

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

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté de Technologie

Mémoire de Master

Présentée par :

ELBEY Anouar

KOURAD Samir

Spécialité : Génie mécanique

Option : Construction mécanique

Thème
Etude d'un réservoir de stockage des carburants
de capacité 8000 m³

Encadré et suivi par :

Dr.SIGUERDJIDJINE Hakim

Année Universitaire : 2021/2022

Tables des matières

remerciements	
dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
résumé	
Introduction générale	01
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	
1. Activités de la société	03
2. Situation géographique de la société	03
3. Historique de la société	05
4. Moyens de la société	06
I.5 Les activités de l'entreprise NAFTAL	05
I.6 Stratégie de l'entreprise	05
I.7 Les produits pétroliers commercialisés par NAFTAL	06
I.8 NAFTAL en quelques chiffres	07
I.9 Les infrastructures de NAFTAL	08
I.10 l'Organisation de NAFTAL	09
CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LES RESERVOIRS	
II.1 Introduction	12
II.2 Définition de stockage	12
II.3 Définition de bac de stockage	12
II.4 configuration des réservoirs de stockage	13
II.5 Rôle du stockage	13
II.6 Classification des réservoirs de stockages	14
II.7 Choix du réservoir de stockage	23
II.8 Caractéristiques Générales Des Réservoirs	23
II.9 Choix des matériaux	24
II.10 Composition générale du réservoir étudiée	25
CHAPITRE 3 : ETUDE DU RESERVOIR DES CARBURANTS 8000 m³	
III.1 Objectif et problématique	27
III.2 l'étude de réservoir 8000 m ³	27
III.3 calculs des contraintes	33
III.4 recouvrement des tôles de fond	35
III.5 Calcul des épaisseurs de la robe	35
III.6 dimensions des tôles	37
III.7 calcul de la toiture	37
III.8 Verification de la stabilite du reservoir	38
III.9 Etude sismique	39
III.10 Conclusion	44
Conclusion générale	45
Références bibliographiques	



Remerciements

Nous remercions Allah, le tout puissant, le miséricordieux, de nos avoir donné la santé et tout dont nous nécessitassions pour l'accomplissement de cette mémoire. Nous tenons à remercier tous les membres de familles pour la patience, les encouragements, la gentillesse et le soutien qu'ils ont prodigué tous au long de ce travail.

Nous adressons mes remerciements à notre promoteur SIGUERDJIDJINE Hakim pour les conseils éclairés, les informations et la surveillance.

Aussi, Je remercie les membres département du génie mécanique au sein de la Faculté de Technologie, Université de Boumerdes, pour ses encouragements, son indulgence tout au long des années d'étude.

Nous remercions également tous les enseignants de ce département qui ont participé à notre formation pendant tout le cycle universitaire.

Nous avons l'honneur de remercier les ingénieurs de la société NAFTAL pour les conseils éclairés qu'ils ont donnés des informations et les connaissances appropriées.

Nous remercions l'encadreur BRIKCHAUCHE Ali pour pertinence de leurs remarques avisées, pour leurs conseils, leurs patiences.

Nous remercions mes amis & mes camarades pour la patience, les encouragements, la gentillesse. Et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail,

Enfin, Sans oublier les membres de jury qui ont bien voulu examiné ce mémoire.



Dédicace

Je dédie ce mémoire

A notre source d'amour ma mère & mon père

A mes frères et mes sœurs

A ma femme

A tous mes amis

ANOUAR



Dédicace

Je dédie ce mémoire

A notre source d'amour ma mère & mon père

A mes frères et mes sœurs

A mon binôme

A tous mes amis

SAMIR

Liste des figures

Figure I.1 : Image qui représente une station NAFTAL	02
Figure I.2 : Logo de NAFTAL	03
Figure I.3 : Production des carburants par NAFTAL	07
Figure I.4 : L'organigramme général de NAFTAL.	11
Figure II.1 : Réservoir à forme sphérique.	15
Figure II.2 : Réservoir à forme Sphéroïde.	15
Figure II.3 : Un ballon aérien	16
Figure II. 4 : Cuves ouverte	16
Figure II.5 : Toits fixe autoportant	17
Figure II.6 : Réservoir à toit fixe conique	17
Figure II.7 : Réservoirs à toit flottant simple pont	19
Figure II.8 : Réservoir à toit flottant double pont	20
Figure I.9 : Toit flottant interne dans un réservoir à toit fixe	21
Figure II.10 : Réservoir à membrane.	22
Figure II.11 : a) Réservoir semi-enterré b) Réservoir enterré	22
Figure II.12 : Schéma du réservoir enterré	23
Figure II.13 : Représentation de la béquille réglable.	26
Figure III.1 : vue générale du réservoir.	28
Figure III.2 : Schéma représente les volumes calculés.	29
Figure III.3 : réservoir à toit fixe capacité 8000 m ³	30
Figure III.4 : vue en plan de la robe du réservoir.	31
Figure III.5: les dimensions de la virole.	32
Figure III.6 : la résultante des forces des Contraintes transversales.	34
Figure III.7: Tôles des viroles	37
Figure III.8 : Coordonnées du toit du réservoir	38
Figure III.9 : Flambement en pointe de diamant (Photos Courtesy of University of California, Brekely)	40

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Nombre de vents de NAFTAL	08
Tableau III.1 : les résultats de calculs des épaisseurs des viroles.....	33
Tableau III.2 : les épaisseurs de la robe	36
Tableau III.3 : Les épaisseurs minimale des tôles de paroi	37
Tableau III.4 : les contraintes critiques de flambement pour les viroles	43

Résumé

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 carer 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.

Le stockage massifs des liquides pour les diffèrent 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 oeuvre et de sa bonne résistance à la pression interne.

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.

Notre étude est basée sur le dimensionnement d'un réservoir de stockage des produits pétroliers : GPL, gazoil et essences qui a une capacité de 8000 m³ en calculant essentiellement la section intérieure du réservoir, le volume du réservoir, poids du réservoir, la Pression (Pression d'épreuve), l'épaisseur de la tôle, les contraintes. C'est une étude de vérification où on a trouvé que les résultats sont aux normes universelles.

Mots clés : réservoir de stockage, des produits pétroliers, capacité de 8000 m³, dimensionnement.

ملخص

استمر الطلب على الطاقة في زيادة جميع أنحاء العالم بشكل خاص في الجزائر لدعم النمو الاستثنائي للسكان. من ناحية أخرى، فإن ندرة المواد الأحفورية الأولى، يجب أن تتجاوز صناعة النفط الحواجز التكنولوجية والنظرية حتى ذلك الحين كافية لتجديد الاحتياطي المتاحة. يتم التخزين الهائل للسوائل لمنتجات مختلفة واجهتها في صناعة النفط البتر وكيمويات والكيماويات بشكل رئيسي في خزانات الصلب الأسطوانية في الضغط الجوي أو في قاعدة الضغط. بالنسبة لتخزين المنتجات الصناعية، يعتمد المصممون على خزانات أشكال مختلفة، التي يعتمد تكوينها على الضرورات الأساسية، والتي هي من ناحية، والحفاظ على المنتجات من خلال الحد من أو حظر التبخير وغيرها من الأسهم، وعقد الهيكل. تطور الضغط الداخلي من قبل المنتج من خلال الحفاظ على مستوى معين لتسهيل التشغيل. الشكل الأسطواني هو الأكثر شيوعا بسبب بساطته التنفيذية ومقاومة جيدة للضغط الداخلي. ومع ذلك، في حالتنا، سيتم إيلاء اهتمام خاص لذن خزانات السقف العائمة التي هي الوسائل الأكثر شيوعا لتقليل الخسارة عند تخزين المنتجات البترولية المتقلبة. تستند دراستنا إلى تحجيم خزان تخزين للمنتجات البترولية: GPL، الديزل والجواهر التي لها سعة 8000 متر مكعب من خلال حساب القسم الداخلي في الأساس من الخزان، وحجم الخزان، وزن الخزان، الضغط، سمك ورقة، والقيود. إنها دراسة تحقق حيث تم العثور على النتائج وفقا لمعايير عالمية.

الكلمات المفتاحية: خزان التخزين، منتجات البترول، سعة 8000 متر مكعب، تحجيم.

Summary

The demand for energy has continued to increase worldwide in particular in Algeria to support the exceptional growth of the population. On the other hand, the scarcity of fossil first materials, the oil industry must surpass the technological and theoretical barriers until then sufficient to renew available reserves. The massive storage of liquids for differ products encountered in the petrochemical and chemistry oil industry is carried out mainly in cylindrical steel tanks at atmospheric pressure or at the pressure base. To the storage of industrial products, the designers are based on various forms tanks, whose configuration depends on essential imperatives, which are on the one hand, the preservation of the products by limiting or by prohibiting evaporations and other shares, the holding of the structure. The internal pressure develop by the product by maintaining a certain level to facilitate operation. The cylindrical shape is the most common because of its simplicity of implementation and good resistance to internal pressure. However, in our case, particular attention will be paid to floating roof tanks that are the most common means to reduce the loss when volatile petroleum products are stored. Our study is based on the sizing of a storage tank for petroleum products: GPL, diesel and essences that has a capacity of 8000 m³ by essentially calculating the inner section of the tank, the volume of the tank, weight of the tank, the pressure (pressure d test), the thickness of the sheet, the constraints. It is a verification study where the results have been found to universal standards.

Key words: storage tank, petroleum products, capacity of 8000 m³, sizing.

Introduction générale

Introduction générale

Afin de concevoir une structure en toute sécurité, l'analyse de son comportement sous différents variété de chargement est importante. La première étape pour analyser le comportement de la structure face aux différentes charges est l'analyse de contraintes qui peut être réalisée de différentes méthodes théorique, numérique et expérimentale.

Les réservoirs sont parmi les moyens de stockage les plus utilisés dans de nombreuses industries, notamment dans les industries pétrolières, gazières et pétrochimiques. Ils peuvent être de forme cylindrique, sphérique. Ils sont aériens ou enterrés, horizontaux ou verticaux, en fonction de la nature du produit stockée, son environnement et son utilisation. Les réservoirs sont plus complexes en matière de dimensionnement, d'étude et de prise en charge du volet sécurité .Ils sont en interaction avec le produit stocké, l'environnement extérieur tel que les conditions climatique.

Un réservoir est un équipement dangereux, en attente d'un dysfonctionnement interne ou externe pour exploser. Cet accident nous rappelle les précautions à prendre lors de l'utilisation de tel enceinte et la nécessité d'aller au-delà de la norme et de la convention pour approfondir l'étude technique détaillée, développer de nouveaux concepts dans le cadre de performance et de résolution des problèmes et créer une vision plus dynamique et méthodique dans le cadre de la maintenance prédictive et autonome.

Ce travail qui est fait au niveau de la société NAFTAL en Algérie consiste à étudier un réservoir des carburants légers (GPL, essences et gasoil) a une capacité de 8000 m³, c'est pourquoi on devise le mémoire en trois chapitre ci-dessous :

- Le premier représente la société NAFTAL en détail ;
- Le deuxième consiste à étudier les réservoirs en donnant une vue générale sur ces équipements ;
- Le troisième chapitre c'est une partie pratique comporte les calculs et discussion du réservoir étudié.

CHAPITRE 1 :
présentation de l'entreprise

I.1 Introduction

Nous entamons ce chapitre par la présentation globale de l'organisme d'accueil « NAFTAL » et ses services extérieurs implantés à travers le territoire national, ensuite, nous allons tenter de présenter l'historique, ses objectifs et ses missions principales, ses activités principales et l'organigramme générale de NAFTAL.

I.2 Définition

NAFTAL est une entreprise nationale filiale à 100% de groupe SONATRACH qui a pour mission principale, la distribution et la commercialisation des produits pétroliers sur le marché national. L'entreprise emploie près de 31000 collaborateurs répartis sur l'ensemble de ses districts et directions régionales. NAFTAL détient le monopole dans le marché de la distribution et la commercialisation des produits pétroliers en Algérie. La direction générale de l'entreprise NAFTAL est implantée à CHERAGA-Alger.



Figure I.1 : Image qui représente une station NAFTAL.

Elle possède plusieurs laboratoires de contrôle qualité qui permet de vérifier la conformité de leurs produits. Parmi ces laboratoires, nous citons, le laboratoire central de Dar EL Beida qui est localisé à l'Aéroport Houari Boumediene à l'est d'Alger. C'est le premier distributeur de produits pétroliers en Algérie. L'appellation NAFTAL provient : NAFT : terme pour désigner le pétrole. AL : en référence à Alger ou DJAZAIR.

NAFTAL est une entreprise de type Société Par Action (ASP) au capital social de 15.650.000.00DA. Une SPA est une société dont le capital est divisé en actions et qui est constitué entre des associés qui supportent les pertes qu'à concurrence de leurs apports.

