



MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option: Conception des systemes d'alimentation en eau potable

THEME:

**ETUDE COMPARATIVE ENTRE LES RESERVOIRS ENBETON ET
LES RESERVOIRS METALLIQUES**

Présenté par:

CHERBAL Younes

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms

Grade

Qualité

HACHEMI Abdelkader

M.C.A

Président

HADJ SADOK Nabila

M.A.A

Examineur

AMIRI Djamel

M.A.A

Examineur

DERNOUNI Fouzia

M.A.A

Examineur

MOKRANE Wahiba

M.C.B

Promotrice

Session Septembre 2023

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire, je tiens à remercier :

ALLAH :

*le tout miséricordieux , le très miséricordieux , le tout puissant , de
m'avoir donner le courage, la volonté , et la patience d'accomplir ce
modeste travail*

Mes remerciements s'adressent également à mon encadrante :

M^{ME} MOKRANE WAHIBA

*C'est un grand honneur que vous m'avez fait en acceptant de diriger
cette thèse*

*Vous m'avez inspiré le sujet de ce travail et vous avez su me guider
avec simplicité et gentillesse jusqu'à sa réalisation . votre bonté et
votre rigueur de travail resteront pour le meilleur exemple*

*Je vous exprime mes plus vifs remerciement et je vous pris de trouver,
ici le témoignage de ma reconnaissance et mon profond respect*

*Enfin , je souhaite exprimer mes plus sincères remerciements à toutes
les personnes qui ont contribuées de près ou de loin à la réalisation
de ce travail*

DÉDICACE

Je dédie cette thèse à :

A MES TRÈS CHERS PARENTS :

Aucun mot ne saurait vous exprimer toute ma gratitude pour tous les moments difficiles et tous les sacrifices que vous avez endurer durant toutes ces années pour nous assurer la meilleure éducation et la meilleure qualité de vie .

On ne peut rêver avoir de meilleure parents que vous mon seul souhait est que vous soyez fier de votre fils

A MES FRÈRE YACINE ,YOUCEF ET MES SŒURS AMINA ET YOUSRA :

L'affection et l'amour fraternel que vous me portez m'a soutenu durant mon parcours.

Je vous dédie ce travail en témoignage de l'amour que j'ai pour vous ,j'espère que je suis parvenue à vous rendre fier de votre frère .

Puisse dieu vous préserver et vous procurer bonheur et réussite

ملخص

تعتبر خزانات المياه الخرسانية والخزانات المعدنية هي البنية التحتية لتسيير المياه حيث يعتمد الخيار بين هذين النوعين من الخزانات على عوامل مختلفة.

من خلال هذه المذكرة قمنا بإجراء مقارنة بين خزانات إمداد مياه الشرب الخرسانية والخزانات المعدنية على مادة البناء، مزايا وعيوب كل نوع، أعمال الصيانة، حساب العزوم في حالة الهيدروديناميكية لمعرفة ما إذا كان يمكن استخدام الخزانات المعدنية لتزويد مياه الشرب في المناطق الحضرية في الجزائر

Résumé

Les réservoirs d'eau en béton et les réservoirs métalliques sont des infrastructures de gestion de l'eau. Le choix entre ces deux types de réservoirs dépend de divers facteurs.

A travers ce mémoire nous allons faire une comparaison entre les réservoirs d'AEP en béton et les réservoirs métalliques sur le matériau de construction, les avantages et les inconvénients de chaque type, travaux de maintenance, le calcul des moments dans le cas hydrodynamique pour voir si les réservoirs métalliques peuvent être utilisés pour l'alimentation en eau potable des agglomérations dans l'Algérie

Abstract:

Concrete water tanks and metal tanks are water management infrastructure. The choice between these two types of tanks depends on various factors.

Through this dissertation we will make a comparison between concrete drinking water supply tanks and metal tanks on the construction material, the advantages and disadvantages of each type, maintenance work, calculation of moments in the case hydrodynamics to see if metal tanks can be used to supply drinking water to urban areas in Algeria

TABLE DE MATIERE

Chapitre I : Etat d'art sur les types de réservoirs de stockage d'eau potable

| | |
|---|----------|
| Introduction | 3 |
| I.1. Etat d'art..... | 3 |
| I.1.1. Historique..... | 3 |
| I.1.2. Les réservoirs en Algérie..... | 4 |
| I.1.3 Capacité des réservoirs | 5 |
| I.1.4. Rôles des réservoirs | 5 |
| I.1.5. Types de réservoirs..... | 6 |
| I.1.6. Exigences techniques à satisfaire dans la construction d'un réservoir | 6 |
| I.1.6. Les charges supportées par les réservoirs | 6 |
| I.1.6.1. Charges permanentes | 6 |
| I.1.6.2. Charges de surexploitation..... | 6 |
| I.1.6.3. Contenu du réservoir..... | 7 |
| I.1.6.4. Charges de vent..... | 7 |
| I.1.6.5. Charges sismiques | 7 |
| I.1.7. Caractéristique d'un réservoir | 7 |
| I.2. Problématique..... | 8 |

Chapitre II : Comparaison entre les réservoirs en Béton et les réservoirs métalliques

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 10 |
| II.1. Réservoirs en Béton..... | 10 |
| II.1.1 Matériaux de construction | 10 |

| | | |
|------------|---|----|
| II.1.1.1 | Formule de Bolomey | 10 |
| II.1.1.2 | Description du réservoir en Béton | 12 |
| II.1.2 | Avantages et inconvénients | 13 |
| II.1.3. | Calcul des réservoirs en Béton..... | 13 |
| II.1.3.1 | Cas statique..... | 13 |
| II.1.3.2 | Cas Dynamique (Séisme)..... | 17 |
| II.1.3.3 | Application : Cas du réservoir projeté de 100m ³ | 18 |
| II.1.3.3.1 | Action d'impulsion | 18 |
| II.1.4. | Vérification sismique..... | 22 |
| II.1.4.1 | vérification à la stabilité | 22 |
| II.1.5. | Conductivité thermique..... | 23 |
| II.1.6. | Cout du réservoir en Béton | 23 |
| II.1. 7. | Maintenance des réservoirs en Béton | 23 |
| II.2. | Réservoirs métalliques | 24 |
| II.2.1. | Matériaux de construction | 25 |
| II.2.2. | Fond du réservoir | 26 |
| II.2.3. | Coque du réservoir | 27 |
| II.2.4. | Toitures des réservoirs | 28 |
| II.2.5. | Trappes de visite..... | 29 |
| II.2.6. | Tuyère..... | 29 |
| II.2.7 | Avantages et inconvénients | 30 |
| II.2.8. | Calcul des réservoirs métallique | 31 |
| II.2.8.2 | Vérification à la stabilité | 34 |
| II.2.8.3 | conductivité thermique..... | 34 |
| II.2.9 | Maintenance des réservoirs métallique | 35 |

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Etat d'art sur les types de réservoirs de stockage d'eau potable

Tableau I.1 : Capacité et type de réservoirs 5

Chapitre II : Comparaison entre les réservoirs en Béton et les réservoirs métalliques

Tableau II.1 : Valeurs de (A) selon Bolomey. (GHOMARI Fouad, 2011-2012) 12

Tableau II.2 : valeurs des moments fléchissant, poussé radiale et l'effort tranchant (ELU) 14

Tableau II.3 : valeurs des moments fléchissant, poussé radiale et l'effort tranchant (ELS) 15

Tableau II.4 : valeurs des moments fléchissant, poussé radiale et l'effort tranchant (ELU) 16

Tableau II.5 : valeurs des moments fléchissant, poussé radiale et l'effort tranchant (ELS) 17

Tableau II. 6 : Valeurs de T1 et T220

Tableau II.7 : les valeurs des moments de flexion et de renversement22

Tableau II.8 : cout des travaux du réservoir projeté23

Tableau II.9 : hauteur des viroles en fonction de la hauteur du liquide.....31

Tableau II.10: valeur des moments de flexion et de renversement 34

Tableau II.11 : valeurs de conductivité thermique de différents matériaux 38

LISTES DES FIGURES

Chapitre II : Comparaison entre les réservoirs en Béton et les réservoirs métalliques

| | |
|--|-----------|
| Figure.II.1. Réservoir R 500 m ³ (DRE Médéa)..... | 10 |
| Figure II.2 : courbe optimale du mélange selon Bolomey..... | 11 |
| Figure II.3 : Réservoir d'eau potable..... | 25 |
| Figure II.4 : Agencement du fond type d'un réservoirs inférieure ou égale à 12.5 m de diamètre..... | 26 |
| Figure II.5 : chevauchement des tôles du fond du réservoirs lorsque trois d'entre elles se superposent..... | 27 |
| Figure II.6 : agencement du fond type d'un réservoirs de plus de 12.5 m de diamètre..... | 27 |
| Figure II.7 : détail d'une trappe de visite type | 29 |
| Figure II.8 : Tuyère en toiture types | 30 |

INTRODUCTION GENERALE

Le besoin de stockage les divers types de liquides tels que l'eau, le pétrole, les produits chimiques, les produits alimentaires et bien d'autres, rend la conception de réservoirs qu'ils soient métalliques et les réservoirs en béton, indispensable pour tout développement socio-économique. Chaque type de ces réservoirs est une structure qui présente des caractéristiques distinctes, des avantages et des inconvénients, qui les rendent adaptés à différentes applications et environnements.

En Algérie, les réservoirs métalliques, fabriqués en acier, en aluminium ou en acier inoxydable, sont utilisés dans les industries pétrolières, agroalimentaires ou pour stocker l'eau nécessaire au processus de fabrication. Ils sont rarement utilisés pour l'alimentation en eau potable et ceux en béton armé semblent être les premiers dans la liste des concepteurs de projets.

Notre travail consiste à faire une comparaison entre les deux types de réservoirs métalliques et en béton, dans le but de mettre la lumière sur la nécessité de l'étude d'un choix optimal de l'un des deux types par rapport à l'autre.

Pour atteindre notre objectif, nous allons établir un état d'art sur les types de réservoirs de stockage d'eau potable en chapitre I.

Alors qu'à travers le second chapitre nous allons élaborer, une étude comparative entre les réservoirs en Béton et les réservoirs métalliques.

En fin, nous allons clôturer avec une conclusion.

CHAPITRE I : ETAT D'ART SUR LES TYPE DE RESERVOIRS DE STOCKAGE D'EAU POTABLE

Chapitre I : Etat d'art sur les types de réservoirs de stockage d'eau potable

Introduction

Les réservoirs d'eau potable sont des infrastructures de stockage construites selon des normes et des réglementations strictes pour garantir la qualité et la sécurité de l'eau qu'ils contiennent. Ils sont généralement fabriqués en utilisant divers matériaux, tels que le béton, le métal (acier inoxydable, acier au carbone, aluminium, etc.) ou des matériaux composites, en fonction des besoins du projet et des contraintes environnementales.

I.1. Etat d'art

I.1.1. Historique

Toute civilisation s'est souciée du confort de sa population en matière de ressource en eau ; à commencer par les Nabatéens qui ont creusé des réservoirs dans la terre elle-même, accessible par petits orifices et revêtus par la chaux. Ils ont même sculpté dans la roche de Petra des canaux et des réservoirs.

A l'instar de l'empire Grec, les Romains, pour affronter les périodes d'étiage en zone méditerranéenne, ont dû stocker l'eau de pluie dans des Jarres et des citernes qui offraient plus de capacité. [5]

Aux alentours du quatrième siècle, (avant notre ère), en Alexandrie ; les citernes ; réservoirs de petites dimensions ont été utilisés, suivies de citernes plus grandes en période de l'Alexandrie Byzantine et à l'ère des Fatimides, ce sont des citernes étagées qui ont été mises en œuvre [6]

Au dix-neuvième siècle, l'ingéniosité humaine a pu développer de manière significative la gestion des aménagements hydrauliques. D'après Bossy et Chanson, à Nîmes, la segmentation du canal d'eau a permis d'assurer des réserves en période d'étiage pendant la nuit. Ainsi la manœuvre des vannes contribue à l'utilisation du canal tant que réservoir.

