



ETUDE TECHNIQUE D'UN RESERVOIR EN BETON ARME (R16) SUR TOUR DE 2000 m<sup>3</sup>, POUR LE RENFORCEMENT DU RESEAU D'ADDUCTION ET DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE A NIAMEY AU NIGER

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT  
OPTION : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES**

-----

Présenté et soutenu publiquement le [19 janvier 2018] par :

**Aboubacar SOUMAILA HAROUNA**

**Travaux dirigés par :**

**Lionel GREBAN**

Ingénieur Directeur de projet R16 DENYS

**Pr. Adamah MESSAN**

Pr. de l'institut 2iE

**Dr. Lawani MOUNIROU**

Enseignant chercheur de l'institut 2iE.

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Amadou KEITA

Membres et correcteurs : M. Moussa FAYE

M. Moussa OUEDRAOGO

Dr. Lawani MOUNIROU

**Promotion [2016/2017]**

## **DEDICACES**

Nous dédions ce modeste travail à la famille SOUMAILA HAROUNA BAKASSO pour tous leurs sacrifices et leurs soutiens durant mon cursus scolaire.

## REMERCIEMENTS

C'est avec joie que nous écrivons ces quelques lignes pour remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Pour commencer, nos remerciements s'adressent au Chef du village de Moussadeye Beri, honorable **ELHADJ SOUMAILA HAROUNA** mon père pour son soutien et son amour à mon égard qu'il en soit honoré.

Nos remerciements s'adressent également à ma chère mère **Mme SOUMAILA HADJIA Haoua Seyni** pour son amour indescriptible, son soutien moral, financier et sa contribution énorme pour faire de moi l'homme le plus heureux retrouvez ici mes sincères salutations.

Mes remerciements et ma profonde gratitude vont à l'endroit de :

- ❖ Mr. **DOULLA ADAMOU Barkiré** Directeur Général de la SPEN pour son soutien combien important dans la réalisation de ce mémoire ;
- ❖ Tout le personnel de la SPEN et de DENYS pour leurs contributions ;
- ❖ Mr. **GREBAN Lionel** Directeur de projet du réservoir 16 DENYS SAS mon encadreur pour sa contribution et ses conseils dans la réussite de ce présent document ;
- ❖ M. **Mai Moussa Gaïda** de LAMCO Ingénierie pour sa promptitude à répondre à mes demandes et sa disponibilité.
- ❖ M. **ABDOURAHMANE Diallo** de la SOTRAHA pour ses conseils pertinents et son soutien
- ❖ Pr. **ADAMAH Messan** mon encadreur pour ses conseils et ses remarques ;
- ❖ Dr. **Lawani MOUNIROU** mon encadreur également pour ses conseils et ses remarques Combien important.
- ❖ M. Ibo Nourou **BASSIROU** de VALIMO Group. SA pour sa promptitude à répondre à mes demandes et sa disponibilité ;
- ❖ M. Kader **BANAOU DJIBO** élève ingénieur de 2iE pour son soutien et son aide pour la réussite de ce document ;
- ❖ M. Abdoul Latif **SAIDOU BAKINGUE** ingénieur GCH pour son soutien et son aide pour la réussite de ce document ;
- ❖ Mlle Hamsou **IRO** Ingénieure de DENYS pour son soutien moral et sa contribution pour la réussite de ce document
- ❖ L'administration et le corps professoral de 2iE pour le partage de connaissance.
- ❖ Tous mes camarades et amis (e) de 2iE et tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce document.

❖ M. IBRAHIM Ousmane dit Dodo pour son soutien durant tout mon parcours scolaire.

## RESUME

Pour l'amélioration des conditions d'accès à l'eau potable des quartiers péri-urbains de la ville de Niamey, le gouvernement a opté pour la construction des infrastructures hydrauliques dans lequel s'inscrit le présent projet intitulé « **Etude technique d'un réservoir en béton armé (R16) sur tour de 2000 m<sup>3</sup>, renforcement du réseau d'adduction et de distribution à Niamey** ».

Cette étude a pour objectif principal la conception et le dimensionnement d'un château d'eau capable de répondre aux besoins de la population de Sagorou Kogorou et Niamey 2000. Tout d'abord, les besoins en eau de ces populations ont permis de concevoir un réservoir d'une capacité de 2000 m<sup>3</sup> pour une population de 104 343 habitants. Ce projet impactera positivement la vie de ces populations par la création de 8 217 branchements privés et 45 bornes fontaines prévu à l'horizon du projet.

Par la suite, la descente des charges et le dimensionnement de la structure du réservoir ont été effectués manuellement. Sur la base des altitudes de la zone d'étude il en ressort un réservoir surélevé de 25 m qui sera construit en béton armé suivant les règles de l'art et les normes BAEL 91 modifiée 99, le Fascicule 74 et le D.T.U 13.12. Les différentes parties constituant le château d'eau sont dimensionnées en fonction des sollicitations qui leur sont propres, de là les sections d'aciers de toute la structure ont été obtenues et présentées dans un plan d'exécution. Enfin, le dimensionnement s'est suivi par une évaluation du coût global des travaux estimé à un milliard cinq cent quatre-vingt-dix-huit million neuf cent soixante-neuf mille quatre cent soixante-neuf **1 598 969 469 FCFA TTC**.

## MOTS CLES

- Béton
- Adduction d'eau potable
- Dimensionnement
- Reservoir

## ABSTRACT

In order to improve the conditions for access to drinking water in the suburban areas of the city of Niamey, the government opted for the construction of the hydraulic infrastructure in which this project entitled "Technical study of a reservoir reinforced concrete (R16) on 2000 m<sup>3</sup> tower, reinforcement of the supply and distribution network in Niamey".

The main objective of this study is the design and sizing of a water tower capable of meeting the needs of the population of Sagagorou Kogorou and Niamey 2000. First, the water needs of these populations have made it possible to design a water tower. A tank with a capacity of 2000 m<sup>3</sup> for a population of 104,343 inhabitants. This project will have a positive impact on the lives of these populations by creating 8,217 private connections and 45 standpipes planned for the project.

Subsequently, the descent of loads and the sizing of the tank structure were done manually. On the basis of the altitudes of the study area there emerges a raised tank of 25 m which will be built of reinforced concrete according to the rules of art and standards BAEL 91 modified 99, Fascicle 74 and U.D.T 13.12. The different constituent parts of the water tower are dimensioned either in compression or in tension or both at once, thence the sections of steels of the whole structure were obtained and presented in a plan of execution.

Finally, the sizing was followed by an assessment of the overall cost of the work estimated at one billion five hundred ninety-eight million nine hundred and sixty-nine thousand four hundred and sixty-nine 1,598,969,469 FCFA including tax.