L'image suivante représente le logo de NAFTAL


<p>La charte graphique de NAFTAL est composé de deux lettres arabes :</p> <p style="text-align: center;">(Entreprise) مؤسسة : </p> <p style="text-align: center;">(Pétrole) نفط : </p>	
<p>NAFT : Terme arabe désignant le pétrole.</p>	
<p>AL : en référence à Algérie.</p>	
<p>Les deux couleurs :</p> <p>Le bleu : pour les deux lettres et le label NAFTAL, synonyme de largeur et d'horizon.</p> <p>Le jaune : pour le fond du logo, symbole du sérieux.</p>	
<p>Les cinq lignes représentent :</p> <p>La direction Général</p> <p>La Branche GPL (*)</p> <p>La Branche carburants (*)</p> <p>La branche commercialisation (*)</p> <p>La Branche activés internationales et partenariats.</p>	

Figure I.2 : Logo de NAFTAL

I.3 Historique de l'entreprise NAFTAL

1er étape 1980-1987 : Création d'ERDP par transfert du monopole de SONATRACH

6 avril 1980 : décret n°80-101 portant création de l'entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers.

Article 1er -Il est créé une entreprise nationale dénommée « Entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers » par abréviation (E.R.D.P), qui est une entreprise socialiste à caractère économique.

Article 2ème – L'entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers est chargée, dans le cadre du plan national de développement économique et social, de l'industrie du raffinage des hydrocarbures liquides et de la distribution des produits raffinés sur le territoire national.

5 février 1983 : décret n°83-112 portant modification de la dénomination de l'entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers et transfert de son siège social.

Article 1 – L'article 1er du décret n°80-101 du 6 avril 1980 susvisé et modifié comme suit :

“ Il est créé une entreprise nationale dénommée : Entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers ” par abréviation (NAFTAL) qui est une entreprise socialiste à caractère économique.

Article 2 – Le siège social de l'entreprise national de raffinage et de distribution des produits pétroliers par abréviation (NAFTAL) est transféré de Boudouaou à Chéraga.

2^{ème} étape (1987- 1997) : Création de NAFTAL par transfert de l'activité de raffinage de NAFTAL

25 août 1987 : décret n°87-190 portant création de l'entreprise nationale de raffinage des produits pétroliers.

Article 1er – Il est créé une entreprise nationale dénommée entreprise nationale de raffinage sous le sigle « NAFTEC » qui est une entreprise à caractère économique.

Article 3 -

1^o) Objectifs

Assurer l'approvisionnement et la régulation du marché national par la production nationale et, éventuellement, par l'importation.

Participer à la coordination en matière de stockage stratégique des produits relevant de son domaine d'action.

2^o) Moyens

L'entreprise NAFTEC est dotée par voie de transfert à partir des biens et personnels détenus ou gérés par NAFTAL.

3^{ème} étape (1997-2007) : Fin du monopole et ouverture du marché de la distribution

17 novembre 1997 : décret n°97-435 portant réglementation de stockage et de distribution des produits des activités de distribution des produits pétroliers, de conditionnement des G.P.L, et de transformation des bitumes.

18 avril 1998 : transformation de NAFTAL en société par actions au capital social de 6 650 000 000 DA, filiale à 100% du holding SONATRACH Valorisation des Hydrocarbures (SVH).

21 décembre 1999 : création en partenariat avec STPF société chargée du transport des produits énergétiques par chemin de fer.

29 juillet 2002 : augmentation du capital social de 6.65 milliards DA à 15,65 milliards DA.

06 mai 2006 : création en partenariat avec SORLCHIN de NAFTACHIN chargée de la commercialisation et de la distribution des produits issus de la raffinerie d'Adrar.

28 avril 2005 : loi n°05-07 relative aux hydrocarbures qui instaure :

Le principe du libre accès aux installations de transport par canalisation et de stockage des produits pétroliers moyennant paiement d'un tarif agréé par ARH.

Une caisse de péréquation des tarifs de transport et impose une mise en conformité HSE de nos installations avant avril 2011.

I.4 Missions et objectifs de NAFTAL

La vocation de NAFTAL est, principalement, la commercialisation des produits pétroliers à travers l'organisation et la gestion d'un réseau de distribution sur l'ensemble du territoire national, ses missions sont :

- Organiser et développer l'activité de commercialisation et de distribution des produits pétroliers ;
- Stoker, transporter et/ou faire transporter tout produit pétrolier commercialisé sur le territoire national ; (les carburants des GPL, des lubrifiants, des bitumes, des Pneumatiques, du GPL carburant, essence SP, normal, super, gaz et des produits aviations marines)

- Veiller à l'application et au respect des mesures relatives à la sécurité industrielle et à la sauvegarde de la protection de l'environnement en se mettant en relation avec les organismes concernés, exemple : les huiles usagées
- Procéder à toute étude de marché en matière d'utilisation et de consommation des produits pétroliers ;
- Redéfinir et développer une politique en matière d'audit concevoir et mettre en œuvre des systèmes intégrés d'information ;
- Développer et mettre en œuvre les actions visant à une utilisation optimale rationnelle des infrastructures ;
- Veiller à l'application et au respect des mesures liées à la sûreté interne de l'entreprise conformément à la réglementation ;
- Enfutage des GPL et formulation des bitumes.

I.5 Les activités de l'entreprise NAFTAL

NAFTAL a pour mission principal, la distribution et la commercialisation des produits pétroliers sur le marché national. Elle intervient dans les domaines suivants :

- L'enfutage GPL.
- La formulation de bitumes.
- La distribution, stockage et commercialisation des carburants, GPL, lubrifiants, bitumes, pneumatiques, GPL/carburants, produits spéciaux.
- Transport des produits pétrolier.

Pour assurer la disponibilité des produits sur tout le territoire, l'entreprise NAFTAL met à contribution plusieurs modes de transport :

- Le rail pour le ravitaillement des dépôts à partir des entrepôts.
- Le cabotage et les pipes, pour l'approvisionnement des entrepôts à partir des raffineries. La route pour livraison des clients et le ravitaillement des dépôts non desservis par le rail.

I.6 Stratégie de l'entreprise

A travers son plan de développement, NAFTAL vise un double objectif :

- Poursuivre sa mission de distribution des produits pétroliers.
- Améliorer sa qualité de service.

Les principales actions menées par NAFTAL portent sur :

- La modernisation et la réhabilitation de ses infrastructures de stockage.
- La mise en conformité de ses installations avec les normes de protection de l'environnement et de sécurité industrielle.
- La modernisation et l'extension de son réseau de stations-service.
- Le renouvellement de ses moyens de transport par route et de son matériel de manutention.
- L'augmentation de ses capacités de transport par pipe.
- La promotion de ses produits propres : GPL et essence sans plomb.
- La consolidation de sa position de leader sur le marché National.
- L'atteinte d'une organisation flexible.

- Le développement du partenariat à l'échelle Nationale et Internationale.
- La maîtrise de l'information.
- La protection de l'environnement constitue un axe stratégique de la politique de développement de NAFTAL, eu égard à la dangerosité des produits manipulés, stockés, transportés et commercialisés. La maîtrise des risques liés à ces opérations vise la sécurité des personnes, des biens et la protection de l'environnement. Les exigences strictes en matière de santé, de sécurité et de protection de l'environnement pour un développement durable.

I.7 Les produits pétroliers commercialisés par NAFTAL

Les produits qui commercialisent par NAFTAL sont de (05) types :

I.7.1 Carburants

Il existe (03) sortes des carburants :

- **Terre**

Il y a cinq types des carburants de terre sont commercialisés pour les moteurs essences et diesel :

- Essence normal.
- Essence super.
- Essence super sans plomb.
- Gasoil.
- GPL.
- **Aviation**
 - Le carburéacteur Jet-A1 destiné aux avions turboréacteurs.
 - L'essence AVGAS-100LL, carburant destinée aux moteurs d'avions à pistons (à hélices).
 - Méthmix : fluide de superpuissance.
 - Les lubrifiantes aviations et Les produits spéciaux.
- **Marine**
 - Le fuel.
 - Le Gas-oil.
 - Les lubrifiants et produits spéciaux Marine.

I.7.2 Lubrifiants

A travers son réseau de distribution étendu sur tout le territoire national : NAFTAL commercialise une gamme complète de lubrifiants couvre toutes les applications du secteur automobile et industriel.

- Les huiles pour moteurs à essence.
- Les huiles pour moteurs diesel.
- Les huiles pour transmission automobile.
- Les huiles spécialité automobile.

I.7.3 Pneumatiques

NAFTAL commercialise des pneumatiques pour diverses catégories de véhicules : Camionnettes, Poids lourds, Industriels...

La société donne à ces clients une garantie de ses pneumatiques de 18 mois avec une assistance technique.

1.7.4 Bitume

NAFTAL commercialise à partir de ses centres une gamme complète de bitumes :

- Les bitumes modifiés aux polymères (BMP NAFTAL) ;
- Les bitumes purs ;
- Les bitumes oxydés ; Les bitumes fluidifiés ;
- Les émulsions de bitumes.

1.7.5 Gaz de pétrole liquéfié GPL

Les GPL désignent : Gaz de Pétrole Liquéfié.

Ce sont des mélanges de butane (C4) et de propane (C3); ils sont obtenus par l'industrie pétrolière et plus par l'industrie du raffinage du pétrole.

Dans cette gamme, trois produits essentiels sont commercialisés : butane commercial, propane commercial, GPL/carburant : « SIRGHAZ ».

La figure suivante partage les pourcentages des produits commercialisés par NAFTAL :

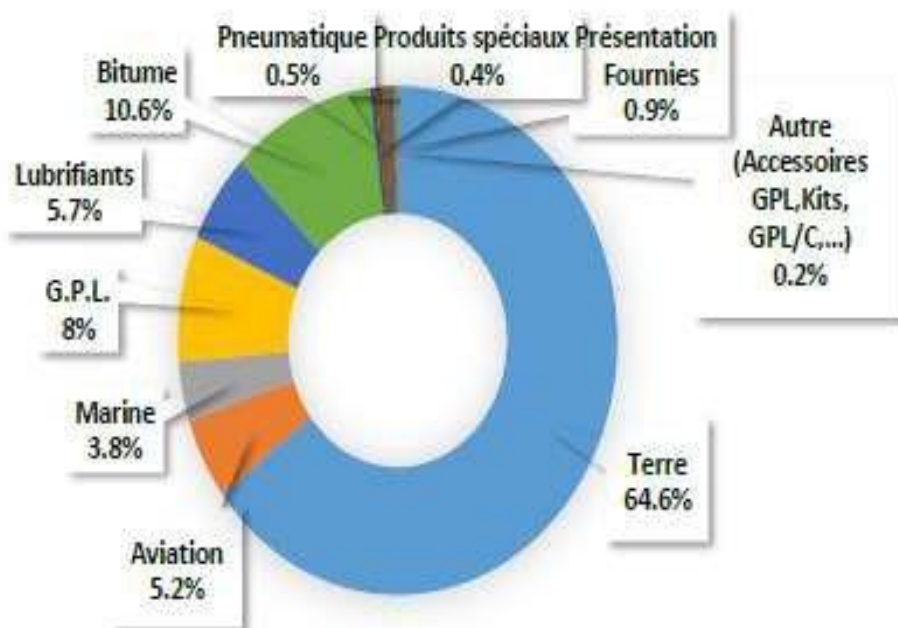


Figure I.3 : Production des carburants par NAFTAL

I.8 NAFTAL en quelques chiffres

En 2018, NAFTAL a commercialisé un volume total de 16 millions de tonnes de produits pétroliers, dont la répartition se présente comme suit :

I.8.1 Vente

Tableau I.1 : Nombre de vents de NAFTAL

Produits	Réalisations 2018
Carburants Terre (millions TM)	12,8
Carburants Aviation (millions TM)	0,58
Carburants Marine (millions TM)	0,22
GPL (millions TM)	1, 83
Bitumes (millions TM)	0,40
Lubrifiants (milliers TM)	67,72
Produits Spéciaux (milliers TM)	19,75
Pneumatiques véhicules (milliers unités)	53,19

I.8.2 Chiffre d'Affaires

Pour l'année 2018, les activités de la société ont engrangé un chiffre d'affaires de 363,7 milliards de dinars, soit une hausse de 5,3% par rapport à celui réalisé en 2017 (345,4 milliards de dinars).

• Investissements

Les dépenses d'investissements en 2018 ont atteint un montant de 28,9 milliards de dinars.

• Formation

L'effectif en 2018 formé dans les métiers de base de la société et autres domaines (Ressources Humaines, Finances, Audit,) s'élève à 11 348 agents contre 10 034 agents en 2017, soit une hausse de 1314 agents.

