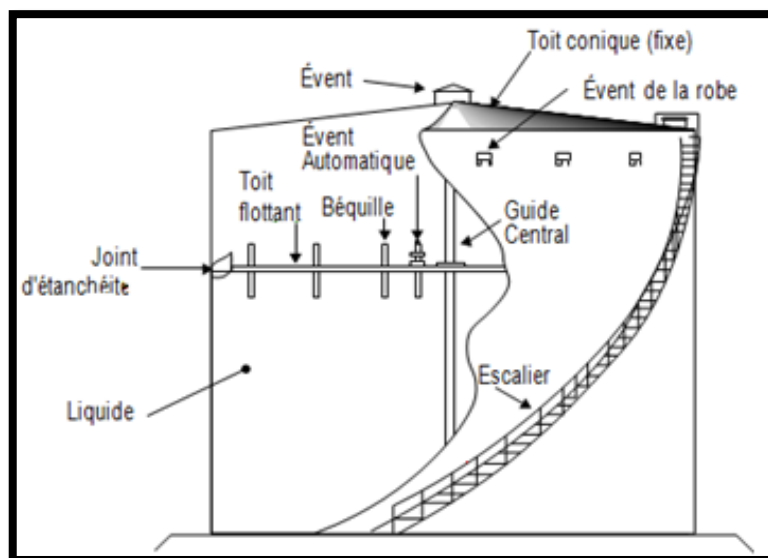
**Figure I.11 :** Type double pont, Le caisson recouvre toute la surface du réservoir

### ✚ Réservoirs à toit flottant interne

Les réservoirs à toit flottant interne sont des réservoirs à toit fixe, dans lesquels est installé un toit flottant simplifié, également désigné sous l'appellation d'**écran flottant**.

Le toit fixe peut être soit du type supporté, avec des poteaux verticaux à l'intérieur du réservoir, soit du type autoportant sans poteau. Lorsque la structure comporte des poteaux, il est recommandé que ces poteaux soient de section tubulaire pour faciliter les déplacements du toit et la réalisation de l'étanchéité des puits.

Des événements sont installés à intervalles réguliers au sommet de la robe ou en périphérie du toit, pour permettre une circulation d'air dans l'espace compris entre l'écran flottant et le toit. Ils empêchent la formation éventuelle d'un mélange air-vapeur inflammable ou dangereux au-dessus du toit flottant. Cependant, **sur les stockages de produits toxiques** où l'on désire éviter, les émissions vers l'atmosphère, **ces événements sont supprimés** et la respiration de cet espace s'effectue en circuit fermé, le plus souvent sous gaz neutre.



**Figure I.12 :** Toit flottant interne dans un réservoir à toit fixe

### ***I.4.5 CHOIX DU RESERVOIR DE STOCKAGE***

La définition des hypothèses du choix d'un réservoir de stockage se passe par :

➤ **Conditions du site :**

Selon l'emplacement du réservoir, il y a des normes de vent et de séisme relatif à chaque pays à chaque région qui définit la zone, la pression du vent et du séisme et la classe de l'ouvrage.

➤ **Condition de service :**

Les conditions de service englobent la densité du produit la température, la pression, la dépression, la surpression qui émanent de l'exploitation finale.

➤ **Géométrie du réservoir :**

La description de la géométrie du réservoir se fait à partir du cahier des charges du client ou à partir d'un besoin client bien exprimé qui contient un plan de détail du réservoir ou simplement à partir des données géométrique voulu.

### ***I.4.6 TERMONOLOGIE CONCERNANT LES RESERVOIRS DE STOCKAGE***

**Robe :** partie cylindrique de l'enveloppe.

**Fond :** partie inférieur de l'enveloppe formant la base de la robe.

**Toit-couverture :** partie supérieur de l'enveloppe (couverture et charpente qui la porte)

**Charpente :** raidisseur, fermes, longrines et chevrons portant la couverture.

**Virole :** de la robe correspondant à la hauteur d'une tôle. Le numérotage des viroles s'effectue du bas vers le haut

**Cornière de tête (ou de rive) :** liaison entre robe et couverture.

**Joint :** liaison entre 2 tôles, entre profilé et tôle et 2 profilés

**Soudure :** apport de métal assurant le joint.

## Chapitre II : Evolution des actions



MASTER 2 CM  
UMMTO 2020/2021

### II.1 Exposer de la méthode de calcul

#### II.1.1 Introduction

Le présent document fournit les procédures et principes généraux pour la détermination des actions agissant sur l'ensemble d'une construction et sur ses différentes parties. Le document est fondé sur une approche probabiliste : les actions normales et extrêmes des règles (RNV2013) et (EUROCODE 1) sont remplacés par le concept unique d'action caractéristique définie par référence à un zonage territorial lié aux spécificités climatiques locales. Le règlement découle principalement du règlement européen unifié (EUROCODE 1) qui est cohérent avec les méthodes aux états limites.

#### II.1.2 Domaine d'application :

Le présent règlement s'applique aux constructions suivantes dont la hauteur est inférieure à 200 m.

- Bâtiments à usage d'habitation, administratifs, scolaires, industriel, etc....
- Cheminées et ouvrages similaires.
- Ouvrages de stockages (réservoirs, châteaux d'eau, silos, etc.
- Structures verticales en treillis (pylônes, grues, échafaudages, etc....

#### II.2 Action permanente :

##### II.1.2.1 Définition

L'architecture dessine l'intérieur et l'extérieur d'une construction et envoie les plans à un bureau d'étude. Le travail de ce bureau d'étude est alors de définir à partir de ces plans, tous les éléments de la construction.

Les actions permanentes, comprenant les poids des éléments de la construction

Les éléments utilisés dans ces constructions servent alors à :

- ✓ à assurer la solidité de l'ouvrage :
  - par rapport au séisme, vent, etc....
  - sans déformations excessives,
- ✓ et à transmettre les charges aux fondations

##### II.1.2.2 Élément du système

Un réservoir de stockage est constitué de 3 parties essentielles qui sont : le toit, le fond et la robe.

On détermine le poids propre  $P$  en N ou en kN de tous les éléments de ce réservoir en utilisant les tableaux en ANNEX 1, ANNEX 2, ANNEX 3 et on obtient les résultats suivants :

#### ➤ Calcul du poids de l'ouvrage

- Poids de toiture  $\rightarrow W_t = 3238,75 \text{ kN}$
- Poids de robe  $\rightarrow W_{rb} = 3024,089 \text{ kN}$
- Poids du fond  $\rightarrow W_f = 1890,008 \text{ kN}$

- Poids total du réservoir à l'état vide →  $W_1 = 8152,842 \text{ kN}$

### II.3 Action d'exploitation :

La surcharge d'exploitation considérée est celle de l'ouvrier, de  $100 \text{ Kg/m}^2$  : et elle est déterminée par le D.T.R.B.C.2.2.

### II.4 Action exercées par le vent : (RNV 2013, §2.6)

#### II.4.1 Calcul des forces à l'aide des coefficients de forces :

Les forces exercées par le vent  $F_w$  agissant sur une construction ou un élément de construction peut être déterminé à l'aide des coefficients de force  $C_f$  selon l'expression suivante :

$$F_w = c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \times A_{réf}$$

Avec :

$q_p(z_e)$  en ( $\text{daN/m}^2$ ) : pression dynamique de pointe à la hauteur  $z_e$

$C_f$  : est le coefficient de force applicable à la construction ou à l'élément de construction.

$A_{réf}$  (en  $\text{m}^2$ ) : l'air de référence (air d'influence de l'élément considéré)

$C_d$  : coefficient dynamique

#### II.4.2 Pression aérodynamique du vent : (RNV 2013, §2.5)

La pression aérodynamique  $W_e$  agissant sur les parois extérieures en ( $\text{daN/m}^2$ ) à la hauteur  $z_e$  est donnée par les formules suivantes :

$$W_{eff} = F_w / A_{ref}$$

### Note complémentaires:

- La pression effective  $W_{eff}$  convient aux vérifications globales de la structure selon la méthode de coefficient de force. Elle n'est pas appropriée pour les vérifications locales d'élément de structure, tel que l'enveloppe du cylindre. Pour ce dernier cas, la pression appropriée du vent sur les surfaces locales doit être estimée en fonction des coefficients de pression externe pertinents, comme spécifié dans l'EN1991-1-4§7.9.1.
- Les effets calculés de l'action du vent sont des valeurs caractéristiques (non pondérées) il convient d'appliquer des facteurs de charge appropriés pour la situation de projet pertinente. Pour les vérifications ELU, le facteur de charge partielle  $\gamma_q=1,5$  est applicable pour les actions variables selon EN1990.

### II.4.3 Valeur de la pression dynamique de référence $q_{ref}$ : (RNV 2013, §2.3.1)

La pression dynamique de référence  $q_{ref}$  est proportionnelle au carré de vitesse de référence (vitesse moyenne sur 10 mn, mesurée à 10 m de hauteur, sur un terrain de type rase compagne) est donnée pour les constructions permanentes par le tableau 1 ci-dessous en fonction de la zone du vent

**Tableau II.1:** Pression dynamique de référence

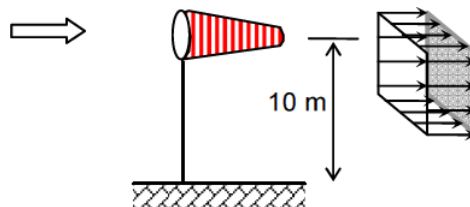
Zone	$q_{ref}$ (daN / m <sup>2</sup> )
I	37,5
II	43,5
III	50,0
IV	57,5

#### Remarque :

$q_{ref}$  en (daN/m<sup>2</sup>) : est calculée par la formule de Bernoulli suivante :

$q_{ref} = (0,5 \times \rho \times v^2)_{ref}$  ou  $V_{ref}$  en (m/s) est la vitesse de référence du vent et  $\rho = 1.20 \text{ kg/m}^3$  est la masse volumique de l'air adoptée pour l'Algérie.

La vitesse de référence du vent correspond à la vitesse moyenne sur 10 minutes observée à 10 m au-dessus du sol en terrain dégagé.



Pour les constructions temporaires (durée d'utilisation inférieure à 5 ans) ; la pression dynamique de référence du tableau 1 est réduite de 28 % (ce qui correspond à une réduction de 15 % de la vitesse de référence).

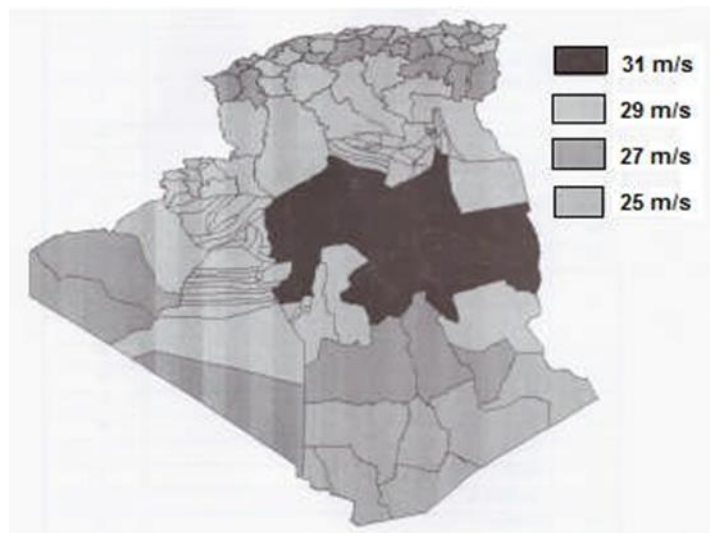
### II.4.4 Zone du vent : ((RNV2013 ANNEX 1)

Quatre zones de vent ont été définies (I, II, III, IV). Les valeurs de la vitesse de référence correspondante à chaque zone sont présentées dans le tableau II.2.

**Tableau II.2:** Valeurs de la vitesse de référence du vent

Zone	$V_{réf}$ (m / s)
<b>I</b>	<b>25</b>
<b>II</b>	<b>27</b>
<b>III</b>	<b>29</b>
<b>IV</b>	<b>31</b>

La carte RNV 2013 montrée sur la figure II.1 et le tableau II.3, découpe l'Algérie en 4 régions, avec des vitesses de vent allant de 25 m/s à 31 m/s par palier de 2 m/s.



**Figure II.1 :** Carte de la valeur de base de la vitesse de référence en Algérie.

**Tableau II.3 :** Classifications des zones du vent en Algérie

Ordre	Wilayas	Zone	Ordre	Wilayas	Zone
01	ADRAR	II	25	CONSTANTINE	I
02	CHLEF	I	26	MEDEA	I
03	LAGHOUAT	III	27	MOSTAGANEM	I
04	OUM EL BOUAGHI	I	28	M'SILA	III
05	BATNA	I	29	MASCARA	I
06	BEDJAIA	I	30	OUARGLA	II
07	BISKRA	I	31	ORAN	I
08	BECHAR	II	32	EL-BAYADH	II
09	BLIDA	I	33	ILLIZI	I

Ordre	Wilayas	Zone	Ordre	Wilayas	Zone
10	BOUIRA	I	34	B. B. ARRERIDJ	I
11	TAMANRASSET	I	35	BOUMERDES	I
12	TEBESSA	I	36	EL TARF	I
13	TLEMCEN	I	37	TINDOUF	II
14	TIARET	II	38	TISSEMSILT	I
15	TIZI OUZOU	I	39	EL OUED	I
16	ALGER	I	40	KHENCHELA	I
17	DJELFA	III	41	SOUK AHRAS	I
18	JIJEL	I	42	TIPAZA	I
19	SETIF	I	43	MILA	I
20	SAIDA	I	44	AIN DEFLA	I
21	SKIKDA	I	45	NAAMA	II
22	SIDI BEL ABBES	I	46	A.TIMOUCHEM	I
23	ANABA	I	47	GHARDIA	II
24	GUELMA	I	48	RELIZANE	I

#### II.4.5 Pression dynamique de pointe : (EN1991-1-4, §1.4.5)

##### ➤ Pression de vitesse de base :

La pression de vitesse de base  $q_b$  est la pression correspondant à la quantité de mouvement du vent déterminée à la vitesse de vent de base  $V_b$ . La pression dynamique de base est calculée selon la relation fondamentale suivante, comme spécifié dans la norme EN1991-1-4 §4.5(1)

$$q_b = (1/2) \times \rho \times V_b^2$$

##### ➤ Pression de vitesse maximale

Il y a lieu de déterminer la pression dynamique de pointe  $q_p(Z)$  à la hauteur  $Z$ , qui est induite par la vitesse moyenne et les fluctuations rapides de vitesse. Il est déterminé selon EN1991-1-4 équation 4.8:

$$q_p(Z_e) = [(1 + 7 \times I_v(Z_e)) \times (1/2) \times \rho \times V_m(Z_e)^2]$$

Où :

$\rho$  : est la masse volumique de l'air, qui dépend de l'altitude, de la température et de la pression atmosphérique prévues dans la région lors des tempêtes

$C_e(z)$  : est le coefficient d'exposition indiqué dans l'expression suivante :

$$C_e(Z_e) = q_p(Z_e) / q_b$$

➤ **Vitesse du vent correspondant à la pression de vitesse maximal:**

La vitesse de vent de point  $V(Z_e)$  à la hauteur de référence  $Z_e$  est la vitesse du vent correspondant à la pression de vitesse de pointe  $q_p(Z_e)$ . Il est calculé selon la relation fondamentale suivante, comme spécifié dans EN1991-14§4.5(1):

$$V(Z_e) = [2 \times q_p(Z_e) / \rho]^{0.5}$$

**II.4.6 Coefficient de rugosité : (RNV 2013, §2.4.5)**

Le coefficient de rugosité  $C_r$  traduit l'influence de la rugosité et de la hauteur sur la vitesse moyenne du vent. La rugosité du sol engendre des frottements qui ralentissent le vent à basse altitude. Il est défini par la loi suivante : (RNV 2013 §2.4.4)

$$C_r(z) = K_T \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{si} \quad z_{\min} \leq z \leq 200 \text{ m}$$

$$C_r(z) = K_T \times \ln\left(\frac{z_{\min}}{z_0}\right) \quad \text{si} \quad z < z_{\min}$$

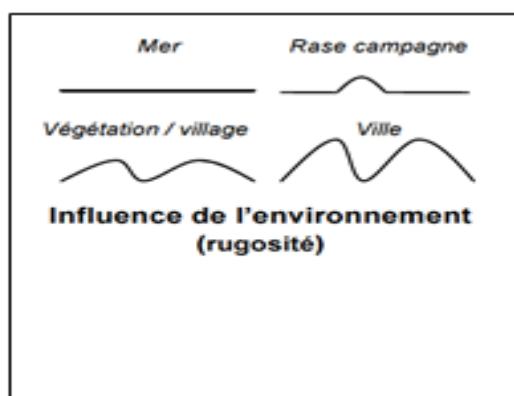
Avec :

$K_T$ : Facteur de terrain.

$z_0$  : Paramètre de rugosité.

$z_{\min}$  : Hauteur minimale.

$z$  : hauteur considéré



La rugosité du sol, ralenti le vent à faible altitude.

**II.4.7 Coefficient de topographie : (RNV 2013, §2.4.5)**

Le coefficient de topographie  $C_t$  prend en compte l'accroissement de la vitesse du vent lorsque celui-ci souffle sur des obstacles tels que les collines, les dénivellations isolées, etc. Voir le règlement (RNV 2013 §2.4.5 p.54) pour plus de précision.

Pour des raisons pratiques et de simplicité on peut utiliser les valeurs données dans le tableau II.4 ci-dessous en fonction de la nature du site

**Tableau II.4 : Coefficients de topographie**

Site	$C_t$
Site plat	1
Site aux alentours des vallées et oueds sans effet d'entonnoir	1
Site aux alentours des vallées avec effet d'entonnoir	1.3
Site aux alentours des plateaux	1.15
Site aux alentours des collines	1.15
Site montagneux	1.5

**II.4.8 Intensité de turbulence : (RNV 2013, §2.4.6)**

L'intensité de la turbulence est définie comme étant l'écart type de la turbulence divisée par la vitesse moyenne du vent et est donné par la relation :

$$I_v (Z) = \frac{1}{C_t (Z) \times \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right)} \quad \text{pour } Z > Z_{\min}$$

$$I_v (Z) = \frac{1}{C_t (Z) \times \ln \left( \frac{Z_{\min}}{Z_0} \right)} \quad \text{pour } Z < Z_{\min}$$

Avec :

$C_t$  : coefficient topographique

$Z_0$  : paramètre de rugosité ;  $Z_{\min}$  : hauteur min

**II.4.9 Facteurs de site : (RNV 2013, §2.4.3)**

➤ **Catégories de terrain :**

Les catégories de terrain sont données dans le tableau 4 ci-dessous ainsi que les valeurs des paramètres suivants : (RNV 2013 §2.4.3)

$K_T$  : facteur du terrain.

$Z_0$  (en m) : paramètre de rugosité.

$Z_{\min}$  (en m) ; hauteur minimale.

$\varepsilon$  : coefficient utilisé pour le calcul du coefficient dynamique  $C_d$ .

**Remarque :**

Lorsqu'il subsiste un doute quant au choix entre deux catégories de terrain, il ya lieu de retenir celui pour lequel les valeurs des paramètres associés sont les plus défavorables (catégorie de terrain la plus faible dans l'échelle de 0 à IV)

$K_T$  : facteur du terrain dépendant de la longueur de rugosité  $Z_0$  et peut être calculée par la formule suivante :  $K_T = 0,19 \left( \frac{Z_0}{Z_{0,II}} \right)^{0,07}$

Avec :  $Z_{0,II} = 0.05\text{m}$  longueur de longueur de rugosité pour le terrain de catégorie II.

**Tableau II.5 : Catégories de terrain**

Catégorie de terrain	$K_T$	$Z_0$ (m)	$Z_{\min}$ (m)	$\varepsilon$
0 mer, ou zone côtière exposée aux vents de mer.	0.156	0.003	1	0.38
I Lacs ou zone plate et horizontale à végétation négligeable et libre de tout obstacle.	0.170	0.01	1	0.44

### II

Zone à végétation basse telle que l'herbe, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments) séparés les uns des autres d'au moins de 20 fois leur hauteur.

**0.190 0.05 2 0.52**

### III

Zones à couverture végétale régulière ou des bâtiments, ou avec des obstacles isolés séparés d'au plus de 20 fois leur hauteur (par exemple des villages, des zones suburbaines, des forêts permanentes).

**0.215 0.3 5 0.61**

### IV

Zones urbaines dont au moins 15% de la surface est occupée par des bâtiments de hauteur moyenne supérieure à 15 m.

**0.234 1 10 0.67**

#### II.4.10 Calcul du coefficient dynamique $C_d$ : (RNV 2013, §3)

Le coefficient dynamique  $C_d$  tient compte des effets de réduction dus à l'imparfaite corrélation des pressions exercées sur les parois ainsi que des effets d'amplification dus à la partie de turbulence ayant une fréquence proche de la fréquence fondamentale d'oscillation de la structure.

##### ➤ Valeur simplifiée:

Une valeur conservatrice de  $C_d = 1.0$  peut être considérée dans les cas suivants:

- Bâtiment dont la hauteur est inférieure à 15 m;
- Eléments de façade et de toiture dont la fréquence propre est inférieure à 5 Hz;
- Bâtiment à ossature comportant des murs, dont la hauteur est à la fois inférieure à 100 m et à 4 fois la dimension du bâtiment mesurée dans la direction perpendiculaire à la direction du vent;
- Cheminée à section transversale circulaire dont la hauteur est inférieure à 60 m et à 6.5 fois le diamètre.

#### II.4.11 Calcul du coefficient de force $C_f$ : (EN1991-1-4, §1.7.8)

Le coefficient de force (ou de traînée)  $C_f$  est à utiliser lorsque l'on veut calculer la force globale due au vent sur une structure. Ce coefficient est donné pour différents types de forme de construction : section rectangulaire, section polygonale régulière, section cylindrique, structures en treillis et échafaudages, drapeaux et panneaux publicitaires.

$$C_f = C_{f,0} \times \psi_\lambda$$

##### ➤ Le facteur d'effet final $\psi_\lambda$ :

Le facteur d'effet final  $\psi_\lambda$  prend en compte la résistance réduite de la structure due au flux de vent autour de l'extrémité (effet final). La valeur de  $\psi_\lambda$  est calculée conformément à la norme EN1991-1-4 §7.13. Pour les structures solides (c'est-à-dire rapport de solidité du ration  $\phi = 1$

la valeur du facteur d'effet final  $\psi_\lambda$  est déterminée à partir de la figure 7.36 de la norme EN1991-1-4 en fonction de l'élanement  $\lambda$ .

➤ **L'élanement effectif  $\lambda$  :**

Il dépend du rapport d'aspect et de la position de la structure et il est donné dans l'EN1991-1-4 §7.13(2)

Pour les cylindres circulaires de longueur  $l \geq 15$  m l'élanement effectif  $\lambda$  est égal à :

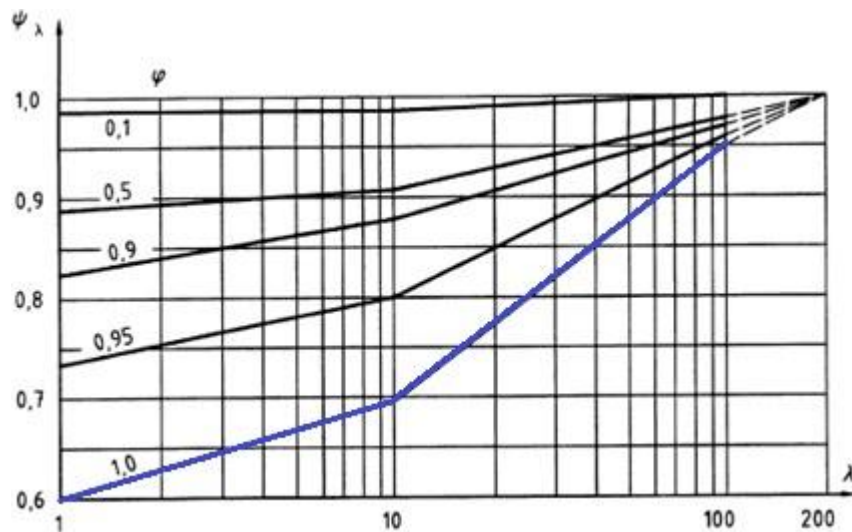
$$\lambda_{15} = \min (l / b, 70)$$

Pour les cylindres circulaires de longueur  $l \geq 50$  m l'élanement effectif  $\lambda$  est égal à :

$$\lambda_{50} = \min (0.7 \times l / b, 70)$$

Pour les cylindres circulaires de longueur intermédiaire  $15 \text{ m} < l < 50 \text{ m}$ , l'élanement effectif  $\lambda$  est calculé par interpolation linéaire :

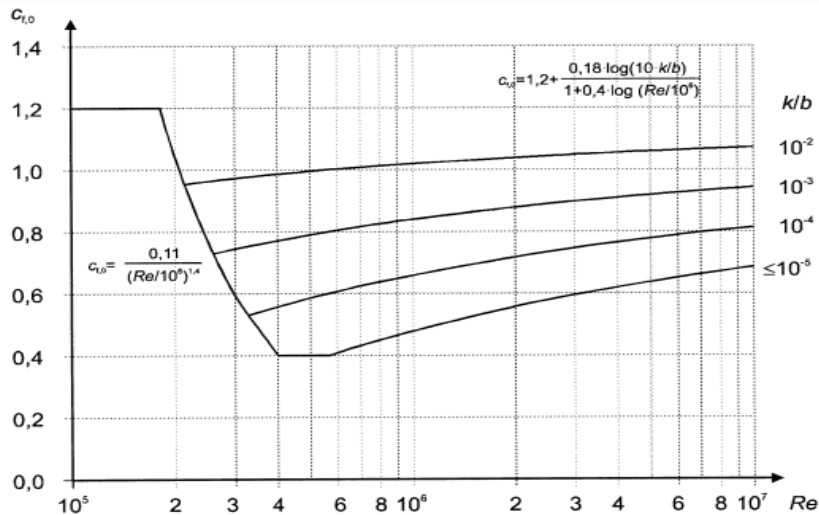
$$\lambda = \lambda_{15} + (\lambda_{50} - \lambda_{15}) \cdot (l - 15 \text{ m}) / (50 \text{ m} - 15 \text{ m})$$



**Figure II.2 :** Valeurs du facteur d'élanement  $\psi_\lambda$ , en fonction de l'élanement  $\lambda$ , et de l'opacité de la construction

➤ **Coefficient de force sans écoulement libre :**

Pour les cylindres circulaires le coefficient de force sans écoulement libre  $C_{f,0}$  dépend du nombre de Reynolds  $Re$  et la rugosité de surface équivalente normalisée  $k/b$ .