### Key Words:

- Concrete
- Drinking water supply
- Sizing
- Tank

## Table des matières

<b>DEDICACES</b> .....	<b><i>i</i></b>
<b>Remerciements</b> .....	<b><i>ii</i></b>
<b>RESUME</b> .....	<b><i>iii</i></b>
<b>MOTS CLES</b> .....	<b><i>iv</i></b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b><i>v</i></b>
<b>LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS</b> .....	<b><i>x</i></b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b><i>xi</i></b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b><i>xiii</i></b>
<b>LISTE DES PHOTOS</b> .....	<b><i>1</i></b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b><i>2</i></b>
<b>CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE</b> .....	<b><i>2</i></b>
<b>Objectif principal</b> .....	<b><i>3</i></b>
<b>Objectifs spécifiques de l'étude</b> .....	<b><i>3</i></b>
<b>I. CHAPITRE I : GENERALITES</b> .....	<b><i>4</i></b>
<b>1.1 PRESENTATION GENERALE DE LA STRUCTURE D'ACCEUIL</b> .....	<b><i>4</i></b>
1.1.1 Historique.....	<b><i>4</i></b>
1.1.2 Objectif global de DENYS.....	<b><i>4</i></b>
1.1.3 Objectifs spécifiques de DENYS SAS .....	<b><i>5</i></b>
1.1.4 Structuration et Organigramme de DENYS .....	<b><i>5</i></b>
<b>1.2 PRESENTATION DE LA LOCALITE D'ETUDE</b> .....	<b><i>6</i></b>
1.2.1 Caractéristiques du milieu physique.....	<b><i>6</i></b>
1.2.2 Caractéristiques du milieu humain .....	<b><i>9</i></b>
1.2.3 Aspects sociaux et démographiques.....	<b><i>9</i></b>
<b>1.3 Généralités sur les ouvrages de stockage</b> .....	<b><i>12</i></b>
1.3.1 Définition .....	<b><i>12</i></b>
1.3.2 Rôles et fonctions des réservoirs .....	<b><i>12</i></b>

<b>II. CHAPITRE II : Approche méthodologique adoptée</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1 Recherche documentaire</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2 Acquisition, traitement et contrôle des données</b> .....	<b>14</b>
<b>2.3 Visites de terrain et validation des données</b> .....	<b>14</b>
<b>2.4 Diagnostic du système actuel d'alimentation en eau potable de la zone d'étude</b> .....	<b>15</b>
<b>2.5 Matériels utilisés</b> .....	<b>15</b>
<b>III. CHAPITRE III : DETERMINATION DE LA DEMANDE EN EAU ET LA CAPACITE DU RESERVOIR</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1 DIAGNOSTIC du système actuel d'alimentation eau potable de la zone d'étude</b> .....	<b>16</b>
3.1.1 Points d'eau et infrastructures d'adduction en eau potable existants .....	16
3.1.2 Evaluation des besoins et demandes en eau actuels et futurs .....	16
3.1.3 Evaluation des consommations domestiques .....	16
3.1.4 Evaluation des consommations non domestiques .....	17
3.1.5 Evaluation des besoins en eau potable des populations.....	17
3.1.6 Taux d'accroissement de la population .....	18
3.1.7 Echéance du projet d'extension.....	18
3.1.8 Estimation de la population à l'horizon du projet .....	18
3.1.9 Typologie des abonnés du réseau d'eau potable .....	18
3.1.10 Consommation spécifique (Cs) .....	19
3.1.11 Besoins journaliers moyens de la population( <b>Bjm</b> ) .....	19
3.1.12 Estimation des coefficients de pointes saisonnier et journalier et besoins du jour de pointe....	21
3.1.13 Demande en eau du jour de pointe ( <b>Djp</b> ) .....	22
3.1.14 Estimation du débit moyen et pointe horaire de distribution du réservoir R16 .....	23
3.1.15 Estimation de la capacité du réservoir R16 .....	24
3.1.16 Justification du type de réservoir.....	25
<b>IV. CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT EN BETON ARME DES ELEMENTS DU RESERVOIR</b> .....	<b>26</b>
<b>4.1 Première partie : Conception Architecturale</b> .....	<b>26</b>
4.1.1 Données dimensionnelle et architecturales.....	26
<b>4.2 Deuxième partie : DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS CONSTITUANTS LE RESERVOIR</b> .....	<b>29</b>
4.2.1 Hypothèses de l'étude .....	29
4.2.2 Pré dimensionnement .....	41
4.2.3 Calcul de la contrainte du béton .....	41

4.2.4	Calcul des charges horizontales .....	41
4.2.5	Calcul de la section des aciers .....	42
4.2.6	Ceinture inferieure.....	42
4.2.7	Partie tronconique .....	46
4.2.8	Cheminée.....	49
4.2.9	Dalle de Fond .....	50
4.2.10	Ceinture d'appui .....	52
4.2.11	Tour support .....	54
4.2.12	Fondation.....	54
<b>4.3</b>	<b>Vérification de la stabilité du réservoir R16.....</b>	<b>57</b>
4.3.1	Stabilité au poinçonnement .....	57
4.3.2	Stabilité au Renversement .....	57
4.3.3	Vérification de la stabilité au renversement .....	65
<b>4.4</b>	<b>Troisième partie : Analyse comparative .....</b>	<b>66</b>
4.4.1	Rappel de la méthode de calcul utilisée par l'entreprise : .....	66
<b>V.</b>	<b>CHAPITRE V : ETUDES QUANTITATIVES DES TRAVAUX .....</b>	<b>69</b>
<b>VI.</b>	<b>CHAPITRE VI : IMPACTS POTENTIEL DU PROJET ET MESURE D'ATTENUATION.....</b>	<b>70</b>
	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>73</b>
	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>75</b>
➤	<b>COUSIN. B ; Cours d'ouvrages spéciaux; année académique 2014-2015. 106 pages</b>	<b>75</b>
➤	<b>OUEDRAOGO. B cours sur qualité des eaux naturelles et des eaux de consommation besoins et demande en eau tirage 2006. 96 pages .....</b>	<b>75</b>
➤	<b>OUEDRAOGO. B cours ouvrages constitutifs de systèmes d'AEP/ adduction réservoirs-réseaux de distribution. 109 pages .....</b>	<b>75</b>
➤	<b>MESSAN.A cours de dimensionnement des réservoirs en béton arme. 2015. 55 pages 75</b>	
➤	<b>Fascicule 74 Cahier des clauses techniques générales (1998); construction des réservoirs en béton. 272 pages .....</b>	<b>75</b>
➤	<b>THONIER. H ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 3 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 779-1285 p.....</b>	<b>75</b>