• Effectifs

Les effectifs employés au 31 décembre 2018 s'établissent à 31 513 agents.

I.9 Les infrastructures de NAFTAL

L'Entreprise dispose des infrastructures opérationnelles, comme suit :

- 41épôts carburants terre.
- 42 entres et mini-centres GPL.
- 09 entres vrac GPL.
- 47 dépôts relais.
- 30 entre et dépôts aviation.

- 06 entres marine.
- 15 entres bitumes
- 24 Centres lubrifiants et pneumatiques
- Un réseau de transport pipelines d'une longueur de (2 720 km)
- Un parc roulant de 3 300 unités
- Un réseau de 2 010 stations-service à travers le territoire national

I.10 l'Organisation de NAFTAL

Les nouvelles mutations qui s'opèrent tant sur le plan national qu'international ont imposé à NAFTAL de définir une politique et stratégies devant répondre progressivement aux conditions de fonctionnement d'un marché libre et ouvert à la concurrence.

I.10.1 Organisation générale

Elle est composée du président directeur général (PDG) qui est secondé par :

- Conseillers et assistants : sont chargés d'assister le PDG dans l'exercice de ses fonctions et dans la prise de décisions stratégiques ainsi qu'en matière d'activités internationales et relations presse et média ;
- Le comité exécutif : présidé par le PDG et composé des directeurs de divisions, directeurs exécutifs, ce comité se charge de définir et d'arrêter les grands axes stratégiques de développement de la société.
- Le comité directeur : est présidé par le PDG et composé des directeurs de divisions, directeurs exécutifs, directeurs centraux, directeurs de l'administration générale et un représentant du partenaire social. Son rôle est d'assister le PDG dans la gestion et le contrôle des activités de la société.
- Le chef de projet : est chargé de la supervision et suivi du projet.

I.9.2 Les structures fonctionnelles

Les structures fonctionnelles de la société sont organisées en onze (11) Directions Centrales.

• La Direction Centrale Stratégies Planification et Economie (SPE)

Est chargée de l'activité stratégie et planification couvre les fonctions suivantes :

- Planification et prospective
- Etudes économiques
- Veille stratégique
- Organisation
- Gestion et suivi des marchés, évaluation des projets
- L'information et le reporting de la société

• La Direction Centrale Finances (DCF)

Cette activité recouvre les fonctions suivantes :

- Comptabilité générale
- Comptabilité de gestion
- Trésorerie et financement

➤ Budget et contrôle budgétaire

• ***La Direction Centrale Ressources Humaines (DCRH)***

L'activité Ressource Humaine couvre les fonctions suivantes :

- Réglementation et Relation de Travail
- Emplois et Gestion des Carrières
- Système de rémunération et de stimulation
- Formation
- Communication Interne

• ***La Direction Centrale des Systèmes d'Informations et procédures (DCSI)***

L'activité système d'informations et procédures couvre les fonctions suivantes :

- Système d'informations
- Informatique
- Statistiques
- Procédures de gestion
- Contrôle de gestion
- L'information est le reporting de la société

I.10.3 Les structures opérationnelles

Suite à son intégration dans le groupe SONATRACH, dont elle est filiale à 100% NAFTAL s'est réorganisée, en trois (03), entités opérationnelles :

- Branche commercialisation : elle a pour mission et activités principales la commercialiser des produits pétroliers carburants, lubrifiants, pneumatique et bitumes.
- Branche « gaz de pétrole liquéfié » (GPL) : elle a pour mission et activité principale la commercialisation et le conditionnement des gaz de pétrole liquéfiés.
- Branche carburants :

Les Branches ont pour mission de définir avec la Direction Générale, la stratégie de Distribution et de Commercialisation des Produits Pétroliers en veillant à rassembler toutes les conditions de son application dans les centres opérationnels de la société.

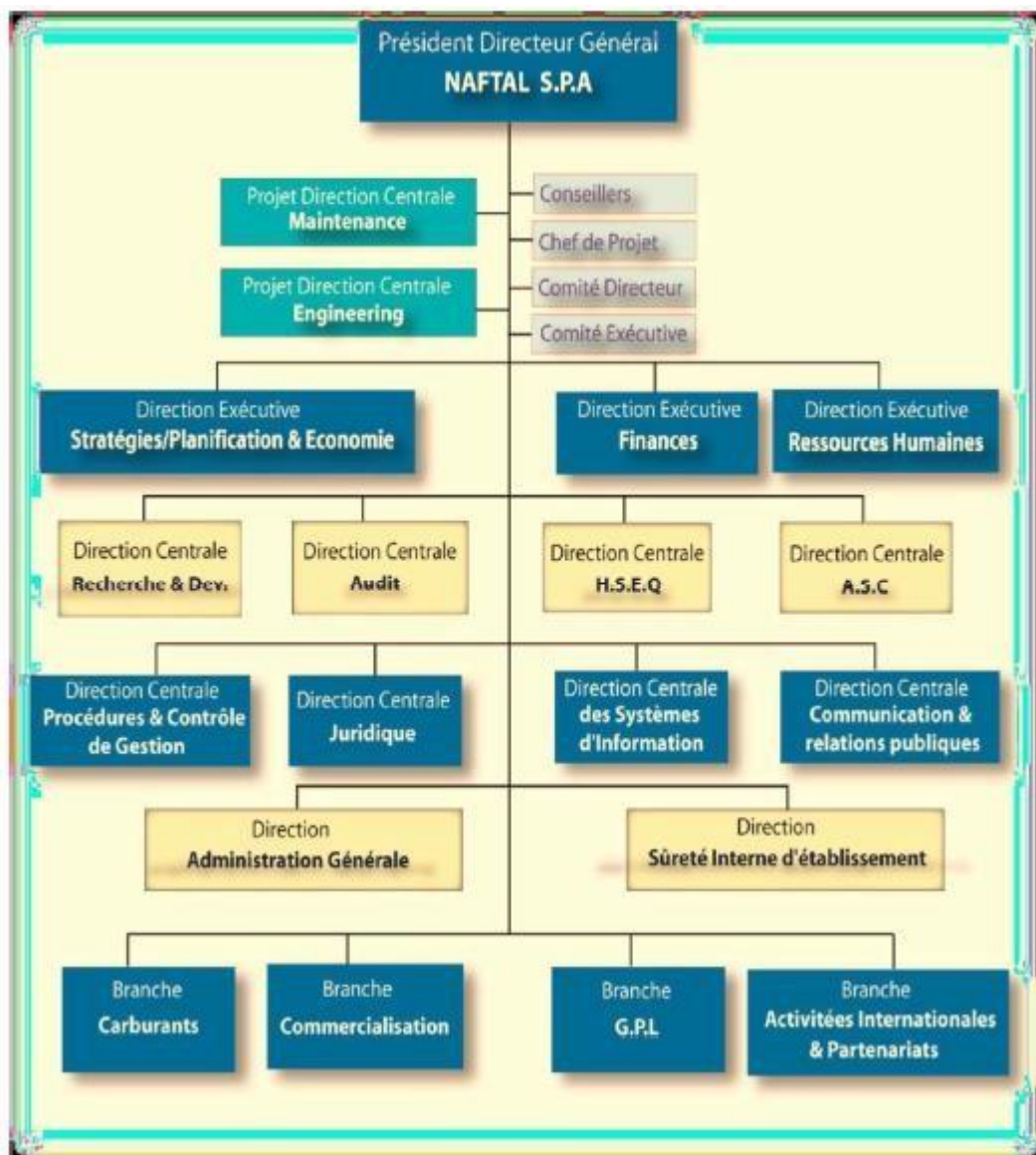


Figure I.4 : L'organigramme général de NAFTAL.

CHAPITRE 2 :
Généralités sur les réservoirs

II.1 Introduction

Divers types et quantités de produits pétroliers sont entreposés dans des réservoirs de stockage hors-sol et souterrains. Ces réservoirs sont de différentes tailles et de différentes formes et peuvent être construits avec une ou deux parois à partir de différents matériaux tels que l'acier, le béton ou la fibre de verre.

Le stockage massifs des liquides pour les différents produits rencontrés 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 basse pression.

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

La forme cylindrique qui est notre forme étudiée, est la plus courante en raison de sa simplicité de mise en œuvre et de sa bonne résistance à la pression interne.

II.2 Définition de stockage

Les réservoirs de stockage sont nécessaires à l'exploitation des champs pétroliers pour que la production ne soit pas interrompue suite à des arrêts du cheminement de pétrole brut vers les bacs de stockages des terminaux qui se trouvent sur les côtes ou près des unités de transformation de ces hydrocarbures le transport et le stockage sont des secteurs stratégiques dans l'industrie pétrolière. Le stockage joue le rôle de régulation des systèmes de transport des hydrocarbures par canalisation ou autre moyen de transport et en plus du traitement pour décantation qui consiste à éliminer l'eau et comptabiliser la quantité du pétrole brut à expédier. Le choix de la capacité d'un parc de stockage est fait en fonction du débit véhicules et des capacités des moyens de transport.

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 différentes 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 cages pour les gaz liquéfiés, ainsi que les stockages cryogéniques pour G.N.L.

II.3 Définition de bac de stockage

Les réservoirs sont des enveloppes contenant des liquides comme : l'eau ; la bière, le lait, les hydrocarbures, etc. Notre étude servira à prendre les réservoirs de stockage des hydrocarbures car elles sont indispensables pour notre pays.

Le parc de stockage c'est une zone généralement de grande surface où se situe un ensemble des bacs de stockage. Ils peuvent être de différentes ou de même capacité. Ils sont bien sûr connectés à une canalisation d'entrée et une autre de sortie et éventuellement connectés entre eux. Nous pouvons diviser le groupe des bacs en trois, en fonction de leurs états :

Premier groupe en phase de remplissage.

Deuxième groupe en phase de décantation.

Troisième groupe en phase de vidange.

II.4 configuration des réservoirs de stockage

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 m³ et qu'il n'est pas rare, sur les terminaux de réception européens, de compter des réservoirs de 100 000 à 150 000 m³ (Algérie il existe des réservoirs de 50 000 m³ pour le pétrole et le condensât).

II.5 Rôle 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 le 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...)
- la sécurité passive : consiste à concevoir le réservoir de stockage de manière à minimiser la probabilité des incidents et leurs conséquences. Ces incidents peuvent être de nature interne ou externe.

* interne : risque de fuite, de choc thermique, de surpression, d'évaporation anormale et brutale, etc.

* externe : incendie à l'extérieur du réservoir, séisme, chute d'objets volants, sabotage par arme à distance, sabotage par charge portative.

- la sécurité active : consiste à disposer de moyens de lutte contre les conséquences incidentes: cuvettes de rétention en cas de fuite, dispositifs de lutte contre l'incendie, etc.

II.6 Classification des réservoirs de stockages

II.6.1 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 oeuvre 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.

A) 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.

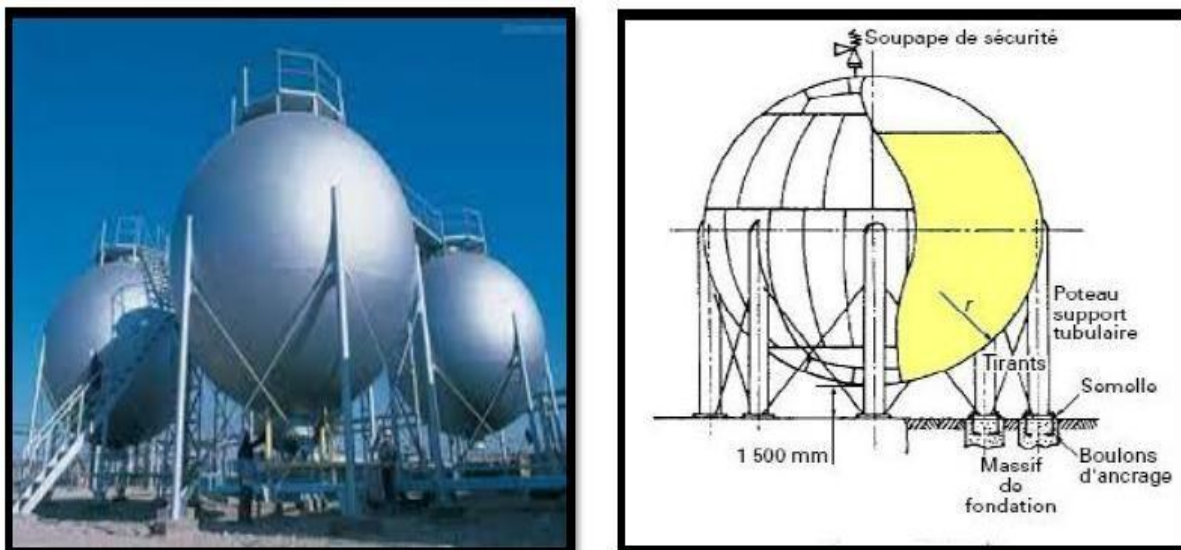


Figure II.1 : Réservoir à forme sphérique.