De nos jours la construction de réservoirs en vue de l'approvisionnement en eau potable des populations s'accroît avec l'accroissement de la demande en eau dans le monde. Elle s'est développée du format traditionnel à l'actuel, en réalisant des réservoirs d'une centaine de mètres cube à des milliers de mètres cube de capacité. [2]

I.1.2. Les réservoirs en Algérie

L'Algérie, depuis les dernières décennies a intensifié les projets de transfert d'eau pour remédier à l'irrégularité des précipitations entre le Nord, l'Est, l'Ouest et le Sud ; ou le réservoir est un élément indispensable ; qu'il soit de stockage ou qu'il remplisse une autre fonction.

Faisant partie du parc National, les réservoirs sont gérés par l'Algérienne des eaux (ADE) ou par un autre organisme du secteur d'hydraulique. Ils sont considérés comme des ouvrages d'art d'hydraulique et classés par le règlement parasismique Algérien (RPA 2003) comme étant des ouvrages publics d'intérêt national, ou ayant une importance socioculturelle et économique certaine.

Leur côté esthétique a longtemps été négligé par les ingénieurs du secteur de l'hydraulique et n'a jamais été le souci dominant des maitres d'ouvrages. On est arrivé, d'ailleurs jusqu'à ce jour à une sorte de systématisation des silhouettes où les réservoirs types sont adaptés d'un site à un autre tenant compte uniquement des considérations géotechniques des sols d'implantation. Le souci primordial des maitres d'ouvrages a toujours été d'ordre fonctionnel et financier. Les modèles adoptés sont d'aspect esthétique acceptable comme nous le présentons sur les figures (1, 2 et 3). Ce n'est que depuis la dernière décennie que les maitres d'ouvrages lancent la réalisation de plus beaux châteaux d'eaux au niveau des grandes agglomérations urbaines (forme champignon), mais économiquement plus couteux. Quant aux formes, il existe dans le parc de réservoirs géré par l'Algérienne des Eaux des réservoirs de forme cubique et de forme cylindrique. Mais la forme circulaire est incontestablement la plus répandue. Les formes de révolution sont en général plus économiques que les surfaces planes comportant des changements de direction. À capacité et hauteur de charge identiques, un réservoir cylindrique a une quantité de ferrailage, par mètre cube mis en œuvre, inférieure à un réservoir parallélépipédique. À la mise en œuvre, certaines configurations et changements de direction pour les parois entraînent des dispositions constructives difficiles à réaliser, mais aussi des pathologies induites dès la conception et la réalisation [4]

I.1.3 Capacité des réservoirs

A l'instar de tout contenant, le réservoir d'eau potable se limite à une capacité de stockage ; fixée d'avance. Cette dernière est liée à l'importance des besoins des populations et à la manière dont le réservoir est alimenté ; par refoulement ou bien par gravité.

- **Alimentation par refoulement**

Dans ce cas la capacité de l'ouvrage de stockage dépend du nombre d'heures de pompage par jour et du nombre d'habitants.

- **Alimentation par gravité**

Le régime de consommation et par conséquent la demande en heure de pointe est un facteur décisif dans l'évaluation de la capacité d'un réservoir alimenté gravitairement.

Et selon la capacité trois catégories de réservoirs peuvent être envisagées comme le montre le tableau suivant (Ressaisie DTRF) :

Tableau I.1 : Capacité et type de réservoirs

| Capacité | type | ouvrage |
|-------------------------|------|----------|
| $\leq 1000 \text{ m}^3$ | I | Au sol |
| $\leq 2000 \text{ m}^3$ | II | Au sol |
| $> 2000 \text{ m}^3$ | III | Au sol |
| $\leq 500 \text{ m}^3$ | I | Surélevé |
| $\leq 2000 \text{ m}^3$ | II | Surélevé |
| $> 2000 \text{ m}^3$ | III | Surélevé |

I.1.4. Rôles des réservoirs

Le réservoir est conçu en vue de remplir les rôles suivants :

- Assurer la coordination entre l'adduction et la distribution
- Régulation du débit et de la pression dans le réseau de distribution
- Stockage du volume d'incendie
- Continuité de la distribution en cas d'arrêt du pompage
- Stockage du volume d'incendie

I.1.5. Types de réservoirs [20]

Nous distinguons entre un type de réservoir et un autre en fonction :

- Type du fluide : eau, gaz, hydrocarbures...ect
- Du matériau de construction ; nous retenons les réservoirs métalliques, en plastiques, maçonnerie et en béton armé
- De la position par rapport au sol ; il existe des réservoirs enterrés, semi-enterrés, sur sol et surélevés.
- De la forme attribuée à la structure du réservoir ; selon la capacité de ce dernier, il peut être de forme rectangulaire ou circulaire.

I.1.6. Exigences techniques à satisfaire dans la construction d'un réservoir[20]

- Résistance : Le réservoir doit, dans toutes ses parties, équilibrer les efforts auxquels il est soumis (poids propre, poids de l'eau, surcharge d'exploitation, effort dus au vent et au séisme, variation de la température, Retrait, fluage...etc).
- Etanchéité : Il doit constituer pour le liquide qu'il contient un volume clos sans fuite. Il doit donc être étanche.
- Durabilité : Le réservoir doit durer dans le temps, c'est-à-dire que le matériau dont il est constitué, doit conserver ses propriétés initiales après un contact prolongé avec le liquide qu'il est destiné à contenir.

I.1.6. Les charges supportées par les réservoirs [7]

I.1.6.1. Charges permanentes

La charge permanente provient du poids propre de toutes les parties du réservoir.

I.1.6.2. Charges de surexploitation

Le toit du réservoir est surchargé d'au moins 1,2 kN/m² (surface projetée horizontale).

Cette charge est communément appelée charge de neige, mais il s'agit en réalité à la fois d'une charge de neige nominale et d'une charge de neige arbitraire.

Charges de maintenance pouvant être appliquées au toit et autres charges opérationnelles telles que la pression négative créée par le vide dans le réservoir. Ces frais s'appliquent même dans les zones où il n'y a pas de neige.

I.1.6.3. Contenu du réservoir

Le poids et la pression hydrostatique du contenu du réservoir jusqu'à la capacité maximale doivent être pris en compte. La capacité maximale est généralement déterminée par le trop-plein près du sommet du réservoir. Pour les réservoirs sans trop-plein,

Le contenu doit être calculé comme si le réservoir était rempli jusqu'au niveau de la cuve.

I.1.6.4. Charges dû au vent

Les charges de vent sont définies en fonction de la vitesse calculée. La vitesse maximale du vent dépend de la zone où le réservoir est construit. Dans la plupart des cas la valeur de 45 m/s est maintenue.

I.1.6.5. Charges sismiques

Dans certaines zones, le réservoir installé doit résister aux charges sismiques. Certaines directives sur la conception des réservoirs sont fournies dans les normes BS 2654 et API 650, mais cela nécessite des connaissances spécifiques.

I.1.7. Caractéristique d'un réservoir

Elle représente la charge totale en un point de la surface libre en fonction du débit et elle est exprimée par :

Hauteur de l'eau : La dépense de construction des réservoirs, varie avec l'épaisseur de la tranche d'eau ; cette épaisseur, est en général, de 3 m à 6 m, 8 m dans des circonstances exceptionnelles. [20]

Type de réservoir :

Selon la disposition du terrain et la charge à satisfaire.

Charge :

la hauteur du réservoir ou la hauteur requise pour la distribution est fournie par les calculs du réseau. Il doit être situé le plus près de la commune à laquelle il doit être approvisionné. En effet, en éloignant le réservoir de la zone urbaine, on augmente soit la hauteur du réservoir, soit on augmente le diamètre de la conduite de liaison entre le réservoir et la zone urbaine. [20]

Emplacement :

Il est avantageux pour la distribution de prévoir l'emplacement des réservoirs de stockage au centre de gravité de la consommation à assurer.

Il y a d'autres facteurs à considérer dans ce choix, notamment la taille du terrain. Dimensions de planification, enjeux fonciers, conditions du terrain et possibilité de travaux supplémentaires et d'accès à l'eau principale.

I.2. Problématique

A travers le monde et en Algérie, les défis d'une gestion durable et rationnelle des ressources en eau pour satisfaire les besoins en eau potable des agglomérations implique impérativement la conception optimale des ouvrages hydrauliques parmi lesquels nous nous intéressons aux réservoirs d'eau potable ; ouvrages indispensables à la zone méditerranéenne comme l'indique l'historique présenté ci-dessus. Or, nous pouvons constater qu'entre les différents types de matériaux de construction des réservoirs, ceux en béton se voient en un large intervalle d'utilisation pour le stockage de l'eau potable.

Evoquer les surcharges, appliquant des efforts supplémentaires au fonctionnement normal d'un réservoir, engendre chez le concepteur une réflexion obligatoire concernant le comportement de ce type de structure face aux séismes et au réchauffement climatiques auxquels la terre est confrontée au temps présent. Dans ce contexte, plusieurs travaux de recherche ont été établis ; parmi lesquelles nous citons :

En 2021, une étude de diagnostic de plusieurs réservoirs d'eau potable, en béton armé existants a permis de constater que ces réservoirs ont été réalisés pour supporter une surcharge dynamique(vent) qui est de 4 à 30 fois inférieure à une surcharge sismique, ce qui rend ces ouvrages en un état critique face à un évènement de tremblement de terre [1]

Or, les études conduites en vue d'étudier la protection contre le séisme des réservoirs métalliques pour le stockage de l'eau sont rares, malgré que beaucoup de recherches ont abordé le cas d'explosion des réservoirs métalliques du gaz ou des hydrocarbures [10][11]

Dans le but d'une solution optimale du choix du type de réservoir des point de vue matériau de construction, résistance, économie et durabilité ; nous jugeons utile de faire une comparaison entre les réservoirs métalliques, suggérés récemment et les réservoirs en Béton largement utilisés en Algérie

CHAPITRE II : COMPARAISON ENTRE LES RESERVOIRS METALLIQUES ET LES RESERVOIRS EN BETON

Chapitre II : Comparaison entre les réservoirs en Béton et les réservoirs métalliques

Introduction

Dans le but de contribuer à répondre à la problématique posée dans le chapitre précédent, nous essayons à travers de ce chapitre de faire une comparaison entre les réservoirs en Béton et les réservoirs métalliques.

II.1. Réservoirs en Béton

Ils sont largement utilisés et peuvent être de forme cylindrique ou parallélépipédique, selon leurs capacités



Figure.II.1. Réservoir R 500 m³ (DRE Médéa).

II.1.1 Matériaux de construction

Le Béton est constitué de granulats, sable, gravillons ou pierres concassées, et eau. En plus d'un liant qui est le ciment et des adjuvants qui accélèrent ou retardent la prise du béton.

II.1.1.1 Formule de Bolomey

Le choix des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre souhaitées s'appelle la formulation. Plusieurs méthodes de formulations existent, dont notamment la formule de bolomey.