➤ <b>THONIER. H ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 4 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1291-1657 p.....</b>	<b>75</b>
➤ <b>THONIER. H ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 p.....</b>	<b>75</b>
➤ <b>Jean-Pierre Mouglin Béton armé. BAEL 91 modifié 99 et DTU associés, deuxième Edition EYROLLES et quatrième tirage 2006, Paris. ....</b>	<b>75</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>lxxvi</b>
<b>Annexes 1 : Section en cm<sup>2</sup> de 1 à 20 armatures de diamètre <math>\Phi</math> en mm.....</b>	<b>lxxvi</b>
<b>ANNEXE 2 : Rapport préliminaire de reconnaissance de sol.....</b>	<b>lxxviii</b>
<b>ANNEXE 3 : Calcul hydraulique .....</b>	<b>lxxxii</b>
<b>ANNEXE 4 : Plan d'exécution du réservoir.....</b>	<b>lxxxiii</b>
<b>ANNEXE 5: CONSTRUCTION DU RESERVOIR (R16) .....</b>	<b>lxxxv</b>
<b>ANNEXE 6 : IMPACT POTENTIEL DU PROJET ET MESURE D'ATTENUATION .....</b>	<b>lxxxviii</b>
<b>ANNEXE 7 : SUIVI DES TRAVAUX DE REALISATION.....</b>	<b>xcii</b>
<b>ANNEXE 8 : COUT DU BETON ARME POUR LA CONSTRUCTION DU RESERVOIR R16 .....</b>	<b>xcii</b>
<b>ANNEXE 9 : COUT TOTAL DE LA CONSTRUCTION DU CHATEAU D'EAU .....</b>	<b>xcii</b>

## **LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS**

**AEP** : Adduction d'Eau Potable

**As, Amin** : Aire de la section d'acier

**Asx** : Section d'armature suivant la petite portée

**AFD** : Agence Française de Développement

**ANE** : Agence Néerlandaise pour l'Entreprise

**BA** : Béton Armé

**BAEL** : Béton Armé aux Etats Limites

**BEI** : Banque Européenne d'Investissement

**BF** : Borne Fontaine

**BP** : Branchement Privé

**Bjp** : Besoin du jour de pointe

**Cs** : Consommation Spécifique

**Cph** : Coefficient de pointe horaire

**CT** : Continental Terminal

**daN** : déca Newton

**DMN** : Direction de la Météorologie National

**DSME** : Direction de la Statistique du Ministère de l'Elevage

**DTU** : Document Technique Unifié

**ELS** : Etat Limite de Service

**ELU** : Etat Limite Ultime

**f** : La flèche

**Ftj** : Résistance caractéristique a la traction du béton âgé j jours

**Fe** : Limite d'élasticité de l'acier

**Fcj** : Résistance caractéristique a la compression du béton en fonction de j jour

**Fbu** : Contrainte limite dans le béton à ELU

**FCFA** : Franc de la Communauté Financière Africaine

**FINEXPO** : Fond d'Investissement pour l'Exportation

**G** : Charge permanente

**HA** : Acier à Haute adhérence

**h** : Hauteur total de la section du béton armé

**HT** : Hors Taxes

**INS** : Institut National de la Statistique

**Kps** : coefficient de pointe saisonnière  
**Kpj** : coefficient de pointe journalière  
**kN** : Kilo Newton  
**Ls** : Longueur de scellement  
**m** : Mètre  
**Mu** : Moment de calcul ultime  
**MPa** : Méga Pascal  
**N** : Effort normal  
 **$\eta_t$**  : Rendement totale  
 **$\eta_{dis}$**  : Rendement de distribution  
**PVC** : Polychlorure de Vinyle  
**Q** : Charge variable  
 **$q_{dyn}$**  : Pression dynamique  
**RGPH** : Recensement Général de la Population et de l'Habitat  
**SA** : Société Anonyme  
**SEEN** : Société d'Exploitation des Eaux du Niger  
**SPEN** : Société de Patrimoine des Eaux du Niger  
**TN** : Terrain Naturel  
**Z** : Bras de levier  
**UBT** : Unité de Bétail Tropical  
**QHSE** : Qualité Hygiène Sécurité Environnement  
**Qref** : Débit de référence  
**LNTPB** : Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de DENYS au NIGER ..... 6

Figure 2: carte du Niger (Source : Google).....	7
Figure 3:Présentation du site du projet (Source : Google Earth) .....	7
Figure 4: Coupe A-A du réservoir 16.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 5 : Coupole supérieure .....	35
Figure 6: Organigramme du calcul de la coupole supérieure.....	35
Figure 7: Ceinture supérieure .....	37
Figure 8: Organigramme de calcul des sections principaux et du diamètre des aciers de .....	38
Figure 9: cuve cylindrique.....	40
Figure 10 : Organigramme de calcul des aciers de la cuve cylindrique.....	40
Figure 11: Ceinture inférieure .....	43
Figure 12: Organigramme de dimensionnement de la ceinture inférieure.....	43
Figure 13: Action de la pression de l'eau.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 14: Organigramme de dimensionnement des aciers principaux au niveau de la paroi tronconique du réservoir surélevé .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 15: Organigramme de dimensionnement des aciers de répartition de la paroi tronconique du réservoir surélevé .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 16: organigramme de dimensionnement des aciers au niveau de la cheminée du réservoir surélevé.....	49
Figure 17:ceinture d'appui .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 18: Organigramme de dimensionnement de la ceinture d'appui du réservoir surélevé .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 19: organigramme de dimensionnement de la tour.....	54
Figure 20: Abaque de détermination du coefficient de réduction de pression dynamique (cas de la cuve) .....	59
Figure 21: Abaque de détermination du coefficient de trainée (cas de la cuve) .....	61
Figure 22: Abaque de détermination du coefficient de réduction de pression dynamique (cas de la tour) .....	63
Figure 23: Abaque de détermination du coefficient de trainée (cas de la cuve) .....	64