B) 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 II.2 : Réservoir à forme Sphéroïde.

C) 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 II.3 : Un ballon aérien

II.6.2 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 des cuves ouvertes.

- **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...).

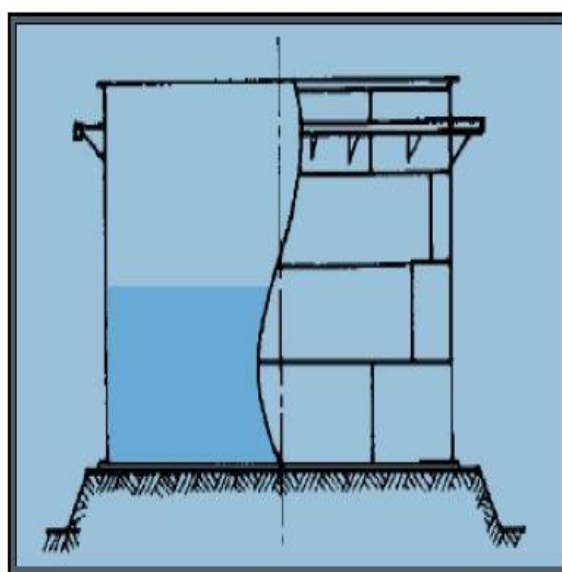


Figure II. 4 : Cuves ouverte

II.6.3 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).

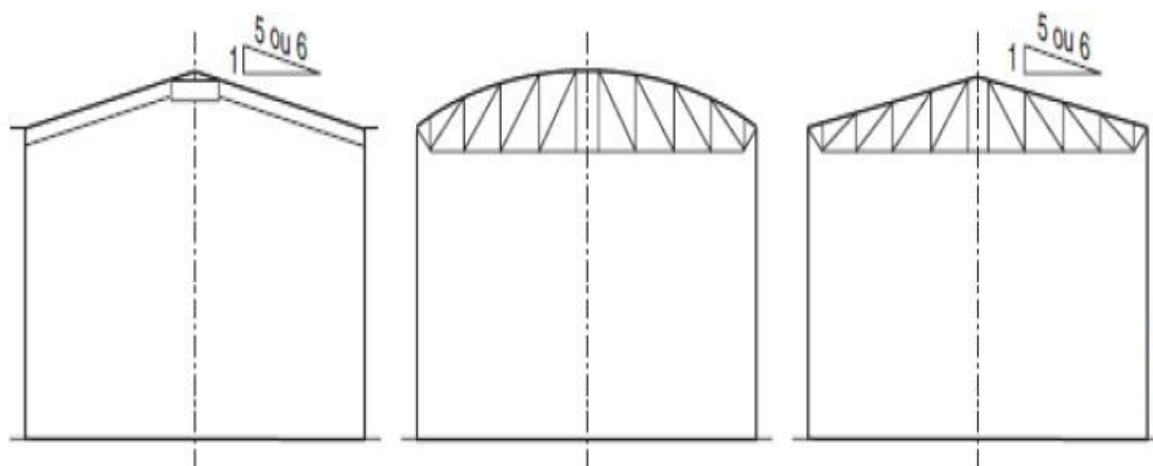


Figure II.5 : Toits fixe autoportant

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.

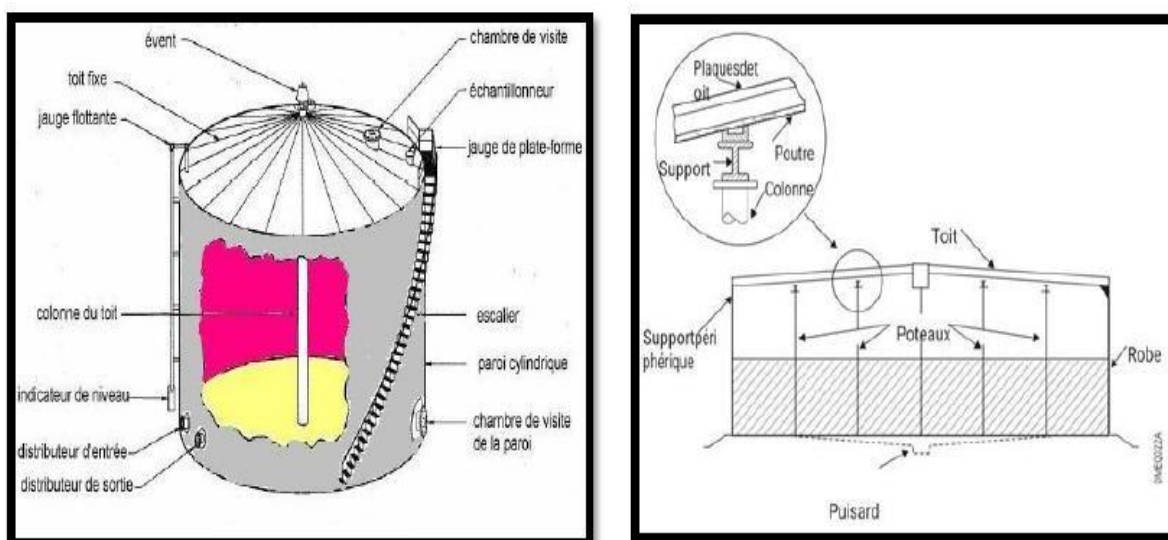


Figure II.6 : Réservoir à toit fixe conique

II.6.4 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/m³ 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/m² sans accumulation d'eau.

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

A) 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.

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.

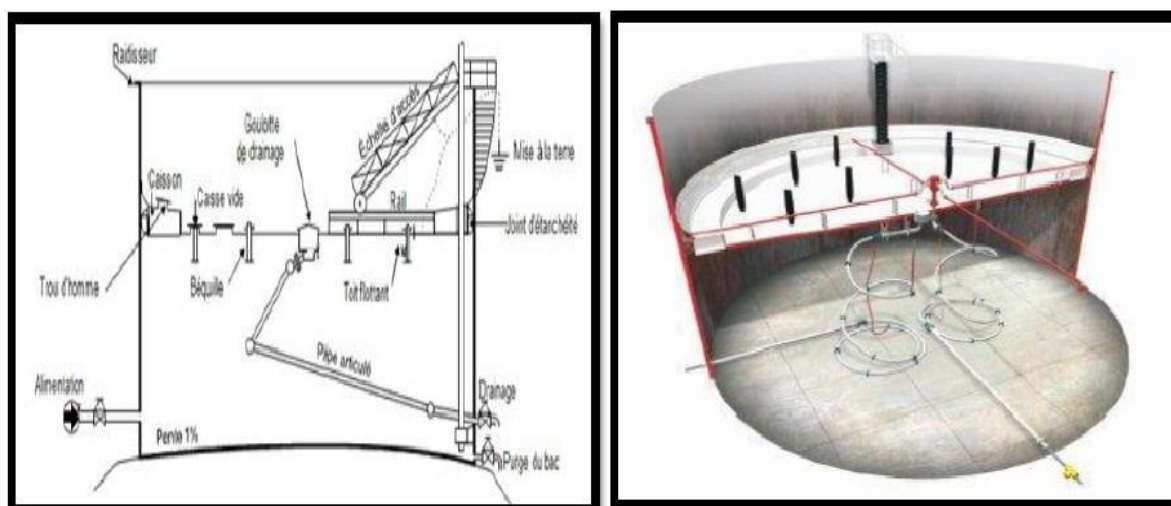


Figure II.7 : Réservoirs à toit flottant simple pont

B) 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.

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.

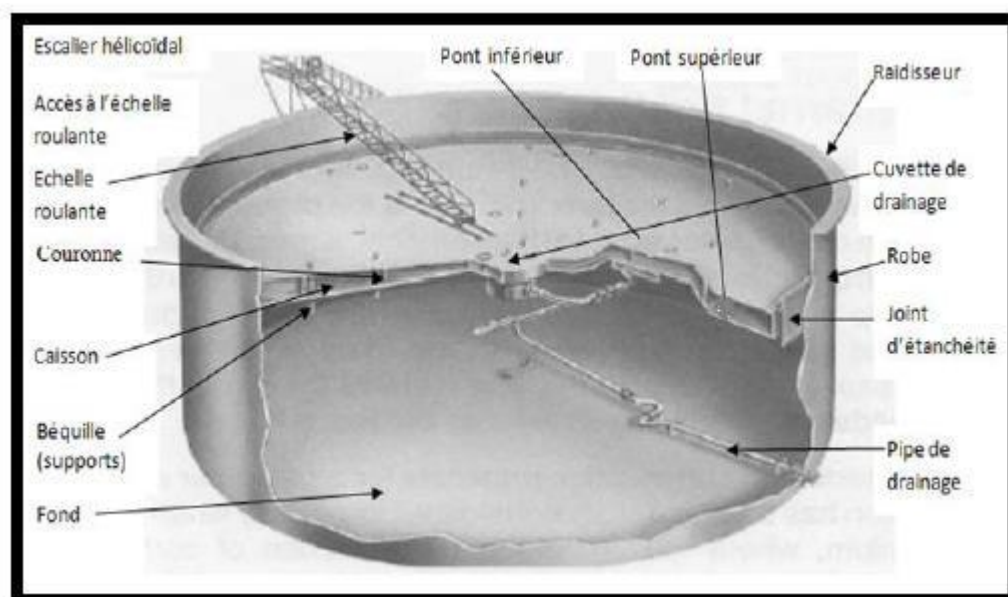


Figure II.8 : Réservoir à toit flottant double pont

C) 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.

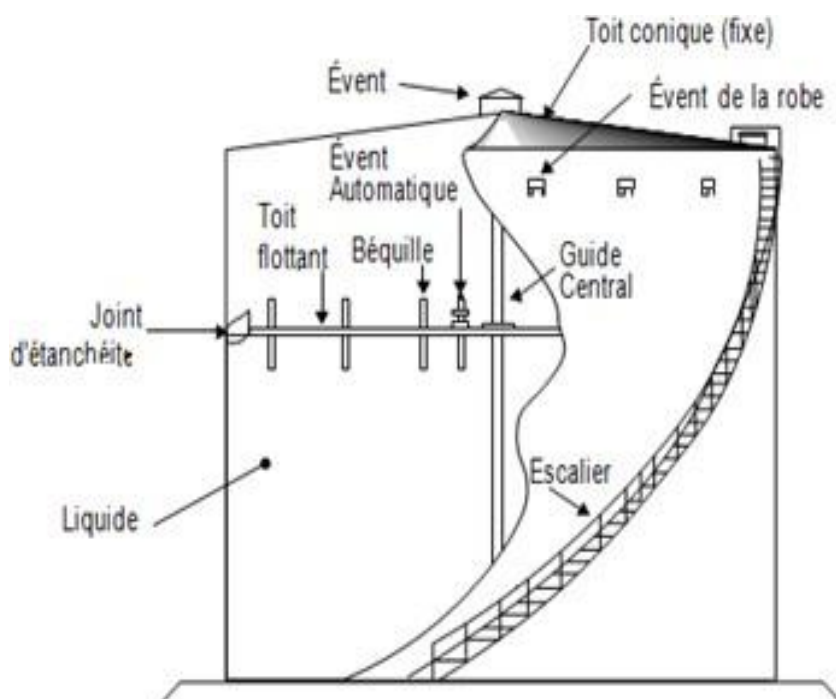


Figure I.9 : Toit flottant interne dans un réservoir à toit fixe

II.6.5 Les réservoirs à intégrité totale

Réservoirs aériens dits à "membrane": où sont appliquées les techniques de cuves des navires méthaniers. La cuve interne est soit métallique en tôle mince, soit en matière plastique mince et elle ne joue qu'un rôle d'étanchéité, la charge hydrostatique du liquide étant reportée, par l'intermédiaire de l'isolation, sur la cuve externe construite en béton précontraint

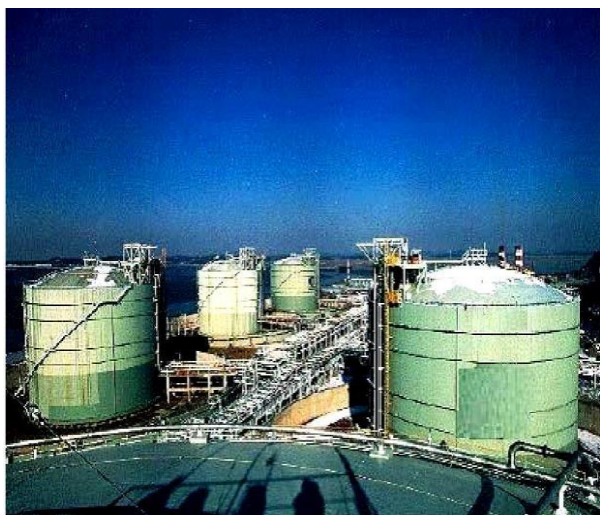


Figure II.10 : Réservoir à membrane.