**Figure II.3 :** Coefficient de force  $C_{f,0}$  des cylindres à base circulaire sans écoulement de contournement d'extrémités et pour différentes rugosités équivalentes  $k/b$ .

➤ **Nombre de Reynolds:**

Le nombre de Reynolds caractérise le flux d'air autour de l'objet.

Pour le flux d'air autour des objet cylindriques, le nombre de Reynolds est calculé conformément à la norme EN1991-1-4§7.9.1(1):

$$Re = b * V (Z_e) / \nu$$

Où la viscosité cinématique de l'air est considérée comme  $\nu = 15.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  conformément à la norme EN1991-1-4§7.9.1(1).

➤ **Rugosité de surface équivalente:**

La rugosité de surface équivalente  $K$  dépend du type de surface et c'est mentionner dans l'EN1991-1-4 ce tableau:

**Tableau II.6 :** Rugosité de surface équivalente  $k$

Type de surface	Rugosité équivalente $k$ [mm]	Type de surface	Rugosité équivalente $k$ [mm]
Verre	0.0015	Béton lisse	0.2
Métal poli	0.002	Bois raboté	0.5
Peinture lisse	0.006	Béton brut	1
Peinture appliquée au pistolet	0.02	Bois brut	2
Acier (produits clairs)	0.05	Rouille	2
Fonte	0.2	Maçonnerie de brique	3
Acier galvanisé	0.2		

**II.5 Action du sable dans la Zone D :**

D'après (RNV2013§7.1), la charge du sable résulte d'accumulation des grains de sable, déposée par le vent sur les toitures et autres parties non couvertes des planchers. Les valeurs des charges données ci-après seront considérées comme variables à la charge de neige.

D'après (RNV2013§7.2.1), dans le cas des toitures plates ou à faible pente (pente inférieur à 5%) la charge de sable doit être prise en compte sous forme d'une charge uniformément répartie tel que cité dans le tableau 5 de RNV2013.

**Tableau II.7 : Charge de sable dans la zone D**

Wilaya	Commune	Charge uniformément répartie (N/m <sup>2</sup> )	q <sub>1</sub> (kN/m)	q <sub>2</sub> (kN/m)
<b>ADRAR</b>	Adrar	0,20	0,30	0,40
	Timimoun			
	Reggane			
	Aoulef	0,15	0,25	0,35
	Bourdj Badji Moukhtar			
<b>LAGHOUAT</b>	Laghouat			
	Hassi R'mel			
	Ain Mahi	0,10	0,20	0,30
	Sidi Makhlouf			
	Ksar El-Hiram			
<b>BECHAR</b>	Aflou			
	Brida			
	Gueltat Sidi-Saad			
	Oued Merra			
	El Ghicha			
<b>TAMENGHASSET</b>	Bechar			
	Abadla	0,15	0,25	0,35
	Kenadsa			
	Benni-Ounif			
	Benni-Abbas			
	Igli			
	Tabelbala			
	Ouled Khedir	0,20	0,30	0,40
Kerzaz				
<b>TAMENGHASSET</b>	El-Ouara			
	Taghit			
	Tamenghasset			
	Silet	0,10	0,20	0,30
	Tazroul			
<b>TAMENGHASSET</b>	Ain-Salah			
	IN-Ghar	0,20	0,30	0,35
	IN-Guezzam			
	Tin-Zaouatine			

## Chapitre II : Evolution des actions

<b>OUARGLA</b>	Ouargla	0,20	0,30	0,40
	Tougourt			
	Le reste de la wilaya	0,25	0,30	0,50
<b>ILLIZI</b>	Illizi	0,15	0,25	0,35
	In-Amenas	0,20	0,30	0,40
	Djanet	0,10	0,20	0,30
	Bourdj-El-Houass			
	Debdeb			
	Bordj-Omat-Driss			
	Tarat			
<b>TINDOUF</b>	Tindouf	0,20	0,30	0,40
	Oum-Laassel	0,25	0,40	0,50
<b>EL-OUED</b>	Djemma	0,15	0,25	0,35
	M'gheier			
	Le reste de la wilaya	0,30	0,40	0,60
<b>GHARDAIA</b>	Ghardaia			
	Zelfana			
	Metlili			
	Sebseb	0,15	0,25	0,35
	Berriane			
	Guerara			
	Daia			
	Mensoura			
	El-menia			
Hassi Lefhal	0,25	0,40	0,50	
	Hassi El-Gara			

Donc :

la charge de sable de la wilaya ILLIZI est :

$$q = 0,15 \text{ N/m}^2$$

## Chapitre III : Pré dimensionnement de l'ouvrage



MASTER 2 CM  
UMMTO 2020/2021

### III.1 PRESENTATION DE L'OUVRAGE

Le réservoir étudié dans ce projet sera de construction en acier soudé, destiné pour le stockage de 35000 m<sup>3</sup> de condensat.

Forme du réservoir :

- Fond convexe en tôles d'acier rectangulaire muni d'une couronne périphérique également en acier et une pente 1 à 2% pour la vidange.
- Robe cylindrique verticale constituée de tôles virolées, en acier.  
Pour maintenir la forme circulaire de la robe contre les efforts de vent en ajoutant une poutre au vent et raidisseur intermédiaire.
- Toit flottant double pont en tôles d'acier, supportée par des béquilles et flotte sur le liquide stocké et assure la disposition de centrage et anti-rotatoire par un élément de guidage et le joint d'étanchéité ce le composant le plus important d'un toit flottant.
- Accessoires (Escalier, Echelle roulante, barrage de mousse, Trous d'homme, Tubulures, etc... exécutés en acier).

La conception et la construction du réservoir sera entièrement conforme à la spécification techniques de la Norme EUROCODE et API650.

**Tableau III.1 : Caractéristique géométrique**

Caractéristiques Géométrique		
Eléments	Valeur	Unité
Diamètre	57	m
Rayon du réservoir	28,5	m
hauteur du réservoir	15,85	m
capacité nominale	35000	m <sup>3</sup>
hauteur max du liquide	13,72	m
gravité du liquide	720	Kg/m <sup>3</sup>
hauteur de chaque virole	2,264	m
le nombre de virole	7	
Pression de conception	Atmosphère (ATM)	
Pression externe	Atmosphère (ATM)	
Pression interne	7,5	mbar
Pression du vent	7,52 x 10 <sup>-4</sup>	N/mm <sup>2</sup>

### III.2 CHOIX DES MATERIAUX

Les matériaux utilisés dans la construction de ce type de réservoir doivent satisfaire aux normes spécifiées par l'ASTM.

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

- 1- L'analyse de vérification de la composition chimique.
- 2- Les essais de caractérisation mécanique.

**III.2.1. Critères de choix des matériaux**

Les principaux critères de choix d'un matériau sont :

- La capacité du matériau de subir sans détérioration notable, les sollicitations de service.
- La fiabilité de mise en œuvre.
- La disponibilité sur le marché.
- Le respect des exigences réglementaires.

Basant sur ces critères de choix, l'acier utilisé pour les réservoirs de stockage de pétrole et condensat à pression contrôlée et à température ambiante sera le **A 283 Gr C** et le **A 573 Gr 70** (d'après les normes **ASTM**).

**Choix des aciers des tôles :**

Pour la robe : l'acier utilisé est le **A 573 Gr 70**.

Pour les tôles du fond : l'acier utilisé est le **A 283 Gr C**

Pour les tôles de toit : l'acier utilisé est le **A283 Gr C**

❖ **A 573 Gr 70**

**Tableau III.2 : composition chimique**

NUANCE	C%	Mn%	Si%	P%	S%	Cr%	Ni%	Mo%	Cu%
<b>A573 Gr 70</b>	0,24	0,8	0,50	0,035	0,035	0,25	0,25	0,08	0,35

**Tableau III.3 : caractéristiques mécaniques**

NUANCE	Limite d'élasticité minimale $f_y$ (Mpa)	Résistance à la traction minimale $f_u$ (MPa)	Allongement %
<b>A 573 Gr 70</b>	290	485	22

– **La vérification de soudabilité de matériau A573 Gr 70**

Avant d'entamer le soudage il faut vérifier est-ce que le matériau est soudable ou non en utilisant la formule suivante:(carbone équivalent)

$$C_E = \%C + \frac{M_N}{20} + \frac{N_I}{15} + \frac{N_r + M_0 + V}{10}$$

- $C_E < 0,3$  bonne soudabilité
- $0,3 < C_E < 0,6$  préchauffage
- $C_E > 0,6$  problème très particuliers

$$C_E = \%C + \frac{M_N}{20} = 0,24 + \frac{0,8}{20} = 0,28$$

On trouve que  $C_E < 0,3$ , donc : le matériau a une bonne soudabilité et ne nécessite pas de préchauffage.

❖ **A 283 Gr C**

**Tableau III.4 : composition chimique**

NUANCE	C%	Si%	P%	S%	Mn%
<b>A 283 Gr C</b>	0,21	0,5	0,055	0,055	0,9

**Tableau III.5 : caractéristiques mécaniques**

NUANCE	Limite d'élasticité Minimale $\sigma_e$ (Mpa)	Résistance à la traction minimale (MPa)	Allongement %
<b>A 283 Gr C</b>	205	380	22 à 29

– **La vérification de soudabilité de matériau A283 Gr C**

$$C_E = \%C + \frac{M_N}{20} + \frac{N_L}{15} + \frac{N_r + M_0 + V}{10}$$

- $C_E < 0,3$  bonne soudabilité.
- $0,3 < C_E < 0,6$  préchauffage.
- $C_E > 0,6$  problème très particuliers.
- $C_E = \%C + \frac{M_N}{20} = 0,21 + \frac{0,9}{20} = 0,255$

On trouve que  $C_E < 0,3$ , donc : le matériau a une bonne soudabilité et ne nécessite pas de préchauffage.

---

### III.3 CALCUL DU TOIT FLOTTANT

#### III.3.1 Généralité

Un toit flottant est défini comme étant une structure conçue pour flotter sur la surface du liquide dans le réservoir sans toit tout en étant en contact intime avec cette surface. Il est supposé qu'en condition de service normale, le toit restera en flottaison et qu'il reposera sur ses supports seulement pour des conditions de maintenance et d'inspection. S'il est envisagé de faire reposer le toit sur ses supports de manière habituelle, l'acheteur en informe le constructeur, et toutes conditions supplémentaires doivent faire l'objet d'accord entre eux.

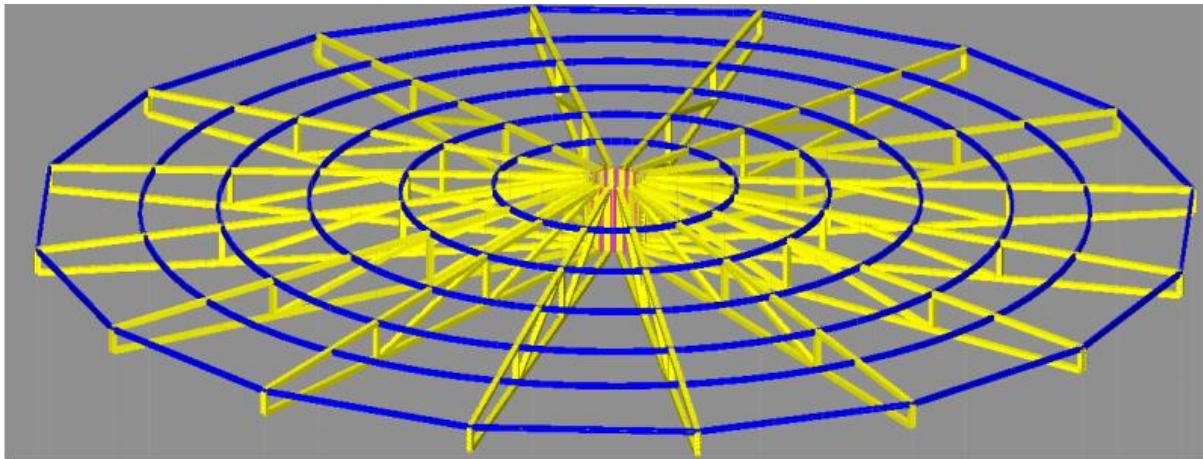


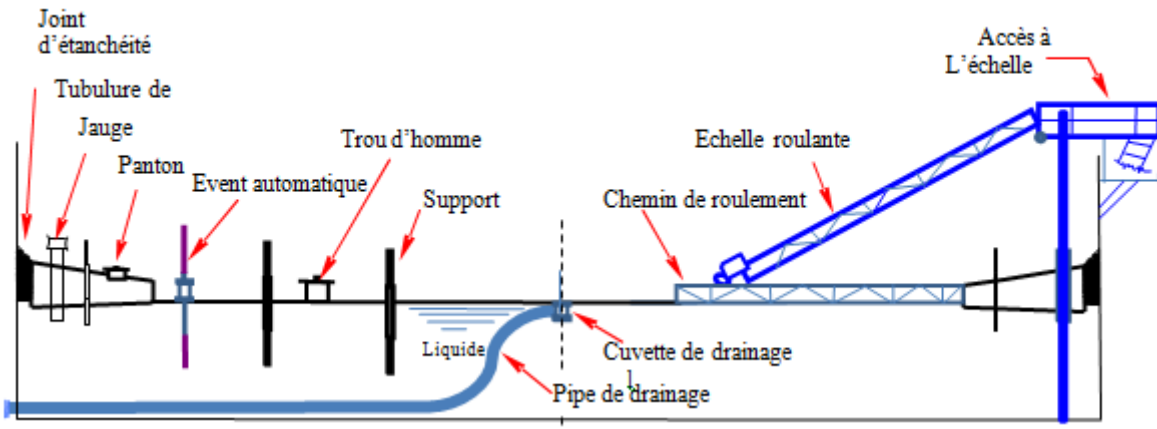
Figure III.1 : Le toit flottant

Les toits doubles ponts sont utilisés pour des réservoirs dont le diamètre est compris entre 15m et 120m. Malgré leurs coûts plus élevé, ils représentent un certains nombres d'avantages qui sont principalement :

- La surface lisse et sans relief du supérieur.
- Une meilleure tenue à la corrosion.
- Une bonne stabilité au vent.
- Une limitation considérable des effets de la température ambiante.

Par ailleurs, lorsqu'il est permis qu'une quantité d'eau traverse le produit au moyen de trop-pleins de secours, le toit double pont est aussi recommandé pour les pays ou les régions sujettes à des pluies tolérantes

Vu l'importance des surfaces des caissons on propose des raidisseurs afin de renforcer les tabliers et réduire la flèche admissible.



Les accessoires du toit flottant sont cités dans cette figure ci-dessous :

**Figure III.2 : Accessoires du toit**

### III.3.2 Vérification de la flottabilité

D'après l'API 650 annexe C on a deux principales conditions ; le toit flottant devra avoir une flottabilité suffisante pour maintenir à flot sur un liquide de poids spécifique de  $0,7 \text{ t/m}^3$  et avec un système d'évacuation hors service. Il y a d'autres conditions que nous devons aussi vérifier, parmi ces conditions :

- Une précipitation de 250 mm de l'eau.
  - deux compartiments adjacents perforés et inondés dans le toit.
- Ces applications des charges nous permettent de déterminer l'enfoncement de toit sous l'effet des charges permanentes tout en ajoutant l'effet des charges supplémentaires.

#### **✚ La condition de flottabilité : $P_T \leq \rho V$**

Avec :  $P_T$  : La masse du toit avec tous ses accessoires

$V$  : volume de produit repoussé

$\rho$  : la masse volumique de liquide en ( $\text{t/m}^3$ ) donné par l'API 650.

### La poussée d'Archimède

- On détermine l'enfoncement de toit à l'aide du théorème d'Archimède : « Lorsqu'un solide de volume  $V$  est immergé dans un fluide de masse volumique  $\rho$ , il subit une force  $F_A$ , verticale égale au poids du fluide déplacé par l'objet ».

$$F_A = P_{(\text{fluide déplacé})} = \rho \cdot V$$

Avec :

- $P_{(\text{fluide déplacé})}$  : poids du fluide déplacé par l'objet en (t).
- $\rho$  : la masse volumique de liquide en ( $\text{t/m}^3$ ).

### Chapitre III : Pré dimensionnement de l'ouvrage

---

-V : volume de liquide déplacé en (m<sup>3</sup>).

*a) Cas de toit non chargé*

$$q_{\text{(toit)}} = 321180 \text{ Kg}$$

$$q_{\text{(échelle)}} = 5390 \text{ Kg}$$

$$R = 28,5 \text{ m}$$

$$V_{\text{(liquide déplacé)}} = P_T / \rho$$

$$P_T = q_{\text{(toit)}} + q_{\text{(échelles)}} / 2 = 321180 + 2695 = 323875 \text{ Kg} = 323,875 \text{ t}$$

$$V_{\text{déplacé}} = 323,875 / 0,7 = 462,67 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{(liquide déplacé)}} = S_{\text{(pont inférieur)}} \times h_{e1}$$

Avec :  $h_{e1}$  = la hauteur de flottabilité nécessaire (L'enfoncement de toit).

$$S_{\text{(pont inférieur)}} = 28,5 \times 28,5 \times 3,14 = 2550,465 \text{ m}^2$$

Et :  $h_{\text{toit}} = 1 \text{ m}$

$$h_{e1} = V_{\text{dep}} / S_{\text{pont inférieur}} = \frac{462,67}{2250,465} = 0,2\text{m} < 1\text{m} \dots\dots\dots 1$$

*b) Cas d'une charge de 250mm d'eau*

Selon le code API 650

La charge de précipitation de 250 mm d'eau de pluie dans une période de 24 heures.

On a :  $\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ t/m}^3$  et la hauteur de l'eau est  $h = 0,25 \text{ m}$ .

$$q_{\text{pré}} = \rho_{\text{eau}} \times V = \rho_{\text{eau}} \times h \times \frac{\pi D^2}{4} = 1 \times 0,25 \times 2550,46 = 637,616 \text{ t}$$

$$V_{\text{dep}} = P_T / \rho$$

$$\text{Tel que : } P_T = q_{\text{(toit)}} + q_{\text{(échelles)}}/2 + q_{\text{pré}} = 321,18 + 637,615 + 2,695 = 961,49 \text{ t}$$

$$V_{\text{dep}} = 961,49 / 0,7 = 1373,5 \text{ m}^3 \text{ et } h_{e2} = \frac{1373,5}{2250,465} = 0,6\text{m}$$

$$\text{Donc: } h_{e2} = 0,6 \text{ m} < 1 \text{ m} \dots\dots\dots 2$$

*c) Cas de deux compartiments adjacents perforés*

Deux compartiments adjacents sont perforés, dans ce cas le toit non chargé d'eau (selon API 650), et nous devront prendre le volume le plus grande de deux compartiments

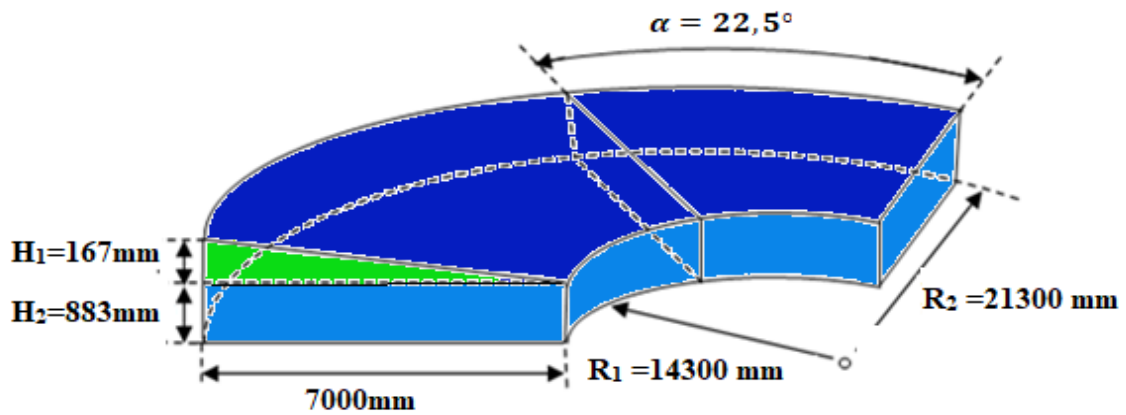


Figure III.3 : Compartiment adjacents

– Volume de deux compartiments :

$$S = 2\pi [(R_2)^2 \theta / 360^\circ - (R_1)^2 \theta / 360^\circ]$$

$$S = 2\pi [(21,3)^2 \cdot 22,5^\circ / 360^\circ - (14,3)^2 \cdot 22,5^\circ / 360^\circ]$$

Avec :

$$R_1 = 14,3\text{m}$$

$$R_2 = 21,3\text{m.}$$

$$\theta = 22,5^\circ$$

Donc :  $S = 97,881\text{m}^2$

$$V = S (H_1 + H_2 / 2) = 97,881(0,883 + 0,167/2) = 94,6 \text{ m}^3$$

$$q_{\text{eau}} = V \times \rho_{\text{eau}} = 94,6 \text{ t}$$

$$V_{\text{dep}} = P_T / \rho$$

Tel que :

$$P_T = q(\text{toit}) + q(\text{échelle})/2 + q_{\text{eau}} = 321,18 + 94,6 + 2,695 = 418,48 \text{ t}$$

$$V_{\text{dep}} = 418,47/0,7 = 597,82 \text{ m}^3 \text{ et } h_{e3} = \frac{597,82}{2250,465} = 0,26 \text{ m}$$

Donc:  $h_{e3} = 0,26 \text{ m} < 1 \text{ m} \dots\dots\dots 3$

**d) Cas de charge de Sable**

On a une charge de sable  $q_{\text{sable}} = 0,15\text{N/m}^2$ .

Donc :  $Q_{\text{sable}} = q_{\text{sable}} \cdot S = 0,15 \cdot 2250,465 = 337,56 \text{ N} = 0,33756 \text{ t.}$

$$P_T = q(\text{structure du toit}) + q(\text{échelle})/2 + Q_{\text{sable}} = 321,18 + 2,695 + 0,33756 = 324,21 \text{ t}$$

$$V_{dep} = 324,21 / 0,7 = 463,16 \text{ m}^3$$

$$h_{e4} = \frac{463,16}{2250,465} = 0,205 \text{ m}$$

Donc:  $h_{e4} = 0,205 \text{ m} < 1 \text{ m} \dots\dots\dots 4$

A partir de : 1 ; 2 ; 3 et 4 la flottabilité du toit est vérifiée.

**III.3.3 Dimensionnement de la charpente du toit**

➤ **Calcul des supports du toit (béquilles) : Selon API 650**

Le toit flottant comporte une série des pieds supports tubulaires disposés régulièrement sur le toit, ils servent à poser le toit flottant sur le fond du réservoir .ces pieds sont réglables en altitude par l'intermédiaire de fourreaux soudés au toit.

Ces supports sont réglables sur deux positions :

- Position de service : L = 1,25 m
- Position d'entretien : L = 2 m

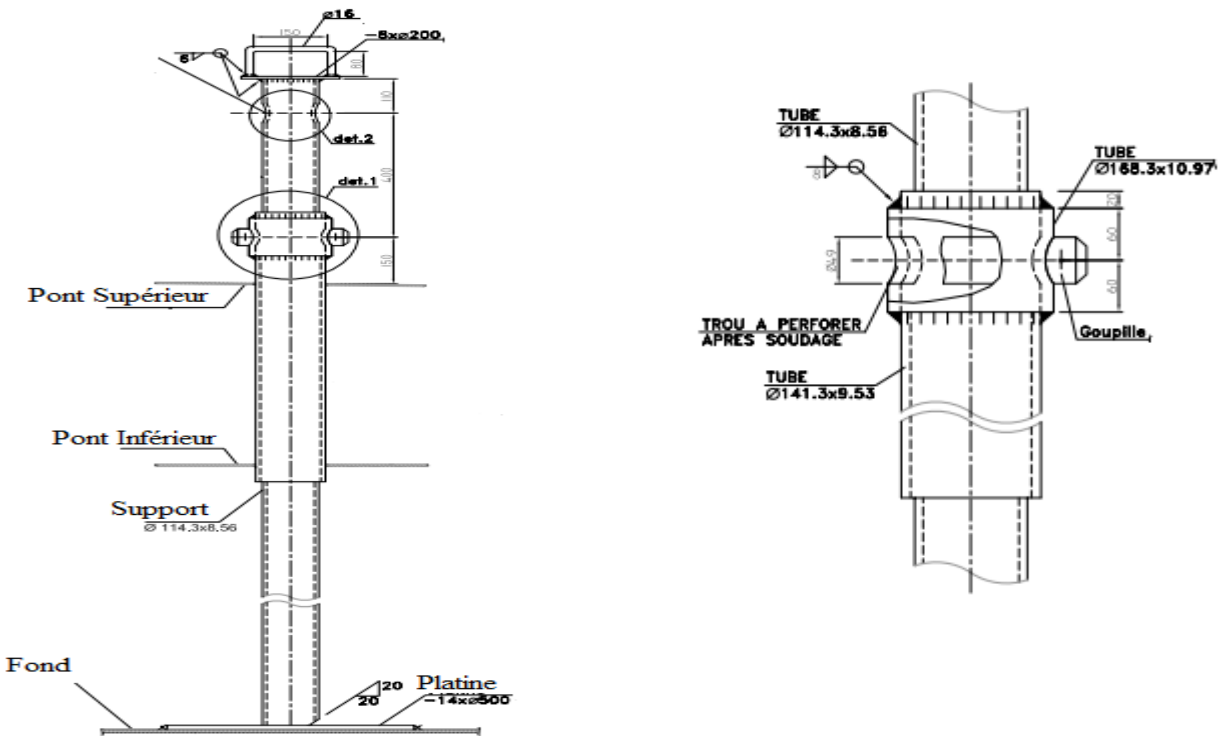


Figure III.4 : Béquille

- **Caractéristiques géométriques des tubes des béquilles : (Selon ASTM)**

Tube extérieurs : Ø5in sch80

$$D_e = 141,3 \text{ mm}$$

$$D_i = 122, 24 \text{ mm}$$

$$e = 9,53 \text{ mm}$$

$$M_{\text{linéaire}} = 30,97 \text{ kg/m}$$

Tube intérieurs : Ø4in sch80

$$D_e = 114,3 \text{ mm}$$

$$D_i = 97,18 \text{ mm}$$

$$e = 8,56 \text{ mm}$$

$$M_{\text{linéaire}} = 22,32 \text{ kg/m}$$

$$i: \text{ rayon de giration : } i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$A = (114,3^2 - 97,18^2) (\pi / 4) = 2842,12 \text{ mm}^2$$

$$I = (114,3^4 - 97,18^4) (\pi / 64) = 3998233,34 \text{ mm}^4$$

$$\text{Donc : } i = 37,50 \text{ mm}$$

-le dimensionnement se fait sur le support le plus chargé donc le plus proche au chemin de roulement de l'escalier roulant

– **La surface chargée S**

$$S = 2\pi[(R_2 - R_1)^2 \theta / 360^\circ]$$

$$S = 2\pi[(21,3 - 14,3)^2 22,5^\circ / 360^\circ] = 19,23 \text{ m}^2$$

$$S = 19,23 \text{ m}^2$$

– **Les charges permanentes**

$$\text{Poids propre } G_{(\text{toit}+\text{support})} = 323,875 \text{ kN}$$

– **Les charges d'exploitations**

$$Q_{\text{pré}} = 250 \cdot 10 \cdot 19,23 = 48,075 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{sable}} = 0,00015 \cdot 10 \cdot 19,23 = 0,0288 \text{ kN}$$

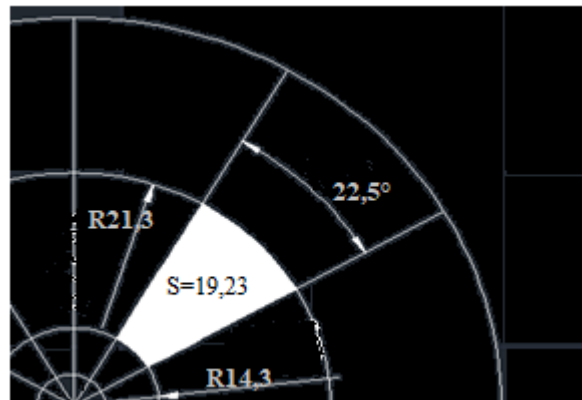
$$Q_{\text{exp}} = 1200 \cdot 19,23 = 23,076 \text{ kN}$$

-Combinaisons des charges : d'après l'EUROCODE 3

A l'état limite ultime :

$$Q = \gamma_G \cdot G + 0,9 \sum \gamma_{Qk} Q_k$$

$$Q = 1,35(75,65) + 0,9[1,5(48,075 + 0,0288 + 23,076)] = 198,22 \text{ kN}$$



✚ **Classification de la section :** ( EC3 ; page 142).

$$\frac{d}{t} = \frac{114,33}{8,56} = 13,35$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} \quad \text{la limite élastique } f_y = 275 \text{ N/mm (E28)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/275} = 0,92$$

$$\frac{d}{t} = \frac{114,3}{8,56} \quad 13,35 < 50\varepsilon^2 = 40,51. \quad \text{Donc la section tubulaire est de classe 1.}$$

#### ✓ Résistance à la compression

$$N_{sd} \leq N_{c,Rd}$$

$N_{c,Rd}$  : résistance de calcul à la compression de la section transversale égale à min

$$(N_{pl,Rd}, N_{o,Rd}).$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad (\text{EC03 ; page155})$$

$$A = 2842,12 \text{ mm}^2$$

$\gamma_{M0} = 1$  produits utilisés bénéficient la marque NF.

$$\gamma_{M1} = 1,1$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{pl,Rd} = 2842,12 \cdot 275 = 781,58 \text{ kN}$$

$N_{b,Rd}$  (résistance de calcul de la section brute au voilement).