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: résumé l'évolution de la population de Niamey de l'année 1901 à 2012. ....	10
Tableau 2: Répartition de la population résidente à Niamey par commune (RGPH/2012).....	10
Tableau 3: présentation du nombre de tête du cheptel .....	11
Tableau 4: Consommation en eau à Niamey par catégorie d'abonnés .....	16
Tableau 5: Situation démographique des trois quartiers périphériques .....	17
Tableau 6: Effectif de la population à l'horizon du projet .....	18
Tableau 7: répartition de la population selon le type de branchement.....	19
Tableau 8: Evolution des consommations au niveau des bornes fontaines.....	20
Tableau 9: Evolution des consommations au niveau des branchements privés.....	20
Tableau 10: Evolution des besoins journaliers moyens de la zone d'étude .....	21
Tableau 11: Capacité de production des usines de traitement d'eau à Niamey .....	22
Tableau 12: Evolution des besoins et demandes du jour de pointe de la zone d'étude .....	22
Tableau 13:débits de pointe horaire de distribution .....	23
Tableau 14: profil de consommation de la zone d'étude. ....	24
Tableau 15: illustration de la capacité maximale du réservoir.....	24
Tableau 16: contrainte admissible de l'acier tendu en fonction du diamètre des aciers .....	31
Tableau 17: Vérification de la capacité de la cuve.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau 18: détermination du poids total du Lanterneau .....	32
Tableau 19: Calcul de la dalle circulaire du Lanterneau .....	32
Tableau 20: calcul des moments limites .....	33
Tableau 21: Calcul de la partie cylindrique du Lanterneau.....	33
Tableau 22: calcul des sections d'aciers.....	34
Tableau 23: Vérification de contrainte limite de compression dans le béton .....	34
Tableau 24: calcul du ferrailage de la coupole de couverture.....	36
Tableau 25: calcul du poids total arrivant au radier .....	55
Tableau 26: Cout du béton armé pour la construction du château d'eau R16 .....	69
Tableau 27: Prix des canalisations en fonte pour le refoulement et le PVC pour la distribution .....	69
Tableau 28 :Cout total de la construction du château d'eau.....	69
Tableau 29: Mesures d'atténuation ou de préventions liées au projet .....	72

## LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Disposition des pièces d'échafaudage pour accès au coffrage de la cuve. ....	lxxxv
Photo 2: Pose des panneaux pour le coffrage de la partie tronconique.....	lxxxvi
Photo 3 : Ferrailage de la fondation .....	lxxxvii
Photo 4: réglage panneau de coffrage de la tour .....	lxxxvii
Photo 5: Coffrage de la deuxième levée de la tour.....	lxxxvii

## INTRODUCTION GENERALE

### CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

L'alimentation en eau potable en milieu urbain et rural est une préoccupation majeure des pays en développement. Les capacités actuelles de production et de distribution d'eau potable sont insuffisantes pour faire face à la demande actuelle car la population des villes africaines connaît une forte augmentation. Cette situation crée alors un déficit de production et/ou de distribution d'eau potable. Pour pallier ce déficit d'eau potable, la plupart des Etats africains ont initié des programmes d'investissements prioritaires pour l'amélioration des conditions d'accès à l'eau potable et à l'assainissement. Ces programmes financés sur fonds propres et/ou des bailleurs devraient permettre à ces Etats d'atteindre les Objectifs du Développement Durable. C'est le cas du gouvernement Nigérien qui a initié dans la ville de Niamey un projet de renforcement des installations actuelles de production et de distribution d'eau potable afin d'améliorer le service et d'accroître le taux de dessert.

En effet, la ville de Niamey, Capitale de la république du Niger, connaît cette situation de déficit en raison de sa forte croissance démographique. Malgré l'extension et le renforcement des infrastructures de production, de distribution et de stockage au milieu des années 2000, la demande en eau potable reste très forte et l'approvisionnement en eau potable des quartiers périphériques de Niamey est très limité (service limité à 4 à 6 heures/jour avec de faibles pressions). Aujourd'hui, la capacité nominale de production des infrastructures hydrauliques existantes est répartie entre l'usine de Yantala avec une capacité de production de 30 000 [m<sup>3</sup>/jr] et l'usine de Goudel avec une capacité nominale de production de 85 000 [m<sup>3</sup>/jr]. La Société d'Exploitation des Eaux du Niger confirme le taux d'accès à l'eau potable d'environ 80% ; ce taux n'est pas satisfaisant et est loin de garantir les aspects d'hygiène et de santé publique dans la ville de Niamey. Pour améliorer cette situation, les systèmes de production, de stockage et de distribution d'eau potable doivent impérativement être renforcés et étendus afin de répondre à la demande future en eau potable dans tous les quartiers de la capitale. C'est dans ce cadre que le gouvernement nigérien a sollicité et obtenu des financements auprès de l'Agence Française de Développement (AFD), de la Banque Européenne d'Investissement (BEI), de l'Agence Néerlandaise pour l'Entreprise (ANE), et du Fonds Belge d'Investissement (FINEXPO) pour la réalisation d'infrastructures hydrauliques pour le renforcement du système d'alimentation en eau potable de la ville de Niamey en vue de l'augmentation de la production par la construction d'une nouvelle filière de traitement d'eau d'une capacité de 40 000 [m<sup>3</sup>/jr]. Ce projet dénommé « Goudel 4 » comporte la réalisation d'une filière de traitement de 40 000

[m<sup>3</sup>/j], la construction de trois (03) nouveaux réservoirs R15, R16, R17 et l'extension du réseau d'adduction et de distribution. Avec ces ouvrages le gouvernement souhaite améliorer la desserte en eau potable de certains quartiers périphériques de la ville de Niamey. Ainsi, l'objectif global de ce projet est l'amélioration des conditions d'alimentation en eau potable des populations des quartiers périphériques de la ville de Niamey.

L'entreprise DENYS SAS a été désignée attributaire du marché portant Construction du réservoir 16 d'une capacité de 2000 [m<sup>3</sup>] et de la nouvelle station de traitement d'eau de surface de 40 000 [m<sup>3</sup>/j].

Il est donc bien évident que l'ensemble du problème ne peut être traité dans le cadre d'un seul mémoire de fin d'étude compte tenu de son immensité et aussi de sa complexité. C'est pourquoi seuls certains aspects ont pu être abordés durant la période du 21 juin 2017 à 22 novembre 2017. Cependant, les résultats produits pourront servir de base à l'entreprise DENYS SAS dans la phase de réalisation des travaux.

Ainsi, le présent document illustre l'étude technique du réservoir en béton armé (R16) sur tour d'une capacité de 2000 [m<sup>3</sup>] qui est celle du renforcement du réseau d'adduction et de distribution de la ville de Niamey.

### **OBJECTIF PRINCIPAL**

L'objectif principal de cette étude est de concevoir et de dimensionner les principaux éléments du château d'eau en vue d'assurer sa stabilité.

### **OBJECTIFS SPECIFIQUES DE L'ETUDE**

Les objectifs spécifiques de cette étude sont :

- Faire un diagnostic de la situation actuelle de la zone d'intervention du réservoir enfin d'évaluer ses besoins et demandes en eau pour justifier la capacité du réservoir.
- Faire une étude multicritère justifiant le choix de l'ouvrage ;
- Faire une étude justifiant les choix des fondations ;
- Faire la conception géométrique et le dimensionnement de l'ouvrage retenu ;
- Faire une analyse comparative des deux méthodes de dimensionnement

## I. CHAPITRE I : GENERALITES

### 1.1 PRESENTATION GENERALE DE LA STRUCTURE D'ACCEUIL

#### 1.1.1 Historique

DENYS est une entreprise familiale fondée en 1923, et dont l'activité est l'exécution des travaux de réalisation d'installations des pompiers, de pose de conduites d'eau potable.