La méthode de Bolomey a les mérites d'avoir ouvert la voie aux études de béton. Toutefois, elle ne peut être appliquée qu'aux granulats dont la masse volumique absolue est comprise entre 2,5 et 2,7 kg/m³ ce sont d'ailleurs les granulats les plus courants. [12]

• **Principe**

- Déterminer la courbe optimale du mélange des éléments secs.
- Chercher les pourcentages de ces constituants permettant de réaliser un mélange sec de la sorte que la courbe soit aussi voisine que possible de la courbe optimale.
- Dédire la composition d'un mètre cube de béton. [13]

Courbe optimale

Axes

- Abscisses : diamètres des tamis, gradués proportionnellement à \sqrt{d} (segments Proportionnels aux racines carrées des dimensions des tamis correspondants).
- Ordonnées : Pourcentage du tamisât. [13]
-

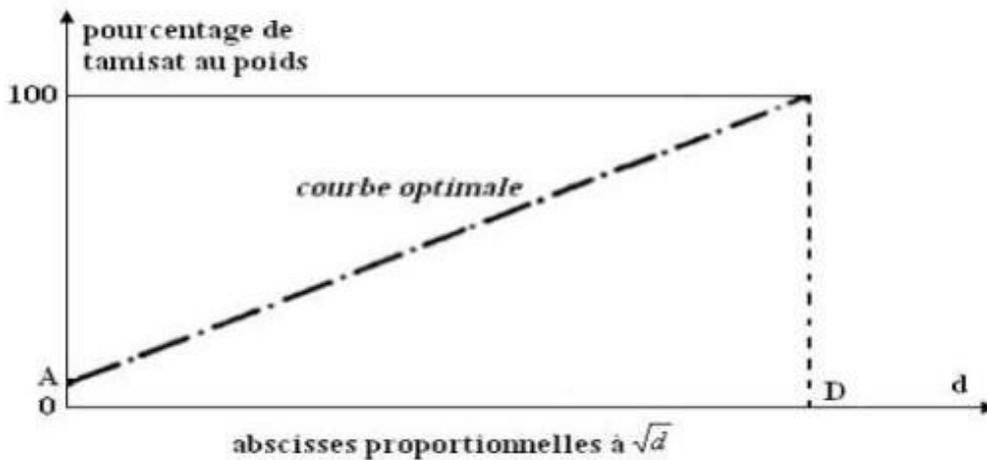


Figure II.2 : courbe optimale du mélange selon Bolomey

- Par une formule appropriée, on trace une courbe granulométrique de référence et l'on s'efforce de réaliser, avec les granulats dont on dispose, une composition granulaire totale (ciment compris) dont la courbe est aussi proche que possible de la courbe de référence théorique. La formule de base est la suivante. [13]

$$P = A + (100 - A) \sqrt{d/D}$$

Avec :

P : pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d,

D : diamètre du plus gros grain,

Cette équation est de la forme $y = ax + b$, eu égard au mode de graduation de l'axe des abscisses, elle représente la droite qui passe par les points :

$$d = 0 \quad d = D$$

$$P = A \quad P = 100$$

Valeurs de A :

(A) est un point d'une courbe granulométrique qui représente le pourcentage des éléments très fin contenus dans le mélange sec, éléments qui ont une incidence sur la maniabilité du béton. La valeur (A) dépendra donc de :

- La consistance souhaitée pour le béton ;
- La provenance des granulats. [13]

Tableau II.1 : Valeurs de (A) selon Bolomey. [13]

| Consistance de béton | Granulats roulés | Granulats concassés |
|------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Sec (béton vibré) | 6 à 8 | 8 à 14 |
| Plastique (non vibré) | 10 | 12 à 14 |
| Mou (béton coulé) | 12 | 14 à 16 |

II.1.1.2 Description du réservoir en Béton

Un réservoir d'eau en béton est un ouvrage hydraulique et un élément d'infrastructure stratégique.

Ces réservoirs peuvent être soit posés sur le sol, soit légèrement enterrés, soit sur des pylônes de grandes hauteurs (châteaux d'eau)

Le matériau principal dans ces réservoirs est le béton qui est composé de ciment, de sable, de gravier (ou d'agrégats), et les armatures en acier Pour renforcer le béton et lui permettre de résister aux forces de traction.

II.1.2 Avantages et inconvénients

- **Avantages :**
 - Ils ont tendance à être plus durables à long terme et résistent bien aux intempéries, à la corrosion et aux changements de température
 - Les réservoirs en béton ont un faible cout d'entretien
 - Endurance aux risques d'incendie
- **Inconvénients :**
 - Ils ont souvent un coût initial plus élevé en raison de la fabrication et de l'installation plus complexes.
 - La construction de réservoirs en béton peut prendre plus de temps que celle d'autres types de réservoirs en raison de la nécessité de couler, de durcir et de sécher le béton.
 - Les réservoirs en béton sont lourds, ce qui peut nécessiter une bonne fondation pour les soutenir.

II.1.3. Calcul des réservoirs en Béton

II.1.3.1 Cas statique

➤ **Etude de la paroi :**

Les réservoirs cylindriques représentent des coques cylindriques de section transversale circulaire. La paroi du réservoir est voile cylindrique soumis intérieurement à la pression hydrostatique qui tend à dilater la cuve dans le sens radiale, mais au niveau de l'encastrement cette pression engendre des moments de flexion, des efforts radiaux et des efforts tranchants.

Pour le calcul des éléments nous avons utilisé la méthode de HANGAN-SOARE.

$$+ M_x = \frac{a^2 \delta e p^2}{6(1-\gamma^2)} e^{-\frac{a}{a}x} [-h \sin \frac{a}{a}x + (h - \frac{a}{a}) \cos \frac{a}{a}x]$$

$$+ N_\varphi = \delta a e^{-\frac{a}{a}x} [-h \cos \frac{a}{a}x + (\frac{a}{a} - h) \sin \frac{a}{a}x] + \delta a (h - x)$$

$$+ Q_x = -\frac{e p^2 a^3 \delta}{6(1-\gamma^2)a} e^{-\frac{a}{a}x} [h (\cos \frac{a}{a}x - \sin \frac{a}{a}x) + (h - \frac{a}{a}) * (\cos \frac{a}{a}x + \sin \frac{a}{a}x)]$$

$$a = \sqrt[4]{\frac{3a^2(1-\gamma^2)}{e_p^2}}$$

Avec :

ep : épaisseur de la paroi du réservoir.

a : rayon interne du réservoir.

δ : masse volumique de l'eau.

γ : coefficient de poisson.

M_x : Moment fléchissant sur l'élément de la paroi.

N_x : poussée radiale sur l'élément de la paroi.

h : hauteur du réservoir.

Le calcul de la paroi se fait s'effectue suivant deux :

- **1^{er} cas : réservoir plein**

Il est soumis à la force hydrostatique de l'eau.

- Etat limite ultime (ELU) :

1.5δe avec : δe est le poids volumique de l'eau = 1.2 t/m²

Tableau II.2 : valeurs des moments fléchissant, poussé radiale et l'effort tranchant (ELU)

| X (m) | Mx (t.m) | Nx (t/ml) | Qx (t/ml) |
|--------------|-----------------|------------------|------------------|
| 0 | 3.679 | 0 | 8.589 |
| 0.6 | 0.176 | 5.178 | 3.410 |
| 1.1 | -0.816 | 11.155 | 0.828 |
| 1.6 | -0.889 | 14.764 | -0.341 |
| 2.1 | -0.621 | 15.614 | -0.633 |
| 2.6 | -0.322 | 14.483 | -0.525 |
| 3.1 | -0.112 | 12.296 | -0.314 |
| 3.6 | -0.002 | 9.721 | -0.137 |
| 4.1 | 0.036 | 7.121 | -0.030 |
| 4.6 | 0.038 | 4.626 | 0.017 |

Chapitre II Comparaison entre les réservoirs en Béton et les réservoirs métalliques

| | | | |
|-----|-------|--------|-------|
| 5.1 | 0.026 | 2.250 | 0.027 |
| 5.6 | 0.013 | -0.044 | 0.022 |

- Etat limite de service (ELS) : δe

Tableau II.3 : valeurs des moments fléchissant, poussé radiale et l'effort tranchant (ELS)

| X (m) | Mx (t.m) | Nx (t/ml) | Qx (t/ml) |
|-------|----------|-----------|-----------|
| 0 | 2.453 | 0 | 5.726 |
| 0.6 | 0.117 | 3.452 | 2.273 |
| 1.1 | -0.544 | 7.437 | 0.552 |
| 1.6 | -0.593 | 9.843 | -0.227 |
| 2.1 | -0.414 | 10.409 | -0.422 |
| 2.6 | -0.215 | 9.655 | -0.350 |
| 3.1 | -0.075 | 8.197 | -0.209 |
| 3.6 | -0.002 | 6.481 | -0.091 |
| 4.1 | 0.024 | 4.747 | -0.020 |
| 4.6 | 0.025 | 3.084 | 0.011 |
| 5.1 | 0.017 | 1.500 | 0.018 |
| 5.6 | 0.009 | -0.029 | 0.015 |

- 2^{eme} cas : réservoir vide

Il est soumis à l'action des terres seulement. On supposera pour ce cas que le réservoir est complètement en terre.

Pour évaluer la poussée des terres, le remblai a les caractéristiques suivantes :

- Angel de frottement interne $\varphi = 33^\circ$

Chapitre II Comparaison entre les réservoirs en Béton et les réservoirs métalliques

- Cohésion faible $C \approx 0$
- Poids spécifique = 1.8 t/m^3

Avec :

$M_{xt} = -\delta K_a (h - x)$ où K_a : coefficient de poisson

$$K_a = Tg^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$K_a = Tg^2 \left(45 - \frac{33}{2} \right) = 0.295$$

$$h_t = h_0 + h_e$$

- ELU \longrightarrow $1.35 \delta_t$

a : rayon externe de la cuve = 3.1 m

$$a = 2.96$$

$$h_t = 7.1 \text{ m}$$

$$K_a = 0.294$$

Tableau II.4 : valeurs des moments fléchissant, poussé radiale et l'effort tranchant (ELU)

| X (m) | Mx (t.m) | Nx (t/ml) | Qx (t/ml) |
|-------|----------|-----------|-----------|
| 0 | 5.072 | 0 | 12.379 |
| 0.6 | 4.644 | 7.173 | 5.564 |
| 1.1 | 4.287 | 16.337 | 1.854 |
| 1.6 | 3.929 | 22.997 | -0.098 |
| 2.1 | 3.572 | 26.020 | -0.822 |
| 2.6 | 3.215 | 25.999 | -0.868 |
| 3.1 | 2.858 | 24.023 | -0.640 |
| 3.6 | 2.500 | 21.065 | -0.371 |
| 4.1 | 2.143 | 17.776 | -0.163 |
| 4.6 | 1.786 | 14.501 | -0.037 |
| 5.1 | 1.429 | 11.368 | 0.022 |
| 5.6 | 1.072 | 8.388 | 0.039 |
| 6.1 | 0.714 | 5.519 | 0.034 |
| 6.6 | 0.357 | 2.716 | 0.023 |
| 7.1 | 0.000 | -0.058 | 0.012 |

- ELS \longrightarrow δ_t

Avec : δ_t est le poids spécifique = 1.8 t/m^3

Tableau II.5 : valeurs des moments fléchissant, poussé radiale et l'effort tranchant (ELS)

| X (m) | Mx (t.m) | Nx (t/ml) | Qx (t/ml) |
|-------|----------|-----------|-----------|
| 0 | 3.757 | 0 | 12.379 |
| 0.6 | 3.440 | 7.173 | 5.564 |
| 1.1 | 3.175 | 16.337 | 1.854 |
| 1.6 | 2.911 | 22.997 | -0.098 |
| 2.1 | 2.646 | 26.020 | -0.822 |
| 2.6 | 2.381 | 25.999 | -0.868 |
| 3.1 | 2.117 | 24.023 | -0.640 |
| 3.6 | 1.852 | 21.065 | -0.371 |
| 4.1 | 1.588 | 17.776 | -0.163 |
| 4.6 | 1.323 | 14.501 | -0.037 |
| 5.1 | 1.058 | 11.368 | 0.022 |
| 5.6 | 0.794 | 8.388 | 0.039 |
| 6.1 | 0.529 | 5.519 | 0.034 |
| 6.6 | 0.265 | 2.716 | 0.023 |
| 7.1 | 0.000 | -0.058 | 0.012 |

II.1.3.2 Cas Dynamique (Séisme)

Méthode de Housner

- **Hypothèses**

Une fois le réservoir recouvert et complètement rempli, il n'y a naturellement aucun mouvement relatif du fluide par rapport au réservoir dû à l'excitation sismique. D'un point de vue dynamique, tout se passe comme si l'agencement des réservoirs de liquide formait une seule masse. Dans un réservoir partiellement rempli, une partie du liquide commence à

bouger en raison de l'excitation. Cela provoque la formation de vagues et les contraintes à la surface de la cuve du réservoir.