On a une section de classe 1 donc  $N_{c,Rd} = N_{pl,Rd}$  (2<sup>ème</sup> condition. EC3 ; p155).

$$N_{sd} = 198,24 \text{ kN} \leq N_{c,Rd} = 781,58 \text{ kN}$$

Donc le profil tubulaire résiste à la compression.

#### ✓ Résistance au flambement

D'après l'EUROCODE 3, p169.

La résistance de calcul au flambement d'un élément comprimé égale :

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}$$

Où:  $\beta_A = 1$  section de classe 1.

$\chi$ : Coefficient de réduction pour le mode de flambement à considérer :

$$\chi = \frac{1}{\phi + [\phi^2 - \lambda^2]^{0,5}}, \quad \chi \leq 1$$

### Chapitre III : Pré dimensionnement de l'ouvrage

---

$$\phi = 0,5[1 + \alpha[\bar{\lambda} - 0,2] + \bar{\lambda}^2]$$

$\alpha$ : Facteur d'imperfection.

$$\bar{\lambda} = [(\beta_A \cdot A \cdot f_y) / N_{cr}]^{0,5} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_1}\right) [\beta_A]^{0,5}$$

$\lambda$ : L'élancement pour le mode de flambement.

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9(0,9) = 84,51$$

$$\lambda = \frac{l_f}{i} = ?$$

$l_f$  : longueur de flambement (poteau bi-articulé)  $l_f = l = 2000$  mm

$$i : \text{rayon de giration} : i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$I = 3998233,34 \text{ mm}^2 = 399,82 \text{ cm}^4$$

$$A = 2842,12 \text{ mm}^2 = 28,4212 \text{ cm}^2$$

$$i = 37,5 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{l_f}{i} = 53,33$$

$$\bar{\lambda} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_1}\right) (\beta_A)^{0,5} = \frac{98,66}{86,38} \cdot 1^{0,5} = 0,63 \geq 0,2$$

(il y'a risque de flambement).

$\alpha = ?$  On a une section tubulaire laminée a froid donc la courbe de flambement est (b)

$$\alpha = 0,34$$

$$\phi = 0,5[1 + \alpha[\bar{\lambda} - 0,2] + \bar{\lambda}^2]$$

$$\phi = 0,5[1 + 0,34[0,63 - 0,2] + 0,63^2] = 0,771$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + [\phi^2 - \bar{\lambda}^2]^{0,5}} = 0,821 \leq 1$$

$$\text{Donc : } N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,821 \cdot 2842,12 \cdot 1 \cdot 275}{1,1}$$

$N_{b,Rd} = 583,45 \text{ kN} \geq N_{sd} = 198,24 \text{ kN}$  donc pas de risque de flambement. de l'escalier roulant,

---

➤ **Résistance des goupilles au cisaillement**

On a choisi une goupille  $\varnothing 45$  mm ; L = 220 mm

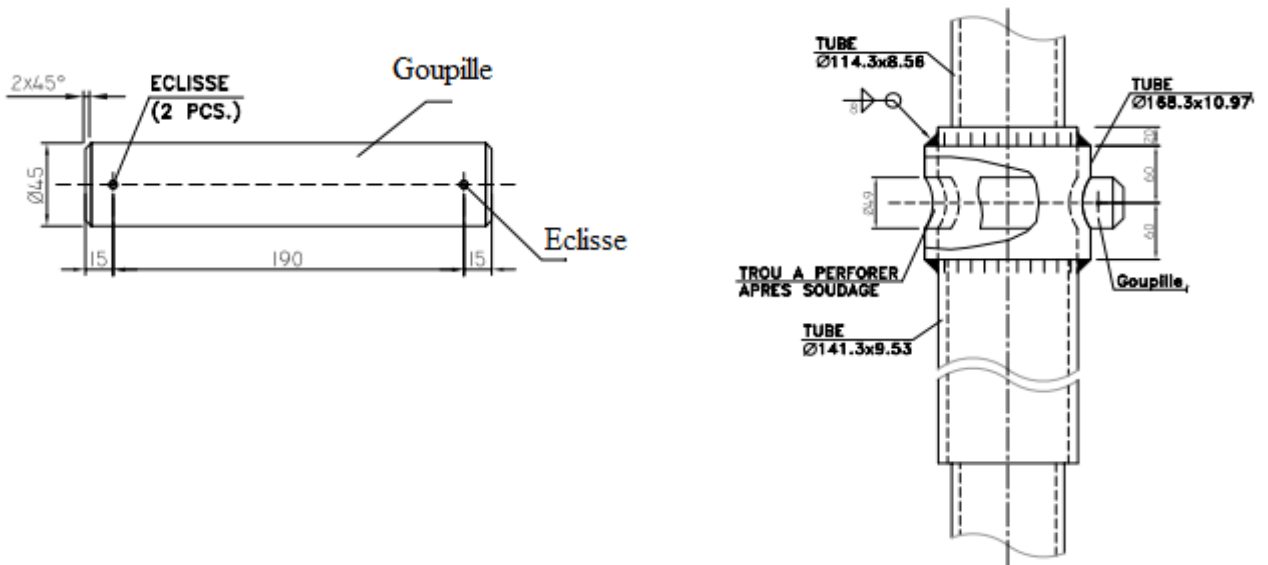


Figure III.5 : La Goupille

$V_{pl,Rd}$  : la valeur de calcul de la résistance plastique au cisaillement.

$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = \pi R^2 (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$$

$$V_{pl,Rd} = 3,14 \cdot 28,5^2 (275 / \sqrt{3}) / 1 = 404,94 \text{ kN}$$

$V_{sd} \leq V_{pl,Rd}$  ; d'où : la goupille résiste bien au cisaillement

**III.3.4 Dimensionnement des éléments structuraux du toit**

✓ **Vérification des flèches et des contraintes**

Pour étudier les plaques supérieur et inférieur on utilise L'RDM de TIMOSHENKO (Tom2)

**a) plaques du pont supérieur**

La plaque est supposée rectangulaire et encastree sur ses quatre côtés, soumise à une charge uniformément répartie.

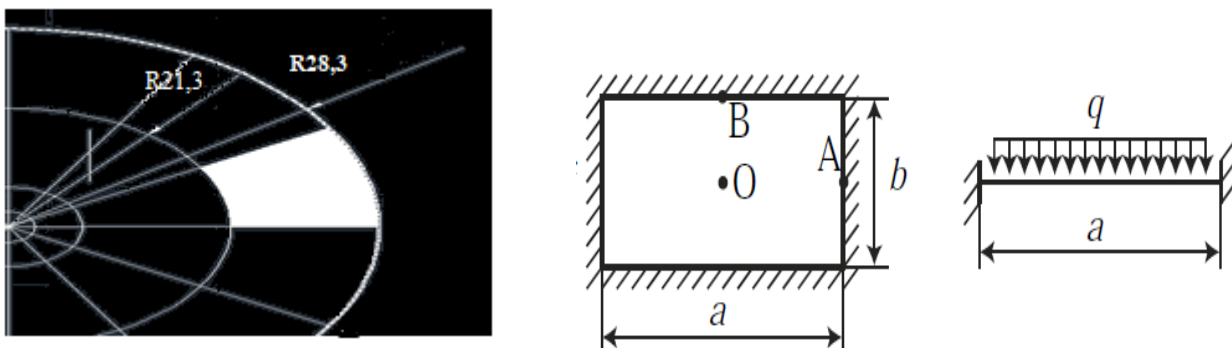


Figure III.6 : Pont supérieur

➤ **Calcul de la charge q**

$$q = q_1 + q_{\text{exp}}$$

$$q_1 = e \cdot \rho = 0,005 \cdot 7850 \cdot 10 = 392,5 \text{ N/m}^2$$

$$q_{\text{exp}} = 1200 \text{ N/m}^2$$

$$\Rightarrow q = 392,5 + 1200 = 1592,5 \text{ N/m}^2$$

➤ **Calcul de la flèche maximal (point o)**

Les dimensions de la plaque : a = 28,3-21,3=7m et b = 2 m e= 5mm

**Tableau III.6 :** Constante relative aux plaques rectangulaire encastées aux lisères et supportant aux charges uniformes(**RDM TIMOSHENKO P140**)

a/b	1,00	1,25	1,5	1,75	2,00	∞
$\alpha$	0,00138	0,0199	0,0240	0,0264	0,0227	0,0284
$\beta$	0,0513	0,0665	0,0757	0,0806	0,0829	0,0833

Donc :  $\alpha = 0,0284$  et  $\beta = 0,0833$

Déformation de la plaque on va utiliser équation (151) page 139 de TIMOSHENKO

$$f_{\text{max}} = \alpha \frac{q \cdot b^4}{E \cdot e^3} = 0,0284 \cdot 1592,5 \cdot 10^{-6} \cdot (2000)^4 / 21 \cdot 10^4 \cdot 5^3 = 27,56 \text{ mm}$$

➤ **Calcul du moment fléchissant maximal (point B)**

$$Mf_{\text{max}} = \beta q b^2 \dots\dots\dots \text{équation (153) p140}$$

$$q = 1,35 \cdot 392,5 + 1,5 \cdot 1200 = 2329,875 \text{ N/m}^2$$

$$\text{AN: } Mf_{\text{max}} = 776,31 \text{ N}$$

➤ **Vérification de la contrainte**

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{6 \cdot Mf_{\text{max}}}{e^2} = 129,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{max}} = 129,38 \text{ N/mm}^2 < \sigma_e = 205 \text{ N/mm}^2$$

D'où : la tôle de pont supérieur résiste à la flexion

**b) Plaques du pont inférieur**

➤ **Calcul de la charge q**

Le cas le plus défavorable ; (Cas d'une charge de 250 mm d'eau avec :  $h_e = h_{e2} = 0,6 \text{ m}$ )  
e=6mm

$$q = h \gamma - e \rho = ((0,6 \cdot 700) - (0,006 \cdot 7850)) \cdot 10 = 3729 \text{ N/m}^2$$

$$\Rightarrow q = 3729 \text{ N/m}^2$$

➤ **Calcul de la flèche maximal (point o)**

Les dimensions de la plaque : a = 21,3-7=14,3 m et b = 2 m

$$\text{Le rapport : } \frac{a}{b} = 7,15 \text{ m}$$

Donc :

$$\alpha = 0,0284 \text{ et } \beta = 0,0833$$

$$f_{\max} = \alpha \frac{q \cdot b^4}{E \cdot e^3} = 0,0284 \cdot 3729 \cdot 10^{-6} \cdot (2000)^4 / 21 \cdot 10^4 \cdot 6^3 = 37,35 \text{ mm}$$

➤ **Calcul du moment fléchissant maximal (point B)**

$$Mf_{\max} = \beta q b^2$$

$$q = 3729 \text{ N/m}^2$$

$$\Rightarrow Mf_{\max} = 1242,5 \text{ N.m}$$

➤ **Vérification de la contrainte**

$$\sigma_{\max} = \frac{6 \cdot Mf_{\max}}{e^2} = 207,08 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 207,08 \text{ N/mm}^2 < \sigma_e = 205 \text{ N/mm}^2$$

D'où :

la tôle de pont inférieur **ne résiste pas** à la flexion.

On redimensionne la tôle en utilisant une épaisseur  $t = 8 \text{ mm}$

➤ **Calcul de la charge q**

Le cas le plus défavorable ; (Cas d'une charge de 250 mm d'eau avec :  $h_e = h_{e2} = 0,6 \text{ m}$ )

$e = 8 \text{ mm}$

$$q = h \gamma - e \rho = ((0,6 \cdot 700) - (0,008 \cdot 7850)) \cdot 10 = 3572 \text{ N/m}^2$$

$$\Rightarrow q = 3572 \text{ N/m}^2$$

➤ **Calcul de la flèche maximal (point o)**

Les dimensions de la plaque :  $a = 21,3 - 7 = 14,3 \text{ m}$  et  $b = 2 \text{ m}$

Le rapport :  $\frac{a}{b} = 7,15 \text{ m}$

Donc :

$$\alpha = 0,0284 \text{ et } \beta = 0,0833$$

$$f_{\max} = \alpha \frac{q \cdot b^4}{E \cdot e^3} = 0,0284 \cdot 3572 \cdot 10^{-6} \cdot (2000)^4 / 21 \cdot 10^4 \cdot 6^3 = 35,78 \text{ mm}$$

➤ **Calcul du moment fléchissant maximal (point B)**

$$Mf_{\max} = \beta q b^2$$

$$q = 3572 \text{ N/m}^2$$

$$\Rightarrow Mf_{\max} = 1190,19 \text{ N.m}$$

➤ **Vérification de la contrainte**

$$\sigma_{\max} = \frac{6 \cdot Mf_{\max}}{e^2} = 198,36 \text{ N/mm}^2$$

### Chapitre III : Pré dimensionnement de l'ouvrage

$$\sigma_{\max} = 198,36 \text{ N/mm}^2 < \sigma_e = 205 \text{ N/mm}^2$$

D'où : la tôle de pont inférieur résiste à la flexion.

#### a) Les chevrons

On a une poutre continue sur 6 appuis à inertie constante à travées inégale et densité de charge linéaire  $q_{UPN}$ . (Techniques de l'ingénieur).

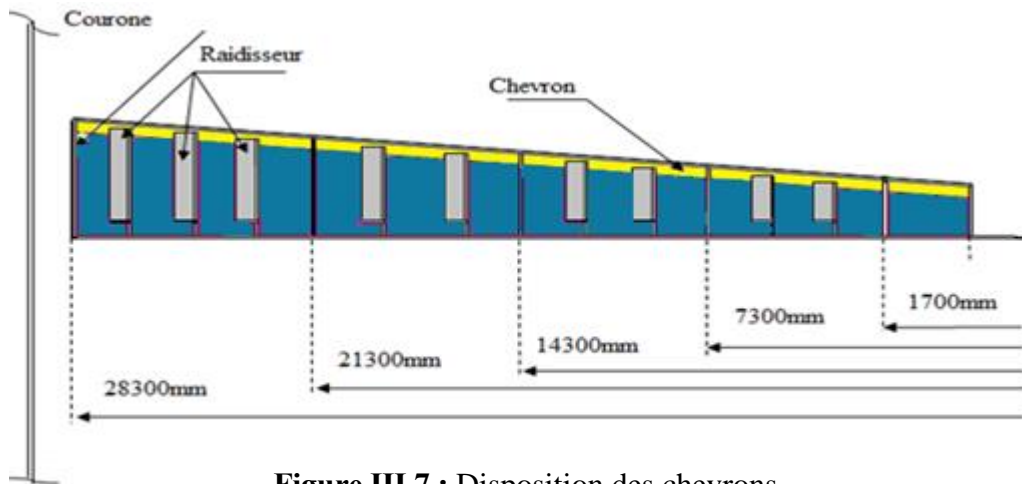


Figure III.7 : Disposition des chevrons.

#### -La charge appliquée sur le chevron

La surface chargée :  $S = 19,23 \text{ m}^2$

$$q_{\text{Plaque sup}} = \rho \cdot s \cdot e \cdot g = 7850 \cdot 19,23 \cdot 0,005 \cdot 10 = 7547,775 \text{ N}$$

$$q_{\text{exp}} = S \cdot h; \text{ (Cas d'une charge de 250 mm d'eau)}$$

$$q_{\text{exp}} = S \cdot 250 \cdot 10 = 48075 \text{ N}$$

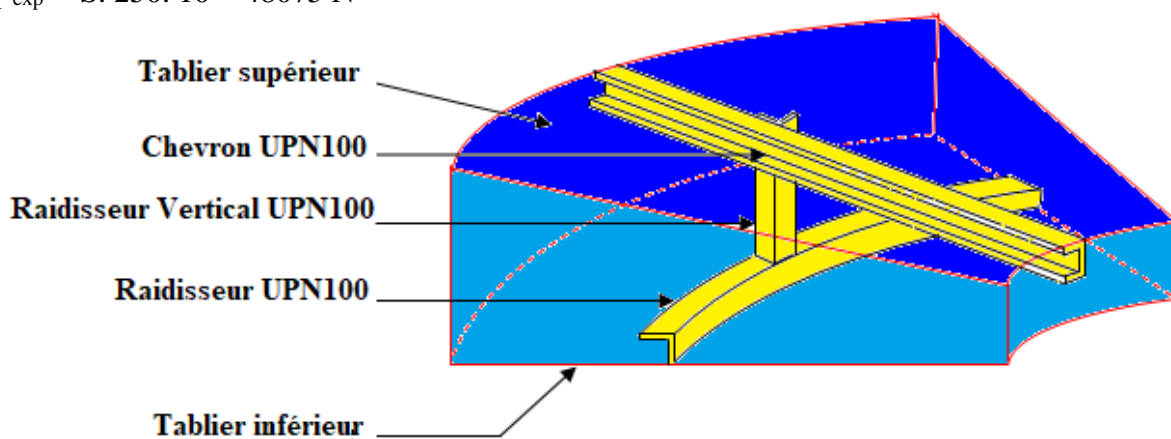
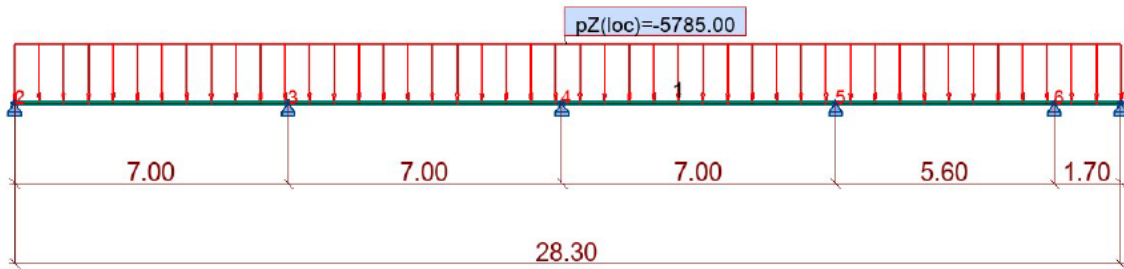


Figure III.8 : La surface du chevron

**ELS :**

$$q_{UPN.T} = (q_{\text{Plaque sup}} + q_{\text{exp}}) \cdot L / S = 5785 \text{ N/ml}$$



**Figure III.9 :** La charge appliquée sur le chevron

On utilisant le logiciel Robot Structural Analysis Professional on a bien pu obtenir le moment maximal aux appuis  $M_{\max}=22108.94 \text{ N.m}$

Donc :

$$M_{sd} = M_{\max} = 22108.94 \text{ N.m}$$

Calcul du moment résistant  $M_{c,Rd}$ :

Caractéristique de profile UPN 100 :

$$\begin{cases} W_{pl,y} = 49.10^3 \text{ mm}^3 \\ \gamma_{M0} = 1 \\ F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$$

Classe de section de profil UPN 100

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

$$t_f = 8,5 \text{ mm}$$

$$10 \varepsilon = 10 \cdot 0,92 = 9,2$$

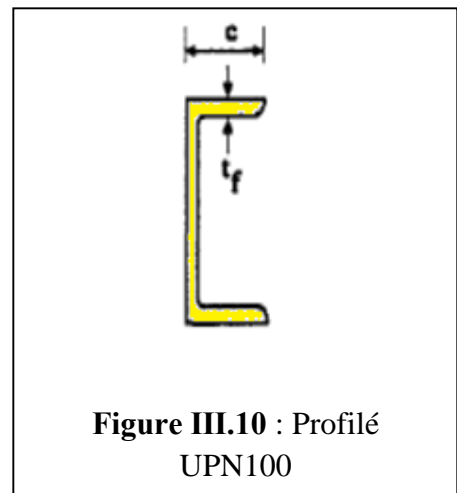
Donc :

$$C / t_f = 5,88 \leq 10 \varepsilon = 9,2 ; \text{ section de classe 1}$$

D'où:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1,3 \cdot 10^4 \text{ N.m}$$

$$M_{sd} = 22108.94 \text{ N.m} \leq M_{c,Rd} = 1,3 \cdot 10^4 \text{ N.m} \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée}$$



**Figure III.10 :** Profilé UPN100

**UPN 100 résiste bien à la flexion.**

$$\text{Donc : } N_{b,Rd} = \chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}$$

$$N_{b,Rd} = 0,961 \cdot 1 \cdot 1350 \cdot 275 / 1,1$$

$$N_{b,Rd} = 3,24 \cdot 10^5 \text{ N} \geq N_{sd} = 2,1 \cdot 10^4 \text{ N} \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée}$$

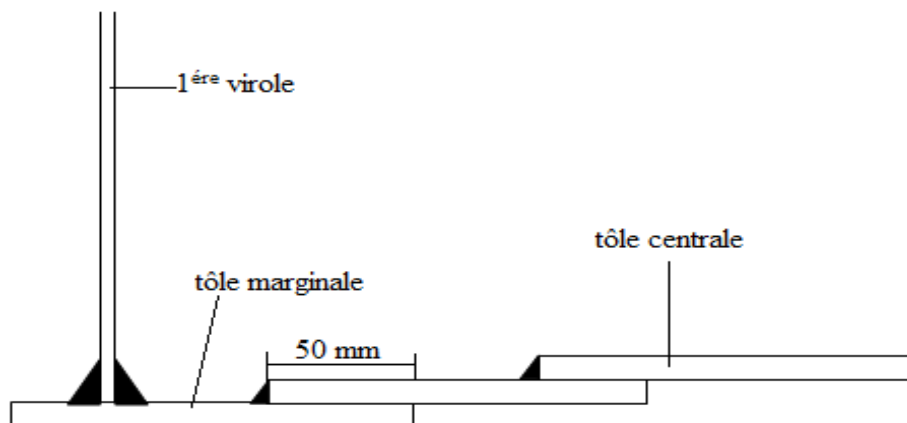
**Donc pas de risque de flambement.**

### III.4 CALCUL SELON EUROCODE 3

#### III.4.1 CONCEPTION DU FOND

##### Introduction :

Le fond du bac est construit en plaques de tôle se recouvrant aux extrémités où elles sont soudées entre elles. Certains fonds de bacs sont protégés par une peinture bitumineuse interne.



**Figure III.11: Recouvrement des tôles de fond**

Le fond du bac doit être conçu pour permettre une vidange aussi complète que possible, ainsi que les purges d'eau et de dépôts. Pour cela on lui donne une pente d'environ 1 à 2 % qui est dirigée soit vers le centre (fond concave) soit vers la périphérie (fond convexe).

Les bacs de petits diamètres (inférieur à 10 m) possèdent un fond concave.

Les bacs de grands diamètres sont munis de fond convexe afin de faciliter les opérations de nettoyage ou d'extraction de dépôts au voisinage des trous d'homme).

Le fond repose souvent sur une galette de gravier ou de sable revêtue d'un enrobé bitumineux permettant une étanchéité et une adaptation au contact de l'assemblage des tôles de fond.

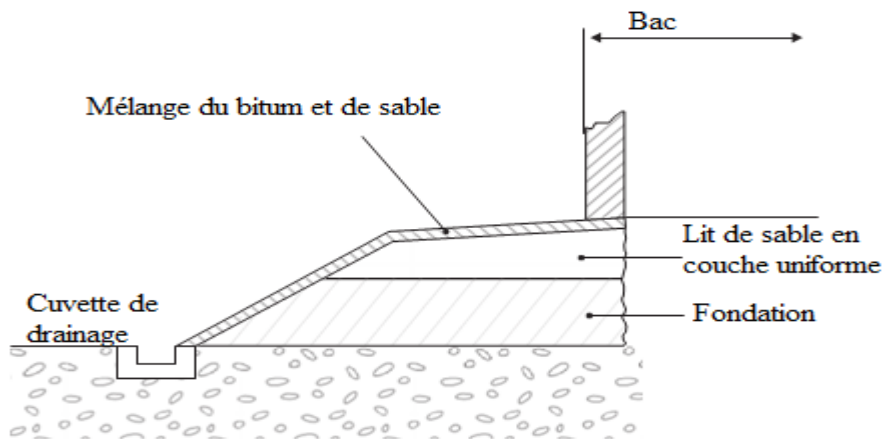


Figure III.12 : Exemple de fondation du bac

– **Préparation :**

La préparation des tôles de fond sera exécutée sur chantier, juste avant l'opération de montage.