En **1935**, cette entreprise familiale est transformée en société anonyme ayant pour objet l'exécution des travaux de conduites d'eau et de travaux de génie civil. Dans **les années 50**, Denys devient pipelinier et réalise d'importants projets pour l'OTAN dans le Nord de la France et en Belgique.

En **décembre 2000**, le groupe DENYS a été repris par Johan Van Wassenhove ainsi que par des représentants de la direction et investisseurs indépendants.

Sans renier ses racines dans la pose de conduites, elle s'est progressivement diversifiée dans le génie civil. Dans cette branche et issu du département restauration, Denys commence en **2005** avec la construction de bâtiments. Il constitue aujourd'hui une entité à part entière.

#### 1.1.2 Objectif global de DENYS

En l'espace de dix ans, Denys s'est hissé au rang de groupe international comptant plus de mille collaborateurs. Denys vise une croissance organique.

Leur modèle de croissance repose sur trois piliers : diversification, innovation et exportation. DENYS ne se cantonne pas à un domaine de spécialisation unique, il est un ensemble aux multiples facettes : eau, énergie, mobilité, restauration, architecture, techniques spéciales et autres techniques de construction spécialisées. Dans chacune de ces disciplines complémentaires, DENYS s'est imposé comme acteur de niche et fait figure de référence mondiale à grande valeur ajoutée. Toutes ces disciplines sont rassemblées au sein d'une structure unique, le Groupe Denys, un partenaire fort sollicité pour les projets de construction et les travaux d'infrastructure les plus complexes.

### 1.1.3 Objectifs spécifiques de DENYS SAS

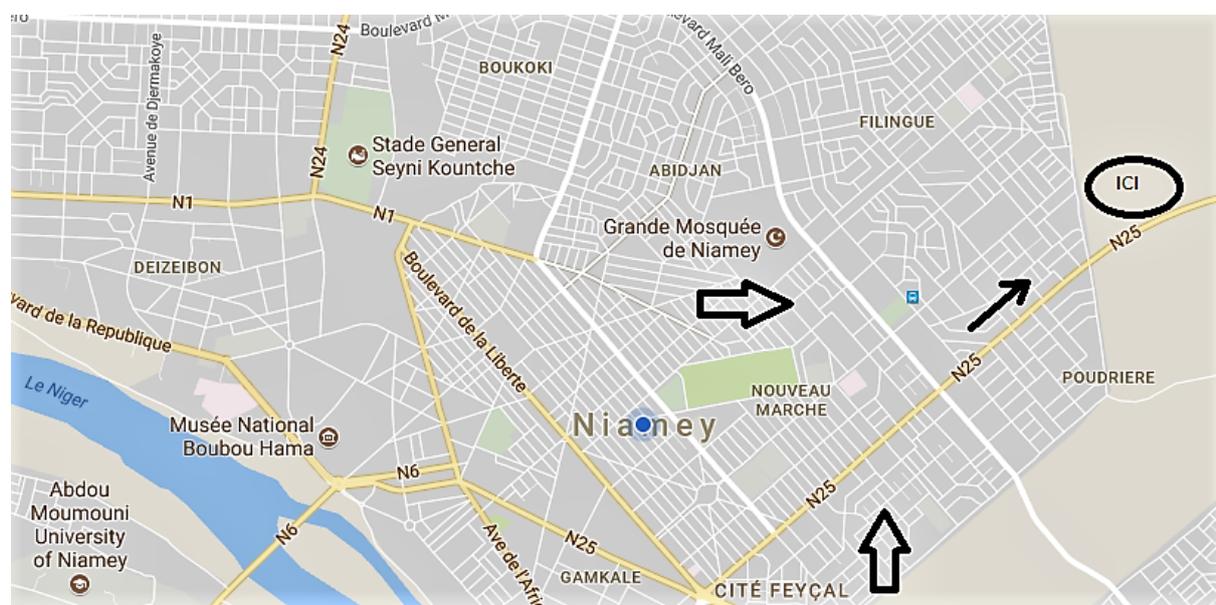
De nos jours, DENYS SAS intervient dans sept (7) secteurs d'activités : canalisations, câbles, tunnels et forages, bâtiments, génie civil, conduites d'eau potable et d'assainissement, rénovation, restauration et techniques spécifiques. Plus de 60% des travaux de DENYS sont exécutés à l'étranger.

Au Niger, lieu de ce présent projet, DENYS SAS est présente pour son 3<sup>ème</sup> projet de construction de château d'eau.

### 1.1.4 Structuration et Organigramme de DENYS

L'entreprise Denys SAS est située à Niamey sur la route Filingué. Elle a pour boîte postale BP 890 Niamey, Niger avec une adresse web de : [www.denys.com](http://www.denys.com)

Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée.



**Figure 2: Plan de situation de DENYS-SAS à Niamey-NIGER**

Le bureau de Denys au NIGER est composé comme suit :

- ✓ Ingénieur Génie-civil Directeur de projet du réservoir (R16)
- ✓ Chefs de chantiers des deux projets,
- ✓ Responsable Qualité Hygiène Sécurité Environnement (QHSE)
- ✓ Deux comptables,
- ✓ Une Secrétaire,
- ✓ Deux stagiaires,
- ✓ Les auxiliaires de service