- Les pertes d'énergie dues à la viscosité du liquide dans le réservoir sont ignorées.
- Le fluide stocké est incompressible.

L'action de l'eau est décomposée en :

- Une action passive provoque des efforts d'impulsion.
- Une action active provoque des efforts d'oscillation.

A. Les efforts d'impulsion

Ils proviennent du fait qu'une partie de la masse du fluide réagit par inertie à la translation des parois du réservoir. Son système mécanique est obtenu en considérant une masse M_i liée rigidement au réservoir à une hauteur h_i (h_i^*) de sorte qu'elle exerce sur la paroi les mêmes efforts horizontaux que la masse d'eau équivalente.

B. Les efforts d'oscillation

Ils proviennent du fait qu'une partie de la masse du fluide se met en mouvement d'oscillation sous l'action du séisme. Son équivalent mécanique s'obtient en considérant une masse M_0 retenue par ressort horizontale exercent les mêmes efforts vibratoires que la masse active du fluide

II.1.3.3 Application : Cas du réservoir projeté de 100m³

II.1.3.3.1 Action d'impulsion

- **Calcul de la masse inerte**

$$M_i = M_e \frac{\left(\text{th} \left(\sqrt{3} \frac{R_{int}}{H_e} \right) \right)}{\left(\sqrt{3} \frac{R_{int}}{H_e} \right)}$$

Avec :

M_e : désigne la masse d'eau qui est égal $M_e = \delta_e \times V_{réel}$

$V_{réel}$: est le volume d'eau dans le réservoir $v = 100 \text{ m}^3$

δ_e : est le poids volumique de l'eau $\delta_e = 1.2 \text{ t/m}^3$

$$M_e = 1.2 \times 100 = 120 \text{ t}$$

D'où :

$$M_i = 100.68 \text{ t}$$

$$h_i = \frac{3}{8} h_e = \frac{3}{8} \times 5.6 = 2.1 \text{ m}$$

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

$$h_i^* = \frac{h}{8} \times \left(\frac{4\sqrt{3} \cdot R/h}{th\sqrt{3} \cdot R/h} - 1 \right) = \frac{5.6}{8} \times \left(\frac{\sqrt{3} \times 2.5/5.6}{th\sqrt{3} \times 2.5/5.6} - 1 \right) = 2.63 \text{ m}$$

La pression hydrodynamique d'impulsion est :

$$P_i = a_m \cdot M_i \quad \text{avec: } a_m = ABDQg$$

A : coefficient d'accélération de la zone, il dépend de la zone sismique et du groupe d'usage

Notre région est située dans une zone de sismicité IIa et de groupe 1b

Donc : A = 0.2

B : facteur de comportement de la structure, notre ouvrage peut être considéré comme étant une structure supportée par les paroi en acier, classé par le RPA2003, de catégorie 2 (voiles porteurs), dans ce cas :

B = 3.5

Q : facteur de qualité de la structure, ce facteur est essentiellement fonction de la structure et se calcule en fonction de six critères donnés par la formule suivante :

$$Q = 1 + \sum_{q=1}^6 P_q$$

P_q : sont les pénalités qui dépend de l'observation ou non, du critère de qualité, ces derniers sont donnés comme suit :

- Régularité en élévation $P_3 = 0,00$.
- Régularité en plan $P_4 = 0,00$.

Chapitre II Comparaison entre les réservoirs en Béton et les réservoirs métalliques

- Contrôle de la qualité des matériaux P5 = 0,00.
- Contrôle de la qualité de construction P6 = 0,00.

Q = 1

D : facteur d'amplification dynamique moyen, fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement (η) et de la période fondamentale de la structure (T).

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

T₂ : période caractéristique associées à la catégorie de site.

Tableau II. 6 : Valeurs de T1 et T2

| Site | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| T _{1(sec)} | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| T _{2(sec)} | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,70 |

T : La valeur de la période fondamentale de la structure, peut être estimée à partir de la formule empirique :

$$T = C_T h_N^{\frac{3}{4}}$$

h_N : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).

h_N = 7.1 m

C_T : coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage. C_T = 0.05

T = 0.217 s → T < T₂

η : Facteur de correction d'amortissement donné par la formule :

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\zeta}} \geq 0.7$$

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

Nous avons un contreventement par voiles donc on prend : $\xi=10\%$

$$\eta = 1.82 > 0,7$$

$$\text{Donc: } D = 2.5 \eta = 2.5 * 1.82 = 4.55$$

$$a_m = 0.2 * 3.5 * 4.55 * 9.81 = 31.24 \text{ m/s}^2$$

$$P_i = 31.24 * 100.68 = 3145.73 \text{ KN}$$

- **Les valeurs de moment de flexion et de renversement sous l'action d'impulsion :**

$$M_{Fi} = 3145.73 * 2.1 = 6606.03 \text{ KN.m}$$

$$M_{Ri} = 3145.73 * 2.63 = 8273.26 \text{ KN.m}$$

II.1.3.3.2 Action d'oscillation

La masse oscillante est donné par la formule :

$$M_o = M_e \times 0.318 \times \frac{R_{int}}{H_e} \times \text{th} \left(1.84 \frac{H_e}{R_{int}} \right)$$

$$M_o = 120 * 0.318 * \frac{2.5}{5.6} * \text{th} \left(1.84 * \frac{5.6}{2.5} \right) = 17.02 \text{ t}$$

$$h_o = H_e \left(1 - \frac{1}{1.84 \text{ th} \left(1.84 \frac{H_e}{R_{int}} \right)} + \frac{1}{1.84 \frac{H_e}{R_{int}} \times \text{sh} \left(1.84 \frac{H_e}{R_{int}} \right)} \right)$$

$$h_o = 2.51 \text{ m}$$

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

$$h_o^* = H_e \left(1 - \frac{\text{ch} \left(1.84 \frac{H_e}{R_{int}} \right) - 2}{1.84 \frac{H_e}{R_{int}} \times \text{sh} \left(1.84 \frac{H_e}{R_{int}} \right)} \right)$$

$$h_0^* = 4.328 \text{ m}$$

La pression hydrodynamique d'oscillation :

$$P_0 = 1.2 M_0 * g * \phi_0$$

ϕ_0 : l'angle maximal d'oscillation de la surface libre exprimé en fonction de spectre d'accélération a_m .

$$\Phi_0 = 0,83 \times \frac{a_m}{g}$$

$$\longrightarrow \phi_0 = 2.64$$

$$P_0 = 1.2 * 17.02 * 9.81 * 2.64 = 490.66 \text{ KN}$$

- Les valeurs de moment de flexion et de renversement sous l'action d'oscillation :

$$M_{Fo} = P_0 * h_0 = 490.66 * 2.51 = 1231.55 \text{ KN.m}$$

$$M_{Ro} = h_0^* * P_0 = 490.66 * 4.328 = 2123.57 \text{ KN.m}$$

Le tableau suivant résume les moments de flexion et de renversement sous les deux actions d'impulsion et d'oscillation :

Tableau II.7 : les valeurs des moments de flexion et de renversement

| Paramètres | Impulsion | Oscillation |
|------------------------|-----------|-------------|
| Moment de flexion | 6606.03 | 554.68 |
| Moment de renversement | 8273.26 | 956.44 |
| Les forces P (i, o) | 3145.73 | 220.99 |

II.1.4. Vérification sismique :

II.1.4.1 vérification à la stabilité :

Moment de renversement total :

$$M_{RT} = M_{Fi} + M_{Fo} = 956.44 + 8273.26 = 9229.7 \text{ KN.m} = 941.17 \text{ t.m}$$

Chapitre II Comparaison entre les réservoirs en Béton et les réservoirs métalliques

Moment stabilisant du réservoir vide :

$$M_s = M_r * R$$

M_r : masse du réservoir. $M_r = 261.0016$ t

R : rayon extérieur du réservoir.

$$M_s = 5.6 * 261.0016 = 1461.6 \text{ t.m}$$

$$F = \frac{M_s}{M_R} = 1.56 > 1.5 \text{ (le réservoir est stable)}$$

II.1.5. Conductivité thermique [18]

Conductivité thermique, ou coefficient de conductivité thermique désigné par lambda (λ), est une propriété physique représentant la capacité d'un matériau à conduire la chaleur. Plus précisément, elle mesure la quantité de chaleur (en watts) qui se propage à travers une unité de surface (en mètres carrés) d'un matériau d'une épaisseur donnée (en mètres) sur une certaine distance (en mètres).

Pour Béton armé : $\lambda = 1.70$ W/ (m.K).

Or , cette conductivité thermique évolue avec la variation de la température extérieure et peut atteindre la valeur de 2 W/ (m.K), pour les bétons autoplaçants [8]

II.1.6. Cout du réservoir en Béton

Tableau II.8 : cout des travaux du réservoir projeté

| Désignation | Unité | Quantité | Prix unitaire (DA) | Montant (DA) |
|--------------------|----------------|----------|--------------------|--------------|
| Déblais | m ³ | 65.36 | 500 | 32680 |
| Tout venant | m ³ | 13.60937 | 600 | 8165.622 |
| Béton de propreté | m ³ | 5.44752 | 6000 | 32685.12 |
| Béton armé | m ³ | 53.37135 | 45000 | 2401710.75 |
| Remblais compactés | m3 | 20.734 | 400 | 8293.6 |
| Total | | | | 2483535.092 |

II.1. 7. Maintenance des réservoirs en Béton

Si les diagnostics montrent la présence de dépôts minéraux visibles, d'algues et/ou de biofilm, le réservoir doit être nettoyée, suivie d'un rinçage et d'une désinfection.

Chapitre II Comparaison entre les réservoirs en Béton et les réservoirs métalliques

- **Nettoyage mécanique** : Nettoyage par brossage, grattage, balai ou jet d'eau sous pression. Ce processus prend du temps et peut ne pas convenir à vos besoins et exigences en matière de distribution d'eau. Dans le cas de dépôts minéraux et organiques importants, notamment calcaires, oxydes de fer et/ou de manganèse, l'utilisation de produits chimiques réducteurs et acides est nécessaire pour éliminer ces composés. [16]
- **Nettoyage chimique** : utilisation de produits chimiques devant être conformes à la réglementation en vigueur. Il est particulièrement important de suivre scrupuleusement la réglementation, les instructions d'utilisation (concentrations, temps d'exposition) et les fiches de données de sécurité émises par les fabricants de ces produits. [16]
- **Désinfection des parois, du radier et de tout accessoire situé dans le réservoir en contact avec l'eau** : Lors de l'utilisation d'une solution d'hypochlorite de sodium, la concentration en chlore de la solution pulvérisée sur les murs, le sol et tous les accessoires du réservoir qui entrent en contact avec l'eau doit être d'environ 10 mg/L. Après application de la solution d'hypochlorite sur la paroi, le réservoir doit être partiellement rempli pour remplir complètement le fond avec 10 mg/L d'eau chlorée pendant un temps de contact d'au moins 24 heures. [16]

II.2. Réservoirs métalliques

Les huiles et produits pétroliers sont principalement stockés dans des réservoirs cylindriques en acier à pression atmosphérique. Le réservoir a un fond plat et un toit conique ou incurvé.