II.6.6 Réservoirs enterrés et semi-enterrés

Cette conception a été développée, pour les réservoirs enterrés, au Japon par Tokyo Gas Engineering (TGE) au début des années 1970 puis reprise par la suite par d'autres industries gazières japonaises. Elle combine deux techniques : la membrane (basée sur un développement de la technologie TECHNIGAZ) et la technique d'une cuve en béton semi-enterrée. Les trois principales raisons associées à cette dominance de technologie de réservoir sont liées à l'environnement industriel présent sur le pays :

- L'exiguïté des surfaces disponibles,
- La proximité des villes par rapport aux sites industriels,
- Le risque de tremblement de terre.

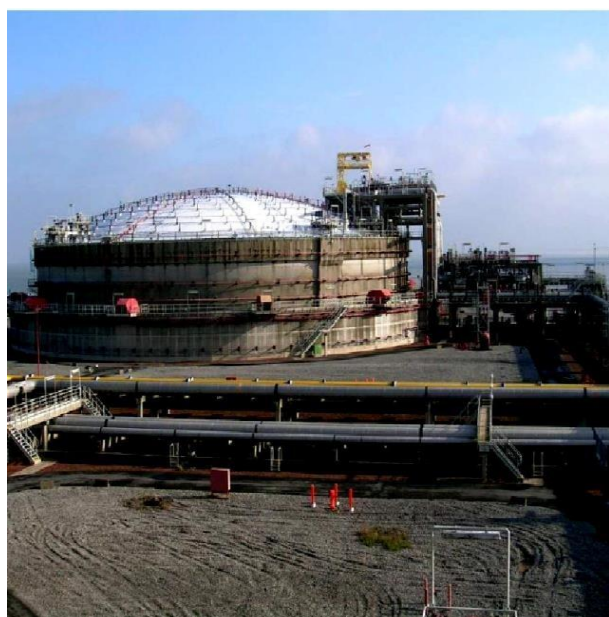


Figure II.11 : a) Réservoir semi-enterré



b) Réservoir enterré

Une membrane en acier inoxydable en tôles ondulées soudées entre elles. La principale différence est l'épaisseur de la membrane légèrement supérieure par rapport à celle de la technologie TECHNIGAZ,

- Des panneaux d'isolation du type mousse de polyuréthane,
- Un toit suspendu à la coupole en acier carbone,
- Une structure en béton

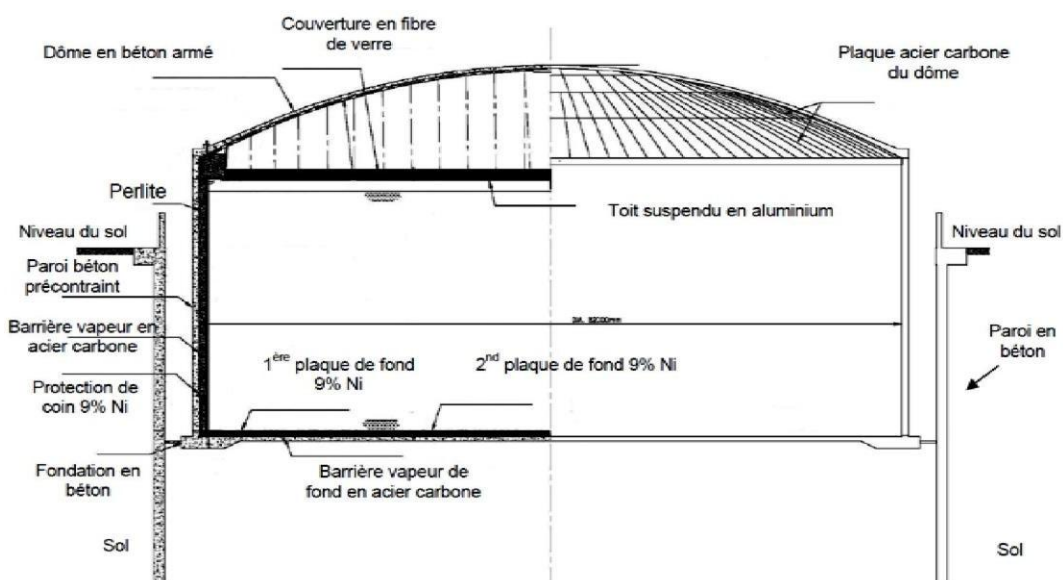


Figure II.12 : Schéma du réservoir enterré

II.7 Choix du réservoir 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.

II.8 Caractéristiques Générales Des Réservoirs

Un réservoir de stockage est déterminé par sa forme, ses dimensions géométriques qui déterminent notamment le volume contenu, sa pression et la température du produit stocké d'ailleurs liée à sa pression par la loi de vapeur saturante. La forme sphérique est la mieux adaptée à l'isolation, mais pour des capacités dépassant 15 à 20 000 m³, on a toujours recours à

la forme cylindrique. Si l'on suppose (hypothèse grossière) que les échanges thermiques ont même intensité au m² sur la surface latérale, le fond et le toit, on démontre que la forme la plus favorable d'un réservoir cylindrique vérifie l'égalité : Hauteur=Diamètre

En fait, il est quelquefois difficile de réaliser cette condition, pour des raisons d'environnement ; il est fréquent que le rapport diamètre/hauteur soit supérieur à 1. La pression est toujours légèrement supérieure à la pression atmosphérique, de manière à éviter les rentrées d'air qui, avec la vapeur du GNL, provoqueraient des mélanges explosifs ; la surpression est de l'ordre de quelques dizaines de millibars. La température interne est celle correspondant à l'ébullition du produit ; elle est de l'ordre de

-160°C. Un réservoir est donc toujours constitué de deux enveloppes séparées par une épaisseur importante de calorifuge. Malgré cette isolation, les apports calorifiques inévitables, en provenance de l'extérieur, se traduisent par une évaporation du produit, à température constante. La qualité de l'isolation se traduit donc par le taux d'évaporation, exprimé généralement en pourcentage par jour. Les réservoirs doivent satisfaire à des conditions de nature mécanique et de nature thermique ; ces deux types de conditions sont énumérés séparément ci-dessous, dans un but de clarification, mais en fait les problèmes mécanique et thermique sont intimement liés.

II.9 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.

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 les essais de caractérisation mécanique. On peut citer les plus essentiels :

A) *Fluage*

Le fluage d'un matériau se produit à haute température et correspond à un régime de déformation lente, sous charge constante, la contrainte étant potentiellement inférieure à la limite d'élasticité. Ces essais intéressent donc les domaines où les matériaux sont soumis à des températures élevées, tels que l'aéronautique ou le nucléaire.

Les essais de fluage nécessitent l'usage d'une machine de mise en charge, d'un four et d'un extensomètre. Dans le cas des métaux, les essais de fluage sont le plus souvent effectués en traction, quoique des essais de compression sont également possibles pour des matériaux fragiles, le risque d'endommagement étant plus limité dans ce mode (les fissures perpendiculaires à l'axe de sollicitation ne pouvant pas se développer).

B) *Essai de traction*

Essai le plus classique, il consiste à exercer sur une éprouvette normalisée (pièce de dimensions normalisées fabriquée dans le matériau à tester), cylindrique ou parallélépipédique (plate), deux actions mécaniques et opposées qui vont la déformer progressivement puis la rompre.

C) Essai de résilience

La résilience, de symbole général K, caractérise la capacité d'un matériau à absorber les chocs sans se rompre. Ce risque est amplifié aux basses températures. Elle est mesurée sur des machines du type Charpy (éprouvette sur deux appuis) ou Izod (éprouvette encastrée).

L'essai, qui est un essai comparatif entre matériaux, mesure l'énergie qu'il faut fournir à un pendule pesant pour briser une éprouvette entaillée du matériau à tester.

D) Essai de dureté

La dureté, de symbole général H, caractérise la capacité d'un matériau à résister au marquage (empreintes, rayures. . .), à l'usure et à l'érosion.

Elle peut être évaluée en mesurant une empreinte laissée en surface par un poinçon agissant sous l'action d'une force connue (essais Brinell, Vickers et Rockwell) mais aussi par une hauteur de rebondissement d'un objet très dur sur la surface à tester (essai Shore pour élastomères et plastiques).

E) Essai de fatigue

C'est un essai statistique dans la mesure où des éprouvettes identiques, sous les mêmes conditions d'essai, donnent des résultats différents. Il y a une répartition statistique des résultats autour d'une valeur moyenne ou médiane. Cette valeur moyenne, une fois déterminée est choisie comme représentative de la capacité du matériau (analogie avec la durée de vie des roulements). Il y a trois types d'essais de fatigue : traction compression, torsion alternée et flexion alternée (le plus classique) et flexion pure alternée M_f .

II.10 Composition générale du réservoir étudiée

- **Robe** : partie cylindrique de l'enveloppe.
- **Fond** : partie inférieure de l'enveloppe formant la base de la robe.
- **Toit-couverture** : partie supérieure 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.
- **Plate-forme supérieure** : Elle se trouve au-dessus de la bague de renforcement et à laquelle est fixée une échelle coulissante sur des glissières fixées sur le toit flottant.
- **Event pour la zone périphérique** : pour permettre aux gaz excédentaires qui ont été formés de s'échapper
- **Clapet d'aération automatique** : il s'ouvre lorsque le toit repose sur le fond. Il a les mêmes fonctions que celles des événements décrites pour les événements dans les réservoirs à toit fixe.
- **Systèmes de joint**:
 - L'étanchéité entre le toit flottant et la robe du bac est assurée par des joints qui peuvent être réalisés de différentes manières:
 - **Joint mécanique** : Des patins d'acier viennent racler la paroi. L'étanchéité est réalisée par un joint élastomère flexible situé au-dessus du liquide et ne subissant pas de

contrainte. Le joint est maintenu appliqué contre la paroi par un contre poids.

- **Joint liquide** : L'étanchéité entre la robe et le toit est maintenue par un "boudin" rempli de kérosène ou de gazole
- **Système d'évacuation des eaux de pluie** : La pluie s'accumule au centre du toit et est évacuée à l'aide d'un tube articulé placé dans le réservoir pour être évacué par une prise de soutirage se trouvant dans le fond de la robe. De plus, en cas de bouchage de ce système, un drain de sécurité permet à l'eau de s'écouler dans le produit afin d'éviter que le toit coule.
- **Béquille** : Lorsque la hauteur du liquide ne permet plus de maintenir le toit en flottaison, son supportage est assuré par des béquilles. Les bacs peuvent comporter deux types de béquilles dont on à citer un type qui est la béquille réglable où la hauteur de réglage est fonction des consignes d'exploitation

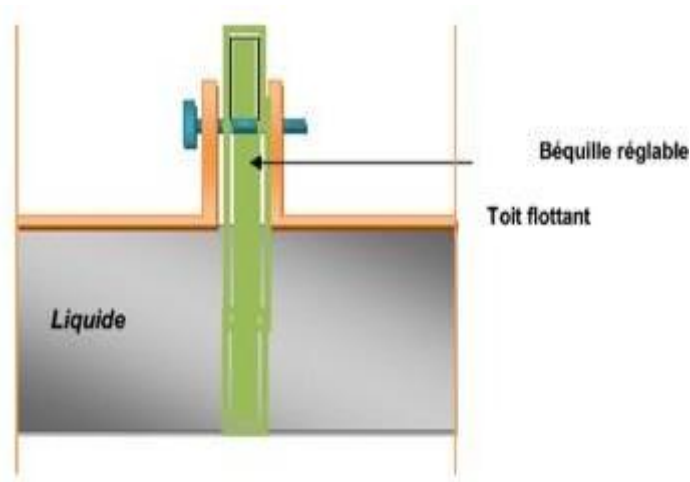


Figure II.13 : Représentation de la béquille réglable.

II.11 Conclusion

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 forme cylindrique est celle la plus ré pondue au stockage des dérivés pétroliers, ce qu'on va voir dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 3:
Étude d'un réservoir de carburants
de 8000 m³

III.1 Objectif et problématique

Les réservoirs sont parmi les moyens de stockage les plus utilisés dans de nombreuses industries, notamment dans les industries pétrolières, gazières et pétrochimiques.

Ils sont plus complexes en matière de dimensionnement, d'étude et de prise en charge du volet sécurité car sont en interaction avec le produit stocké.