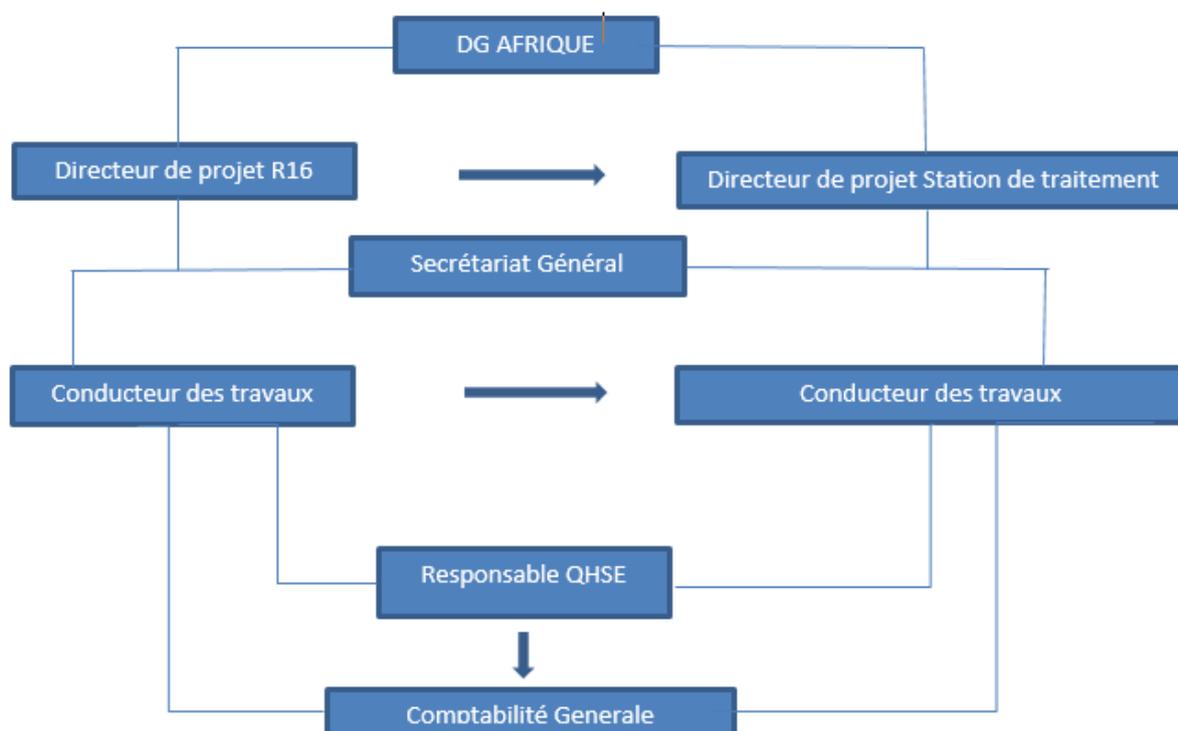


Figure 1: Organigramme de DENYS au NIGER

## 1.2 PRESENTATION DE LA LOCALITE D'ETUDE

### 1.2.1 Caractéristiques du milieu physique

#### 1. Situation géographique et évolution administrative

La ville de Niamey est située au bord du fleuve Niger dans la partie Sud-Ouest du Niger entre les parallèles 13°33' Nord et 13°24' Sud et les méridiens 2° et 29°15' Est. Elle est à une altitude de 160 à 250 m au-dessus du niveau de la mer et couvre une superficie de 297,46 [km<sup>2</sup>] pour une population estimée à 1 388 682 habitants selon la projection de l'institut Nationale de la statistique (INS).

La ville de Niamey qui est la capitale politique du Niger forme une enclave dans le département de Kollo. Elle est limitée au Nord – Est par la commune rurale de Hamdallaye à l'Est par la commune rurale de Liboré, au Sud par la commune rurale de Bitinkodji et à l'Ouest par la commune rurale de Karma. La figure 2 présente la zone d'étude

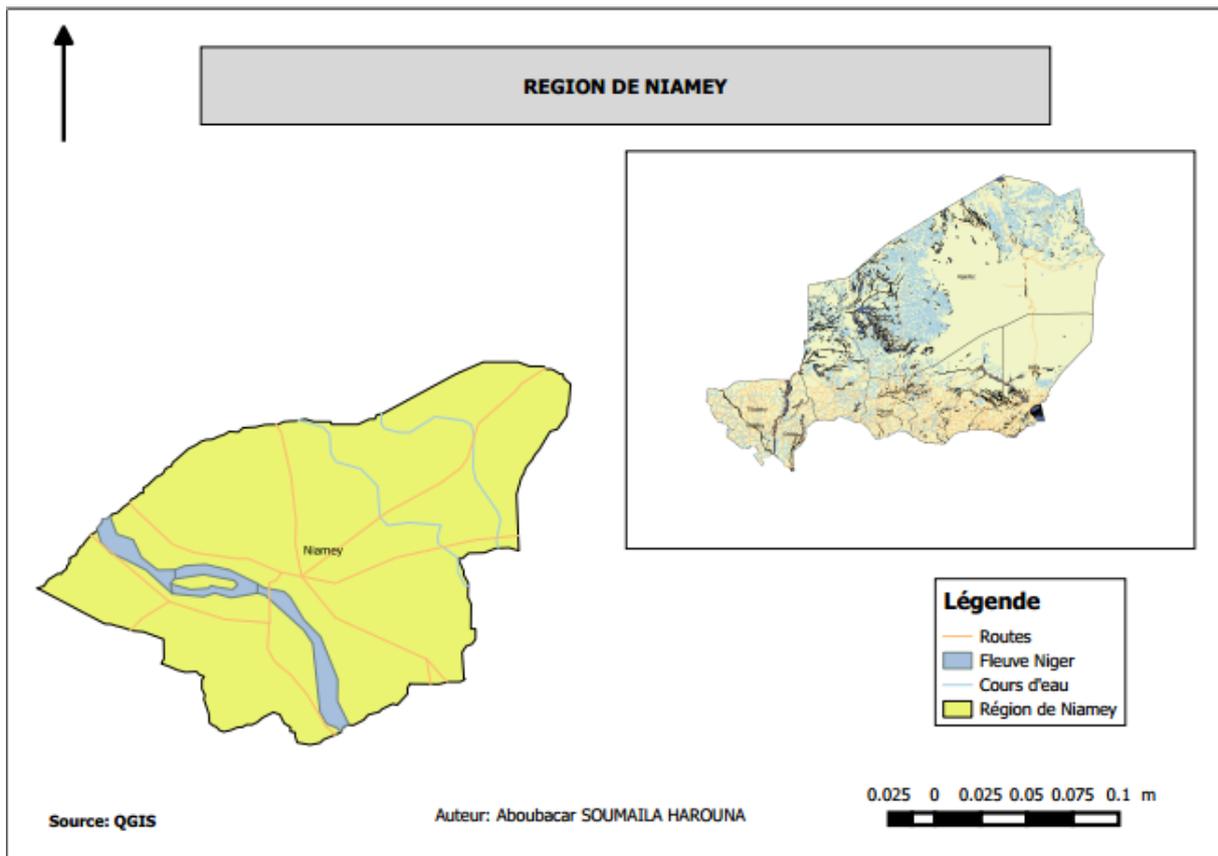


Figure 2: présentation de la zone d'étude (Niamey)