– **Assemblage :**

Les tôles de fond seront assemblées par soudage à recouvrement sur la face supérieure seulement, par une soudure d'angle normale continue sur tous les joints.

– **Recommandations :**

Les recouvrements des tôles de fond devront avoir une largeur de 25mm à 50mm et les recouvrements a trois tôles du fond devront être distants d'au moins 305mm les uns des autres et de la robe.

➤ **Calcul des plaques du fond et annulaire :**

- **Plaque de fond :**

Pour le cas de la plaque du fond l'épaisseur minimale est donnée directement par L'Eurocode3.

Epaisseur minimale pour l'acier carbone selon l'Eurocode3 : 6 mm

Surépaisseur de corrosion : 3 mm

On opte pour une épaisseur de : 9 mm

- **Plaque annulaires :**

On a :  $D = 57\text{m} > 12,5\text{ m} \rightarrow t_a = \frac{t_s}{3} + 3 = \frac{19}{3} + 3 = 9,33\text{ mm}$  soit  $t_a = 10\text{ mm}$

Surépaisseur de corrosion : 3 mm

### Chapitre III : Pré dimensionnement de l'ouvrage

Epaisseur de la tôle annulaire :  $t_a = 13$  mm

Avec :

$t_a$  : épaisseur de la tôle annulaire

$t_s$  : épaisseur de la plaque de la 1<sup>ère</sup> virole.

La partie interne de la tôle annulaire de fond doit avoir une largeur minimale supérieure à la valeur  $W_a$  donnée par la formule suivante :

$$W_a = 240 \frac{t_a}{\sqrt{H}} \quad \text{Mais non inférieur à 500 mm}$$

Avec :

$H$  : est la hauteur de calcul maximale du liquide, en mètres ;

$W_a$  : est la largeur exposée minimal (distance entre le bord de la tôle de fond et le bord inférieur de la tôle de coque), en millimètres ;

$t_a$  : est l'épaisseur de la virole en prenant en compte la tolérance de corrosion, en millimètre.

$$W_a = 240 \times \frac{13}{\sqrt{15,85}} = 783,68 \text{ mm} \quad \text{Soit } W_a = 784 \text{ mm}$$

Le règlement Eurocode 3 préconise au minimum les valeurs suivantes :

- Pour la longueur de recouvrement de la tôle annulaire : 60 mm
- Pour la distance minimale projetée à l'extérieur : 50 mm

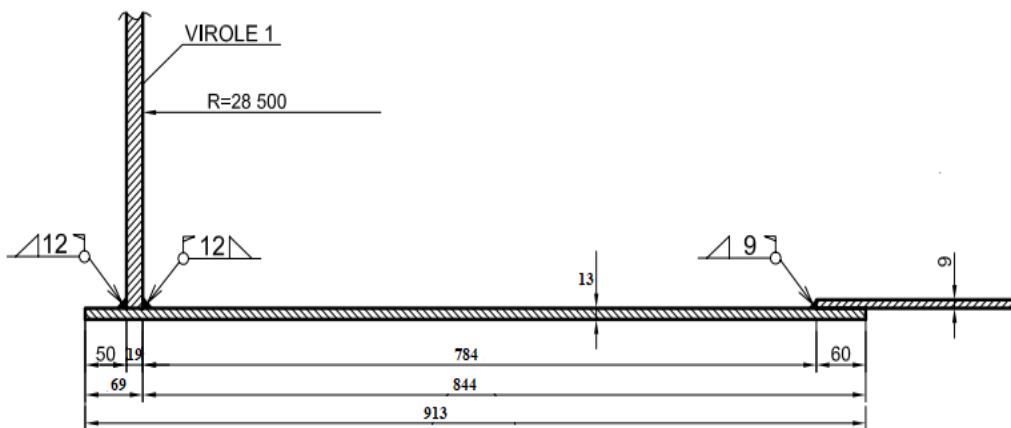


Figure III.13 : Epaisseur et distance des plaques annulaires.

### III.4.2 DIMENSIONNEMENT DE LA ROBE

#### ➤ La robe du réservoir

La robe est l'élément important des réservoirs car elle est sollicitée aux différentes charges (internes et externes).

Elle est constituée des rangées des tôles rectangulaires (de longueur L) superposées, appelées viroles, qui sont soudées bout à bout. Les joints verticaux de ces tôles sont généralement décalés, à chaque changement de virole, du tiers de leur longueur. L'épaisseur minimale de chaque virole est calculée à partir de formules simples définies par les codes de construction.

Sa valeur dépend des dimensions, de la masse volumique du produit stocké, des caractéristiques mécaniques des aciers employés, des coefficients de sécurité imposés par le code, de la température d'étude et de la surépaisseur de corrosion retenue.

#### ➤ Calcul des épaisseurs des viroles :

La pression hydrostatique est résistée par la contrainte circonférentielle  $\sigma_\theta$  :

$$\sigma_\theta = \frac{P.R}{t} \leq f_{y.d}$$

D'où :

$$t \geq \frac{P.R}{f_{y.d}}$$

On a :

$$P = \gamma_F \cdot \rho \cdot g \cdot (H_j - 0,3)$$

$P_0 = 7,5$  mbar : est la surpression de calcul au-dessus de niveau de liquide :

D'où :

$$t \geq \frac{[\gamma_F \cdot \rho \cdot g \cdot (H_j - 0,3) + P_0] \cdot r}{f_{y.d}}$$

Avec :

- $\gamma_F = 1,2$
- $\rho = 720 \text{ kg/m}^3$
- $g = 10 \text{ m/s}^2$
- $f_{y.d} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Ainsi :

$$f_{y.d} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{290}{1,1} = 263,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_F \cdot \rho \cdot g = 1,2 \times 720 \times 10 = 8,640 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3 = 8,64 \text{ KN/m}^3$$

$$\gamma_F \cdot \rho \cdot g = 8,64 \text{ KN/m}^3$$

### Chapitre III : Pré dimensionnement de l'ouvrage

---

$$t \geq \frac{[8,64 \cdot (H_j - 0,3) + 0,75] \cdot r}{263,3 \times 10^3}$$

D'où :

$$t = [3,28 \times 10^{-5} (H_j - 0,3) + 2,84 \times 10^{-6}] \cdot r = [0,328 \times (H_j - 0,3) + 2,84] \cdot 10^{-6} \cdot r$$

- Calcul de l'épaisseur de la 1<sup>ère</sup> rangée (virole1) : H=15,85m  
 $t_1 = [0,328 \times (15,85 - 0,3) + 2,84] \times 28,5 \times 10^{-6} = 0,0146 \text{ m} = \mathbf{14,6 \text{ mm}}$

Soit :  $t_1 = \mathbf{16 \text{ mm}}$

- Calcul de l'épaisseur de la 2<sup>ème</sup> rangée (virole2) : H=13,586m  
 $t_2 = [0,328 \times (13,586 - 0,3) + 2,84] \times 28,5 \times 10^{-6} = 0,0125 \text{ m} = \mathbf{12,5 \text{ mm}}$

Soit :  $t_2 = \mathbf{14 \text{ mm}}$

- Calcul de l'épaisseur de la 3<sup>ème</sup> rangée (virole3) : H=11,332m  
 $t_3 = [0,328 \times (11,332 - 0,3) + 2,84] \times 28,5 \times 10^{-6} = 0,0103 \text{ m} = \mathbf{10,3 \text{ mm}}$

Soit :  $t_3 = \mathbf{12 \text{ mm}}$

- Calcul de l'épaisseur de la 4<sup>ème</sup> rangée (virole4) : H=9,059 m  
 $t_4 = [0,328 \times 10^{-5} (9,059 - 0,3) + 2,84] \times 28,5 \times 10^{-6} = 0,0082 \text{ m} = \mathbf{8,2 \text{ mm}}$

Soit :  $t_4 = \mathbf{10 \text{ mm}}$

- Calcul de l'épaisseur de la 5<sup>ème</sup> rangée (virole5) : H=6,794 m  
 $t_5 = [0,328 (6,794 - 0,3) + 2,84] \times 28,5 \times 10^{-6} = 0,0061 \text{ m} = \mathbf{6,1 \text{ mm}}$

Soit :  $t_5 = \mathbf{8 \text{ mm}}$

- Calcul de l'épaisseur de la 6<sup>ème</sup> rangée (virole6) : H=4,53 m  
 $t_6 = [0,328 (4,53 - 0,3) + 2,84 \times 10^{-6}] \times 28,5 \times 10^{-6} = 0,004 \text{ m} = \mathbf{4 \text{ mm}}$

Soit :  $t_6 = \mathbf{8 \text{ mm}}$

- Calcul de l'épaisseur de la 7<sup>ème</sup> rangée (virole7) : H=2,266 m  
 $t_7 = [0,328 (2,266 - 0,3) + 2,84] \times 28,5 \times 10^{-6} = 0,0019 \text{ m} = \mathbf{1,9 \text{ mm}}$

Soit :  $t_7 = \mathbf{8 \text{ mm}}$

#### Remarque :

Le règlement préconise une épaisseur minimale pour un diamètre D=57m de  $t_{\min} = 8 \text{ mm}$

Les résultats trouvés sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau III.7 :** Résultat des épaisseurs des Viroles selon l'EUROCODE 3.

N° de la virole	Largeur d'assise (m)	Hauteur (m)	$t_{cal}$ (mm)	$t_{min}$ (mm)	Surépaisseur de corrosion (mm)	$t_{sc}$ (mm)
1	2,264	15,85	14,6	16	3,00	19,00
2	2,264	13,586	12,5	14	3,00	17,00
3	2,264	11,332	10,3	12	3,00	15,00
4	2,264	9,059	8,2	10	3,00	13,00
5	2,264	6,794	6,1	8	3,00	11,00
6	2,264	4,53	4	8	3,00	11,00
7	2,266	2,266	1,9	8	3,00	11,00

Avec :

$t_{cal}$  : l'épaisseur calculée

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

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

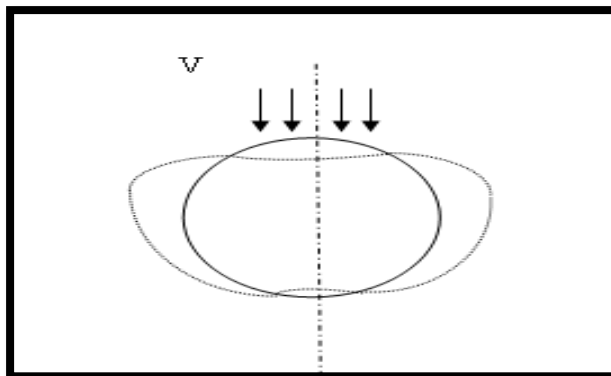
**III.4.3 VERIFICATION DE LA STABILITE AU VENT :**

Le réservoir peut perdre sa stabilité sous deux directions principales :

- Direction radiale : sous l'effet du vent
- Direction axiale : sous l'effet de son poids.

La pression du vent, dont on ne connaît pas sa fonction de répartition le long de la périphérie du réservoir, provoque une dissymétrie de chargement, de ce fait l'étude revient à traité un problème de flexion non symétrique de coque cylindrique, qui conduit à des formules très compliquées à résoudre sans faire des approches numériques.

La pression longitudinale des parois due au poids de la structure peu provoqué des déformations axiales importants, de cette compression peu en résulté un phénomène qui s'appelle «patte d'éléphant ».



**Figure III.14 :** Dissymétrie de chargement du à la pression de vent



**Figure III.15:** Flambement en patte d'éléphant (Photo: Courtesy Of University Of California Brekely).

- **Calcul de la Pression Dynamique Maximal du vent :**

Dans cette partie, il s'agit de déterminer la charge de sable et les actions (les pressions) du vent agissant sur les parois du réservoir montrée sur la **figure II.16** destinées au stockage de 35000 m<sup>3</sup> de condensats et cela en utilisant les méthodes qu'on a exposé de l'RNV2013 et EUROCODE 1.



**Figure II.16 :** Réservoir de stockage de 35000 m<sup>3</sup> destinée au condensat

Les vents sont très variables et les vitesses moyennes sont inférieures à 5 m/s. Les vents calmes représentent 15%. Les vents dominants sont orientés Nord-Ouest et Sud Est dans la région d'OHANET et Est, Nord –Est et sud dans le reste de la commune d'In Amenas.

Ces vents sont souvent chargés de particule agressive (dépôts) qui exerce une érosion caractéristiques des régions désertiques sahariennes. Les vents violents de types sirocco (Nord, Sud et Est) se situent généralement en période sèche avec un gradient de 10m/s en moyenne.

Pendant la période froide ou humide, c'est prédominance des vents calmes de direction Ouest et Nord-Ouest et les vents les plus forts soufflent généralement durant la période de chaleur (avril-septembre) avec des pointes en juillet-aout et sont de direction Sud-Est et Est. (**Source Atlas climatique National**)

➤ **Zone de référence et hauteur :**

La hauteur de référence pour l'action du vent  $Z_e$  est égale à la hauteur maximale au-dessus du sol de la section considérée, comme spécifié dans l'EN1991-1-4§7.9.2(5). L'air de référence pour l'action du vent est l'air projetée du cylindre, comme spécifié dans l'EN1991-1-4§7.9.2(4). Donc :

$$Z_e = Z = 15,85 \text{ m}$$

$$A_{\text{ref}} = b \cdot l = 57 \times 15,85 = 903,45 \text{ m}^2$$

$$\text{Donc : } A_{\text{ref}} = \mathbf{903,45 \text{ m}^2}$$

➤ **Vitesse de base de Vent ( $V_{\text{réf}}$ ):**

Notre projet est situé dans la **Zone I**,

$$\text{Donc: } V_{\text{réf}} = \mathbf{25\text{m/s}}$$

➤ **Coefficient Rugosité du terrain**

D'après le tableau qu'on a exposé dans le chapitre 2 la catégorie de terrain de notre projet est la catégorie III, les valeurs de paramètre de rugosité  $Z_0$ , la hauteur minimale  $Z_{\text{min}}$  correspondante le facteur  $K_T$  de terrain sont:

$$K_T = 0,215 ; Z_0 = 0,3\text{m} ; Z_{\text{min}} = 5\text{m}$$

Le coefficient de rugosité  $C_r(Z)$  traduit l'influence de la rugosité et de la hauteur sur la vitesse moyenne du vent. Il est défini par la loi logarithmique (logarithme népérien) :

$$Z_{\text{min}} = 5 \text{ m} \leq Z = 15,85 \text{ m} \leq Z_{\text{max}} = 200\text{m}$$

$$C_r(z_e) = K_T \times \ln(Z / Z_0) = 0,215 \times \ln(15,85\text{m} / 0,3 \text{ m}) = 0,852$$

$$\mathbf{C_r(z_e) = 0,852}$$

#### ➤ Coefficient orographique

Le coefficient de topographie  $C_t(Z)$  prend en compte l'accroissement de la vitesse du vent lorsque celui-ci souffle sur des obstacles tels que les collines, les dénivellations isolées...etc.

Dans les calculs suivants, le facteur orographique est considéré comme  $C_t(Z_e) = 1,00$

#### ➤ Vitesse moyenne du vent :

D'après l'ANNEX 2 de l'RNVD2013 La vitesse moyenne du vent  $V_m(Z_e)$  à la hauteur de référence  $Z_e$  dépend de la rugosité du terrain, de l'orographie du terrain et de la vitesse du vent de base  $V_b$ . Il est déterminé :

$$V_m(z_e) = C_r(z_e) \times C_t(z_e) \times V_b = 0,852 \times 1 \times 25 = 21,3 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{V_m(z_e) = 21,3 \text{ m/s}}$$

#### ➤ Intensité de turbulence :

Dans notre cas :  $Z_e \geq Z_{min}$

$$I_v = \frac{kT}{C_t(z) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \ln\left(\frac{15,85}{0,3}\right)} = 0,252$$

$$\mathbf{I_v = 0,252}$$

où : le facteur de turbulence est considéré comme  $kT = 1$

#### ➤ Pression de vitesse de base :

$$q_b = (1/2) \times \rho \times V_b^2 = (1/2) \times 1,20 \text{ kg/m}^3 \times (25 \text{ m/s})^2 \times 10^{-3} = 0,375 \text{ kN/m}^2$$

$$\mathbf{q_b = 0,375 \text{ kN/m}^2}$$

#### ➤ Pression de vitesse maximale :

$$q_p(Z_e) = (1 + 7 \times I_v(Z_e)) \times (1/2) \times \rho \times V_m(Z_e)^2$$

$$q_p(Z_e) = (1 + 7 \times 0,252) \times (1/2) \times 1,20 \times (21,3)^2 \times 10^{-3} = 0,752 \text{ kN/m}^2$$

$$\mathbf{q_p(Z_e) = 0,752 \text{ kN/m}^2}$$

Le calcul de la valeur  $q_p(Z_e)$  correspond à un facteur d'exposition  $C_e(Z_e)$ :

$$C_e(Z_e) = q_p(Z_e) / q_b = 0,752 / 0,375 = 2$$

$$\mathbf{C_e(Z_e) = 2}$$

Donc: La vitesse de vent de point  $V(Z_e)$  à la hauteur de référence  $Z_e$  est la vitesse du vent correspondant à la pression de vitesse de pointe  $q_p(Z_e)$ . Il est calculé selon la relation fondamentale suivante:

$$V(Z_e) = [2 \times q_p(Z_e) / \rho]^{0,5}$$

$$V(Z_e) = [2 \times 0,752 \times 10^3 / 1,20 \text{ kg/m}^3]^{0,5} = 35,4 \text{ m/s} \rightarrow \mathbf{V(Z_e) = 35,4 \text{ m/s}}$$

---

- ***Poutre au vent principal***

Les réservoirs à toit flottant sont équipés d'une poutre principale au vent destinée à maintenir leur rotondité lorsqu'ils sont soumis à l'action du vent. Cette poutre principale est située à l'extérieure du réservoir près du sommet de la robe.

Les poutres principales au vent ou portions de celles-ci utilisées comme passerelles de circulation, sont installées à une distance minimale de 1 mètre au-dessous du sommet de la cuve et ont une largeur au moins égale à 600 mm ; elles sont en outre équipées de garde-corps conformes à la réglementation en vigueur.

Quand une ouverture d'escalier est installée par une poutre supérieure au vent le module de section de la partie de l'anneau en dehors de l'ouverture, y compris la section de transition. La robe à côté de l'ouverture sera raidie avec un angle ou une barre, le côté large dont est placé dans un plan horizontal. Les autres côtés de l'ouverture seront également raidis avec un angle ou une barre, le côté large dont est placé dans un plan vertical.

$$W_{\min} = \frac{r^2 H}{4300000} = \frac{2850^2 \times 1585}{4300000}$$

$$W_{\min} = 2993,99128 \text{ cm}^3 = 299399,128 \text{ mm}^3$$

Ou :

H : la hauteur de la coque du réservoir en (cm<sup>3</sup>) ;

r : est le rayon du réservoir en (cm<sup>3</sup>) ;

W<sub>min</sub> : est le module résistant élastique minimal (en cm<sup>3</sup>)

On opte pour une poutre en T de dimensions suivante :

Poutre en T : **T1000x500x10x12**

Longeur.de l'âme : **1000 mm**

Longueur de la semelle : **500 mm**

Epaisseur de l'âme : **10 mm**

Epaisseur de la semelle : **12 mm**

Epaisseur minimal de la coque, t<sub>sc.cor</sub> : **8 mm**

t<sub>sc.cor</sub> : est l'épaisseur de la plaque sur laquelle le raidisseur primaire sera soudé sans prise en compte de la corrosion.

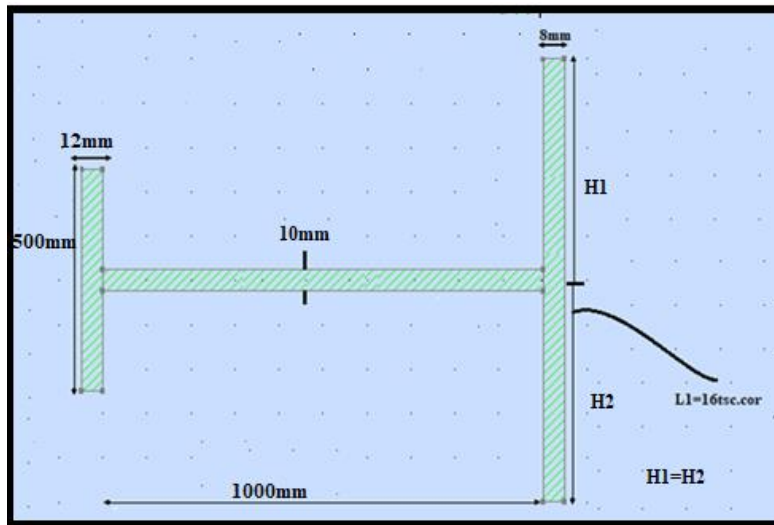


Figure III.17 : Dimension du raidisseur Primaire selon l'Eurocode3

L'évaluation du module résistant élastique réel  $W$  du collet peut inclure les parties de la coque du réservoir qui sont comprises dans une distance de  $16 t_{sc.cor}$  à partir du sommet de la paroi.

- **Calcul de centre d'inertie  $X_G$**

$$X_G = \frac{(500 \times 12) \times \left( \frac{12}{2} + 1008 \right) + (1000 \times 10) \times \left( \frac{1000}{2} + 8 \right) + (256 \times 8) \times (8/2)}{(500 \times 12) + (1000 \times 10) + (256 \times 8)} = 619,0265957 \text{ mm}$$

On prend :

$$X_G = 61,9 \text{ cm}$$

$$I_{y1} = \frac{(12)^3 \times 500}{12} + 6000 (619,02 - 1014)^2$$

$$I_{y1} = 942107940,4 \text{ mm}^4$$

$$I_{y2} = \frac{(1000)^3 \times 10}{12} + 68(619,02 - 508)^2$$

$$I_{y2} = 956602383 \text{ mm}^4$$

$$I_{y3} = \frac{(8)^3 \times 256}{12} = 10922,66667 \text{ mm}^4$$

$$I_{y3} = 10922,66667 \text{ mm}^4$$

$$I_y = I_{y1} + I_{y2} + I_{y3} = 1898721246 \text{ mm}^4$$

**Tableau III.8 :** Calcul des sections et moments d'inerties de chaque élément selon l'EUROCODE3

	A (mm <sup>2</sup> )	Y (mm)	A.Y (mm <sup>3</sup> )	L'Inertie I= (bh <sup>3</sup> )/12 (mm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> = I+A.Y(X <sub>G</sub> -Y) <sup>2</sup>
<b>1</b>	6000	1014	6084000	72000	942107940,4
<b>2</b>	10000	508	5080000	833333333,3	956602383
<b>3</b>	2048	4	8192	10922,66667	10922,66667
<b>Total</b>	<b>18048</b>		<b>11172192</b>	<b>833416256</b>	<b>1898721246</b>

Donc :

$$W_A = \frac{I}{X_G} = 3067269,256 \text{ mm}^3$$

$$W_A = 3067,269256 \text{ cm}^3 > W_{\min} = 2993,99 \text{ cm}^3$$

**Conclusion :**

La poutre au vent choisie vérifie la condition.

Le raidisseur primaire est à 1 m du sommet de la robe, et sachant que l'épaisseur de la virole supérieur est de 8 mm il y'a lieu donc de munir un réservoir d'une cornière de rive ayant la dimension suivant : **L80 x 80 x 8**

- *Poutre au vent secondaire*
  - *Calcul de la hauteur équivalente :*

$$H_e = \sum_{x=1}^9 h_{e,x}$$

$$h_{e,x} = h_x \left( \frac{t_{\min}}{t_x} \right)^{2.5}$$

**Tableau III.9 :** Hauteur équivalente.

Numéro de Virole	Hauteur équivalente H <sub>e</sub> (m)
1	0,4
2	0,55
3	0,821
4	1,295
5	2,264
6	2,264
7	2,226
<b>Total</b>	<b>9,868</b>

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

$$H_e = 0,4 + 0,55 + 0,82 + 1,29 + 2,264 + 2,264 + 2,226 = 9,868 \text{ m}$$

➤ *Calcul de la hauteur maximale entre raidisseur :*

$$H_P = 0,46 \left( \frac{E}{P_{sd}} \right) \left( \frac{t_{min}}{r} \right)^{2,5} r k$$

Avec :

Le module de Young, E :  $2,1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

L'épaisseur minimale des viroles,  $t_{min}$  : 8.00 mm

Le rayon du réservoir, r : 28500mm

La contrainte axiale  $\sigma_{x,d}$  est en traction, k : 1.00

La pression due au vent et à la force du vide partiel,  $P_{sd}$  :  $7,52 \times 10^{-4} \text{ N/mm}^2$

$$H_P = 0,46 \left( \frac{2,1 \times 10^5}{7,52 \times 10^{-4}} \right) \left( \frac{8,00}{28500} \right)^{2,5} \times 28500 \times 1,0$$

$$H_P = 4833,001 \text{ mm} = 4,833 \text{ m}$$

D'où :

$H_e > H_P$  il convient d'utiliser un raidisseur secondaire à mi-hauteur du réservoir c'est-à-dire à  $H = 7,925 \text{ m}$ .

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 III.10** : Dimensions minimale des raidisseurs secondaires

Les dimensions minimales des raidisseurs secondaires	
Diamètre du réservoir (m)	Cornière de rive (mm)
$D \leq 20\text{m}$	100x65x9
$20\text{m} \leq D \leq 36\text{m}$	120x80x10
$36\text{m} \leq D \leq 48\text{m}$	150x100x10
$D > 48\text{m}$	200x100x12

D'après ce tableau on opte pour une poutre au vent secondaire d'une cornière de :

$$200 \times 100 \times 12 \text{ pour } D > 48\text{m}$$

**Remarque :**

Il convient que la grande aile soit en position horizontale.