C'est pourquoi on a réfléchi de faire une étude de vérification des dimensions de l'un de ces réservoirs qui a une capacité de stockage de 8000 m³, ce dernier porte les hydrocarbures légers comme : le GPL, les essences et le gasoil.

III.2 l'étude de réservoir 8000 m³

III.2.1 Données de calculs et géométrie

Le réservoir étudié c'est un bac de stockage des dérivés pétroliers qui sont généralement les carburants : le GPL, les essences et le gasoil ; sachant que les essences normales sont éliminées à cause de leur danger sur l'environnement. Ce réservoir a les données suivantes :

- Densité de produits stockés :
 - Essence super « ES » $D_{ES} = 0,87$
 - Gasoil « GO » $D_{GO} = 0,86$
- Densité moyenne = 0,86
- Site : Carroubie Alger
- Température : Ambiante
- Pression : Atmosphérique = $1,013 * 10^5$ Pa
- Surépaisseur de corrosion (choisi selon la zone II Alger :
 - **La robe** : $V_1 = 3mm$, les autres viroles $V = 1mm$
 - **Le fond** : $CA = 3mm$ (toutes les tôles)
 - **Le toit** : $CA = 3mm$ (toutes les tôles)
- Capacité de stockage = **8000 m³**
- Vitesse du vent = **70 Km/h** (d'après RNV 65 « règle de neige et de vent »)
- Code de calcul : API 650, RNV 65, RCM 66.

La figure suivante représente une vue générale du réservoir de stockage qui est dessiné par le logiciel.

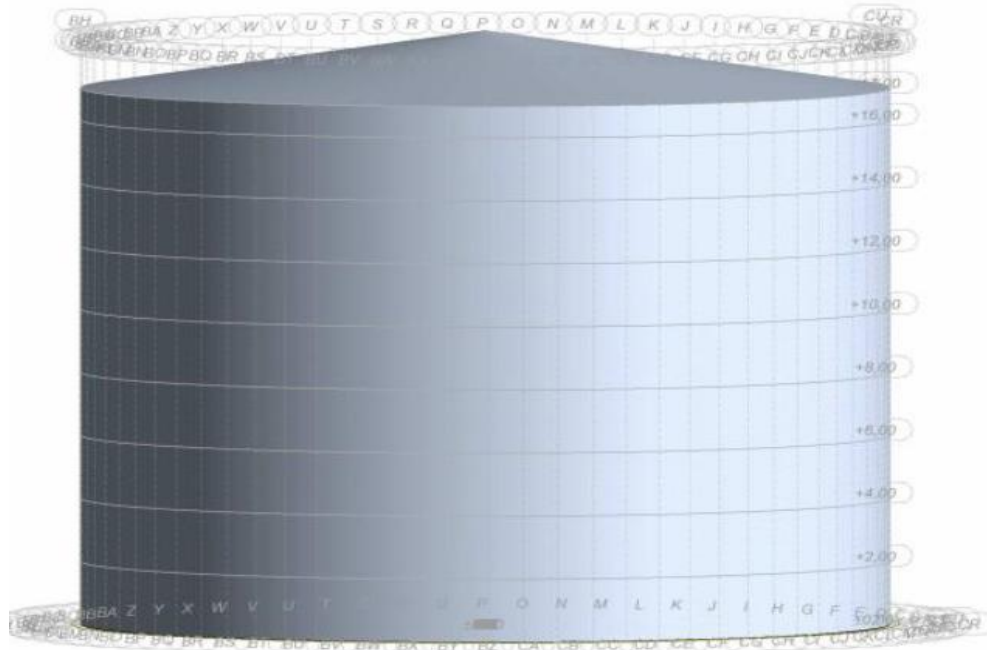


Figure III.1 : vue générale du réservoir.

A partir de ces données, on calcule les paramètres suivants :

a) Section intérieure du réservoir

$$S = \pi * r^2$$

$$AN : S = \pi * 14^2 = 615,75 \text{ m}^2$$

b) Périmètre intérieur du réservoir

$$P = \pi * D$$

$$AN : P = \pi * 28 = 87,96 \text{ m}$$

c) Volumes du réservoir

C.1) Volume de la partie cylindrique V_1

$$V_1 = S * H$$

$$AN : V_1 = 615,75 * 14,42 = 8879,11 \text{ m}^3 \approx 8880 \text{ m}^3$$

V_1 est aussi le volume de la robe du bac.

C.2) Volume de la partie conique V_2

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

$$AN : V_2 = \frac{1}{3} * \pi * 14^2 * 0,876 = 179,79 \text{ m}^3$$

V_2 est aussi le volume du toit de bac.

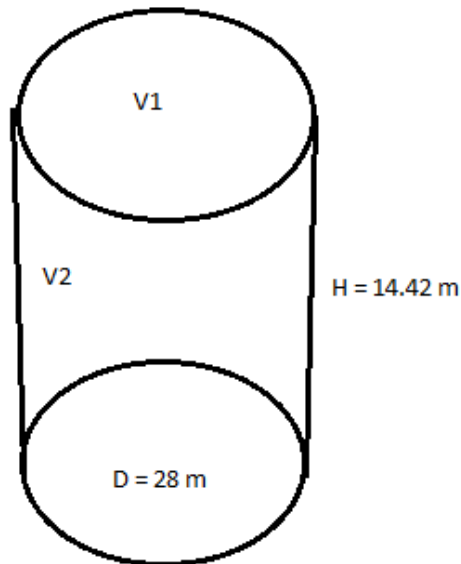


Figure III.2 : Schéma représente les volumes calculés.

C.3) Volume totale V_T

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$V_T = 8879,11 + 179,79 = 9058,90 \text{ m}^3 \approx 9059 \text{ m}^3$$

• **Interprétation :**

La capacité **8000 m³** qui est déclarée avec le réservoir est le volume de la partie de fluide à l'intérieur de ce dernier, c'est-à-dire le volume total calculé ci-dessus est celui de réservoir en entier et considéré à vide.

C.4) Volume de remplissage V_r

C'est le volume à l'intérieur de réservoir qui est occupé par le fluide (essence ou gasoil)

$$V_r = S * h_f$$

$$\text{AN : } V_r = 615,75 * 12,99 = 7999,82 \approx 8000 \text{ m}^3$$

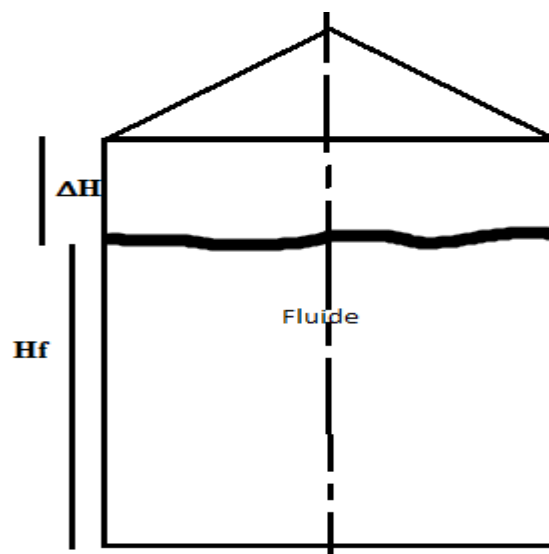


Figure III.3 : réservoir à toit fixe capacité 8000 m³.

- **Commentaire :**

Soit :

S : section de réservoir ; autrement dit la surface du fond de réservoir.

H_f : hauteur de fluide ou hauteur de réservoir.

H : la hauteur de la robe partie cylindrique du réservoir ; soit $H = 14424$ mm.

ΔH : différences des hauteurs de la robe de réservoir et le fluide du même réservoir. Soit $\Delta H = 1532$ mm.

Entre la hauteur H et la hauteur de fluide h_f , il existe une différence de hauteur ΔH est prévue pour permettre au fluide à l'intérieur de s'aérer tout en lui évitant de possible contrainte tels que : la compressibilité, la décompression, le fissure des tôles de toit diamétralement ou sur le poutour du toit ... etc.

III.2.2 poids du réservoir

a) Poids du fond (la base de réservoir)

$P_f = 60888,99$ kg ≈ 60889 kg $\approx 60,88$ Tonnes.

b) Poids de la robe (partie cylindrique du réservoir)

$P_R = 90943,29$ kg ≈ 90944 kg ≈ 91 Tonnes

c) Poids du toit (partie haute de réservoir)

$P_t = 33649$ kg = 33,649 Tonnes $\approx 33,65$ Tonnes

d) Poids total du réservoir

$P_T = P_f + P_R + P_t$

AN : $P_T = 60,88 + 91 + 33,65 = 185,53$ Tonnes

III.2.3 calculs de Pression (Pression d'épreuve)

Tout réservoir contenant un fluide est essayé à une pression d'épreuve à la suite duquel il est accepté ou refusé.

Si l'essai était poursuivi jusqu'à une rupture, cette pression d'épreuve se produirait par une déchirure le long d'une génératrice.

Les calculs qui suivent permettent d'expliquer ce phénomène.

❖ **Résultantes des forces pressantes sur la demi-virole**

La figure ci-après nous montre la représentation de la vue en plan de la robe qui est la partie cylindrique du réservoir

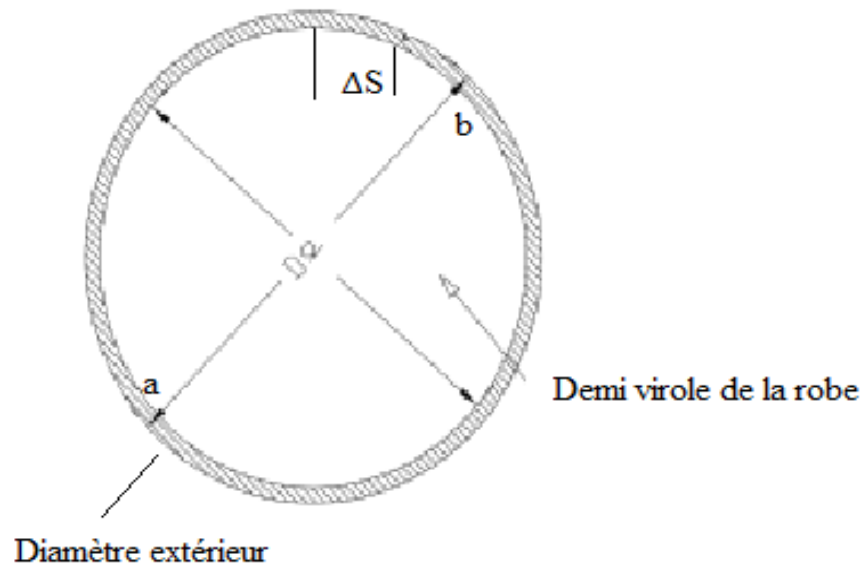


Figure III.4 : vue en plan de la robe du réservoir.

• **Interprétation :**

On remarque que sur chaque élément de surface ΔS de cette demi virole, il existe des forces pressantes qui sont égales à $(f = p * \Delta S)$.

Les résultantes de ces forces sont déterminées par la relation de projection sur les axes $(x'ox)$ et $(y'oy)$.

➤ *Projection des forces pressantes sur l'axe $(x'ox)$*

$F_1 = f_1$ d'où $f_1 - f_1 = 0$

Les deux forces sont deux à deux égales mais de sens opposé.