L'eau peut également être stockée dans ces réservoirs cylindriques. Si l'eau est potable, ils ont une taille adéquate pour fonctionner comme les châteaux d'eau ; Ils possèdent un toit conçu pour empêcher la contamination du contenu. Les réservoirs cylindriques sont également utilisés dans les stations d'épuration des eaux usées, comme les bassins de décantation et les bassins de sédimentation.

Les réservoirs cylindriques varient en taille d'environ 3 m de diamètre à 100 m de diamètre et 25 m de hauteur et se composent de trois éléments principaux : la coque, le toit, et le fond

Une dalle en béton armé est utilisée dans les réservoirs d'eau à la place d'une plaque métallique

La coque (ou paroi cylindrique) est en tôle d'acier. [7]

Le toit du réservoir est généralement fixé au sommet de la paroi cylindrique, mais dans certains cas un toit mobile est également prévu. Les toits rigides peuvent être autoportants ou partiellement recouverts d'un effet de membrane, mais ils reposent généralement sur des poutres radiales ou des poutres en treillis. [7]



Figure II.3 : Réservoir d'eau potable [22]

II.2.1. Matériaux de construction

Les réservoirs sont généralement fabriqués en acier pur enrichi en carbone (traditionnellement appelé acier doux) de nuance S235 ou S275 (selon la norme EN 10 025) ou de qualité équivalente. Un tel acier est facilement soudable. Bien que l'utilisation de nuances d'acier faiblement alliées plus résistantes soit moins courante, leur utilisation est en augmentation.

L'intérieur du réservoir d'eau doit être doté d'un revêtement (inerte pour l'eau potable) ou d'une protection cathodique. Les réservoirs sont généralement protégés à l'extérieur. Si l'acier

est découvert, une compensation matérielle doit être effectuée dès la phase de conception pour éviter la perte d'épaisseur due à la corrosion. [7]

II.2.2. Fond du réservoir

Comme le montre la figure II.4, le fond du réservoir est constitué d'une série de tôles rectangulaires entourées d'une série de tôles découpées pour obtenir une surface circulaire. Les tôles légèrement superposées sont comprimées localement au niveau du coin où les trois tôles se rejoignent. Il est préférable de créer des joints de soudure par recouvrement ou d'angle plutôt que des soudures bout à bout (qui doivent être soudées à une bande de support fixée sous le joint), car cela est plus pratique et moins cher. [7]

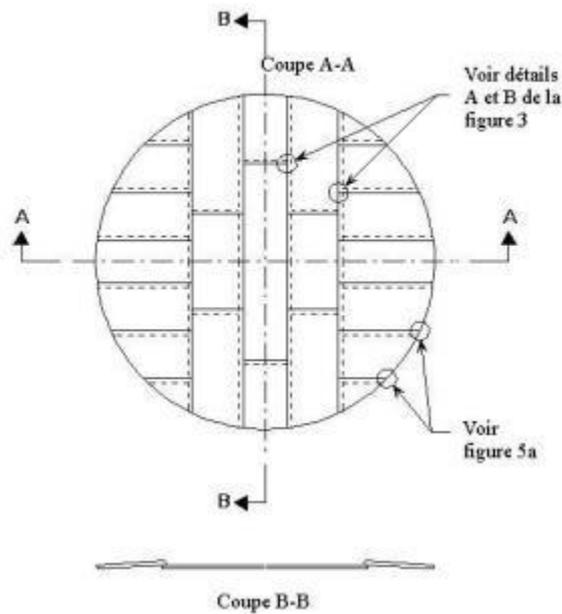


Figure II.4 : Agencement du fond type d'un réservoirs inférieure ou égale à 12.5 m de diamètre [7]

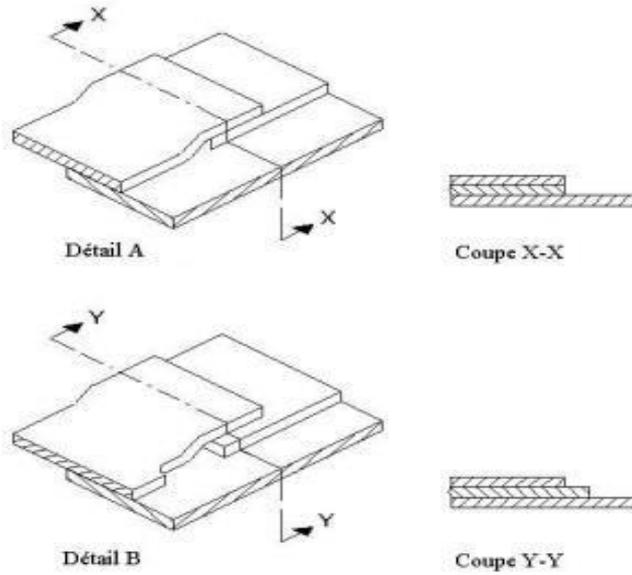


Figure II.5 : chevauchement des tôles du fond du réservoirs lorsque trois d'entre elles se Superposent [7]

Pour les grands réservoirs (diamètre supérieur à 12,5 m selon BS 2654), un anneau de tôle est prévu autour de la pile de tôle rectangulaire.

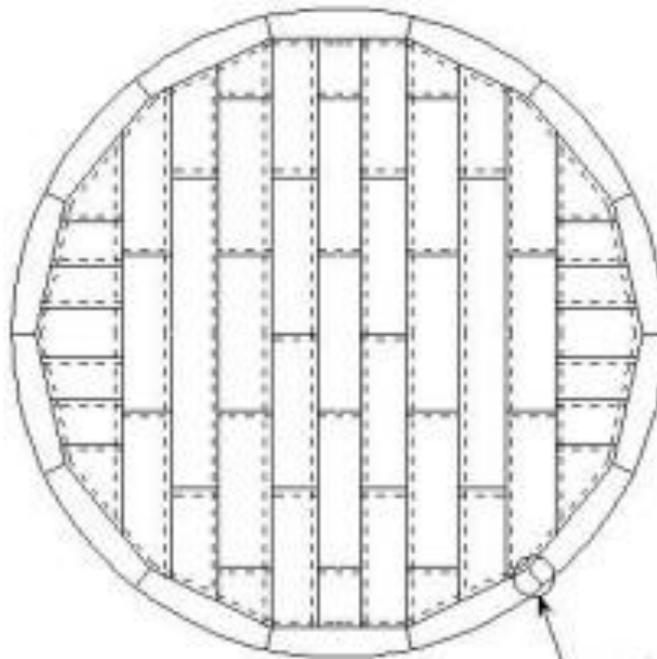


Figure II.6 : agencement du fond type d'un réservoirs de plus de 12.5 m de diamètre [7]

La plaque de base sert principalement à sceller le réservoir. Hormis la zone située immédiatement sous la coque, la seule charge portée par le réservoir est la pression générée par le contenu du réservoir puis transférée aux fondations. [7]

Une fondation en acier peut être utilisée pour les réservoirs, mais parfois une dalle en béton armé est utilisée à la place. Il n'existe pas de détails standards pour la liaison entre la dalle en béton et la coque du réservoir, une simple cornière soudée à la base de la coque et boulonnée à la plaque est généralement suffisante. [7]

II.2.3. Coque du réservoir

Le cylindre vertical du réservoir absorbe la pression hydrostatique grâce à une simple contrainte circulaire sans avoir besoin de renfort. La traction circonférentielle de la coque varie verticalement directement avec la hauteur du liquide contenu, depuis la surface du liquide jusqu'à sa profondeur maximale.

Pour des raisons pratiques, il est nécessaire de réaliser une coque de réservoir en soudant une série de petites pièces de tôle rectangulaires de même taille. Chaque partie doit être courbée, et il est utile de construire la coque avec plusieurs anneaux ou voiles placés les uns au-dessus des autres. [7]

Chaque anneau est constitué d'une série de tôles soudées bout à bout au niveau de joints verticaux. Chaque anneau est soudé à l'anneau inférieur sur toute la circonférence. Bien que les soudures de haute qualité minimisent la torsion et la déformation par rapport aux lignes de soudure idéales (droites ou courbes), les imperfections sont inévitables, en particulier avec des tôles fines. Le règlement préconise donc de placer les cordons verticaux d'un anneau à l'autre, si possible décalés du tiers de la longueur de la tôle. [7]

II.2.4. Toitures des réservoirs

Le toit d'un réservoir cylindrique est en tôle d'acier et a une forme conique ou en forme de dôme (courbure sphérique). Les plaques d'acier peuvent être entièrement autoportantes (en raison des effets de membrane) ou reposer sur différents types de supports.

Les toitures à membrane sont plus difficiles à installer. Des supports temporaires doivent être installés pendant toute la durée de l'assemblage soudé. On les trouve uniquement dans les petits réservoirs.

Les tôles de toit de réservoir sont généralement soudées avec des joints d'angle ou des joints qui se chevauchent. Pour les réservoirs basse pression, il n'est pas nécessaire de souder les tôles aux poutres qui les supportent, mais il faut généralement les souder à la jonction du toit et de la coque verticale. [7]

II.2.5. Trappes de visite

L'accès par le toit fixe du réservoir est nécessaire pour les travaux de maintenance et d'inspection. Cet accès peut se faire par le toit, mais également par la paroi. Une trappe de visite montée sur le toit présente l'avantage de toujours être en service lorsque le réservoir est plein. Les trappes de coque sont en revanche plus pratiques pour les opérations de vidange (certaines trappes de visite sont en forme de D et situées près du fond du réservoir). [7]

Le diamètre de la trappe de visite traversant le toit doit être d'au moins 500 mm. Le type de renforcement et de revêtement autour de cette ouverture dans la tôle de toiture dépend de la structure de la toiture. L'accès à cette ouverture doit se faire par une échelle.

Les trappes de visite traversant la coque du réservoir doivent avoir un diamètre minimum de 600 mm et être situées à une courte distance du fond du réservoir. [7]

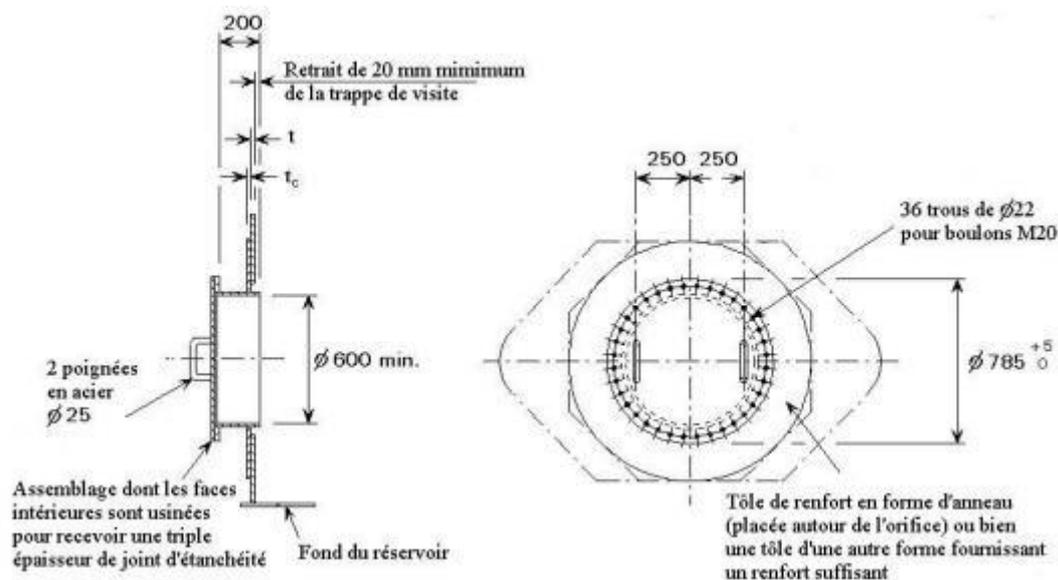


Figure II.7: détail d'une trappe de visite type [7]