**Vérification de la stabilité du réservoir au vent :**

$$M_r = V \left( \frac{h}{2} \right) < M_s = \left( \frac{D}{2} \right)$$

### Chapitre III : Pré dimensionnement de l'ouvrage

---

Avec:

V : est la force du vent ;

h : est la hauteur du réservoir ;

W : est le poids total du réservoir à l'état vide ;

D : est le diamètre du réservoir ;

$M_r$  : est le moment de renversement ;

$M_s$  : est le moment stabilisant ;

➤ *Calcul du moment de renversant due au vent «  $M_r$  » :*

Calcul du maitre couple :

$$A = D \times h = 57 \times 15,85 = 57000 \times 15850 = 903450000 \text{ mm}^2 = 90,345 \times 10^7$$

Calcul de l'action du vent :

$$P_{sd} = 7,52 \times 10^{-4} \text{ N/mm}^2$$

$$V = P_{sd} \times A = 7,52 \times 10^{-4} \times 90,345 \times 10^7 = 679394,4 \text{ N} = 679,394 \text{ Kn}$$

$$V = 679,394 \text{ Kn}$$

$$M_r = V \times h/2 = 679,394 \times (15,85/2) = 5384,2 \text{ kN.m}$$

$$M_r = 5384,2 \text{ kN.m}$$

➤ *Calcul du moment stabilisant du au poids propre totale (sans liquide) :*

$$W = W_R$$

$$\rho = 77 \text{ kN/m}^3$$

$W_R = W_{cyl} + W_{toit}$  : Poids propre du cylindre et du toit flottant

$$W_{cyl} = \rho \times V_c = \rho \times \pi D \times \sum h_j t_j$$

$$W_{cyl} = 77 \times \pi \times 57 \times [2.264(0.016 + 0.014 + 0.012 + 0.01 + 0.008 + 0.008) + 2.266(0.008)]$$

$$W_{cyl} = 2371,513637 \text{ kN.m}$$

Avec :

$V_c$  : Volume du cylindre ;

$h_j$  : Hauteur de la virole j ;

$t_j$  : Épaisseur de la virole j ;

$W_{toit} = 0 \text{ kN}$  Car le toit flottant sur le liquide alors son poids n'est pas comptabilisé.

---

Donc :

$$W = W_{cyl}$$

$$M_s = W (D/2) = 2371,51 \times 28,5 = 67588,138 \text{ kN.m}$$

$$M_s = 67588,138 \text{ kN.m}$$

$M_r = 5384,2 \text{ kN.m} < M_s = 67588,13 \text{ kN.m}$ ..... Condition vérifiée.

**Conclusion:**

La stabilité au vent est vérifiée il n'y a pas d'ancrer le bac.

**III.5 CALCUL SELON L'API 650**

**III.5.1 CONCEPTION DU FOND**

– **Tôle centrale du fond**

Epaisseur nominal= 6 mm

Surépaisseur de corrosion= 2 mm

$$t_b = t (\text{min}) + CA = 6 + 2 = 8 \text{ mm}$$

– **Tôle annulaire du fond (tôle marginal)**

• **La largeur de la plus grande tôle annulaire**

Les tôles annulaires du fond auront une largeur radiale de **600** millimètres au moins entre l'intérieur de la robe et n'importe quel joint soudé dans le reste du fond. Une plus grande largeur radiale des tôles annulaires est exigée et calculé comme suit :

$$b = \frac{215 t_b}{(h.g)^{0,5}} \quad (\text{API 650 .5.5.2}) \quad \text{avec:} \quad \left\{ \begin{array}{l} t_b : \text{épaisseur de la tôle annulaire.} \\ h : \text{niveau maximal du liquide} = 13,72 \text{ m.} \\ g : \text{densité du produit stocké} = 0.72 \text{ t/m}^3. \end{array} \right.$$

• **Calcul du  $t_b$**

L'épaisseur des tôles annulaires ne sera pas moins de l'épaisseur le plus grande déterminée en utilisant à partir du tableau 5-2 de l'API 650.

Le matériau A283.Gr C à une contrainte de calcul  $S_d = 137 \text{ MPa}$  et une contrainte de test hydrostatique  $S_t = 154 \text{ MPa}$  donc à partir de tableau 5-1 de l'API 650.

– **Pour :  $S_d = 137 \text{ MPa}$**

On a l'épaisseur des tôles de la 1<sup>ère</sup> virole de la robe de réservoir sans surépaisseur de corrosion pour l'état de service de réservoir égale  $t = 18,02 \text{ mm}$ .

Donc à partir de tableau 5-1(dans l'API650 5-5-3)

### Chapitre III : Pré dimensionnement de l'ouvrage

---

on a :

$$t = 18,02 \text{ mm} \leq 19 \text{ mm} ; \text{ et } S_d = 137 \text{ MPa} \leq 190 \text{ MPa}.$$

D'où : l'épaisseur des tôles annulaires de fond  $t_{br,d} = 6 \text{ mm}$ .

Donc l'épaisseur des tôles annulaires de fond avec surépaisseur de corrosion :

$$t_b = t_{br} + ca = 6 + 2 = 8 \text{ mm}$$

– **Pour** :  $S_t = 154 \text{ MPa}$

On a l'épaisseur des tôles de la 1<sup>ère</sup> virole de la robe de réservoir sans surépaisseur de corrosion pour l'état de test hydrostatique  $t = 18,02 - 2 = 16,02 \text{ mm}$ .

Donc à partir de tableau 5-1 (dans l'API650 5-5-3) on a :  $t = 16,02 \text{ mm} \leq 19 \text{ mm}$

Et : la contrainte de test hydrostatique  $S_t = 154 \text{ MPa} \leq 190 \text{ MPa}$

D'où : l'épaisseur des tôles annulaires de fond  $t_{br,t} = 6 \text{ mm}$ .

Donc l'épaisseur nominal minimum de la tôle annulaire de fond est supérieure à la plus grande épaisseur déterminée en utilisant le tableau 5-1 (dans l'API650 5-5-3) pour l'état de conception ou pour l'état d'essai hydrostatique (sans surépaisseur de corrosion).

Donc :

$$t_{br} > \text{Max} (t_{br,d} ; t_{br,t}) = 6 \text{ mm} \dots \dots \dots \text{Condition minimale.}$$

D'où :

On prend une épaisseur  $t_{br} = 6 \text{ mm}$ .

Donc :

$$t_b = t_{br} + CA = 6 + 2 = 8 \text{ mm}.$$

D'après (API 650 5.1.5.7)

La gorge du cordon de soudure entre la 1<sup>ère</sup> virole et la tôle annulaire :

- Inférieur à 12,5 mm
- Supérieur ou égal à l'épaisseur nominale du plus fin élément.

On a :

$$t_b = 8 < 12,5 \dots \dots \dots \text{(condition vérifiée)}$$

Donc:

$$b = \frac{215 \times 8}{(13,72 \times 0,72)^{0,5}} = 547,24 \text{ mm}$$

Alors on adopte une largeur de  $b = 600 \text{ mm}$

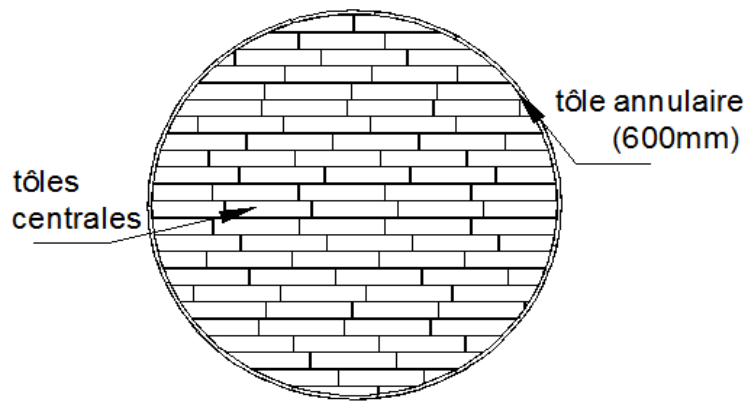


Figure III.18 : Vue en plan – Fond

### III.5.2 DIMENSIONNEMENT DE LA ROBE

➤ *Calcul de nombre des viroles*

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot H_{th} \Rightarrow H_{th} = V / \pi \cdot R^2 = 35000 / 3,14 (28,5)^2$$

$$\Rightarrow H_{th} = 13,72 \text{ m}$$

$H_{th}$ : Niveau du liquide de conception ou hauteur du fond d'assise considéré à la hauteur de remplissage limité par débordement du réservoir

$$\eta_{viroles} = H / h_{virole} = 13,72 / 2,264 = 6,06 \text{ viroles}$$

On prend; le nombre de virole 7

➤ *Calcul de la hauteur du liquide dans chaque virole*

Ils sont définis dans ce tableau suivant :

Tableau III.11 : Hauteur des liquides

Hauteur	Hauteur chaque virole	de	Hauteur de liquide pour chaque virole
1 <sup>ère</sup> virole	2.264 m		13.72m
2 <sup>ème</sup> virole	2.264m		11,456 m
3 <sup>ème</sup> virole	2.264 m		9.192 m
4 <sup>ème</sup> virole	2.264 m		6.928 m
5 <sup>ème</sup> virole	2.264 m		4.664 m
6 <sup>ème</sup> virole	2.264 m		2,4 m
7 <sup>ème</sup> virole	2.266m		0.136 m

Hauteur d'études :  $H = 13,72 \text{ m}$

➤ **Calcul de l'épaisseur « ONE-FOOT-METHOD (5.6.3.1) » :**

La méthode de one-foot calcul les épaisseurs exigées aux points de conception 0,3 m au-dessus de fond de chaque virole.

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

- Formule établie par un calcul théorique approché :

$$t_d = \frac{4.9D(h-0.3)G}{S_d} + CA \dots\dots\dots \text{API 650 (5.6.3.2)}$$

- Formule établie par les essais hydrostatiques :

$$t_t = \frac{4.9D(h-0.3)}{S_t} \dots\dots\dots \text{API 650 (5.6.3.2)}$$

Avec:

H : hauteur, en m. Entre la partie inférieure de la virole considérée et la partie supérieure de la cornière de rive ou la hauteur de remplissage limitée par le trop-plein.

D : diamètre nominal du réservoir, en m.

G = 0,72 : densité du liquide.

S<sub>d</sub> = 193 MPa Contrainte admissible théorique.

S<sub>t</sub> = 208 MPa Contrainte admissible hydrostatique.

CA : surépaisseur de corrosion, en mm

**Tableau III.12 :** Calcul des sections et moments d'inerties de chaque élément du raidisseur primaire selon l'API 650

Nombre de viroles	t <sub>pd</sub> (mm)	t <sub>t</sub> (mm)	Acier utilisé	Epaisseur adoptée en mm
1	15,59	18,02	A 573 Gr. 70	20
2	13,72	14,98	A 573 Gr. 70	16
3	11,26	8,59	A 573 Gr. 70	12
4	8,9	8,9	A 573 Gr. 70	10
5	6,54	5,85	A 573 Gr. 70	8
6	4,18	2,81	A 573 Gr. 70	8
7	1,82	0,22	A 573 Gr. 70	8

### III.5.3 STABILITE DU RESERVOIR

- Cornière de rive
  - Constitution

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

La cornière de rive, de taille normalisée, sera placée à la partie supérieure de la robe v

La cornière de rive joue un rôle pour la rigidité de la robe comme la montre la figure ci-dessous

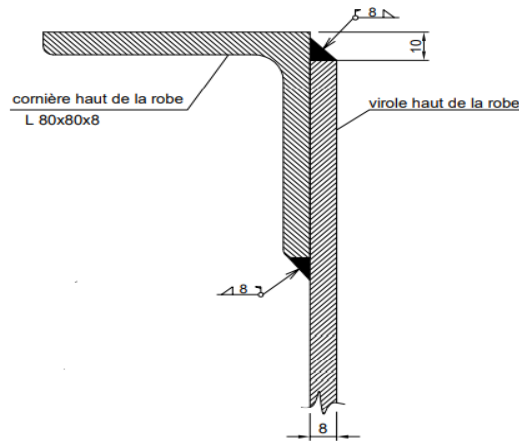


Figure III.19 : Cornière de rive

- Préparation

La cornière de rive sera découpée aux dimensions spécifiées sur les plans d'exécution et cintrées selon le diamètre extérieure de la virole supérieure de la robe.

Les travaux de préparation seront exécutés en atelier.

- Assemblage

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

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

- Recommandations

L'aile en saillie de la cornière de rive sera orientée vers l'extérieur de la robe.

« La robe de réservoir sera munie d'une cornière de rive, conformément aux exigences de la Norme API. 650.Std, cité dans le tableau suivant

**Tableau III.13** : Les tailles équivalentes approximatives qui peuvent être utilisées pour tenir compte de la disponibilité locale des matériaux d'après l'API

Diamètre du réservoir D(m)	L'Angle minimal exigé (mm)
$D \leq 11 \text{ m}$	50x50x5
$11 \text{ m} < D \leq 18 \text{ m}$	50x50x6
$D > 18 \text{ m}$	75x75x10

On opte pour une cornière de rive de **L80x80x8**

### Chapitre III : Pré dimensionnement de l'ouvrage

- **Poutre au vent principale**
  - **Moment résistant exigé**

Le module minimum exigé de section de raidissement sera déterminé par l'équation suivante :

$$Z = \frac{D^2 H_2}{17} \left( \frac{V}{190} \right)^2 \dots\dots\dots \text{API 650 (5.9.6.1)} .$$

Z : Moment résistant exigé (cm<sup>3</sup>)

D : Diamètre nominal du réservoir = 57 m

H<sub>2</sub> : Hauteur maximal de la robe du réservoir = 15,85 m

V : Etude vitesse du vent = 180 km/h

$$Z = \frac{57^2 \cdot 15,85}{17} \left( \frac{180}{190} \right)^2 = 2718,74 \text{ cm}^3$$

D'après API 650 (5.9.4) :  $b \geq 710 \text{ mm}$       On prend  $b = 1000 \text{ mm}$

Dimensionnement de l'élément :

On opte pour une poutre en T de dimensions suivante :

Poutre en T : **T1000x500x10x12**

Longeur.de l'âme : **1000mm**

Longueur de la semelle : **500 mm**

Epaisseur de l'âme : **10 mm**

Epaisseur de la semelle : **12 mm**

Epaisseur minimal de la coque,  $t_{sc.cor}$  : **8 mm**

$t_{sc.cor}$  : est l'épaisseur de la plaque sur laquelle le raidisseur primaire sera soudé sans prise en compte de la corrosion.

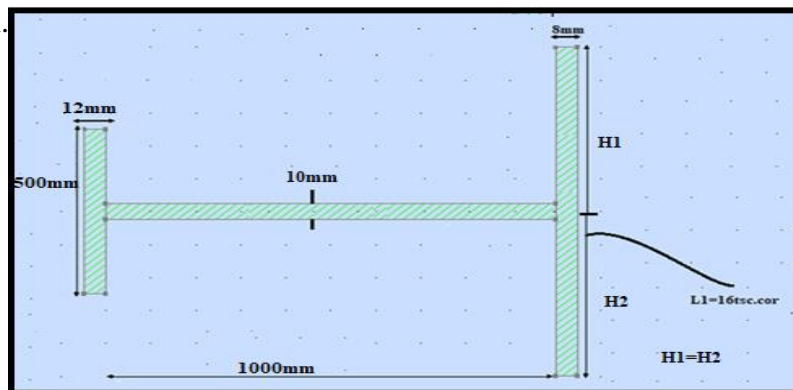


Figure III.20 : Poutre principale

**Chapitre III : Pré dimensionnement de l'ouvrage**

➤ **Calcul de centre d'inertie  $X_G$**

$$X_G = \frac{(500 \times 12) \times \left(\frac{12}{2}\right) + (1000 \times 10) \times \left(\frac{1000}{2}\right) + (256 \times 8) \times (8/2)}{(500 \times 12) + (1000 \times 10) + (256 \times 8)} = 619,0265957 \text{ mm}$$

**$X_G = 61,9 \text{ cm}$**

**Tableau III.14 :** Calcul des sections et moments d'inerties de chaque élément du raidisseur primaire selon l'API 650

	<b>A (<math>mm^2</math>)</b>	<b>Y (mm)</b>	<b>A.Y (<math>mm^3</math>)</b>	<b>L'Inertie I= (bh<sup>3</sup>)/12 (<math>mm^4</math>)</b>	<b>I<sub>y</sub>= I+A.Y(X<sub>G</sub>-Y)<sup>2</sup></b>
1	6000	1014	6084000	72000	942107940,4
2	10000	508	5080000	833333333,3	956602383
3	2048	4	8192	10922,66667	10922,66667
<b>Total</b>	<b>18048</b>		<b>11172192</b>	<b>833416256</b>	<b>1898721246</b>

Donc :

$$W = \frac{I}{X_G} = 3067,26 \text{ cm}^3 > Z = 2718,74 \text{ cm}^3$$

**Conclusion :**

La poutre au vent choisie vérifie la condition.

➤ **Calcul de la hauteur transformée de la robe (Htr)**

$$H_1 = 9,47 t \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 \left(\frac{190}{V}\right)^2} \dots\dots\dots \text{API 650(5.9.7.1).}$$

Avec :

H<sub>1</sub> : Distance vertical admissible entre :

- Poutre raidisseuse intermédiaire (s'il y en a) et poutre raidisseuse supérieure.
- La tôle annulaire de fond (si la robe est non raidie).

t : L'épaisseur de la virole supérieure de la robe sans surépaisseur de corrosion admissible (mm).

D : Diamètre nominal du réservoir (m).

V : Etude vitesse du vent (km/h).

$$H_1 = 9,47 \times 8 \sqrt{\left(\frac{8}{57}\right)^3 \left(\frac{190}{180}\right)^2} = 4,68 \text{ m}$$

Selon API 650 paragraphe (3.9.7.2.) On a **Htr = Σ Htri ; i = 1.....7**

Tel que :

$$H_{tri} = H_i \sqrt{\left(\frac{t_{\text{uniforme}}}{t_{\text{actuel}}}\right)^5} \text{ (m)}$$

Avec :

- W<sub>i</sub> : largeur de la virole transformée.
- t (uniforme) : épaisseur de la dernière virole.
- t (actuel) : épaisseur de la virole transformée.

D'ou on obtient les résultats suivant citer dans le tableau ci-dessous:

**Tableau III.15** : Calcul des hauteurs transformées de la robe

Numéro de Virole	Hauteur transformée (mm)
1	229,1
2	400,22
3	821,57
4	821,57
5	1524,96
6	2264
7	2266
<b>Total</b>	<b>9127,43</b>

D'ou:

$$H_{tr} = \sum_1^7 H_{tr} = 9127,43 \text{ mm} > H_1 = 4440 \text{ mm}$$

⇒ La robe nécessite un raidisseur intermédiaire.

Il faut installer une poutre raidisseuse intermédiaire de vent paragraphe (5.9.7.3).

La position de la poutre intermédiaire de vent égale

$$\frac{W}{2} = 4563,71 \text{ mm D'après paragraphe 5.9.7.3.1.}$$

$$\frac{W}{2} = 4563,71 \text{ mm} < H_1 ; \text{ donc il n'y a pas de 2}^{\text{ème}} \text{ poutre intermédiaire.}$$

Donc la poutre intermédiaire se situe sur la même virole dans la robe réelle.

- **Calcul de la poutre au vent secondaire**

- **Moment résistant exigé**

Selon le code API 650 paragraphe 5 (5.9.7.6):

Le module d'inertie minimal requis de la section (raidisseur intermédiaire) est donné par la formule suivante :

### Chapitre III : Pré dimensionnement de l'ouvrage

$$Z = \frac{D^2 H_1}{17} \left( \frac{V}{190} \right)^2$$

Avec :

- D : diamètre du réservoir = 57 m.
- H<sub>1</sub>: distance entre le raidisseur intermédiaire et la Cornière de rive = 4,56371 m.
- V : vitesse du vent = 180 km/h.

$$Z = \frac{57^2 \cdot 4,04822}{17} \left( \frac{180}{190} \right)^2 = 782,81 \text{ cm}^3$$

$$Z = 782,81 \text{ cm}^3$$

La partie de la robe au-dessus et au-dessous qui doit être incluse dans le moment de résistance de la Poutre intermédiaire.

On opte pour une poutre en T de dimensions suivante :

Poutre en T : **T500x250x8x8**

Longueur de l'âme : **250 mm**

Longueur de la semelle : **500 mm**

Épaisseur de l'âme : **8 mm**

Épaisseur de la semelle : **8 mm**

Épaisseur minimal de la coque,  $t_{sc.cor}$  : **8 mm**

$t_{sc.cor}$  : est l'épaisseur de la plaque sur laquelle le raidisseur primaire sera soudé sans prise en compte de la corrosion.

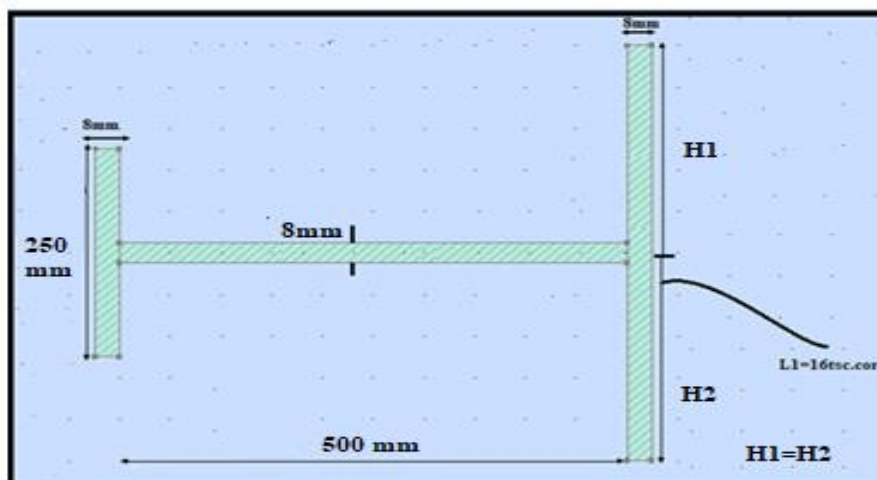


Figure III.21 : Poutre secondaire

➤ *Calcul de centre d'inertie de la poutre*

$$X_G = \frac{(250 \times 8)(4+508) + (500 \times 8)(250+8) + (8 \times 256)(4)}{2000+4400+2048} = 256,66 \text{ mm}$$

$$X_G = 25,66 \text{ cm}$$

**Tableau III.16 :** Calcul des sections et moments d'inerties de chaque élément du raidisseur secondaire selon l'API 650

	A (mm <sup>2</sup> )	Y (mm)	A.Y (mm <sup>3</sup> )	L'Inertie I= (bh <sup>3</sup> )/12 (mm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> = I+A.Y(X <sub>G</sub> -Y) <sup>2</sup>
1	2000	512	1024000	10666,66667	130513104,9
2	4400	258	1135200	83333333,33	83342497,54
3	2048	4	8192	10922,66667	10922,66667
<b>Total</b>	<b>8448</b>		<b>2167392</b>	<b>83354922,67</b>	<b>213866525,1</b>

$$Z_{\min} = \frac{213866525,1}{256,66} = 833602,96 \text{ mm}^3$$

Donc:

$$Z_{\min} = 833,602 \text{ cm}^3 > z = 694,388 \text{ cm}^3 \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée}$$

⇒ **Le raidisseur intermédiaire vérifie la condition**

**III.5.4 Renversement du réservoir dû à la charge du vent**

Il faut satisfaire aux deux critères de soulèvement pour ne pas ancrer le réservoir selon l'article 5.11.2 API Std.650. Les deux critères sont:

- 1)  $0,6 M_W + M_{Pi} < M_{DL} / 1,5$
- 2)  $M_W + 0,4M_{Pi} < (M_{DL} + M_F) / 2$

$M_{Pi}$  : moment au fond de la robe dû à la pression intérieure

$$M_{Pi} = 0 \text{ kN.m}$$

$F_s$  : charge du vent la coque

$L_s$  : Demi-hauteur du réservoir

$$M_W = 264,96 \times (15,85/2) = 2099,808 \text{ kN.m}$$

$$M_W = 2099,808 \text{ kN.m}$$

$M_{DL}$  : moment au fond de la robe dû au poids propre de la robe et du toit qui s'appuie sur la robe (s'il existe).

$$Q_1 = Q_{\text{cornière de rive}} = 1,73 \text{ t}$$

$$Q_2 = Q_{\text{coque}} = 300678,6 \text{ Kg} = 300,6786 \text{ t}$$

### Chapitre III : Pré dimensionnement de l'ouvrage

---

$$Q = Q_1 + Q_2 = 302408,9 \text{ Kg} = 302,4089 \text{ t} = 302,4089 \text{ kN}$$

$$M_{DL} = Q \cdot D/2 = 302,4089 \times 28,5 = 8618,65 \text{ kN.m}$$

$$\mathbf{M_{DL} = 8618,65 \text{ kN.m}}$$

$M_F$  : moment au fond de la robe dû au poids du liquide avec poids du liquide.

$$M_F = F \times D/2$$

$$F = W_a \times P$$

$W_a$  - (poids spécifique 0,72 et comme hauteur la moitié de la hauteur du liquide utilisé dans l'étude).

$$W_a = 59 t_b \sqrt{H f_{by}}$$

$F_{by}$  : limite élastique des tôles annulaires du fond.

$$F_{by} = 205 \text{ Mpa}$$

$t_b$  : Epaisseur de la tôle annulaire, (moins la surépaisseur de la corrosion).

$$t_b = 8 - 2 = 6 \text{ mm}$$

$H$  : semi hauteur de liquide (13,72 /2).

$$W_a = 59 \times 6 \sqrt{205 \times \frac{13,72}{2}} = 13275,236 \text{ N/m}$$

Poids de fluide :

$$F = W_a \times P = 13275,236 \times \pi \times 57 = 2376 \text{ kN}$$

$$M_f = F \times D/2 = 2376 \times 28,5 = 67716 \text{ kN.m}$$

$$\mathbf{M_f = 67716 \text{ kN.m}}$$

$$\mathbf{1. 0,6 MW + MP_i < MDL / 1,5}$$

$$0,6 \cdot 2099,808 + 0 < 8618,628/1,5$$

$$\mathbf{1259,88 < 5745,752 \dots\dots\dots \text{condition vérifier}}$$

$$\mathbf{2. M_W + 0,4M_{P_i} < (M_{DL} + M_F) / 2}$$

$$2099,808 < (8618,628 + 67716) / 2$$

$$\mathbf{2099,808 < 38167,314 \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée.}}$$

**Conclusion :**

Les deux conditions sont vérifiées donc notre réservoir est non-encre.

### III.6 COMPARAISON ET COMMENTAIRES

Dans cette partie nous allons mener une simple comparaison entre les deux règlements **API650** et **EUROCODE 3** cependant on procèdera au tableau **III.17** ci-dessous afin de récapituler toutes les valeurs trouvées avec les deux règlements et déterminer la différence entre ces deux derniers.