➤ *Projection des forces pressantes sur l'axe $(y'oy)$*

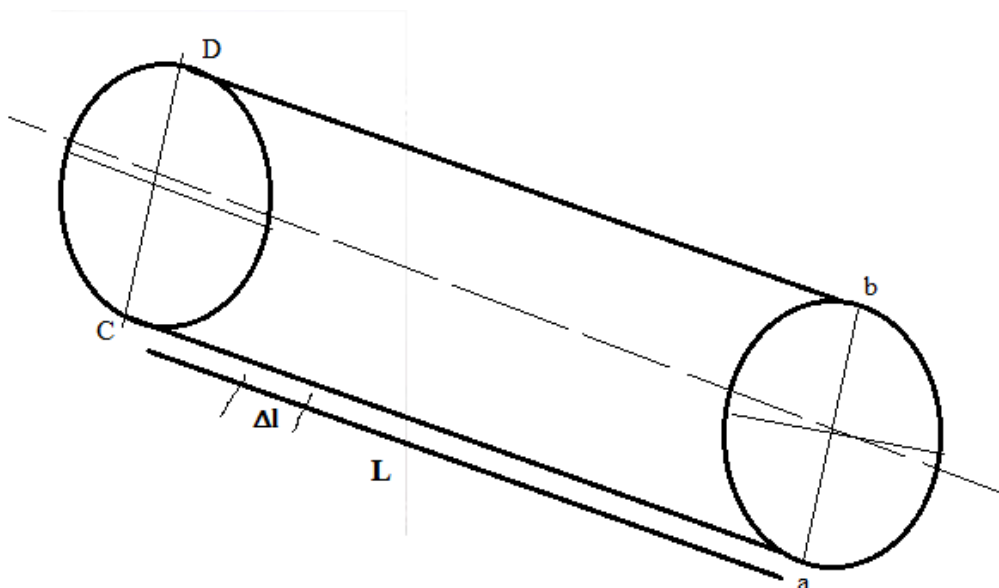


Figure III.5: les dimensions de la virole.

$$\begin{aligned}
 F_2 &= f \cos\alpha \\
 F_2 &= f \cos\alpha \quad \left. \vphantom{F_2} \right\} \Sigma f_2 = \Sigma f \cos\alpha \text{ au même temps } \Sigma f = \Sigma P \Delta S \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{Donc : } \Sigma f_2 = \Sigma P \Delta S \cos\alpha = \Sigma P \Sigma \Delta S \cos\alpha \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{Avec : } \Sigma \Delta S = ab * \Delta l = d * \Delta l
 \end{aligned}$$

Finalement la résultante des forces pressantes sur la demi-virole a pour valeur $f = P_i * d * \Delta l$

Si on considère que Δl est la longueur de la paroi cylindrique « l », Alors :

$$F = P_i * d * l$$

- **Résumé :** Le réservoir de diamètre $d = 28\text{m}$ et de longueur $l = 14,424\text{ m}$ contient un fluide dont la pression P_i est considérée comme étant la pression à l'intérieur du réservoir, et P_a c'est la pression à l'extérieur qui est la pression atmosphérique ; donc :

$$\begin{aligned}
 P \text{ abs} &= P_i - P_a = \rho gh \quad \longrightarrow \quad P_i = \rho gh + P_a \\
 \text{AN: } \rho_{\text{ess}} &= d_{\text{ess}} * \rho_{\text{eau}} = 0,86 * 1000 = 860 \text{ kg/m}^3 \\
 P_i &= 860 * 9,81 * 14,42 + 10^5 = 121689,51 \text{ pa} = \\
 P_i &= 1,216 \text{ bar} \\
 P_a &= P_{\text{atm}} = 1,013 \text{ bar}
 \end{aligned}$$

Après avoir déterminé P_i et P_a on doit chercher l'épaisseur de la tôle de la robe pour qu'on puisse procéder aux calculs des deux contraintes (transversales et longitudinales) dans le réservoir.

III.2.4 calcul de l'épaisseur de la tôle

Pour que l'enveloppe résiste en toute sécurité, la contrainte transversale ne doit pas dépasser la résistance pratique du métal adopté ; par ailleurs l'épaisseur de la robe du réservoir doit satisfaire la condition suivante :

$$E \geq \frac{P_{\text{eff}} * d_i}{2R_p}$$

Avec ; d_i : Diamètre intérieur du bac = 28m

$P_{\text{eff}} = P_i - P_a$: pression effective ou la pression absolue = 0,203 bar

R_p : résistance pratique du métal adopté = 28 kg/mm²

E : épaisseur de la tôle de la robe du bac [m]

$$\text{AN : } e \geq \frac{0,203 * 2800}{2 * 180} \geq 15,78 \text{ mm}$$

On adopte $e = 16\text{mm}$ pour la tôle, soit pour la virole V_1 .

a) Les résultats de calcul

Les résultats de calcul des épaisseurs des tôles de la robe du réservoir, soit de virole V_1 jusqu'à V_8 sont regroupées dans le tableau ci-dessous

Tableau III.1 : les résultats de calculs des épaisseurs des viroles.

Virole	Hauteur de la virole [mm]	Epaisseur calculé [mm]	Epaisseur adopté [mm]	Matière
V ₁	14424	15,08	16	A283C
V ₂	12624	11,53	12	
V ₃	10824	9,99	10	
V ₄	9024	8,45	8,5	
V ₅	7224	6,91	7	
V ₆	5424	6,5	6,5	
V ₇	3624	6,5	6,5	
V ₈	1824	6,5	6,5	

NB : la signification de matière A283C :

A : acier classe A

283 : résistance à rupture (283dan/mm²)

C : chrome

• **Interprétation :**

Les tôles des réservoirs sont des tôles normalisées, soit : 1830*6340 et façonnées à 1800mm de largeur et à 6300mm de longueur.

III.3 calculs des contraintes

a) **Contraintes transversales sur la demi-virole de la robe du réservoir « δ »**

Voici la figure suivante qui nous aide à expliquer les phénomènes des contraintes transversales.

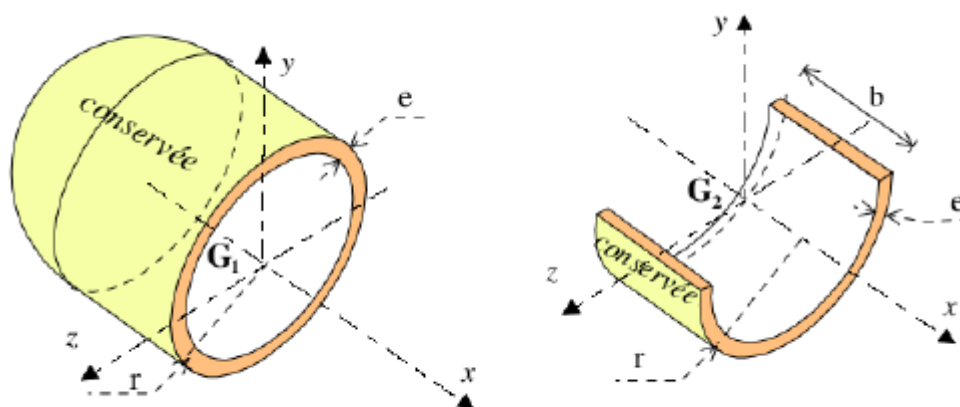


Figure III.6 : la résultante des forces des Contraintes transversales.

Comme on a été démontrée et calculée précédemment, la résultante des forces fi et fa est :

$F_i - f_a = (P_i * I * d_i) - (P_a * I * d_e)$; cette résultante est équilibrée par des forces « ΔN » appliquées sur l'épaisseur de la demi-virole « V », ou le plan séquent (AA'-DD' et CC'-

BB') ; également l'ensemble des forces « ΔN » remplace l'action de la demi-virole enlevée sur cette dernière.

La somme des forces Σ ΔN appliquées sur la partie (AA'-DD') ont une résultante N. Le même cas est appliqué sur la deuxième partie (BB'-CC') ; Or, puisque il y a une symétrie des deux parties et celles des pressions, on peut dire dans ce cas que les deux résultantes sont identiques ; on aura alors ce qui suit :

$$2N = f_i - f_a \implies N = \frac{f_i - f_a}{2}$$

Et comme l'épaisseur est faible dans le cas étudié (e=16mm) , la contrainte normale δ est identique pour tout dans l'épaisseur de la robe du réservoir , on peut écrire donc :

$$N = \delta * l * e \implies \delta = \frac{N}{l * e} = \frac{f_i - f_a}{2 * l * e} = \frac{(P_i d_i - P_a d_e) l}{2 l e} = \frac{P_i d_i - P_a d_e}{2e}$$

Et comme l'épaisseur est faible, on peut donc égaliser entre les diamètres intérieur et extérieur ; on aura : $\delta = \frac{(P_i - P_a) d_i}{2e}$ Avec : $P_i - P_a = P_{eff}$

$$\text{Donc : } \delta = \frac{P_{eff} * d_i}{2e}$$

$$\text{AN: } \delta = \frac{0,203 * 2800}{2 * 16} = 177 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$\Delta \approx 180 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ c'est la contrainte transversale exercée sur les parois intérieures du réservoir à toit fixe capacité 8000 m³, produit stocké essence et gasoil.

b) Contraintes longitudinales « δ' »

Soit f'i et f'a deux poussées dues à la pression de fluide au fond du réservoir et à la pression atmosphérique à l'extérieur au sommet respectivement. Sachant que N' est la résultante des forces élémentaires exercées sur le fond de réservoir ; les forces peuvent s'exprimer par les équations suivantes :

$$F'_i = p_i s = P_i \frac{\pi d_i^2}{4} \quad \text{Donc : } P_i = \frac{4f'_i}{\pi d_i^2}$$

$$\text{Et } f'_a = p_a s = P_a \frac{\pi d_e^2}{4} \quad \text{Donc : } P_i = \frac{4f'_a}{\pi d_e^2}$$

Sachant que $N' = f'_i - f'_a$

$$\text{On trouve : } N' = (P_i d_i^2 - P_a d_e^2) \frac{\pi}{4}$$

En admettant que la contrainte normale δ' est constante en tout point de la section S

Dont l'aire est égale à (π d_i e), donc on a :

$$N' = \delta' \pi d_i e \implies \delta' = \frac{N'}{\pi d_i e}$$

$$\Delta' = \frac{(P_i d_i^2 - P_a d_e^2) \frac{\pi}{4}}{\pi d_i e}$$

$$\Delta' = \frac{(P_i d_i^2 - P_a d_e^2)}{4 d_i e}$$

Comme dans le cas précédent, on a une faible épaisseur, donc on prend $d_i = d_e$, on aura :

$$\Delta' = \frac{(P_i - P_a) d_i}{4 e} \quad \text{Avec: } P_{\text{eff}} = P_i - P_a$$

Alors :
$$\delta' = \frac{P_{\text{eff}} \cdot d_i}{4 e}$$

AN :
$$\delta' = \frac{0,203 \cdot 2800}{4 \cdot 16} = 88,81 \text{ [N/mm}^2] \approx 90 \text{ [N/mm}^2]$$

$\Delta' \approx 90 \text{ [N/mm}^2]$ c'est la contrainte longitudinale exercée verticalement sur le fond du réservoir,

on Remarque que cette contrainte est la moitié de la contrainte transversale quand elle atteint la résistance à la rupture du métal.

III.4 recouvrement des tôles de fond

Les tôles de fond peuvent être assemblées par recouvrement ou bout à bout mais pour notre Projet nos tôles seront assemblées par recouvrement.

La largeur, l_f , de la zone de recouvrement doit respecter l'exigence suivante :

$$l_f \geq 5e_f$$

Où est l'épaisseur des tôles de fond. $F e$

Alors nous considérons la longueur de recouvrement à : $l_f = 5 \times 8 = 40 \text{ mm}$

III.5 Calcul des épaisseurs de la robe

Le calcul de l'épaisseur des tôles de paroi (par virole) dépend de la pression hydrostatique et de la surpression interne admise au-dessus du liquide stocké.

Selon CODRES 2007, La hauteur de liquide à prendre en compte dans le calcul du réservoir est :

La hauteur totale de la robe car notre réservoir a un toit fixe.

L'épaisseur e requise pour les tôles de robe doit être au minimum la plus grande des valeurs de celle indiquée dans le tableau 7 conformément aux normes indiquées.

On utilise la formule suivante pour le calcul de l'épaisseur de paroi du réservoir :

$$e = \frac{D}{20f} \{98p(H_c - 0.3) + p\} + C$$

E : épaisseur du virole (en mm)

H_c : Distance entre le bas de la virole considérée et la Hauteur décrite ci-dessus

D : Diamètre (en m) du réservoir de stockage

P: densité (en kg/l) du gasoil

P:pression (en mbar) au-dessus de la surface du liquide. Cette pression peut être négligée si la pression de conception est réglée inférieure à 10 mbar.

C: Surépaisseur de corrosion en mm

F: contrainte acceptable dans le matériau aux conditions opératoires, c'est-à-dire 2/3 de la limite d'élasticité (en N/mm²) du matériau (résistance à la traction avec laquelle il existe au maximum une déformation permanente de 0,2%).

Il est indiqué dans API 650 (5.3.2 Surépaisseur de corrosion) que l'acheteur après un examen à l'effet total du liquide stocké, la vapeur au-dessus du liquide et de l'environnement atmosphérique (sel de la mer) doit préciser ses exigences sur la surépaisseur dans la fiche technique.

Cet ainsi que la surépaisseur de corrosion est considérée à C=3mm.