II.2.6. Tuyère

En plus des trappes d'inspection pour l'entretien et la vidange, le toit et le fond du réservoir sont équipés de tuyères pour le remplissage et la vidange des liquides, des évacuations d'eau de pluie et une ventilation du toit. Ceux-ci sont réalisés en soudant un cylindre dans une ouverture de même section découpée dans la cuve du réservoir. Pour les tuyères de petit diamètre, le renforcement n'est pas nécessaire car l'apport matière est jugé suffisant. En revanche, les ouvertures de plus grand diamètre doivent être traitées comme des trappes d'inspection. [7]

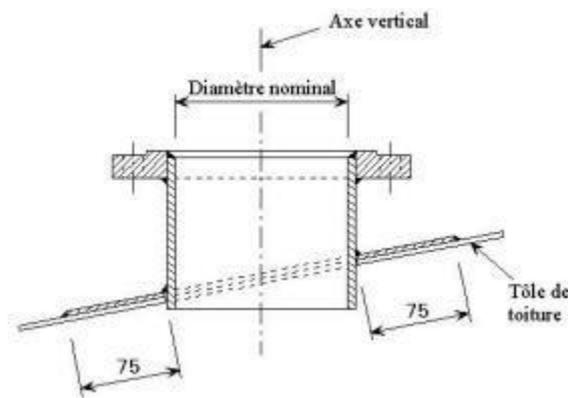


Figure II.8: Tuyère en toiture types [7]

II.2.7 Avantages et inconvénients [17]

- **Avantages :**

- Réservoirs construits à partir de pièces préfabriquées, l'ensemble de la production du matériau et sa mise en œuvre sont donc faciles à identifier.
- Besoin de peu de béton pour les fondations.
- Temps de montage court comparativement à un réservoir béton

- **Inconvénients :**

- Sensibilité à la corrosion de certains matériaux.
- Réservoir souvent monté par le vendeur, ne faisant souvent pas intervenir la main d'œuvre locale.

Chapitre II Comparaison entre les réservoirs en Béton et les réservoirs métalliques

- Le métal transmet bien la chaleur si exposée au soleil, la température peut augmenter fortement, diminuant la qualité de l'eau distribuée.

II.2.8. Calcul des réservoirs métallique

➤ **Etude de la paroi**

Calcul du nombre de viroles:

$$N_{\text{viroles}} = H/h_{\text{virole}}$$

H : hauteur du réservoir projeté

h_{viroles} : hauteur de la viroles

$$N_{\text{viroles}} = 5.6 / 2.8 = 2$$

Tableau II.9 : hauteur des viroles en fonction de la hauteur du liquide

| N° de la virole | Hauteur de chaque virole (m) | Hauteur du liquide pour chaque virole (m) |
|-------------------------|------------------------------|---|
| 1 ^{er} virole | 2.8 | 5.6 |
| 2 ^{eme} virole | 2.8 | 2.8 |

II.2.8.1 Cas Dynamique (Séisme)

A) Action d'impulsion

Par l'application de la méthode de Housner

$$M_e = 1.2 \times 100 = 120 \text{ t}$$

$$M_i = 100.68 \text{ t}$$

$$h_i = \frac{3}{8} h_e = \frac{3}{8} \times 5.6 = 2.1 \text{ m}$$

$$h_i^* = \frac{h}{8} \times \left(\frac{4\sqrt{3} \cdot R/h}{th\sqrt{3} \cdot R/h} - 1 \right) = \frac{5.6}{8} \times \left(\frac{\sqrt{3} \times 2.5/5.6}{th\sqrt{3} \times 2.5/5.6} - 1 \right) = 2.63 \text{ m}$$

La pression hydrodynamique d'impulsion est :

$$P_i = a_m \cdot M_i \text{ avec: } a_m = ABDQg$$

Chapitre II Comparaison entre les réservoirs en Béton et les réservoirs métalliques

A : coefficient d'accélération de la zone, il dépend de la zone sismique et du groupe d'usage

Notre région est située dans une zone de sismicité IIa et de groupe 1b

Donc : $A = 0.2$

B : facteur de comportement de la structure, Notre ouvrage peut être considéré comme étant une structure en voile, classé par le RPA2003, de catégorie 2(voiles porteurs), dans ce cas :

$B = 2$

Q : facteur de qualité de la structure, ce facteur est essentiellement fonction de la structure et se calcule en fonction de six critères donnés par la formule suivante :

P_q : sont les pénalités qui dépend de l'observation ou non, du critère de qualité, ces derniers sont donnés comme suit :

Régularité en élévation $P_3 = 0,00$.

Régularité en plan $P_4 = 0,00$.

Contrôle de la qualité des matériaux $P_5 = 0,00$.

Contrôle de la qualité de construction $P_6 = 0,00$.

$Q = 1$

D : facteur d'amplification dynamique moyen, fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement (η) et de la période fondamentale de la structure (T).

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

T_2 : période caractéristique associées à la catégorie de site.

T : La valeur de la période fondamentale de la structure, peut être estimée à partir de la formule empirique :

$$T = C_T h_N^{\frac{3}{4}}$$

h_N : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).

Chapitre II Comparaison entre les réservoirs en Béton et les réservoirs métalliques

$$h_N = 7.1 \text{ m}$$

CT : coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage. CT = 0.085

$$T = 0.36 \text{ s} \quad T < T_2$$

η : Facteur de correction d'amortissement donné par la formule :

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\xi}} \geq 0.7$$

Où ξ (%) est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages. $\xi = 5\%$

$$\eta = 1.84$$

$$D = 2.5 * 1.84 = 4.6$$

$$a_m = 0.2 * 2 * 4.6 * 9.81 = 18.05 \text{ m/s}^2$$

$$P_i = 100.68 * 18.05 = 1817.31 \text{ KN}$$

- **Les valeurs de moment de flexion et de renversement sous l'action d'impulsion :**

$$M_F = 1817.31 * 2.1 = 3816.35 \text{ KN.m}$$

$$M_R = 1817.31 * 2.63 = 4779.52 \text{ KN.m}$$

B) Action d'oscillation:

La masse oscillante :

$$M_o = 120 * 0.318 * \frac{2.5}{5.6} * \text{th} \left(1.84 * \frac{5.6}{2.5} \right) = 17.02 \text{ t}$$

$$h_0 = 2.51 \text{ m}$$

$$h_0^* = 4.328 \text{ m}$$

La pression hydrodynamique d'oscillation :

$$P_0 = 1.2 M_0 * g * \phi_0$$

$$\phi_0 = 1.52$$

$$P_0 = 304.54 \text{ KN}$$

- Les valeurs de moment de flexion et de renversement sous l'action d'oscillation :

$$MF = P_0 * h_0 = 304.54 * 2.51 = 764.39 \text{ KN.m}$$

$$MR = h_0^* * P_0 = 304.54 * 4.328 = 1318.049 \text{ KN.m}$$

Tableau II.10: valeur des moments de flexion et de renversement

| Paramètres | Impulsion | Oscillation |
|------------------------|-----------|-------------|
| Moment de flexion | 3816.35 | 764.39 |
| Moment de renversement | 4779.52 | 1318.049 |
| Les forces P (i , o) | 1817.31 | 304.54 |

II.2.8.2 Vérification à la stabilité :

Moment de renversement total :

$$M_{RT} = M_{Fi} + M_{Fo} = 1318.049 + 4779.52 = 6097.569 \text{ KN.m} = 621.78 \text{ t.m}$$

Moment stabilisant du réservoir vide :

$$M_s = M_r * R$$

M_r : masse du réservoir. $M_r = 184.36 \text{ t}$

R : rayon extérieur du réservoir.

$$M_s = 5.6 * 184.36 = 1032.416 \text{ t.m}$$

$$F = \frac{M_s}{M_R} = 1.66 > 1.5 \text{ (le réservoir est stable)}$$

II.2.8.3 conductivité thermique [18]

Tableau II.11 : Valeurs de conductivité thermique de différents matériaux

| Métaux | λ (w/m.k) |
|--------|-------------------|
| Plomb | 35 |
| Cuivre | 380 |
| Acier | 50 |

II.2.8.4 Cout du réservoir métallique

Le cout total du réservoir métallique englobe Les frais d'investissement et les dépenses dues l'exploitation avec des frais faibles de main d'œuvre, de transport, de maintenance et une possibilité de récupération du réservoir en cas de non utilisation dans un site pour un autre.

II.2.9 Maintenance des réservoirs métallique [19]

- Inspection visuelle simple depuis le sol afin d'établir un état des lieux de l'intérieur du réservoir (en particulier état des lignes de joints ou du liner d'étanchéité et des piquages)
- Inspection détaillée avec réalisation de tests électriques sur l'ensemble de la virole réalisés depuis un échafaudage. Ce test permet notamment de vérifier l'état des revêtements dans le cas de réservoirs métalliques construits en acier revêtu.
- Réparation ou changement de membrane d'étanchéité.
- Réparation ou remplacement de tôles endommagées par un choc de véhicule

II.3. Synthèse

Les réservoirs d'eau métalliques et les réservoirs en béton sont deux types de structures utilisées pour le stockage et l'alimentation en eau potable des agglomérations

Chacun de ces types de réservoirs présente des caractéristiques distinctes.

Les réservoirs d'eau métalliques sont généralement construits en utilisant de l'acier inoxydable, de l'aluminium ou d'autres métaux. Ils peuvent être moins chers à construire par rapport aux réservoirs en béton, en particulier pour les petites installations.

Ils sont plus légers que les réservoirs en béton, ce qui peut faciliter leur transport et leur installation.

La construction initiale d'un réservoir d'eau en béton peut être coûteuse en raison du matériau et de la main-d'œuvre nécessaires.

Les pressions d'impulsions et d'oscillation pour les réservoirs métalliques sont inférieure à celle du réservoir en béton.

Les moments de flexion et de renversement pour les réservoirs métalliques sont inférieurs à celle du réservoir en béton ce qui est avantage de sécurité contre séismes.

Conclusion générale

En conclusion générale, nous pensons à travers ce modeste travail initiant à explorer un nouveau type de réservoir, habituellement utilisé pour le domaine pétrolier, afin de l'utiliser à l'usage de l'alimentation en eau potable. Ceci, face à une large utilisation des réservoirs en Béton.

En conséquence nous avons présenté une étude comparative, entre les réservoirs en Béton et les réservoirs métallique qui nous a révélé :

- Une durée de réalisation favorable pour les réservoirs de type métallique.
- Une maintenance de moindre ampleur pour les réservoirs métalliques.
- L'aspect économique se doit aussi être en faveur des réservoirs métalliques.
- La stabilité dynamique rend le choix des réservoirs métalliques préférable.
- L'aspect de conduction thermique est en faveur des réservoirs en Béton
- Les frais d'investissement sont moindres pour les réservoirs en Béton, alors que les dépenses pour l'exploitation semblent être en faveur des réservoirs métalliques.

En fin, nous recommandons à tout porteur de projet d'alimentation en eau potable, de faire une étude détaillée de variantes de matériau, pour le réservoir, et de faire un choix optimal.