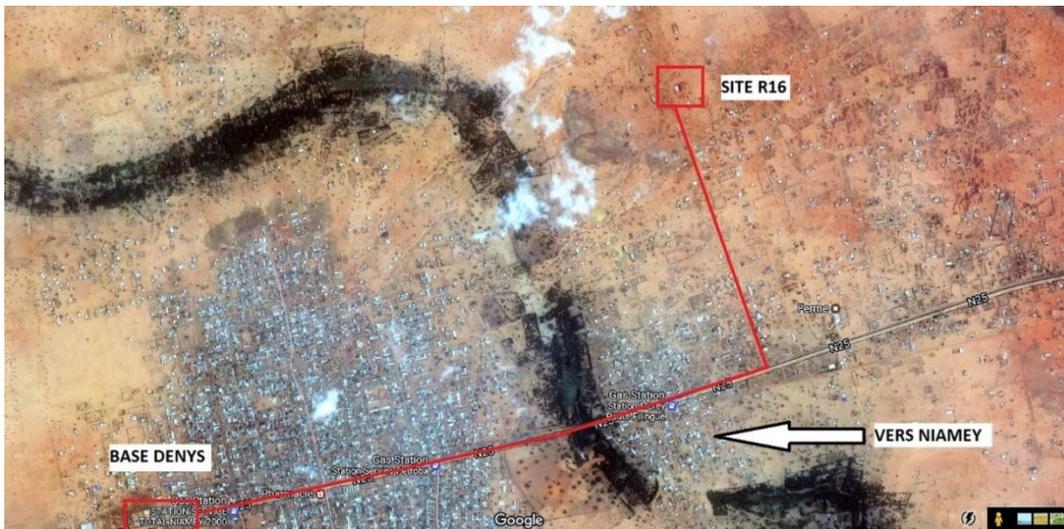


Figure 3:Présentation du site du projet (Source : Google Earth)

## 2. Données climatiques

Le climat est celui de la région de Niamey qui est de type sahélo-soudanien, caractérisé par deux saisons principales :

- Une saison sèche d'Octobre à Mai durant laquelle souffle l'harmattan, vent chaud et sec de secteur Nord-Est à Est :
  - De novembre à février, le climat est relativement sec et froid, les températures moyennes n'excédant pas 20°C. Au cours de cette période, l'harmattan souffle du Nord-Est au Sud-Ouest et provoque la mise en suspension des particules de poussière.
  - Les plus fortes températures sont enregistrées pendant les mois de mars-avril et mai, les températures maximales moyennes sont de l'ordre de 45°C. (DMN, 2013)
- La saison des pluies dépend du régime de mousson qui s'approche par le Sud-Ouest. Elle commence en fin Mai et continue jusqu'en fin Septembre, mais les pluies sont plus abondantes entre Juillet et Août. Les précipitations moyennes annuelles enregistrées dans la ville de Niamey, varient entre 200 mm et 650 mm (DMN, 2013).

### **3. Division administrative**

La ville de Niamey est subdivisée en cinq (05) communes : les communes I, II, III, et IV se trouvent toutes sur la rive gauche du fleuve tandis que la commune V se trouve sur la rive droite. La partie la plus importante de la ville est située sur la rive gauche. Il ressort de cette présentation de la zone d'étude la conclusion suivante :

La zone d'étude est caractérisée sur le plan des ressources en eau par une insuffisance des eaux souterraines compte tenu du contexte géologique présentant le socle dans une partie de la ville. Par contre, la zone a un bon potentiel en eau de surface par la présence du fleuve. Sur le plan socio-économique, la ville de Niamey est marquée par une forte croissance démographique et d'énormes activités économiques.

### **4. Relief, sols et hydrogéologie**

La géologie dans la région de Niamey est groupée en trois (3) formations géologiques, à savoir :

- **Le socle :**

Le socle du Liptako est la formation géologique la plus profonde appartenant à la province birimiène de l'Afrique de l'Ouest. Il est composé de roches plutoniques (granites, granulites) et métamorphiques (génisses, quartzites, schistes verts) dans des états différents d'altération.

▪ **Le grès Continental Terminal :**

Le Grès Continental Terminal (CT), est la formation la plus jeune du bassin des Iullemmeden. Dans ce bassin, les aires de sédimentation se sont progressivement déplacées du Nord-Est vers le Sud-Ouest au cours des temps géologiques. Le CT de la région de Niamey est constitué d'une alternance de grès plus ou moins argileux et d'argiles versicolores avec intercalations de niveaux d'oolithes ferrugineuses et repose directement sur le socle birimien du Liptako, ou localement, sur les grès du protérozoïque supérieur.

▪ **Les alluvions :**

Les alluvions du fleuve Niger sont composées de sable peu compacté. Dans Bonnot (1998), elles sont décrites comme alluvions indifférenciés colluvions de fond de vallée. Elles sont le produit de la sédimentation fluviale quaternaire du fleuve Niger, notamment pendant ses hautes eaux.

### **1.2.2 Caractéristiques du milieu humain**

#### **1.2.3 Aspects sociaux et démographiques**

La population de la ville de Niamey a connu une forte augmentation vers les années 1980. Elle compte 391 876 habitants en 1988 ; elle est estimée à 707 951 personnes en 2001. La population de la ville de Niamey est estimée à environ 1.011.277 habitants d'après le quatrième recensement général de la population et de l'habitat en 2012. La population de Niamey est constituée de plusieurs ethnies qui sont : Djerma, Haoussa, Peulh, Touareg, Arabes etc.

Le Tableau 1 résume l'évolution de la population de Niamey de l'année 1901 à 2012.

Tableau 1: résumé l'évolution de la population de Niamey de l'année 1901 à 2012.

Evolution de la population de Niamey							
Années	1901	1930	1960	1980	1988	2001	2012
Nombres d'habitants	600	3 000	30 000	250 000	391 876	707 951	1 011 277

**Source** : INS, 2012

**Tableau 2** : Répartition de la population résidente à Niamey par commune (RGPH/2012)

Tableau 2: Répartition de la population résidente à Niamey par commune (RGPH/2012)

Commune	Population
Niamey Arrondissement 1	210 020
Niamey Arrondissement 2	246 898
Niamey Arrondissement 3	163 175
Niamey Arrondissement 4	274 484
Niamey Arrondissement 5	117 000
<b>Total</b>	<b>1 011 277</b>

**Source** : INS, 2012

### 1.1 Aspects économiques

Les aspects économiques de la ville de Niamey reposent sur :

- L'agriculture

Elle est très basée sur les cultures pluviales notamment le riz, le mil, le sorgho, le niébé, le gombo, le maïs et l'arachide. Les cultures pluviales sont tributaires des aléas climatiques et ne durent que 3 à 4 mois ;

La riziculture dont la production se fait en deux campagnes, dans la saison sèche et la saison pluviale ;

Les cultures irriguées : ce sont généralement des légumes qui sont cultivés dans la vallée du fleuve.

- L'élevage

Le cheptel de la région de Niamey est composé des bovins, des caprins, ovin et asins. Il faut noter aussi l'existence d'une ferme avicole dans le quartier de Goudel. Le cheptel est composé de petits et gros ruminants comme l'indique le tableau suivant :

Tableau 3 : présentation du nombre de tête du cheptel

*Tableau 3: présentation du nombre de tête du cheptel*

Année	Bovins	Ovins	Caprins	Camelins	Equins	Asins	UBT
2016							
Nombre	65 502	195 738	111 462	48	303	3 011	100 338

**Source** : DSME, 2016

- La pêche

Niamey est traversée par le fleuve Niger qui lui donne des avantages sur l'exploitation des eaux de surface. La pêche est une activité qui est beaucoup pratiquée dans cette ville et contribue au développement de cette localité.