Tableau III.2 : les épaisseurs de la robe

Viroles	F	Hc	C	Epaisseur calculée	Eppaisseur retenue
V1	156,67	17	3	12,88	14
V2	156,67	15	3	11,70	12
V3	156,67	13	3	10,52	10
V4	156,67	11	3	9,33	8
V5	156,67	9	3	8,15	8
V6	156,67	7	3	6,96	6
V7	156,67	5	3	5,78	6
V8	156,67	3	3	4,60	6

Indépendamment du résultat des formules reprises ci-dessus, chaque virole doit avoir une épaisseur minimale mentionnée dans les normes. Quelques valeurs sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.3 : Les épaisseurs minimale des tôles de paroi

Diamètre du réservoir (m)	Epaisseur minimale des tôles de paroi (mm) selon API 650-3.6.1.1
<15	5
15-30	6
30-36	6
36-60	8
60-90	10
>90	10

III.6 dimensions des tôles

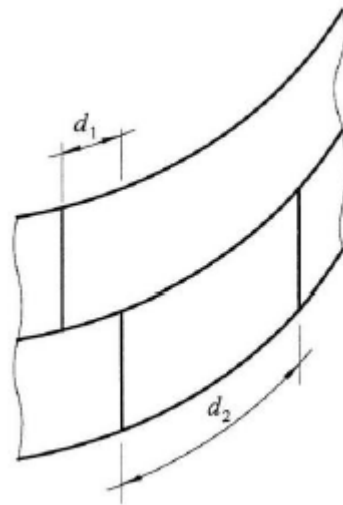


Figure III.7: Tôles des viroles

D_2 : longueur de la tôle

La distance, entre assemblages verticaux de viroles consécutives sera égale à 300 mm car nos tôles ont des épaisseurs supérieures à 5 mm d_1

A cause des limitations d'ordre technique (fabrication, mise en forme et transport), nos commandes des tôles se feront de façon à obtenir un nombre entier de tôles de même longueur pour chaque virole.

III.7 calcul de la toiture

La partie 4-2 de l'Eurocode 3 recommande que l'épaisseur spécifiée de toute tôle de toiture ne soit pas inférieure à 3mm pour les aciers inoxydables, donc pour notre toit nous allons considérer une épaisseur de 6mm pour le dimensionnement, ce choix est juste car d'après les recommandations ; l'épaisseur des tôles de toit doit être la même que l'épaisseur de la dernière virole de la coque.

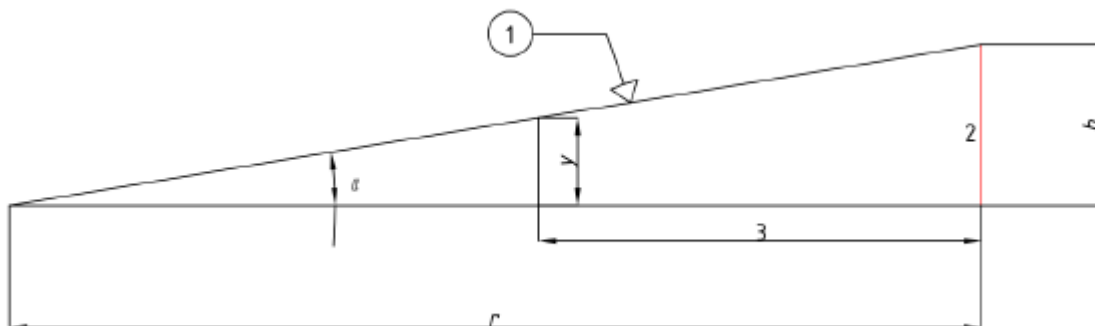


Figure III.8 : Coordonnées du toit du réservoir

1: Profil du toit

2 :Axe du réservoir

Il convient de prendre une force verticale totale de calcul par chevron égale à :

$$P_d = \beta r^2 P_{vd}$$

Où

$$B = \pi/n$$

N est le nombre de chevrons n

R est le rayon du réservoir r

P_{vd} est la composante verticale maximale de la charge de calcul répartie, y compris le poids propre de la structure porteuse (positive vers le bas)

$$AN = \beta = \frac{3.14}{36} = 0.087$$

$$P_d = 0.082 \times 11^2 \times 1.59 = 15.77KN$$

III.8 Verification de la stabilite du reservoir

Pour les réservoirs en acier, les vérifications doivent se faire de la manière suivante :

- La stabilité de la paroi du réservoir au voilement ;
- La stabilité de la paroi du réservoir proche du fond vis-à-vis d'un effondrement plastique ;

Notre étude est basé à la vérification du voilement élastique ; Ce voilement se produit dans les parties de la coque où l'épaisseur est réduite par rapport à l'épaisseur et où la pression interne, qui a un effet stabilisateur, est également réduite par rapport à la valeur maximale qu'elle atteint à la base.

Il convient d'effectuer des vérifications au voilement à la base du réservoir et plus haut, en considérant la valeur maximale possible de la pression au niveau considéré.

La vérification peut être effectuée conformément à l'en 1993-1-6 ou, en vérifiant :

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_{cl}} \leq 0.19 + 0.81 \frac{\sigma_p}{\sigma_{cl}}$$

Σ_m : est la contrainte verticale maximale de membrane ;

Calcul de la contrainte critique de flambement du cylindre sollicité en compression axiale

$$\sigma_{cl} = 0.6E \frac{t}{R}$$

$$\sigma_{CL} = 0.6 \times 210000 \frac{0.014}{11} = 160.36MPa$$

$$\sigma_{cl} = 160.36MPa$$

$\frac{\sigma}{t}$ Désigne le rapport entre l'amplitude maximale des imperfections et l'épaisseur de la paroi, qui peut être pris égal à :

$$\frac{\delta}{t} = \frac{0.06}{a} \sqrt{\frac{R}{t}}$$

$\alpha=1$ pour les constructions normales ;

$\alpha=1.5$ pour les constructions de bonne qualité ;

$\alpha=2.5$ pour les constructions de très haute qualité.

Pour notre cas nous allons considérer $\alpha=1$

$$\frac{\sigma}{t} = \frac{0.06}{1} \sqrt{\frac{11000}{14}} = 1.68$$

Vérification de la condition : $\frac{\sigma_m}{\sigma_{cl}} \leq 0.19 + 0.81 \frac{\sigma_p}{\sigma_{cl}}$

$$\sigma_m = \sigma_{xpo} = 50.68MPa$$

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_{cl}} = \frac{50.68}{160.36} = 0.316 \leq 0.19 + 0.81 \times \frac{109.19}{160.36} = 0.74 \theta \rightarrow \text{condition vérifiée ok.}$$

III.9 Etude sismique

III.9.1 L'objectif

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 ci-dessous montre le mouvement oscillatoire de sol à la base du réservoir.



Figure III.9 : Flambement en pointe de diamant (Photos Courtesy of University of California, Brekely)

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 problèmes, 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.

III.9.2 objectif de l'étude 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.

III.9.3 application de la méthode de calcul

A. 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

$$R_i = (57 - (0,019 \times 2))/2 = 28,481 \text{ m}$$

$$R_i = 28,481 \text{ m}$$

$$\rightarrow H_i = 15,85 \text{ m}$$

$$M_i = 6998,16 \text{ kN}$$

B. 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 :

$$P_0 = 1.2 M_0 g \phi$$

- Calcul de la masse oscillante M_0

La masse oscillante du condensat est donnée par la formule :

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

$$M_0 = 11804,32 \text{ kN/m}^3$$

- Calcul de la pulsation fondamentale de vibration du liquide ω :

$$\omega_0^2 = \frac{g}{R_i} 1.84 \text{th} \left(1.84 \frac{H_e}{R_i} \right)$$

$$\omega_0^2 = 0.458 \text{ rad/s}$$

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

$$\phi_0 = 0.45 \frac{\partial_m}{g}$$

$$\phi_0 = 0.1575$$

D'où :

$$P_0 = 1.2 \times 11804,32 \times 10 \times 0,1575 \rightarrow P_0 = 22310,16 \text{ KN}$$

C. Action d'oscillations

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

$$Mf_0 = P_0 \times h_0$$

Avec :

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

$$h_0 = H_e \cdot \left[1 - \frac{1}{1.84 \operatorname{th} \left(1.84 \frac{H_e}{R_i} \right)} + \frac{1}{1.84 \frac{H_e}{R_i} \operatorname{sh} \left(1.84 \frac{H_e}{R_i} \right)} \right]$$

$$= 13.72 \times \left[1 - \frac{1}{1.84 \operatorname{th} \left(1.84 \frac{13.72}{28.485} \right)} + \frac{1}{1.84 \frac{13.72}{28.485} \operatorname{sh} \left(1.84 \frac{13.72}{28.495} \right)} \right]$$

$$h_0 = 6.82 \text{ m}$$

D'où:

$$Mf_0 = P_0 \times h_0$$

$$Mf_0 = 152363,69 \text{ KN.m}$$

III.9.4 Calcul des moments de flexion

- Action d'impulsion

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

$$Mfi = Pi \times hi$$

Avec :

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

$$hi = 3/8h$$

$$hi = 5,14 \text{ m}$$

D'où :

$$Mfi = 2449,35 \times 5,14$$

$$Mfi = 12589,659 \text{ KN.m}$$

III.9.5 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 déformation 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 :

$$\sigma_{cr} = \left[\frac{1}{\sqrt{3(1-\theta^2)}} \right] \frac{E \cdot t}{r} = \frac{0.605 \times E \cdot t}{r}$$

Le tableau ci-dessous représenté la vérification du réservoir au flambement.

Tableau III.4 : les contraintes critiques de flambement pour les viroles

Vérification au flambement			
Elément	indices	Valeurs	Unités
La contrainte critique de flambement pour la virole 1	σ_{cr1}	84,7	Mpa
La contrainte critique de flambement pour la virole 2	σ_{cr2}	75,78	Mpa
La contrainte critique de flambement pour la virole 3	σ_{cr3}	66,86	Mpa
La contrainte critique de flambement pour la virole 4	σ_{cr4}	57,95	Mpa
La contrainte critique de flambement pour la virole 5	σ_{cr5}	49,03	Mpa
La contrainte critique de flambement pour la virole 6	σ_{cr6}	49,03	Mpa
La contrainte critique de flambement pour la virole 7	σ_{cr7}	49,03	Mpa

III.10 Conclusion

Dans ce chapitre, on a pu vérifier tous les calculs nécessaires de ses réservoir de capacité 8000 m³ en commençant par la géométrie et les paramètres dimension (section, volume, poids), ensuite, on a déterminé la pression d’épreuve qui est très importante au point de vue de sécurité car elle prouve la résistance du métal contre la rupture à cause des forces exercées comme les contraintes horizontaux et verticaux (transversale et longitudinale) qui sont aussi déterminées à partir de calcul de l’épaisseur de la tôle de robe et de pression mentionnée ainsi que l’étude sismique.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'étude détaillée du réservoir en acier nous a permis de comprendre que le dimensionnement d'un ouvrage de stockage métallique est considéré comme un ouvrage spécial et leur étude requiert le respect de certaines normes établies.

Ce dimensionnement tient largement compte de la pression du gasoil que contient le réservoir et qui agit sur la robe car elle permet de déterminer les épaisseurs des viroles. Les contraintes engendrées par cette pression interne ne doivent pas dépasser la limite d'élasticité de l'acier car elles peuvent déformer l'ouvrage.

L'épaisseur de la toiture a été déterminée en fonction de la dernière virole de la robe, une cornière de rive de servira de jonction entre la robe et le toit. Pour limiter le voilement du réservoir, deux raidisseurs secondaires sont nécessaires.

Le dimensionnement de l'assise a permis de comprendre que les armatures et les épaisseurs de la couronne, du radier sont obtenues par rapport au poids du réservoir, des forces de poussée et de butée. Il a été aussi montré que la capacité portante du sol est largement suffisante et le tassement du sable est dans l'ordre de centimètre.

Cependant, le réservoir doit être soigneusement exécuté notamment sa géométrie car une petite imperfection entrainera des dégâts majeurs sur l'ouvrage. Les recommandations relatives à l'inspection et à la maintenance doivent être respectées pour assurer une longue durée de vie au réservoir.

Aussi on a réalisé une étude sismique pour notre réservoir dans une zone de sismicité élevée 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.

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.

Références bibliographiques

- [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] Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publique N0 (Calcul pratique des réservoirs en zone sismique)
- [5] Manuel d'utilisation NAFTAL, Réservoir de stockage des essences (normales et super)
- [6] Manuel d'utilisation NAFTAL, Réservoir de stockage des gaz
- [7] Manuel d'utilisation NAFTAL, Réservoir de stockage du gasoil.
- [8] EUROCODE 3 :« Calcul des structures métallique et document d'application»
- [9] Ouvrage Lahlou Dahmani : Calcul et Conception des Réservoirs et Silos Métallique.
- [10] DTR.B.C 2.48 :« Règlement Parasismique Algériennes (RPA99/ version 2003)»
- [11] AN INTERNATIONAL CODE 2007 ASME Boiler & Pressure vessel code
- [12] Régis CHAMAYOU : Réservoir Métallique Stockage des Liquide.
- [13] 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
- [14] 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
- [15] DJI-ALLAHITE 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.
- [16] Méthodes de caractérisation mécanique des matériaux ; Marc Blétry ; 2006-2007
- [17] S.P Timoshenko : Résistance des matériaux , Tome 2 .
- [18] Hakim sigurdjidjine cour de matreriaux.universite de boumerdes FT UMBB.2021.