Références bibliographiques

- [1] **M. Dilena et al.** Structural survey of old reinforced concrete elevated water tanks in an earthquake-prone area. *Engineering Structures*. 2021, Vol 234, pp : 01-15.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.111947>
- [2] **F. Aziz et al.** Les réservoirs de stockage d'eau traditionnel : caractéristiques, popularité et problèmes. *International Journal of Innovation and Scientific Researc*. 2014, Vol 11, pp: 83-95.
- [3] Zhang a Composition design and performance characterization of a novel backfilling concrete derived from urban construction waste J.X. *Journal of Cleaner Production*. 20 July 2018, Volume 190, 20, Pages 508-516
- [4] **K. Bouzelha K, H. Hammoum , N. Hannachi.** LES RÉSERVOIRS D ' EAU EN BÉTON EN ALGERIE. DU CONSTAT D ' UNE SITUATION À L ' EXPRESSION D ' UN BESOIN.2012
- [5] **A. Gilbert**, 1981 (https://www.persee.fr/doc/mom_0766-0510_1981_sem_2_1_115)
- [6] **I. Hairy.** L'eau alexandrine : des hyponomes aux citernes, Du Nil à Alexandrie.2011
(https://www.academia.edu/8020768/Leau_alexandrine_des_hyponomes_aux_citernes)
- [7] **L.Dahmani.** CACUL ET CONCEPTIONS DES SILOS ET RESERVOIRS METALLIQUE.2017
https://kupdf.net/download/coursreservoirsetsilos59a51509dc0d60cb6d568ede_pdf
- [8] **J. C, Mindeguia.** Contribution expérimentale a la compréhension des risques D'instabilité thermique des bétons. Thèse de Doctorat: Génie civil. Alger. Ecole Doctorale Des Sciences Exactes Et De Leurs Applications pys d'Adour, 2009. 235 p.
- [9] **[Ressaisie DTRF]** CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES GÉNÉRALES APPLICABLES AUX MARCHÉS PUBLICS DE TRAVAUX FASCICULE 74 CONSTRUCTION DES RÉSERVOIRS EN BÉTON, :
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.111947>
- [10] Seyed Ehsan Aghakouchaki Hosseini *, Sherif Beskhyroun *Structures* 49 (2023) 537– 556
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.01.146>

- [11] **Y. Jiang** a,b, Boyi Zhang a,b,c,*, Li Wang a,b, Jianshu Wei d, Wei Wang. Thin-Walled Structures 163 (2021) 107747. Dynamic response of polyurea coated thin steel storage tank to long duration blast loadings: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.107747>
- [12] Jean, Festa; Georges, Dreux. Nouveau guide du béton et de ses constituants. Eyrolles.2002
- [13] **F. GHOMARI** : matériaux de construction, université BOUBAKER BLKAID, p1-39. 2011-2012
- [14] (http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/youb_youcef/files/rpa99-v-2003_-_methode_dynamique_modale_spectrale.pdf)
- [15] (<https://energieplus-lesite.be/donnees/enveloppe44/enveloppe2/conductivite-thermique-des-materiaux/>)
- [16] (<https://herli.com/procedure-de-nettoyage-et-de-desinfection-des-reservoirs-deau-potable/>)
- [17] <https://dinepa.gouv.ht/referentieltechnique/doc/4genie%20civil%20et%20hydraulique/4.1.2%20FIT1%20Reservoirs%20metalliques.pdf>)
- [18] (<https://energiepluslesite.be/donnees/enveloppe44/enveloppe2/conductivite-thermique-des-materiaux/>)
- [19] (<https://aproindustrie.com/services/visite-de-maintenance/>)
- [20] (<https://geniecivilpdf.com/les-reservoirs-deau-potable>)
- [21] (<https://journals.openedition.org/syria/442#ftn1>)
- [22] (<https://tankeros.com/fr/cuves-d-eau>)

Annexe

Medidas y Capacidades de los Tanques Cilíndricos.



Document téléchargé depuis: <http://dspace.ensh.dz>

| Altura (m): | | 1,250 | 1,790 | 2,438 | 2,978 | 3,626 | 4,166 | 4,814 | 5,354 | 6,002 | 6,542 | 7,190 | 7,730 | 8,378 | 8,918 | 9,586 | 10,106 | 10,754 | 11,294 | 11,942 | |
|--------------------|-----------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Altura Referencia: | | 01 | 15 | 02 | 25 | 03 | 35 | 04 | 45 | 05 | 55 | 06 | 65 | 07 | 75 | 08 | 85 | 09 | 95 | 10 | |
| Ø (m) | Radio (m) | Ø ref. | m ³ |
| 3,048 | 1,524 | 04 | 6 | 10 | 15 | 18 | 23 | 27 | 32 | 36 | 41 | 44 | 49 | | | | | | | | |
| 3,810 | 1,905 | 05 | 9 | 15 | 23 | 29 | 36 | 42 | 50 | 56 | 63 | 69 | 77 | 83 | 90 | | | | | | |
| 4,572 | 2,286 | 06 | 13 | 22 | 33 | 42 | 52 | 61 | 72 | 81 | 91 | 100 | 111 | 120 | 130 | 139 | 150 | | | | |
| 5,334 | 2,667 | 07 | 18 | 30 | 44 | 56 | 71 | 83 | 98 | 110 | 124 | 136 | 151 | 163 | 177 | 189 | 204 | 216 | 230 | | |
| 6,096 | 3,048 | 08 | 23 | 39 | 58 | 74 | 93 | 108 | 127 | 143 | 162 | 178 | 197 | 212 | 231 | 247 | 266 | 282 | 301 | 316 | 335 |
| 6,858 | 3,429 | 09 | 30 | 49 | 73 | 93 | 117 | 137 | 161 | 181 | 205 | 225 | 249 | 269 | 293 | 313 | 337 | 357 | 381 | 401 | 425 |
| 7,620 | 3,810 | 10 | 36 | 61 | 91 | 115 | 145 | 169 | 199 | 224 | 253 | 278 | 307 | 332 | 362 | 386 | 416 | 440 | 470 | 495 | 524 |
| 8,382 | 4,191 | 11 | 44 | 74 | 110 | 139 | 175 | 205 | 241 | 271 | 306 | 336 | 372 | 402 | 437 | 467 | 503 | 533 | 569 | 598 | 634 |
| 9,144 | 4,572 | 12 | 53 | 88 | 131 | 166 | 209 | 244 | 287 | 322 | 365 | 400 | 443 | 478 | 521 | 556 | 599 | 634 | 677 | 712 | 755 |
| 9,906 | 4,953 | 13 | 62 | 103 | 153 | 195 | 245 | 286 | 336 | 378 | 428 | 470 | 519 | 561 | 611 | 653 | 703 | 744 | 794 | 836 | 888 |
| 10,668 | 5,334 | 14 | 72 | 120 | 178 | 226 | 284 | 332 | 390 | 438 | 496 | 545 | 602 | 651 | 709 | 757 | 815 | 863 | 921 | 969 | 1,027 |
| 11,430 | 5,715 | 15 | 82 | 137 | 204 | 259 | 326 | 381 | 448 | 503 | 570 | 625 | 692 | 747 | 813 | 869 | 935 | 991 | 1,057 | 1,113 | 1,179 |
| 12,192 | 6,096 | 16 | 93 | 156 | 232 | 295 | 371 | 434 | 509 | 573 | 648 | 711 | 787 | 850 | 926 | 989 | 1,064 | 1,127 | 1,203 | 1,266 | 1,342 |
| 12,954 | 6,477 | 17 | 105 | 177 | 262 | 333 | 419 | 490 | 575 | 646 | 732 | 803 | 888 | 959 | 1,045 | 1,116 | 1,201 | 1,273 | 1,358 | 1,429 | 1,515 |
| 13,716 | 6,858 | 18 | 118 | 198 | 294 | 374 | 469 | 549 | 645 | 725 | 820 | 900 | 996 | 1,076 | 1,171 | 1,251 | 1,347 | 1,427 | 1,522 | 1,602 | 1,698 |
| 14,478 | 7,239 | 19 | 132 | 221 | 327 | 418 | 523 | 612 | 718 | 807 | 914 | 1,003 | 1,110 | 1,199 | 1,305 | 1,394 | 1,501 | 1,590 | 1,696 | 1,785 | 1,892 |
| 15,240 | 7,620 | 20 | 146 | 244 | 363 | 461 | 579 | 678 | 796 | 895 | 1,013 | 1,111 | 1,229 | 1,328 | 1,446 | 1,545 | 1,663 | 1,761 | 1,880 | 1,978 | 2,096 |
| 16,002 | 8,001 | 21 | 161 | 269 | 400 | 508 | 639 | 747 | 878 | 986 | 1,117 | 1,225 | 1,355 | 1,464 | 1,594 | 1,703 | 1,833 | 1,942 | 2,072 | 2,181 | 2,311 |
| 16,764 | 8,382 | 22 | 177 | 296 | 439 | 558 | 701 | 820 | 963 | 1,082 | 1,225 | 1,345 | 1,488 | 1,607 | 1,750 | 1,869 | 2,012 | 2,131 | 2,274 | 2,394 | 2,537 |
| 17,526 | 8,763 | 23 | 193 | 323 | 480 | 610 | 766 | 896 | 1,053 | 1,183 | 1,339 | 1,470 | 1,626 | 1,756 | 1,913 | 2,043 | 2,199 | 2,329 | 2,486 | 2,616 | 2,772 |
| 18,288 | 9,144 | 24 | 210 | 352 | 522 | 664 | 834 | 976 | 1,146 | 1,288 | 1,458 | 1,600 | 1,770 | 1,912 | 2,083 | 2,224 | 2,395 | 2,636 | 2,707 | 2,848 | 3,019 |
| 19,050 | 9,525 | 25 | 228 | 382 | 567 | 721 | 905 | 1,059 | 1,244 | 1,398 | 1,582 | 1,736 | 1,921 | 2,075 | 2,260 | 2,414 | 2,598 | 2,752 | 2,937 | 3,091 | 3,275 |
| 19,812 | 9,906 | 26 | 247 | 413 | 613 | 779 | 979 | 1,146 | 1,345 | 1,512 | 1,712 | 1,878 | 2,078 | 2,244 | 2,444 | 2,611 | 2,810 | 2,977 | 3,177 | 3,343 | 3,543 |
| 20,574 | 10,287 | 27 | 266 | 445 | 661 | 840 | 1,056 | 1,235 | 1,451 | 1,630 | 1,846 | 2,025 | 2,241 | 2,420 | 2,636 | 2,815 | 3,031 | 3,210 | 3,426 | 3,605 | 3,821 |
| 21,336 | 10,668 | 28 | 286 | 479 | 711 | 904 | 1,136 | 1,329 | 1,560 | 1,753 | 1,985 | 2,178 | 2,410 | 2,603 | 2,835 | 3,028 | 3,259 | 3,452 | 3,684 | 3,877 | 4,109 |
| 22,098 | 11,049 | 29 | 307 | 514 | 762 | 970 | 1,218 | 1,425 | 1,674 | 1,881 | 2,129 | 2,336 | 2,585 | 2,792 | 3,041 | 3,248 | 3,496 | 3,703 | 3,952 | | |
| 22,860 | 11,430 | 30 | 328 | 550 | 816 | 1,038 | 1,304 | 1,525 | 1,791 | 2,013 | 2,279 | 2,500 | 2,766 | 2,988 | 3,254 | 3,476 | 3,742 | 3,963 | | | |
| 23,622 | 11,811 | 31 | 351 | 587 | 871 | 1,108 | 1,392 | 1,629 | 1,913 | 2,149 | 2,433 | 2,670 | 2,954 | 3,190 | 3,474 | 3,711 | 3,995 | | | | |
| 24,384 | 12,192 | 32 | 374 | 626 | 926 | 1,181 | 1,483 | 1,735 | 2,038 | 2,290 | 2,593 | 2,845 | 3,147 | 3,400 | 3,702 | 3,954 | | | | | |
| 25,146 | 12,573 | 33 | 397 | 665 | 987 | 1,255 | 1,577 | 1,845 | 2,167 | 2,435 | 2,757 | 3,025 | 3,347 | 3,615 | 3,937 | | | | | | |
| 25,908 | 12,954 | 34 | 422 | 706 | 1,048 | 1,333 | 1,674 | 1,959 | 2,301 | 2,585 | 2,927 | 3,212 | 3,553 | 3,838 | | | | | | | |
| 26,670 | 13,335 | 35 | 447 | 749 | 1,111 | 1,412 | 1,774 | 2,078 | 2,438 | 2,740 | 3,102 | 3,403 | 3,765 | 4,067 | | | | | | | |
| 27,432 | 13,716 | 36 | 473 | 792 | 1,175 | 1,494 | 1,877 | 2,196 | 2,579 | 2,898 | 3,281 | 3,601 | 3,984 | | | | | | | | |
| 28,194 | 14,097 | 37 | 499 | 837 | 1,241 | 1,578 | 1,983 | 2,320 | 2,725 | 3,062 | 3,466 | 3,803 | | | | | | | | | |
| 28,956 | 14,478 | 38 | 527 | 882 | 1,309 | 1,665 | 2,091 | 2,447 | 2,874 | 3,229 | 3,656 | 4,012 | | | | | | | | | |
| 29,718 | 14,859 | 39 | 555 | 929 | 1,379 | 1,754 | 2,203 | 2,578 | 3,027 | 3,402 | 3,851 | | | | | | | | | | |
| 30,480 | 15,240 | 40 | 584 | 978 | 1,451 | 1,845 | 2,317 | 2,711 | 3,164 | 3,578 | 4,051 | | | | | | | | | | |

fuente: Tankeros S.L.