**Tableau.III.17** : Tableau résumant tous les résultats des règlements **EUROCODE 3** et **API650 (2013)**

		<b>EUROCODE 3</b>	<b>API 650 (2013)</b>
	<b>Numéro de virole</b>	<b>T<sub>cal</sub> (mm)</b>	<b>T<sub>cal</sub> (mm)</b>
<b>Epaisseurs des viroles</b>	<i>1<sup>ère</sup> virole</i>	14,6 mm	18,02 mm
	<i>2<sup>ème</sup> virole</i>	12,5 mm	14,98 mm
	<i>3<sup>ème</sup> virole</i>	10,3 mm	8,59 mm
	<i>4<sup>ème</sup> virole</i>	8,2 mm	8,9 mm
	<i>5<sup>ème</sup> virole</i>	6,1 mm	5,85 mm
	<i>6<sup>ème</sup> virole</i>	4 mm	2,81 mm
	<i>7<sup>ème</sup> virole</i>	1,9 mm	0,22 mm
<i>Epaisseur de la plaque du fond</i>		9 mm	8 mm
<i>Epaisseur de la plaque annulaire</i>		13 mm	8 mm
<i>Largeur exposée minimal (Wa)</i>		784 mm	600 mm
<i>Largeur de recouvrement annulaire</i>		60 mm	60 mm
<i>Distance de la plaque annulaire projetée a l'extérieur</i>		50 mm	50 mm
<i>Cornière de rive</i>		L80 x 80 x 8	L80 x 80 x 8
<i>Poutre au vent principal</i>		T1000x500x10	T1000x500x10
<i>Poutre au vent secondaire</i>		L200x100x12	T500x250x8x8
<i>Stabilité au vent</i>		-Le réservoir est stable au vent -L'ancrage n'est pas nécessaire.	-Le réservoir est stable au vent -L'ancrage n'est pas nécessaire.

Du tableau **III.17** on constate que le règlement **API 650 (2013)** à des épaisseurs pour les viroles plus importante que celle obtenue dans **l'EUROCODE 3**, aussi le règlement **API650** abouti à des règlement plus sécuritaire que **l'EUROCODE 3**.

D'autre part **l'EUROCODE3** propose des règles de calcul beaucoup plus simple et moins compliquer que celle appliquer par **l'API 650**.

## Chapitre IV : Etude sismique

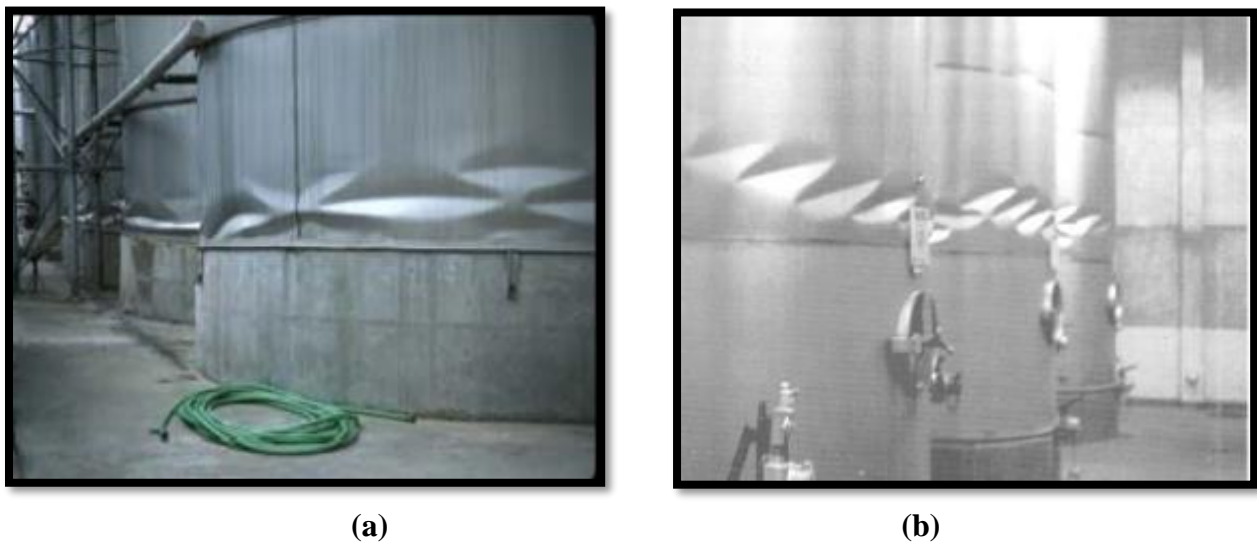


MASTER 2 CM  
UMMTO 2020/2021

## IV.1 INTRODUCTION

Les secousses produites dans un réservoir lors d'un tremblement de terre provoquent le déplacement du liquide à l'intérieur du réservoir.

Le liquide de la partie supérieure du réservoir vibre dans un mouvement ballotement de longue durée, tandis que le reste se déplace rigidement avec le réservoir, avec un mode impulsif. Cette partie impulsive de liquide se déplace par conséquent avec la même accélération de la paroi du réservoir. Cette composante est caractérisée par des oscillations de courte durée. La partie collective de liquide qui se déplace en mouvement ballotement (Vague) et composée d'oscillation de longue durée. Elle détermine principalement les exigences du bord libre (distance entre la surface libre du liquide et le bord supérieur de la paroi du réservoir), tandis que le liquide impulsif contribue surtout à l'effort tranchant à la base et le moment de renversement. La **Figure IV.1** ci-dessous montre le mouvement oscillatoire de sol à la base du réservoir.



**Figure IV.1** : Flambement en pointe de diamant (Photos Courtesy of University of California, Berkeley)

Quant au comportement du toit flottant, lorsque le réservoir est soumis au séisme, n'est pas évident, car il implique l'étude des actions dynamiques réciproques qui se développent à la suite d'une excitation, entre le toit et la masse active du fluide d'une part, d'autre part entre le toit et la robe du réservoir. Ceci engendrera des divers problèmes, tel que à ces problème, on choisit un joint qui convient non seulement pour répondre à la condition d'étanchéité, mais aussi qu'il ait une bonne flexibilité afin d'amortir les chocs et absorber l'énergie développée par la force d'inertie.

La **Figure IV.2 (a)** le toit flottant du réservoir a été submergée par le liquide existant dans le réservoir. Certain toits flottants ont coulé durant le tremblement de terre comme le montre la **Figure IV.2 (b)** les réservoirs d'huile ont pris feu à cause des étincelles générées par le mouvement de haut en bas du toit contre les guides.



(a)



(b)

**Figure IV.2 :** Dommage par ballotement du toit des réservoirs (Séisme de 1999 en Turquie. Photo par Gayle Johnson).

## IV.2 OBJECTIF DE L'ETUDE HYDRODYNAMIQUE

L'étude hydrodynamique implique la détermination du moment de renversement appliqué à la robe du fait de la réponse des masses au déplacement latéral du sol afin de prendre les mesures nécessaires pour assurer la stabilité de l'enveloppe du réservoir contre le renversement et éviter son flambage sous la compression longitudinale.

Comme il nous permet aussi de déterminer les hauteurs des vagues sur les parois.

## IV.3 CHOIX DE LA METHODE DE CALCUL

La sécurité des réservoirs dans des zones de stockage est d'une grande importance. Les réservoirs de stockage de l'eau et des produits liquides industriels (toxique et inflammables) devraient rester fonctionnels durant la période de tremblement de terre et devraient assurer une production continue pour un stockage permanent.

Cependant plusieurs Règlements sont établis afin d'évaluer les réservoirs et le comportement sous l'action sismique. Pour étudier l'action du liquide sur les parois du réservoir on va utiliser les règles Européenne EUROCODE 8 et le règlement parasismique Algérien RPA 2003.

D'après l'Eurocode 8 quatre méthodes de calcul ont été développées : considérant des hypothèses différentes selon la dépendance de la surpression par rapport au temps.

### ➤ Méthode de JACOBSON et AYRE

Dans cette méthode on néglige les sollicitations produites par les vagues du liquide on s'intéresse à la surpression d'impulsion. De plus le champ de vitesse dans le réservoir est directement proportionnel à la vitesse du sol ; ceci a pour première conséquence de pouvoir évaluer la surpression sans préjuger de la forme de l'accélération.

### ➤ Méthode de HUNT et PRIESTLY

Dans cette méthode on 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 HOUZNER

Houzner a développé une méthode qui décompose 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 PRIESTLY et de HOUZNER 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 HOUZNER donne des résultats approchés 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 PRIESTLY.

Avec :

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

D'où

$$h/r = 13,72 / 28,5 = 0,481 < 1,5$$

D'où la méthode de HOUZNER est applicable.

Pour étudier l'action du liquide sur les parois du réservoir on utilise l'approche développée par «**Houzner**» dans laquelle l'action du liquide est décomposé 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 considération un 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 du condensat 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  $M_0$  retenu par des ressorts de raideurs  $K_0$  à un niveau  $H_0$  dont les oscillations horizontales exerçant les mêmes efforts de vibration 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 :

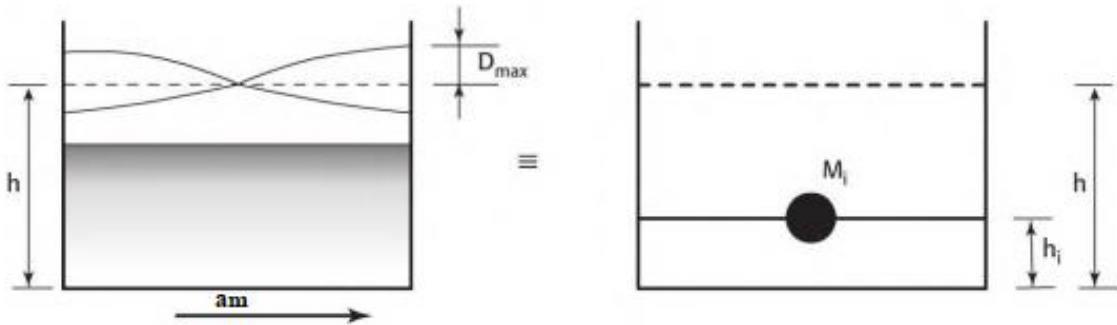


Figure IV.3: Système physique et mécanique équivalent des pressions d'impulsion

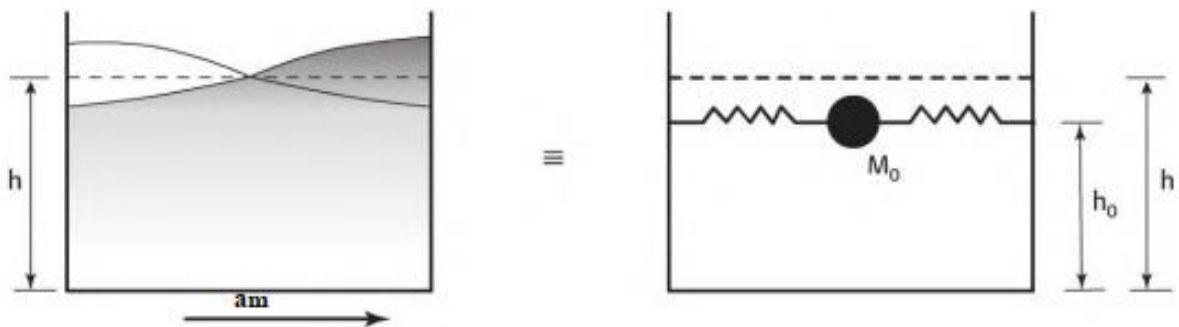


Figure IV.4: Système physique et mécanique équivalent des pressions d'oscillations sur les parois.

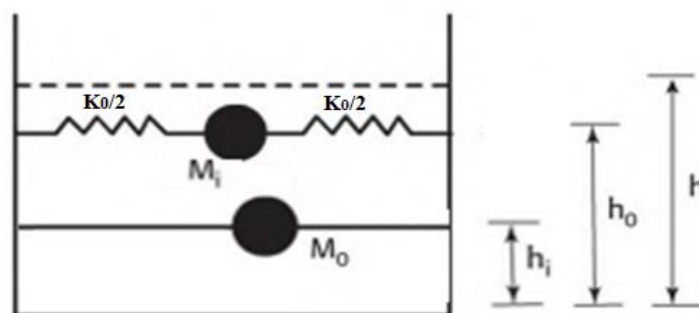
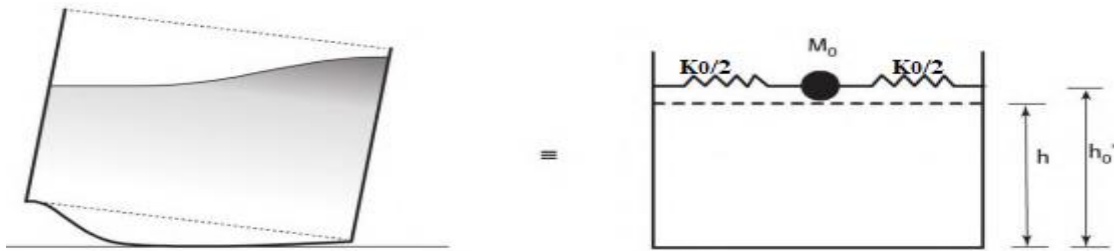


Figure IV.5 : Modèle d'une masse passive  $M_i$  (impulsion) et une masse active  $M_o$  (oscillation)

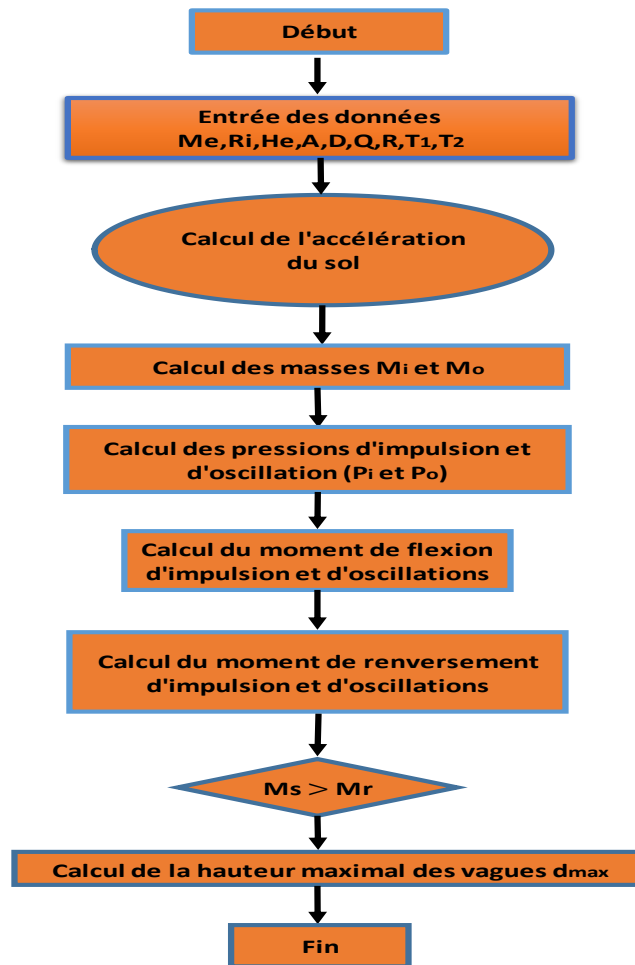


**Figure IV.6 :** Système physique et mécanique équivalent des pressions d'oscillation actions sur les parois et sur la base

#### IV.4 HYPOTHESES DE CALCUL DE LA METHODE DE HOUZNER

- Les parois du réservoir sont rigides
- La disparition d'énergie due à la viscosité du fluide dans les réservoirs
- Le liquide présent dans le réservoir et considérée comme incompressible
- Les réservoirs sont liés rigidement à leurs sol de fondation, ce qui leur confère la même accélération que celle du sol.

Le calcul se fait selon l'organigramme suivant :



(Source annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publique)

## IV.5 CARACTERISIQUE DU SITE

### ➤ Classification des zones sismiques

Le territoire national est divisé en cinq (5) zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones.

La sismicité dans la région OHANET wilaya ILLIZI est faible, voir nulle, comme le montre la carte de sismicité de l'Algérie ci-dessous :

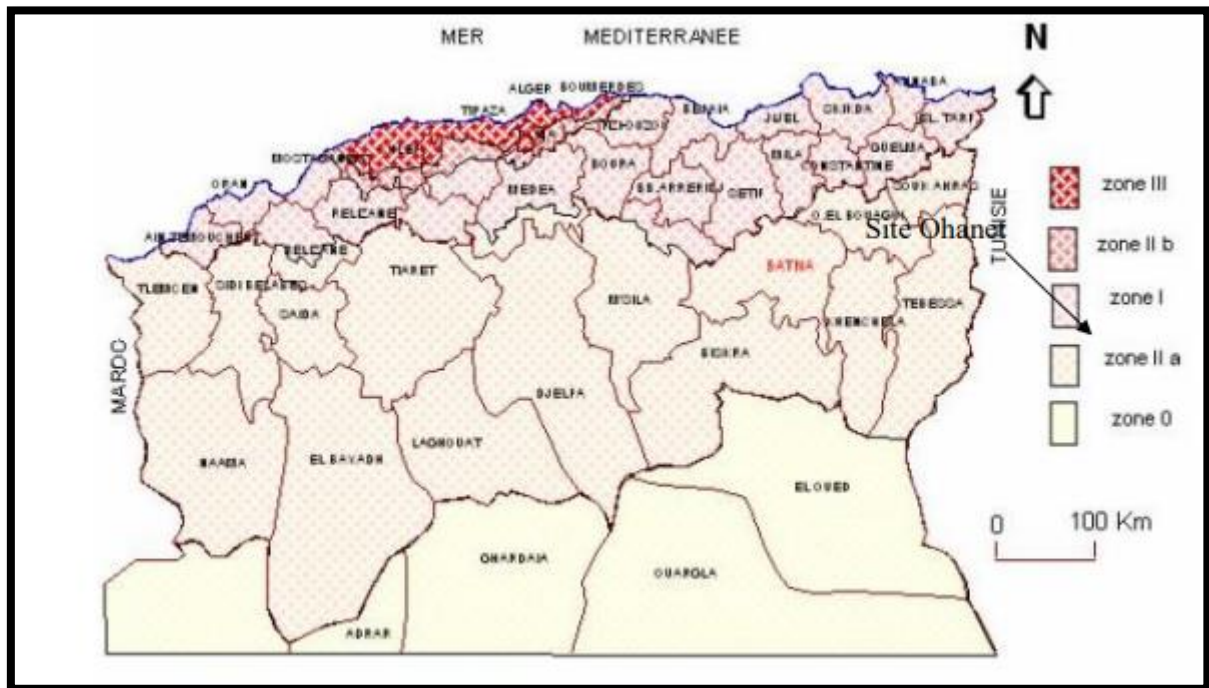


Figure IV.7 : Carte sismique de l'Algérie

Le tableau associé qui précise cette répartition par wilaya et par commune, soit :

- Zone 0** : sismicité négligeable
- Zone I** : sismicité faible
- Zone II a et II b** : sismicité moyenne
- Zone III** : sismicité élevée.

Le réservoir qui fait l'objet de notre étude est d'une capacité de 35000 m<sup>3</sup> implanté dans une zone nulle.

Pour étudier le comportement de ce réservoir lors d'un séisme on opte à implanter dans une zone classée de sismicité élevée (**Zone III**) Wilaya d'Alger par le règlement parasismique Algérien (RPA 2003).

## IV.6 APPLICATION DE LA METHODE DE CALCUL

### IV.6.1 Calcul des actions d'impulsions

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

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

$$P_i = a_m \times M_i$$

Avec :

$$M_i = M_e \times \frac{th(\sqrt{3 \frac{R_i}{H_i}})}{(\sqrt{3 \frac{R_i}{H_i}})}$$

- Calcul de masse du condensat  $M_e$

$$M_e = V_c \cdot \gamma = 35000 \times 0,72 = 25200 \text{ kN}$$

$$M_e = 25200 \text{ kN}$$

- Calcul de la masse d'inertie  $M_i$

$$R_i = (57 - (0,019 \times 2))/2 = 28,481 \text{ m}$$

$$R_i = 28,481 \text{ m}$$

$$\rightarrow H_i = 15,85 \text{ m}$$

$$M_i = 25200 \times \frac{th(\sqrt{3 \frac{28,481}{13,72}})}{(\sqrt{3 \frac{28,481}{13,72}})} = 6998,16 \text{ kN}$$

$$M_i = 6998,16 \text{ kN}$$

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 certain paramètres.

Selon le R.P.A. elle est donné par la relation suivantes :

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

➤ **Coefficient d'accélération A**

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

Pour notre cas on a :

- Un ouvrage d'importance virale son groupe d'usage est : **1A**
- Zone sismique : **III**

**Tableau IV.1 : Coefficient d'accélération des zones**

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

On trouve : **A = 0,40**

➤ **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 les parois en acier **R= 2** (Tableau 4,3P28.....RPA2003)

➤ **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

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

Donc :

$$D=2.5\eta \rightarrow 0 \leq T \leq T_2$$

$$T_2= 0.5 \rightarrow \text{Site 3}$$

- $\eta$ :Facteur d'amortissement donné par la formule :

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

- $\xi$  (%) : est le pourcentage d'amortissement critique en fonction du matériau constitutif du type de structure et de l'importance de remplissages.

Dans notre cas  $\xi = 5\%$  .

d'où : $\eta=1$

**Tableau IV.2 : Valeur de  $\xi$  (%)**

Remplissage	Portique		Voiles ou murs
	Béton	Acier	Béton armé / maçonnerie
Léger	6	4	1
Dense	7	5	0

Donc :

$$D=2.5 \times 1=2.5$$

$$D = 2.5$$

➤ **Facteur de qualité Q**

Q : Facteur de 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 Q est déterminée par la formule :  $Q=1+\sum p_q$

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

**Tableau IV.3 : Valeur de Pénalités**

Critère q	P <sub>q</sub>
Condition minimale 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
<b>Total</b>	<b>0</b>

➤ **Calcul de l'effort tranchant de base**

La force sismique totale V, appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule :

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

D'où :

W : Poids totale du réservoir = 573902,842 kN

$$V = 20136,94 \text{ kN}$$

V = T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> sont les périodes caractéristiques associées à la catégorie du site Si.

**Tableau IV.4 : Périodes caractéristiques**

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

➤ **Calcul de la période fondamentale T**

La formule utilisée :

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

Avec :

P : le poids de l'ouvrage → P = **8152,842 KN**

H<sub>t</sub> : Hauteur de la structure → H<sub>t</sub> = **15,85 m**

E : Module d'élasticité de l'acier → E = **2,1 x 10<sup>5</sup> MPa**

I<sub>x</sub> : Moment d'inertie de la paroi par rapport à l'axe horizontale I<sub>x</sub> :

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

Avec :

$R_i$  : Rayon intérieur du réservoir = **28,481 m**

$R_e$  : Rayon extérieur du réservoir →  **$R_e = 28,5$  m**

$$I_x = \frac{\pi}{4} \times (28,5^4 - 28,481^4) = 1379,69m^4$$

$$I_x = \mathbf{1379,69 m^4}$$

Donc :  **$T = 0.023$  s**

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

$$\frac{a_m}{g} = 1.25 \times 0.40 \times [(1 + (0.023/0.40) \times (2.5 \times 1) \times (1/2) - 1)]$$

$$\frac{a_m}{g} = 1.25 \times 0.40 \times [(1 + (0.023/0.15) \times (2.5 \times 1) \times (1/2) - 1)]$$

$$\frac{a_m}{g} = \mathbf{0.035}$$

$$a_m = \mathbf{0.35}$$

D'où :

$$P_i = a_m \times M_i$$

$$P_i = 0,35 \times 6998,16$$

$$P_i = \mathbf{2449,35 \text{ KN}}$$

#### IV.6.2 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 surpression hydrodynamiques.

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

$$P_0 = \mathbf{1.2M_0 g \varnothing}$$

##### a) Calcul de la masse oscillante $M_0$

La masse oscillante du condensat est donnée par la formule :

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

$$M_0 = 11804,32 \text{ kN/m}^3$$

Calcul de la pulsation fondamentale de vibration du liquide  $\omega$  :

$$\omega_0^2 = \frac{g}{R_i} 1.84 \text{th} \left( 1.84 \frac{H_e}{R_i} \right)$$
$$\omega_0^2 = 0.458 \text{ rad/s}$$

L'angle maximal d'oscillation  $\phi_0$  de la surface libre est donné par la relation suivante :

$$\phi_0 = 0.45 \frac{a_m}{g}$$
$$\phi_0 = 0.1575$$

D'où :

$$P_0 = 1.2 \times 11804,32 \times 10 \times 0,1575 \rightarrow P_0 = 22310,16 \text{ KN}$$

**b) : Action d'oscillations :**

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

$$M_{f0} = P_0 \times h_0$$

Avec :

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

$$h_0 = H_e \cdot \left[ 1 - \frac{1}{1.84 \text{th} \left( 1.84 \frac{H_e}{R_i} \right)} + \frac{1}{1.84 \frac{H_e}{R_i} \text{sh} \left( 1.84 \frac{H_e}{R_i} \right)} \right] = 13,72 \times \left[ 1 - \frac{1}{1.84 \text{th} \left( 1.84 \frac{13,72}{28,485} \right)} + \frac{1}{1.84 \frac{13,72}{28,485} \text{sh} \left( 1.84 \frac{13,72}{28,485} \right)} \right]$$

$$h_0 = 6,82 \text{ m}$$

D'où :

$$M_{f0} = P_0 \times h_0$$

$$M_{f0} = 152363,69 \text{ KN.m}$$

### IV.6.3 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 :

$$M_{fi} = P_i \times h_i$$

---

Avec :

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

$$h_i = 3/8h$$

$$h_i = 5,14 \text{ m}$$

D'où :

$$M_{fi} = 2449,35 \times 5,14$$

$$M_{fi} = 12589,659 \text{ KN.m}$$

#### IV.6.4 Calcul des moments de renversement

##### a) Action d'impulsion

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

$$M_{ri} = P_i \times h_i'$$

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

$$h_i' = \frac{3}{8} H_e + \frac{1}{2} \left[ \frac{\sqrt{3} \frac{R_i}{H_e}}{\text{th}(\sqrt{3} \frac{R_i}{H_e})} \right] = \frac{3}{8} \times 13,72 + \frac{1}{2} \left[ \frac{\sqrt{3} \frac{28,485}{13,72}}{\text{th}(\sqrt{3} \frac{28,485}{13,72})} \right]$$

$$h_i' = 6,94 \text{ m}$$

D'où :

$$M_{ri} = 2449,35 \times 6,94$$

$$M_{ri} = 17012,567 \text{ KN.m}$$

##### b) Actions d'oscillations

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

$$M_{ro} = P_o \times h_o'$$

Avec :

$h_o'$  : Le niveau d'application des pressions d'oscillations incluant l'effet de la pression sur la base est tel que :

$$h_{o'} = H_e \left[ 1 - \frac{ch\left(1,84 \frac{H_e}{R_i}\right) - 2}{1,84 \frac{H_e}{R_i} sh\left(1,84 \frac{H_e}{R_i}\right)} \right] = 13,72 \times \left[ 1 - \frac{ch\left(1,84 \frac{13,72}{28,485}\right) - 2}{1,84 \frac{13,72}{28,485} sh\left(1,84 \frac{13,72}{28,485}\right)} \right]$$

$$h_{o'} = 7,27m$$

D'où:

$$M_{ro} = 22310,16 \times 7,27$$

$$M_{ro} = 162194,86 \text{ KN.m}$$

#### IV.6.5 Vérifications de la stabilité de l'ouvrage

##### ➤ 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. A 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'oscillations). Quant à la résultante des forces horizontales, nous considérons la somme de la force d'impulsion et de la force d'oscillations.