| Ebatlar (mm) (Dimensions) | | | | | Ebatlar (mm) (Dimensions) | | | | | Ebatlar (mm) (Dimensions) | | | | |
|---------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------|---------------------------|
| Tip (Type) | Kapasite (Capacity) (Tip) | Göve (Ø) (Body) | Yükseklik (H) (Height) | Yükseklik (Hmax) (Height) | Tip (Type) | Kapasite (Capacity) (Tip) | Göve (Ø) (Body) | Yükseklik (H) (Height) | Yükseklik (Hmax) (Height) | Tip (Type) | Kapasite (Capacity) (Tip) | Göve (Ø) (Body) | Yükseklik (H) (Height) | Yükseklik (Hmax) (Height) |
| Vav-MSD 4.1 | 5 | 3.516 | 1.480 | 1.805 | Vav-MSD 12.1 | 134 | 10.848 | 1.449 | 2.417 | Vav-MSD 20.1 | 372 | 18.080 | 1.449 | 3.050 |
| Vav-MSD 4.2 | 30 | 3.516 | 2.910 | 3.235 | Vav-MSD 12.2 | 247 | 10.848 | 2.889 | 3.852 | Vav-MSD 20.2 | 742 | 18.080 | 2.890 | 4.481 |
| Vav-MSD 4.3 | 45 | 3.516 | 4.340 | 4.665 | Vav-MSD 12.3 | 400 | 10.848 | 4.330 | 5.293 | Vav-MSD 20.3 | 1.114 | 18.080 | 4.338 | 5.920 |
| Vav-MSD 4.4 | 59 | 3.516 | 5.770 | 6.095 | Vav-MSD 12.4 | 533 | 10.848 | 5.772 | 6.735 | Vav-MSD 20.4 | 1.485 | 18.080 | 5.786 | 7.367 |
| Vav-MSD 4.5 | 74 | 3.516 | 7.200 | 7.524 | Vav-MSD 12.5 | 667 | 10.848 | 7.225 | 8.169 | Vav-MSD 20.5 | 1.859 | 18.080 | 7.240 | 8.811 |
| Vav-MSD 4.6 | 89 | 3.516 | 8.649 | 8.974 | Vav-MSD 12.6 | 801 | 10.848 | 8.668 | 9.611 | Vav-MSD 20.6 | 2.231 | 18.080 | 8.690 | 10.251 |
| Vav-MSD 4.7 | 104 | 3.516 | 10.089 | 10.414 | Vav-MSD 12.7 | 935 | 10.848 | 10.118 | 11.061 | Vav-MSD 20.7 | 2.605 | 18.080 | 10.148 | 11.749 |
| Vav-MSD 4.8 | 118 | 3.516 | 11.529 | 11.854 | Vav-MSD 12.8 | 1.069 | 10.848 | 11.566 | 12.529 | Vav-MSD 20.8 | 2.981 | 18.080 | 11.610 | 13.211 |
| Vav-MSD 4.9 | 133 | 3.516 | 12.970 | 13.295 | Vav-MSD 12.9 | 1.203 | 10.848 | 13.018 | 13.991 | Vav-MSD 20.9 | 3.355 | 18.080 | 13.069 | 14.649 |
| Vav-MSD 6.1 | 34 | 5.424 | 1.480 | 1.965 | Vav-MSD 14.1 | 182 | 12.656 | 1.449 | 2.571 | Vav-MSD 22.1 | 450 | 19.888 | 1.449 | 3.209 |
| Vav-MSD 6.2 | 67 | 5.424 | 2.910 | 3.395 | Vav-MSD 14.2 | 363 | 12.656 | 2.889 | 4.011 | Vav-MSD 22.2 | 899 | 19.888 | 2.894 | 4.654 |
| Vav-MSD 6.3 | 100 | 5.424 | 4.340 | 4.825 | Vav-MSD 14.3 | 545 | 12.656 | 4.334 | 5.456 | Vav-MSD 22.3 | 1.348 | 19.888 | 4.340 | 6.100 |
| Vav-MSD 6.4 | 133 | 5.424 | 5.770 | 6.255 | Vav-MSD 14.4 | 727 | 12.656 | 5.780 | 6.902 | Vav-MSD 22.4 | 1.799 | 19.888 | 5.792 | 7.552 |
| Vav-MSD 6.5 | 167 | 5.424 | 7.200 | 7.694 | Vav-MSD 14.5 | 909 | 12.656 | 7.228 | 8.350 | Vav-MSD 22.5 | 2.250 | 19.888 | 7.244 | 9.004 |
| Vav-MSD 6.6 | 200 | 5.424 | 8.650 | 9.135 | Vav-MSD 14.6 | 1.092 | 12.656 | 8.678 | 9.800 | Vav-MSD 22.6 | 2.702 | 19.888 | 8.695 | 10.458 |
| Vav-MSD 6.7 | 233 | 5.424 | 10.094 | 10.579 | Vav-MSD 14.7 | 1.274 | 12.656 | 10.130 | 11.252 | Vav-MSD 22.7 | 3.154 | 19.888 | 10.152 | 11.910 |
| Vav-MSD 6.8 | 267 | 5.424 | 11.536 | 12.021 | Vav-MSD 14.8 | 1.457 | 12.656 | 11.584 | 12.706 | Vav-MSD 22.8 | 3.608 | 19.888 | 11.614 | 13.374 |
| Vav-MSD 6.9 | 300 | 5.424 | 12.978 | 13.463 | Vav-MSD 14.9 | 1.639 | 12.656 | 13.030 | 14.152 | Vav-MSD 22.9 | 4.063 | 19.888 | 13.080 | 14.840 |
| Vav-MSD 8.1 | 60 | 7.232 | 1.449 | 2.093 | Vav-MSD 16.1 | 238 | 14.464 | 1.449 | 2.731 | Vav-MSD 24.1 | 536 | 21.696 | 1.449 | 3.048 |
| Vav-MSD 8.2 | 119 | 7.232 | 2.889 | 3.533 | Vav-MSD 16.2 | 475 | 14.464 | 2.889 | 4.171 | Vav-MSD 24.2 | 1.070 | 21.696 | 2.894 | 4.810 |
| Vav-MSD 8.3 | 178 | 7.232 | 4.332 | 4.976 | Vav-MSD 16.3 | 712 | 14.464 | 4.334 | 5.616 | Vav-MSD 24.3 | 1.604 | 21.696 | 4.340 | 6.262 |
| Vav-MSD 8.4 | 237 | 7.232 | 5.768 | 6.412 | Vav-MSD 16.4 | 950 | 14.464 | 5.780 | 7.062 | Vav-MSD 24.4 | 2.142 | 21.696 | 5.794 | 7.715 |
| Vav-MSD 8.5 | 298 | 7.232 | 7.244 | 7.888 | Vav-MSD 16.5 | 1.187 | 14.464 | 7.223 | 8.505 | Vav-MSD 24.5 | 2.678 | 21.696 | 7.244 | 9.168 |
| Vav-MSD 8.6 | 355 | 7.232 | 8.654 | 9.298 | Vav-MSD 16.6 | 1.426 | 14.464 | 8.678 | 9.960 | Vav-MSD 24.6 | 3.217 | 21.696 | 8.702 | 10.620 |
| Vav-MSD 8.7 | 413 | 7.232 | 10.060 | 10.704 | Vav-MSD 16.7 | 1.665 | 14.464 | 10.134 | 11.416 | Vav-MSD 24.7 | 3.758 | 21.696 | 10.154 | 12.080 |
| Vav-MSD 8.8 | 474 | 7.232 | 11.544 | 12.188 | Vav-MSD 16.8 | 1.904 | 14.464 | 11.590 | 12.872 | Vav-MSD 24.8 | 4.297 | 21.696 | 11.622 | 13.540 |
| Vav-MSD 8.9 | 534 | 7.232 | 12.990 | 13.634 | Vav-MSD 16.9 | 2.143 | 14.464 | 13.044 | 14.326 | Vav-MSD 24.9 | 4.839 | 21.696 | 13.088 | 15.000 |
| Vav-MSD 10.1 | 93 | 9.040 | 1.449 | 2.253 | Vav-MSD 18.1 | 301 | 16.272 | 1.449 | 2.890 | Vav-MSD 26.1 | 629 | 23.504 | 1.449 | 3.500 |
| Vav-MSD 10.2 | 185 | 9.040 | 2.889 | 3.693 | Vav-MSD 18.2 | 601 | 16.272 | 2.890 | 4.331 | Vav-MSD 26.2 | 1.256 | 23.504 | 2.894 | 4.950 |
| Vav-MSD 10.3 | 278 | 9.040 | 4.330 | 5.134 | Vav-MSD 18.3 | 901 | 16.272 | 4.334 | 5.775 | Vav-MSD 26.3 | 1.885 | 23.504 | 4.344 | 6.400 |
| Vav-MSD 10.4 | 370 | 9.040 | 5.768 | 6.572 | Vav-MSD 18.4 | 1.203 | 16.272 | 5.784 | 7.225 | Vav-MSD 26.4 | 2.516 | 23.504 | 5.798 | 7.850 |
| Vav-MSD 10.5 | 463 | 9.040 | 7.214 | 8.018 | Vav-MSD 18.5 | 1.504 | 16.272 | 7.234 | 8.675 | Vav-MSD 26.5 | 3.147 | 23.504 | 7.252 | 9.300 |
| Vav-MSD 10.6 | 556 | 9.040 | 8.658 | 9.462 | Vav-MSD 18.6 | 1.806 | 16.272 | 8.686 | 10.127 | Vav-MSD 26.6 | 3.777 | 23.504 | 8.706 | 10.750 |
| Vav-MSD 10.7 | 649 | 9.040 | 10.108 | 10.912 | Vav-MSD 18.7 | 2.109 | 16.272 | 10.140 | 11.581 | Vav-MSD 26.7 | 4.412 | 23.504 | 10.160 | 12.200 |
| Vav-MSD 10.8 | 742 | 9.040 | 11.554 | 12.358 | Vav-MSD 18.8 | 2.411 | 16.272 | 11.594 | 13.035 | Vav-MSD 26.8 | 5.048 | 23.504 | 11.614 | 13.650 |
| Vav-MSD 10.9 | 835 | 9.040 | 13.004 | 13.808 | Vav-MSD 18.9 | 2.715 | 16.272 | 13.056 | 14.497 | Vav-MSD 26.9 | 5.684 | 23.504 | 13.160 | 15.100 |