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

$$M_{renv} = M_{ri} + M_{ro} = 162194,86 + 17012,567$$

$$M_{renv} = 179207,427 \text{ KN .m}$$

##### b) Le moment stabilisateur :

- Poids du réservoir plein  $\rightarrow M_c = 573902,842 \text{ KN}$
- Rayon extérieur du réservoir  $\rightarrow R_{ext} = 28,5 \text{ m}$

$$M_{stab} = M_c \times R_{ext}$$

$$M_{stab} = 16356231 \text{ KN.m}$$

$$\text{Rapports : } \frac{M_s}{M_r} = 91,26$$

**Alors pas de risque de renversement**

##### ➤ 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 composant, dans la mesure ou toutefois, après les opérations de contrôle des dommages.

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

$$d_{max} = \frac{0.408 R_i}{\left(\frac{g}{\omega_o^2 \phi_o R_i}\right) th\left(1.84 \frac{H_e}{R_i}\right)}$$

La pulsation fondamentale de vibration du liquide en mouvement est :

$$\dot{\omega}_o = 0.676 \text{ rd/s}$$

Donc :

$$D_{max} = 3,36 \text{ m}$$

➤ **Calcul le poids de l'ouvrage**

- Poids de toiture → **W<sub>t</sub> = 3238,75 kN**
- Poids de robe → **W<sub>rb</sub> = 3024,089 kN**
- Poids du fond → **W<sub>f</sub> = 1890,008 kN**
- Poids du liquide → **W<sub>l</sub> = 565750 kN**
- Poids total du réservoir à l'état vide → **W<sub>1</sub> = 8152,842 kN**
- Poids total du réservoir → **W<sub>4</sub> = 573902,842 kN**

➤ **Calcul des contraintes circonférentielles :**

Les cylindres verticaux des réservoirs reprennent la pression hydrostatique par de simple tentions 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 'a la profondeur maximale. A une profondeur H, la contrainte est donnée par la formule suivante : « **cours silos et réservoir DAHMANI** »

$$\sigma_H = \frac{H \varphi g D}{2 x t}$$

**Tableau IV.5 :** les contraintes de membrane circonférentielles

Calcul des contraintes de membrane circonférentielles				
Eléments	Indices	Valeurs	Contrainte admissibles	unités
1	$\sigma_{c,v1}$	171,180	290	Mpa
2	$\sigma_{c,v2}$	163,99	290	Mpa
3	$\sigma_{c,v3}$	155,021	290	Mpa
4	$\sigma_{c,v4}$	142,99	290	Mpa

<b>5</b>	$\sigma_{c,v5}$	126,73	290	<b>Mpa</b>
<b>6</b>	$\sigma_{c,v6}$	84,50	290	<b>Mpa</b>
<b>7</b>	$\sigma_{c,v7}$	4.22	290	<b>Mpa</b>

**IV.6.6 Vérification au flambement**

Parmi les risque 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 déformations d'une partie de la robe il pourrait s'agir de n'importe quelle virole. Aussi, les différents codes de dimensionnement proposent des normes à respecter afin d'éviter ce genre de déformations l'expressions à vérifier pour les structures en acier est donné pas la relations :

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

**Tableau IV.6 :** les contraintes critiques de flambement pour les viroles

<b>Vérification au flambement</b>			
<b>Elément</b>	<b>indices</b>	<b>Valeurs</b>	<b>Unités</b>
La contrainte critique de flambement pour la virole 1	$\sigma_{cr1}$	84,7	<b>Mpa</b>
La contrainte critique de flambement pour la virole 2	$\sigma_{cr2}$	75,78	<b>Mpa</b>
La contrainte critique de flambement pour la virole 3	$\sigma_{cr3}$	66,86	<b>Mpa</b>
La contrainte critique de flambement pour la virole 4	$\sigma_{cr4}$	57,95	<b>Mpa</b>
La contrainte critique de flambement pour la virole 5	$\sigma_{cr5}$	49,03	<b>Mpa</b>
La contrainte critique de flambement pour la virole 6	$\sigma_{cr6}$	49,03	<b>Mpa</b>
La contrainte critique de flambement pour la virole 7	$\sigma_{cr7}$	49,03	<b>Mpa</b>

### CONCLUSION GENERAL

Dans ce projet nous avons effectué toutes les étapes de calcul et de vérification des éléments constructifs, selon les normes européennes EUROCODE 3 que nous avons vus et vérifiés, et aussi on a bien pu comparer les résultats obtenus avec les normes américaines API std 650, ASTM présentent beaucoup de détails.

Nous avons évolué les actions agissant sur notre ouvrage en utilisant les codes et règlement spécifié dans l’RNV2013 et l’EUROCODE 1

Aussi on a réalisé une étude sismique pour notre réservoir dans une zone de sismicité élevé afin de vérifier son comportement lors d’un séisme et cela en utilisant l’EUROCODE 8 et R.P.A 2003. Cependant on a effectué des vérifications au flambement afin d’éviter les déformations sur la robe et cela en calculant ses contraintes critiques.

En faisant la comparaison entre l’EUROCODE 3 et l’API 650 on a bien pu déduire que l’API 650 abouti à des règlements plus sécuritaire que l’EUROCODE 3 aussi l’EUROCODE3 propose des règles de calcul plus simple et moins compliquer que l’API 650.

Le travail que nous avons réalisé, nous a permis de mettre en pratique, les connaissances acquises durant le cursus universitaire dans le domaine de la construction métallique et en particulier en chaudronnerie.

### Référence bibliographique.

1. Ministre de l'habitat « Règlement neige et vent (version 2013), D.T.R.C2-47 CNERIB 2014
2. Ministre de l'habitat « Document d'accompagnement du DTR RNV (version 2013)», D.T.R.C2-47 CNERIB 2014
3. DTR-B-C 2.2 : « Charges permanentes et charges d'exploitation » Centre National de Recherche Appliquer en Génie-Parasismique CGS.
4. DTR.B.C 2.48 : « Règlement Parasismique Algériennes (RPA99/ version 2003)» Centre National de Recherche Appliquer en Génie-Parasismique CGS.
5. EUROCODE 1 : « Action du vent et de neige (NF EN 1991-1-4 :2005)»
6. EUROCODE 3 : « Calcul des structures métallique et document d'application»
7. EUROCODE 8 : « Calcul des réservoirs en zone sismique».
8. Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publique N<sup>0</sup> (Calcul pratique des réservoirs en zone sismique)
9. API STANDARD 650 : Welded Tanks for Oil Storage
10. AN INTERNATIONAL CODE 2007 ASME Boiler & Pressure vessel code
11. Ouvrage Lahlou Dahmani : Calcul et Conception des Réservoirs et Silos Métallique.
12. Régis CHAMAYOU : Réservoir Métallique Stockage des Liquide.
13. Site Web : Pipe News Article N°14
14. Wikipédia,
15. Site Web : Atlas climatique national
16. Site Web : Google Earth
17. Mokhtar TOUATI : Analyse Linéaire Des Coques Cylindrique Minces Et Des Coques Cylindriques Fissurer , Thèse doctorat d'état en Genie civile université science et de la technologie HOUARI BOUMEDIENE
18. CTICM, guide eurocode, « Vérification des barres comprimées et fléchies d'après l'eurocode 3 », CSTB, aout 2009
19. M. Lesbats- IUT université de Bordeaux 1 par A .Galbois et C.Palmier sous la direction du professeur J. Dos Santos : STOCKAGE DES PRODUITS CHIMIQUE, version en ligne.
20. F. MAJID , M.LAHLOU , M.EL GHORBA , A.HACHIM : Réservoir de stockage , Méthodologie de calcul et analyse sécuritaire , Ecole Nationale Supérieur d'Electricité et de Mécanique de Casablanca (ENSEM) Laboratoire Mécanique de Contrôle et de caractérisation des matériaux et des structures.
21. DJI-ALLAHE BEASSOUM : Etude détaillé d'un réservoir métallique de volume  $V=6450 \text{ m}^3$  et de son assise en béton arme au port de Cotonou. Master en génie civile, Ingénieur de l'eau et de l'environnement.
22. S.P Timoshenko : Résistance des matériaux , Tome 2 .

## ANNEXE 1

### (POIDS DES ELEMENT DU TOIT)

NOMENCLATURE						
Item	Designation	Pcs	POIDS		Plan N°	Remarque
			Unit	Total		
1	DOUBLE PONT	1	302 540	302 540	308	
2	ECHELLE ROULANTE	1	5 390	5 390	320	
3	BARRAGE A MOUSSE	1	5 430	5 430	210	
4	TROUS D'HOMMES ET TUBULURES	1	13 210	13 210	340	
			Total: 326 570 kg			

- Pond inferieur :

NOMENCLATURE							
Item	Designation	Dimensions mm	Materiau	Pcs	POIDS		Remarque
					Unit	Total	
1A	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 10 931/11 000	A283Gr.C	2	1 033,0	2 066,0	R 28 290
1B	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 10 792/11 000	A283Gr.C	2	1 026,4	2 052,8	R 28 290
1C	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 10 650/11 000	A283Gr.C	2	1 019,7	2 039,4	R 28 290
1D	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 10 347/11 000	A283Gr.C	2	1 005,4	2 010,8	R 28 290
1E	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 10 180/11 000	A283Gr.C	2	997,6	1 995,2	R 28 290
1F	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 9 997/11 000	A283Gr.C	2	989,0	1 978,0	R 28 290
1G	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 9 791/11 000	A283Gr.C	2	979,3	1 958,6	R 28 290
1H	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 9 552/11 000	A283Gr.C	2	968,0	1 936,0	R 28 290
1J	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 8 897/11 000	A283Gr.C	2	937,2	1 874,4	R 28 290
1K	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 8 388/11 000	A283Gr.C	2	913,2	1 826,4	R 28 290
1L	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 7 572/11 000	A283Gr.C	2	874,8	1 749,6	R 28 290
20	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 6 815	A283Gr.C	1	642,0	642,0	
21	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 7 650	A283Gr.C	1	720,6	720,6	
22	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 7 585	A283Gr.C	1	714,5	714,5	
23	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 9 160	A283Gr.C	1	862,9	862,9	
24	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 9 750	A283Gr.C	1	918,5	918,5	
25	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 10 070	A283Gr.C	1	948,6	948,6	
26	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 7 825	A283Gr.C	1	737,1	737,1	
27	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 7 245	A283Gr.C	1	682,5	682,5	
28	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 6 855	A283Gr.C	1	645,7	645,7	
29	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 9 630	A283Gr.C	1	907,1	907,1	
30	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 9 490	A283Gr.C	1	894,0	894,0	
31	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 8 000	A283Gr.C	1	753,6	753,6	
32	Toles	⌀ 6 x 2 000 x 10 075	A283Gr.C	1	949,1	949,1	
					Total: 31 863,3 kg		
					Total pour items 1 - 19: 90 377 kg		
					Grand total pour pont inferieur: 122 240,3 kg		

• Pond supérieur :

NOMENCLATURE							
Item	Designation	Dimensions mm	Materiau	Pcs	POIDS		Remarque
					Unit	Total	
1A	Toles	⌀ 5 x 2 000 x 10 931/11 000	A283Gr.C	2	860,8	1 721,6	R 28 295
1B	Toles	⌀ 5 x 2 000 x 10 792/11 000	A283Gr.C	2	855,3	1 710,6	R 28 295
1C	Toles	⌀ 5 x 2 000 x 10 650/11 000	A283Gr.C	2	849,8	1 699,6	R 28 295
1D	Toles	⌀ 5 x 2 000 x 10 347/11 000	A283Gr.C	2	837,9	1 675,8	R 28 295
1E	Toles	⌀ 5 x 2 000 x 10 180/11 000	A283Gr.C	2	831,3	1 662,6	R 28 295
1F	Toles	⌀ 5 x 2 000 x 9 997/11 000	A283Gr.C	2	824,1	1 648,2	R 28 295
1G	Toles	⌀ 5 x 2 000 x 9 791/11 000	A283Gr.C	2	816,1	1 632,2	R 28 295
1H	Toles	⌀ 5 x 2 000 x 9 552/11 000	A283Gr.C	2	806,7	1 613,4	R 28 295
1J	Toles	⌀ 5 x 2 000 x 8 897/11 000	A283Gr.C	2	781,0	1 562,0	R 28 295
1K	Toles	⌀ 5 x 2 000 x 8 389/11 000	A283Gr.C	2	761,0	1 522,0	R 28 295
1L	Toles	⌀ 5 x 2 000 x 7 574/11 000	A283Gr.C	2	729,0	1 458,0	R 28 295
					Total:	17 906,0 kg	
					Total pour Items	1 - 19: 83 987,4 kg	
					Grand total pour pont supérieur:	101 893,4 kg	

ANNEX 2

(POIDS DES ELEMENTS DE LA ROBE)

NOMENCLATURE							
Item	Désignation	Dimensions	Matériau	Pcs	POIDS		Remarque
					Unit	Total	
1	Tôle	⌀ 20 x 2264 x 11193	A573Gr.70	7	3978.5	27849.5	
1A, 1B	Tôle	⌀ 20 x 2264 x 7200	A573Gr.70	2	2559.2	5118.4	
1C	Tôle	⌀ 22 x 2264 x 4000	A573Gr.70	2			voir plan portes de nettoyage
1D,1E,1F	Tôle	⌀ 20 x 2264 x 11193	A573Gr.70	3	3978.5	11935.5	
1G,1H,1I	Tôle	⌀ 20 x 2264 x 11193	A573Gr.70	3	3978.5	11935.5	
1J	Tôle	⌀ 20 x 2264 x 11193	A573Gr.70	1	3978.5	3978.5	
2	Tôle	⊐ 16 x 2264 x 11193	A573Gr.70	16	3182.8	50924.8	
3	Tôle	⌀ 13 x 2264 x 11193	A573Gr.70	16	2586.0	41376.0	
4	Tôle	⌀ 11 x 2264 x 11192	A573Gr.70	16	2188.0	35008.0	
5	Tôle	⌀ 10 x 2264 x 11192	A573Gr.70	32	1989.1	63651.2	
6	Tôle	⌀ 8 x 2264 x 11191	A573Gr.70	15	1591.1	23866.5	
6A	Tôle	⌀ 8 x 2264 x 11191	A573Gr.70	1	1591.1	1591.1	
7	Cornière L 80 x 80 x 8 L=179121		A 36	1	1730.3	1730.3	
8	POUTRE RAIDISSEUSE PRINCIPALE			1			
9	POUTRE RAIDISSEUSE INTERMEDIAIRE			1			
					Total: 278 965.3		

- Poutre raidisseuse principal :

NOMENCLATURE							
Item	Designation	Dimensions mm	Materiau	Pcs	POIDS		Remarque
					Unit	Total	
1	TOLE LARMEE	⌀ 8 x 890 x 6157	A36	28	344,1	9634,8	
2	TOLE	⌀ 11 x 250 x 6157	A 573 GR.70	28	133	3724	
3	CORNIERE	L 75x75x6 L=1227	A36	56	8,5	476	
4	TOLE	⌀ 10x ⌀200	A 283 GR.C	56	2,5	140	
5	TOLE	⌀ 8 x 120 x 180	A 283 GR.C	56	1,4	78,4	
					Total: 14.053,2 KG		

- Poutre raidisseuse secondaire :

NOMENCLATURE							
Item	Designation	Dimensions mm	Materiau	Pcs	POIDS		Remarque
					Unit	Total	
1	TOLE	⌀ 10 x 170 x 6006	A 573 GR.70	30	80,2	2406	
2	TOLE	⌀ 12 x 150 x 6006	A 283 GR.C	30	84,9	2547	
					Total: 4953 KG		

• Turbulence et accessoire de la robe spécification :

DESTINATION	DIM. INCHES	CLASSE	TYPE DE TUBULURE	$\alpha^\circ$	ARRANGEMENT			TUBE		BRIDE	TAMPON	TOLE RENFORT		SOUDURES		POIDS KG	
					A MM	B MM	C MM	DP MM	TP MM	TF MM	Tc MM	DR MM	TR MM	K 1 MM	K 2 MM		
TROU D'HOMME	30"	-	MH	3.53	900	350	-	762	14.27	16		20	1545	20	8	20	553.7
TROU D'HOMME	30"	-	MH	93.53	900	350	-	762	14.27	16		20	1545	20	8	20	553.7
TROU D'HOMME	30"	-	MH	273.53	900	350	-	762	14.27	16		20	1545	20	8	20	553.7
TUBULURE	24"	150	F	-	725	300	-	610	15.88	ANSI B16.5, SORF	-	1255	20	8	20	317.7	
TUBULURE	24"	150	F	-	725	300	-	610	15.88	ANSI B16.5, SORF	-	1255	20	8	20	317.7	
TUBULURE	24"	150	F	-	725	419	-	610	15.88	ANSI B16.5, SORF	-	1255	20	8	20	349.1	
PORTE DE NETTOYAGE	36"X48"	-	-	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4186.4
PORTE DE NETTOYAGE	36"X48"	-	-	234	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4186.4
TROP-PLEIN	16"	150	S	144	14853	390	-	406.4	12.7	ANSI B16.5, SORF	-	850	8	8	8	1876.1	
TUBULURE DRAIN/(CUVETTE)	8"	150	D	16	350	200	200	219.1	15.09	ANSI B16.5, SORF	-	485	20	8	20	84.1/ 1035.5	
TUBULURE DRAIN/(CUVETTE)	8"	150	D	139	350	200	200	219.1	15.09	ANSI B16.5, SORF	-	485	20	8	20	84.1/ 1035.5	
TUBULURE DRAIN/(CUVETTE)	8"	150	D	259	350	200	200	219.1	15.09	ANSI B16.5, SORF	-	485	20	8	20	84.1/ 1035.5	
DRAIN DU TOIT FLOTTANT	10"/4"	150	F/D	218	400	225	-	273.0	15.09	ANSI B16.5, SORF	BRIDE PLEINE	585	20	8	20	143.5	
TUBULURE DE RESERVE	24"	150	F	-	725	419	-	610	15.88	ANSI B16.5, SORF	BRIDE PLEINE	1255	20	8	20	575.1	

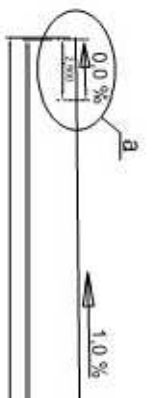
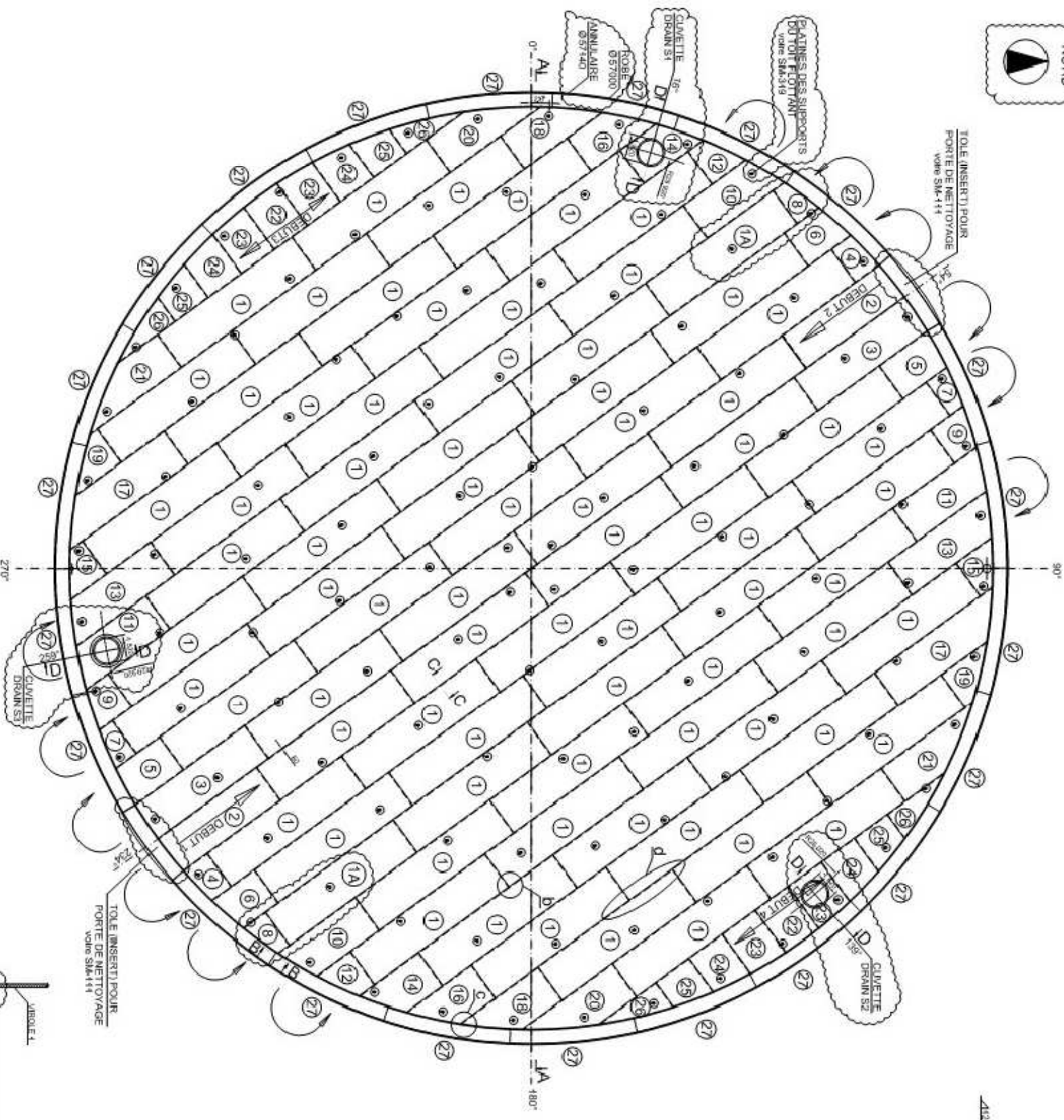
## ANNEXE 3

## (POIDS DES ELEMNTS DU FOND)

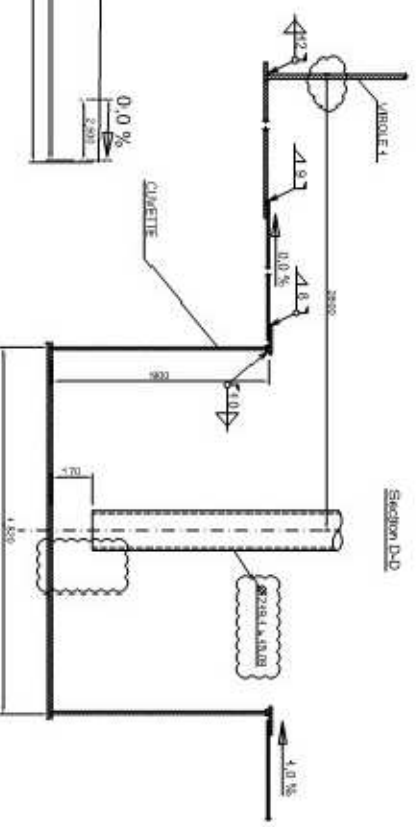
NOMENCLATURE							
Item	Désignation	Dimensions	Materiau	Pcs	POIDS		Remarque
					Unitaire	Total	
1	Tô les	☺ 9 x 2500 x 10000	A 283Gr.C	76	1766,3	134238,8	
1A	Tô les	☺ 9 x 2500 x 9500	A 283Gr.C	2	1677,9	3355,8	
2	Tô les	☺ 9 x 2500 x 7295	A 283Gr.C	2	1288,5	2577,0	
3	Tô les	☺ 9 x 2500 x 8205	A 283Gr.C	2	1449,2	2898,4	
4	Tô les	☺ 9 x 2500 x 1656	A 283Gr.C	2	292,5	585,0	
5	Tô les	☺ 9 x 2500 x 3457	A 283Gr.C	2	610,6	1221,2	
6	Tô les	☺ 9 x 2500 x 2913	A 283Gr.C	2	514,5	1029,0	
7	Tô les	☺ 9 x 2500 x 1314	A 283Gr.C	2	232,1	464,2	
8	Tô les	☺ 9 x 2500 x 1285	A 283Gr.C	2	227,0	454,0	
9	Tô les	☺ 9 x 2500 x 2086	A 283Gr.C	2	368,4	736,8	
10	Tô les	☺ 9 x 2500 x 5221	A 283Gr.C	2	922,2	1844,4	
11	Tô les	☺ 9 x 2500 x 5735	A 283Gr.C	2	1013,0	2026,0	
12	Tô les	☺ 9 x 2500 x 1873	A 283Gr.C	2	330,8	661,6	
13	Tô les	☺ 9 x 2500 x 6650	A 283Gr.C	2	1174,6	2349,2	
14	Tô les	☺ 9 x 2500 x 3592	A 283Gr.C	2	634,5	1269,0	
15	Tô les	☺ 9 x 2500 x 1836	A 283Gr.C	2	324,3	648,6	
16	Tô les	☺ 9 x 2500 x 3758	A 283Gr.C	2	663,8	1327,6	
17	Tô les	☺ 9 x 2500 x 7709	A 283Gr.C	2	1361,6	2723,2	
18	Tô les	☺ 9 x 2500 x 4426	A 283Gr.C	2	781,8	1563,6	
19	Tô les	☺ 9 x 2500 x 2045	A 283Gr.C	2	361,2	722,4	
20	Tô les	☺ 9 x 2500 x 4812	A 283Gr.C	2	849,9	1699,8	
21	Tô les	☺ 9 x 2500 x 4937	A 283Gr.C	2	872,0	1744,0	
22	Tô les	☺ 9 x 2500 x 3205	A 283Gr.C	2	566,1	1132,2	
23	Tô les	☺ 9 x 2500 x 3068	A 283Gr.C	4	541,9	2167,6	
24	Tô les	☺ 9 x 2500 x 2738	A 283Gr.C	4	483,6	1934,4	
25	Tô les	☺ 9 x 2500 x 2180	A 283Gr.C	4	385,1	1540,4	
26	Tô les	☺ 9 x 1851 x 4379	A 283Gr.C	4	286,3	1145,3	
27	Tô les	☺ 12 x 950 x 7570	A573Gr.70	22	677,4	14902,8	
28	PLAT	☺ 5 x 50 x 952	A 283Gr.C	20	1,9	38,0	
					Total: 189000,3		



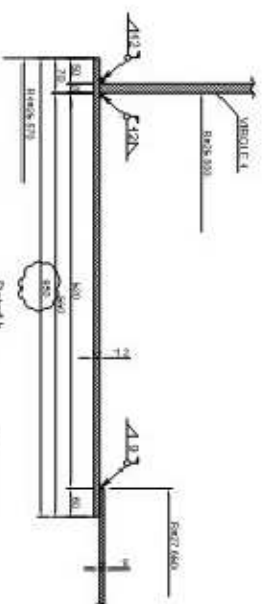
FOND  
Echelle: 1/1500



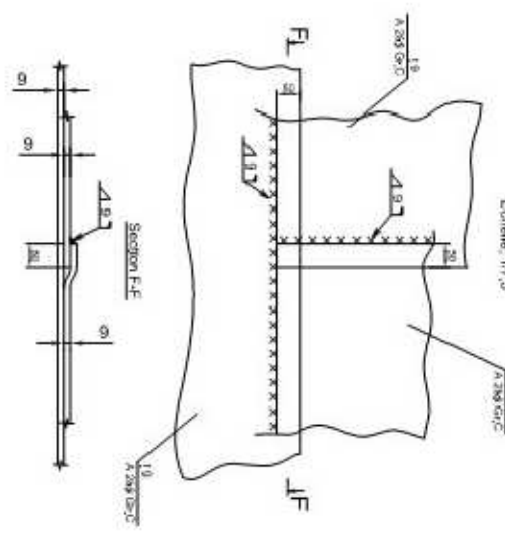
Section A-A  
Echelle: 1/1500



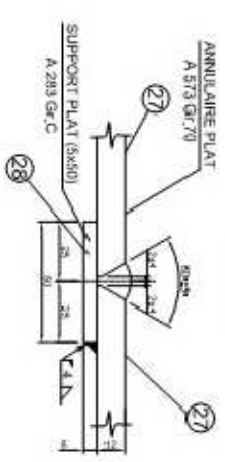
Section D-D



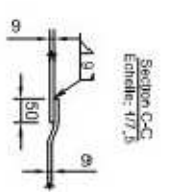
Detail A  
Echelle: 1/7.5



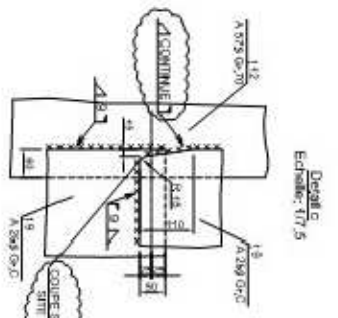
Section E-E  
Echelle: 1/7.5



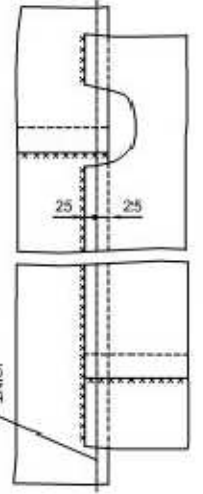
Section B-B  
Echelle: 1/7.5



Section C-C  
Echelle: 1/7.5



Detail C  
Echelle: 1/7.5



Detail D  
Echelle: 1/7.5

- NOTES
1. SOLDERIE SUIVANT WPS
  2. CONTRÔLE RADIOGRAPHIQUE SUIVANT API 650
  3. INSPECTION ET ESSAIS SUIVANT API 650

GOOD FOR EXECUTION  
MURDERE INSTANT

NOMENCLATURE

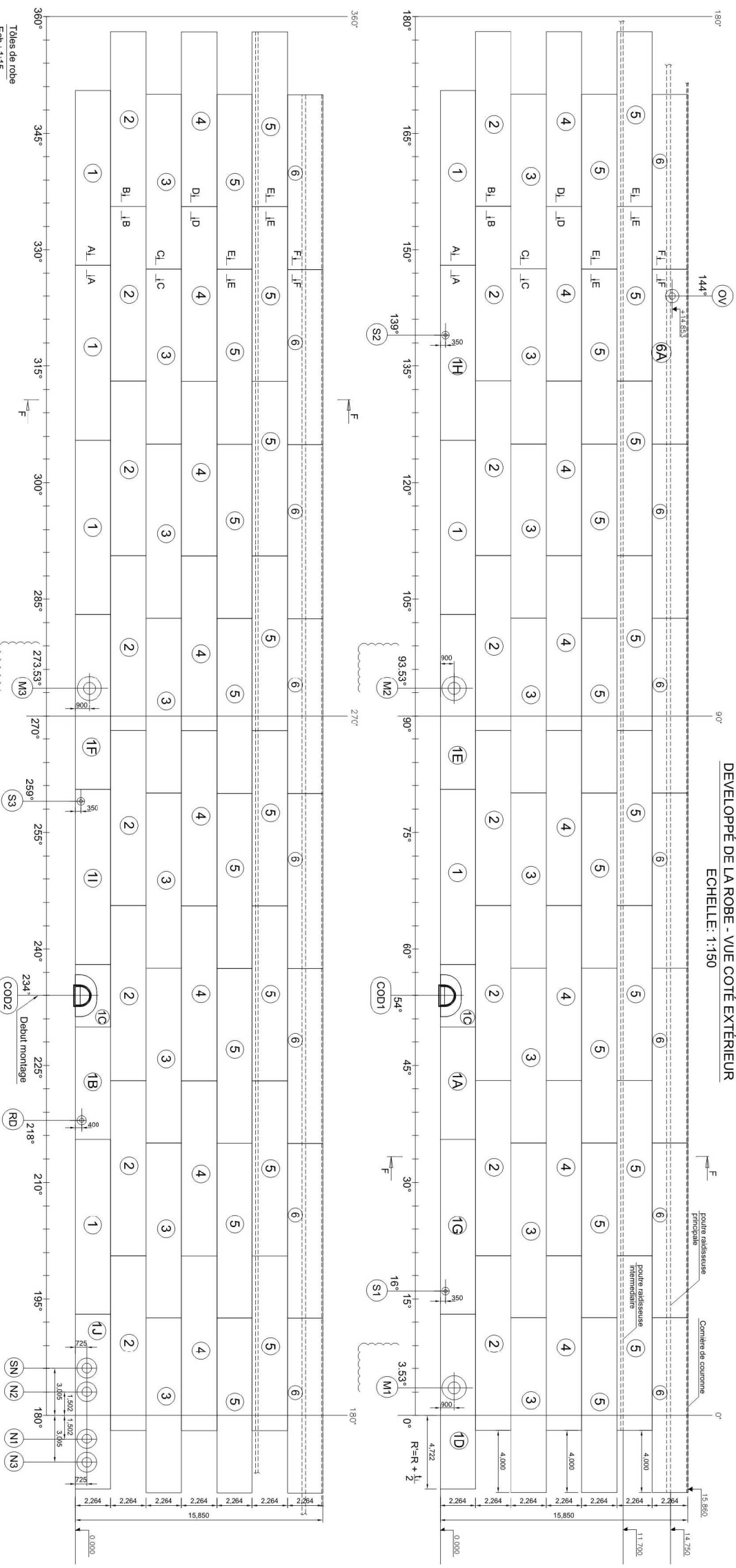
NO	DESCRIPTION	QUANTITE	UNITE	NO	DESCRIPTION	QUANTITE	UNITE
1	ANNEAU	1	PIECE	1	ANNEAU	1	PIECE
2	BOIS 20x20	2	PIECE	2	BOIS 20x20	2	PIECE
3	BOIS 40x40	2	PIECE	3	BOIS 40x40	2	PIECE
4	BOIS 20x20	2	PIECE	4	BOIS 20x20	2	PIECE
5	BOIS 40x40	2	PIECE	5	BOIS 40x40	2	PIECE
6	BOIS 20x20	2	PIECE	6	BOIS 20x20	2	PIECE
7	BOIS 40x40	2	PIECE	7	BOIS 40x40	2	PIECE
8	BOIS 20x20	2	PIECE	8	BOIS 20x20	2	PIECE
9	BOIS 40x40	2	PIECE	9	BOIS 40x40	2	PIECE
10	BOIS 20x20	2	PIECE	10	BOIS 20x20	2	PIECE
11	BOIS 40x40	2	PIECE	11	BOIS 40x40	2	PIECE
12	BOIS 20x20	2	PIECE	12	BOIS 20x20	2	PIECE
13	BOIS 40x40	2	PIECE	13	BOIS 40x40	2	PIECE
14	BOIS 20x20	2	PIECE	14	BOIS 20x20	2	PIECE
15	BOIS 40x40	2	PIECE	15	BOIS 40x40	2	PIECE
16	BOIS 20x20	2	PIECE	16	BOIS 20x20	2	PIECE
17	BOIS 40x40	2	PIECE	17	BOIS 40x40	2	PIECE
18	BOIS 20x20	2	PIECE	18	BOIS 20x20	2	PIECE
19	BOIS 40x40	2	PIECE	19	BOIS 40x40	2	PIECE
20	BOIS 20x20	2	PIECE	20	BOIS 20x20	2	PIECE
21	BOIS 40x40	2	PIECE	21	BOIS 40x40	2	PIECE
22	BOIS 20x20	2	PIECE	22	BOIS 20x20	2	PIECE
23	BOIS 40x40	2	PIECE	23	BOIS 40x40	2	PIECE
24	BOIS 20x20	2	PIECE	24	BOIS 20x20	2	PIECE
25	BOIS 40x40	2	PIECE	25	BOIS 40x40	2	PIECE
26	BOIS 20x20	2	PIECE	26	BOIS 20x20	2	PIECE
27	BOIS 40x40	2	PIECE	27	BOIS 40x40	2	PIECE

PLAN DE DE FOND DETAILLE

Memoire de fin d'etude

Nom d'affaire	1		Format
Numero d'affaire	09/02/2022	A3	
Numero de plan	1		

DEVELOPPÉ DE LA ROBE - VUE COTÉ EXTÉRIEUR  
ECHELLE: 1:150



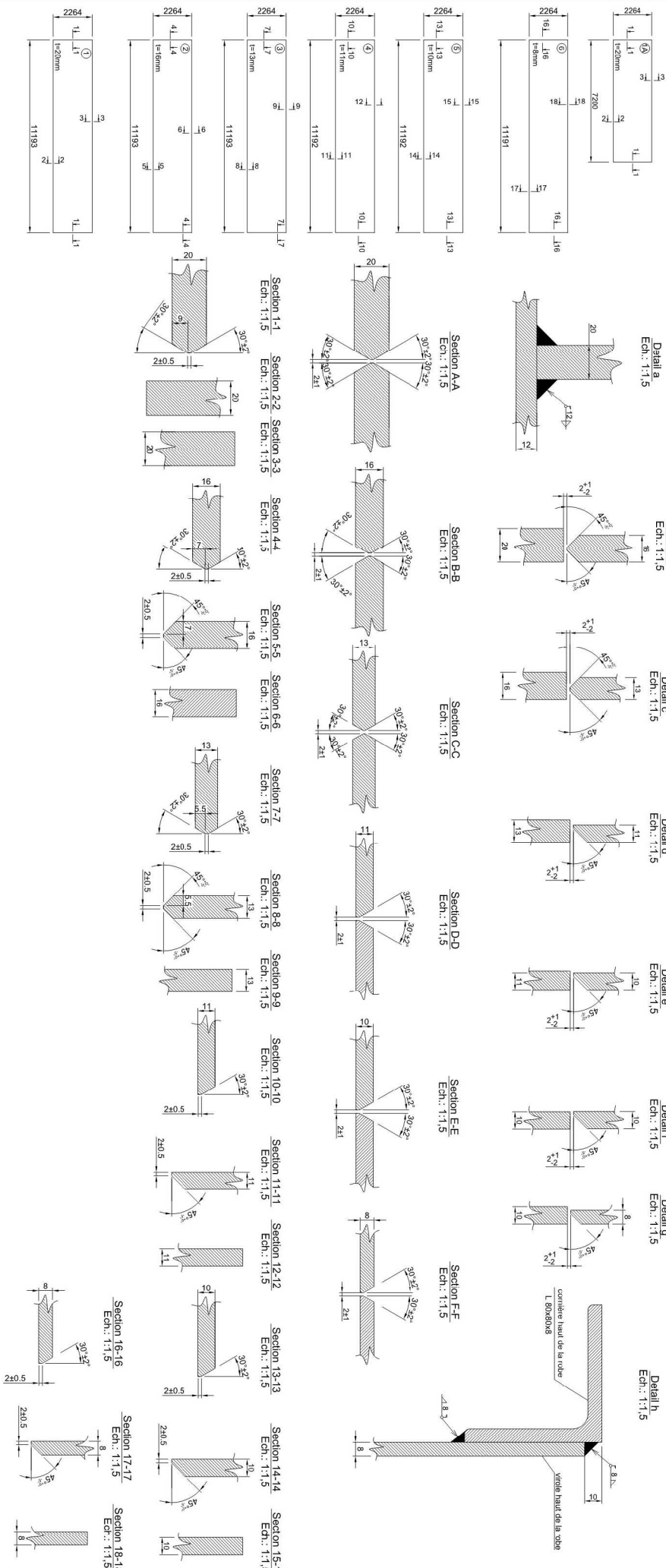
**NOMENCLATURE**

Item	Description	Quantité	Matériau	Ref. Tech.	Quantité	Remarque
1	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	7	2509.2 5118.4
2	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	2	2509.2 5118.4
3	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	3	3978.5 11038.5
4	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	3	3978.5 11038.5
5	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	3978.5 3978.5
6	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	14	5182.8 50924.8
7	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	16	2183.0 35008.0
8	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	32	14891.0 48051.2
9	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	15	14891.0 23988.5
10	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
11	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
12	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
13	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
14	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
15	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
16	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
17	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
18	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
19	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
20	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
21	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
22	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
23	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
24	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
25	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
26	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
27	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
28	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
29	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
30	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
31	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
32	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
33	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
34	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
35	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
36	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
37	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
38	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
39	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
40	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
41	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
42	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
43	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
44	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
45	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
46	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
47	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
48	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
49	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0
50	18x80	4x	20 x 2284 x 1183	A5179C/70	1	15911.0 15911.0

**NOTES**

1. Montage : surfaces internes des toiles seront alignées
2. Soudage : suivant VPS
3. Inspection et essais : suivant API 650

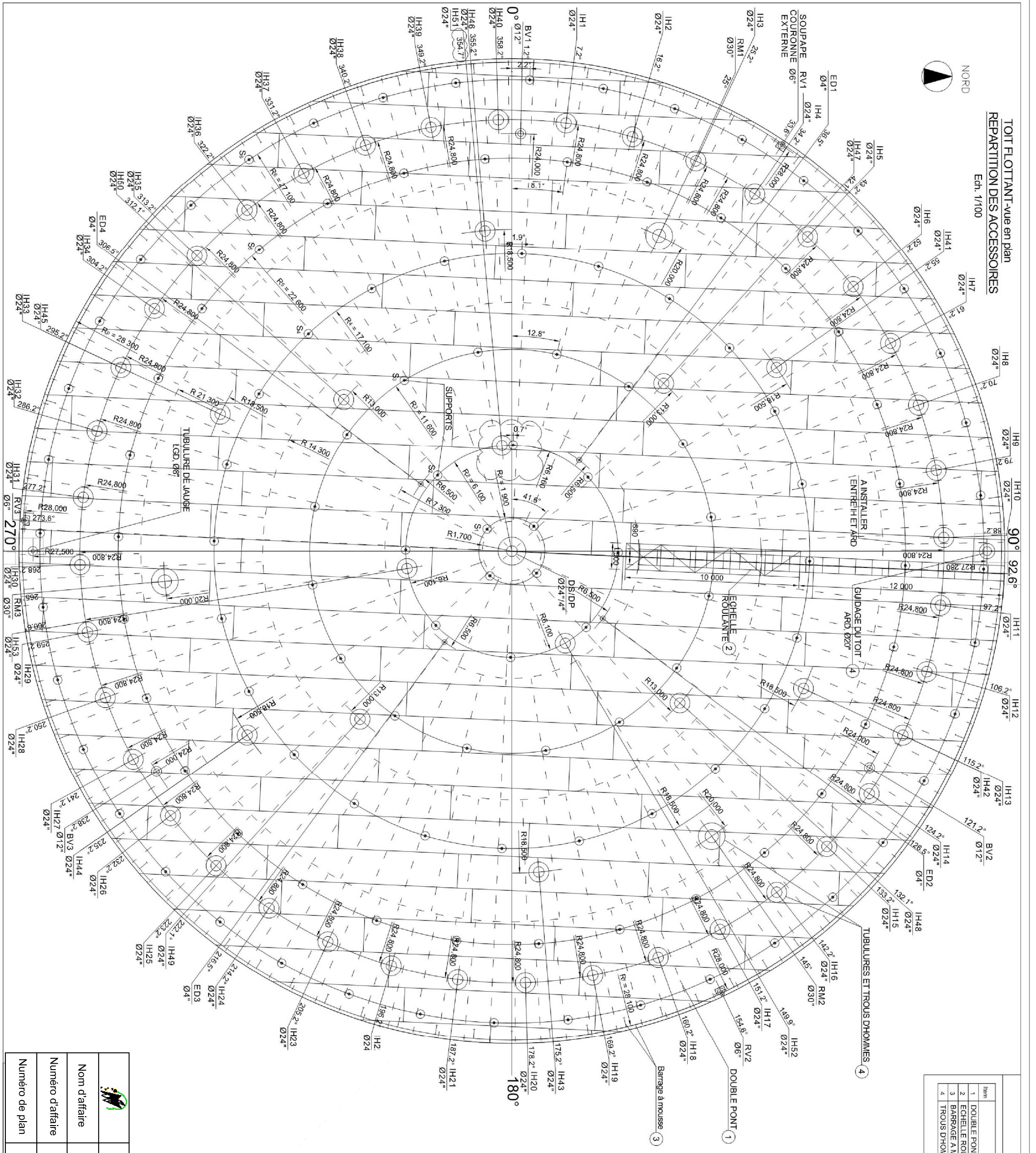
**DOE**  
Dossiers des ouvrages exécutés conformes à l'exécution  
MOUVIZER BOUSIANY



**PLAN DE LA ROBE DETAILLE**

Nom d'atelier	Mémoire de fin de tude	
Número d'atelier	2	Format A3
Número de plan	2	

**TOIT FLOTTANT - vue en plan**  
**REPARTITION DES ACCESSOIRES**  
 Ech. 1/100



**NOMENCLATURE**

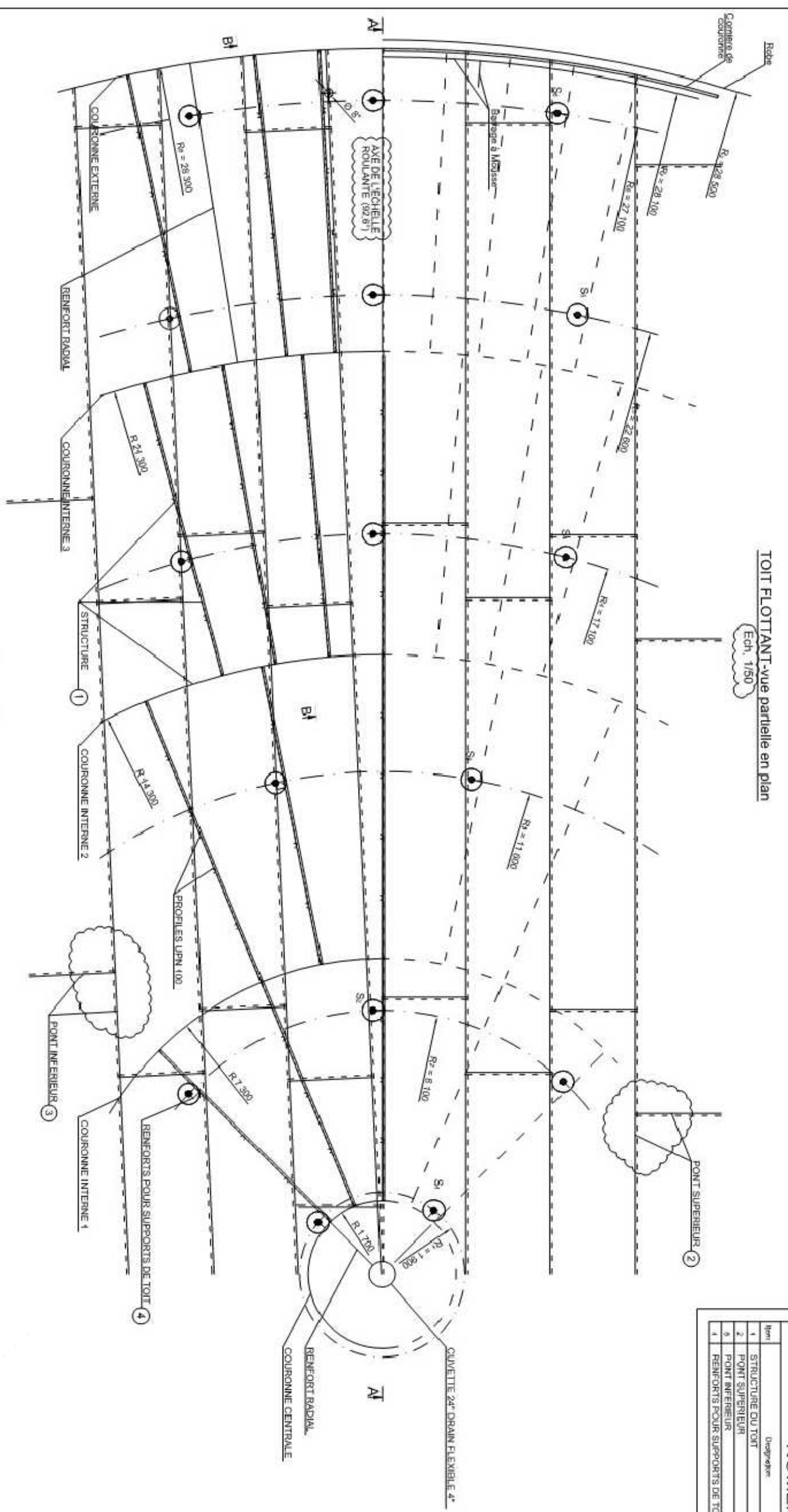
Item	Designation	Pcs	POIDS		Plan N°	Remarque
			Unit.	Total		
1	DOUBLE PONT	1	302 540	302 540	308	
2	ECHELLE ROULANTE	1	5 390	5 390	320	
3	BARRAGE A MOUSSE	1	5 430	5 430	210	
4	TROUS DHOMMES ET TUBULURES	1	13 210	13 210	340	
			Total: 326 570 kg			

**PLAN DE TOIT FLOTTANT**

Nom d'affaire	Memoire de fin d'etude		
Numero d'affaire	3	09/02/2022	Format A3
Numero de plan	3		

TOIT FLOTTANT -vue partielle en plan

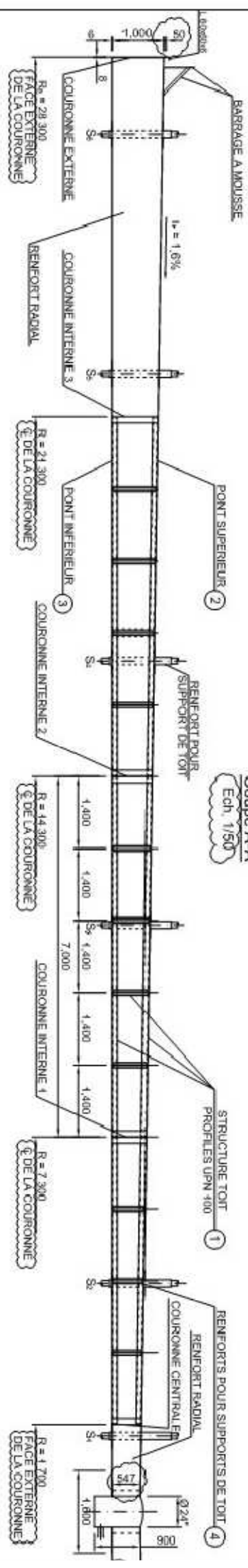
Ech. 1/50



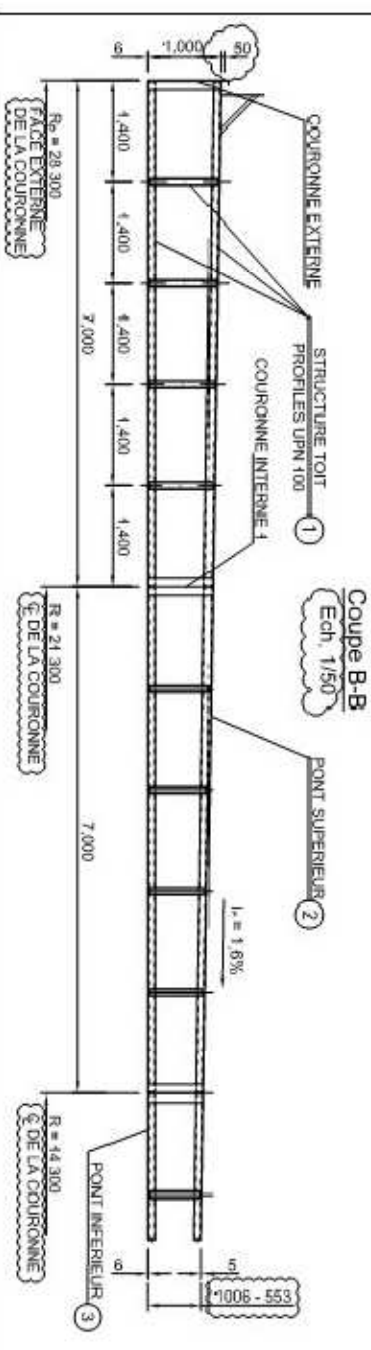
**NOMENCLATURE**

Item	Description	Qté	Poids	Remarque
1	STRUCTURE DU TOIT	1	73 383,5	VOIR PLAN 310
2	PONT SUPERIEUR	1	101 885,4	VOIR PLAN 313
3	PONT INFERIEUR	1	122 226,2	VOIR PLAN 316
4	RENFORTS POUR SUPPORTS DE TOIT	1	2 272,8	VOIR PLAN 316
Total			299 775,7 kg	

Coupe A-A  
Ech. 1/50



Coupe B-B  
Ech. 1/50



		<p><b>PLAN DE TOIT FLOTTANT</b> <b>VUE PARTIELLE</b></p>	
<p>Nom d'affaire</p>		<p>Mémoire de fin d'étude</p>	
<p>Numéro d'affaire</p>	<p>4</p>	<p>Date</p>	<p>09/02/2022</p>
<p>Numéro de plan</p>	<p>4</p>	<p>Format</p>	<p>A3</p>