- L'industrie et le commerce

La création de plusieurs marchés dans la communauté urbaine de Niamey a facilité les relations d'échanges à l'intérieur de cette ville et les autres régions du pays.

Les différentes activités commerciales pratiquées sont principalement le commerce général, le commerce de bétail, le commerce de céréales, le commerce d'hydrocarbure, le commerce de poisson, le commerce des produits maraîchers et le commerce des produits d'artisanat. Dans le domaine de l'industrie, il existe plusieurs sociétés laitières et les sociétés de production des boissons situées dans la zone industrielle de Niamey.

- L'artisanat et le tourisme

La région de Niamey regorge d'énormes potentialités artisanales. On en trouve une diversité des métiers d'artisanat. Ces derniers concernent la maroquinerie, la poterie et la vannerie.

On note aussi l'existence d'un village artisanal dans le quartier Wadata où bon nombre de produits culturels sont fabriqués par des artisans.

Le Musée national Boubou Hama, créé le 18 décembre 1959 est le premier site touristique de cette région. Celui-ci abrite les différentes espèces animales sauvages et une quantité de

collections liées à la culture du pays.

### 1.3 GENERALITES SUR LES OUVRAGES DE STOCKAGE

#### 1.3.1 Définition

Le stockage dans les systèmes d'alimentation en eau potable est l'accumulation en un point de quantité d'eau pour résoudre un problème technique et/ou économique (coût de l'énergie). Le stockage se fait :

- ❑ Aux stations de traitement (bâche de stockage d'eau traitée) ;
- ❑ Aux stations de pompage de reprise (bâche de stockage) pour la surpression en route ;
- ❑ Sur le réseau de distribution.

Sur le plan hydraulique, le stockage peut être :

- ❑ Un réservoir : ouvrage posé au sol, semi-enterré, enterré ;
- ❑ Un château d'eau : ouvrage surélevé selon les besoins, dont la hauteur peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.

Au niveau du matériau de construction, les stockages sont en béton armé, en béton précontraint, en acier, en matières plastiques.

#### 1.3.2 Rôles et fonctions des réservoirs

Les réservoirs d'eau sont, en général, nécessaires pour pouvoir alimenter convenablement une agglomération en eau potable. Ils sont principalement imposés par la différence entre le débit de captage ou de refoulement d'eau (plutôt constant) et le débit d'eau consommé par l'agglomération (variable en fonction de l'heure de la journée).

En principe, les réservoirs se différencient d'après leur position par rapport au sol : réservoirs posés au sol, semi-enterrés ou enterrés et réservoirs surélevés.

Par rapport au réseau d'approvisionnement, ils peuvent aussi être groupés en deux types :

- Réservoirs de passage (placés entre le captage et le réseau de distribution de l'eau) ;
- Réservoirs d'équilibre (placés à la fin du réseau de distribution).

On peut regrouper les diverses fonctions des réservoirs sous cinq rubriques principales :

- ♣ Un réservoir est un régulateur de débit entre le régime d'adduction (déterminé par le pompage et/ou le traitement) et le régime de distribution (déterminé par la courbe de consommation). Il permet alors de transformer, de point de vue de la production et du pompage, les pointes de consommation horaire en demande moyenne. D'où des économies d'investissement pour tous les ouvrages situés à l'amont du réservoir. D'autre

part, les stations de pompage ne peuvent pas suivre exactement les variations de la demande en eau.

- ♣ Un réservoir est un régulateur de pression en tout point du réseau. Il permet de fournir aux abonnés une pression suffisante et plus ou moins constante, indépendamment de la consommation. En effet, la pression fournie par les stations de pompage peut varier : au moment de la mise en marche et de l'arrêt, coupure ou disjonction du courant, etc. Si la côte du réservoir ne permet pas de fournir une charge suffisante à toute l'agglomération, il sera nécessaire de construire un réservoir surélevé (ou château d'eau).
- ♣ Un réservoir est un élément qui assure le temps de contact nécessaire à l'action des produits de désinfection et d'équilibrage physico-chimique de l'eau, et constitue une réserve utile pour les besoins in situ (lavage des filtres, rinçage des décanteurs) dans les stations de traitement.
- ♣ Un réservoir est un élément de sécurité vis-à-vis des risques d'incendie, de demande en eau exceptionnelle ou de rupture momentanée de l'adduction (panne dans la station de pompage, rupture de la conduite d'adduction, arrêt de la station de traitement).
- ♣ Un réservoir a une fonction économique, puisqu'il permet une certaine adaptation du fonctionnement du pompage de telle façon à optimiser l'ensemble adduction + réservoirs (moins de consommation d'énergie électrique pendant les heures de pointe, pompes refoulant un débit constant correspondant au rendement maximum).

Compte tenu des multiples fonctions d'un réservoir, il reste très souvent difficile et surtout coûteux de lui trouver un substitut complet. Certes, l'eau peut être injectée directement dans le réseau avec des débits variables selon les besoins, avec un système de gestion en temps réel de la station de pompage (automatisation du fonctionnement). Au Burkina Faso, comme au Niger, actuellement, toutes les grandes villes sont alimentées par des réservoirs.

Un réservoir n'est donc pas indispensable, mais il reste la solution la plus économique.

## **II. CHAPITRE II : APPROCHE METHODOLOGIQUE ADOPTEE**

### **2.1 RECHERCHE DOCUMENTAIRE**

Elle a consisté à la collecte de la documentation au niveau de la SPEN, de l'Institut National de la Statique (INS). Elle a permis de cerner les études antérieures réalisées dans la zone du projet relatives à la conception des adductions d'eau potable en milieu urbain et d'avoir les chiffres exacts de la population concernée par cette présente étude.

### **2.2 ACQUISITION, TRAITEMENT ET CONTROLE DES DONNEES**

La documentation collectée a permis de faire une synthèse bibliographique qui s'articule autour des habitudes de consommation des populations de la ville de Niamey au niveau des différents types de branchement, son contexte socio-économique, et le fonctionnement général du réseau d'approvisionnement en eau potable de la ville de Niamey.

### **2.3 VISITES DE TERRAIN ET VALIDATION DES DONNEES**

- Cette partie premièrement a consisté à faire des études géotechniques avec le Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (LNTPB) dans le but confirmer ou d'infirmer les études précédentes faites dans sur le site d'implantation du réservoir R16 et de déterminer la capacité portante des sols destinés à la fondation ;
- Visites sur les sites de quelques châteaux d'eau qui ont permis de cerner le fonctionnement des châteaux d'eau à Niamey ; en plus elle nous a bien permis de comprendre le fonctionnement du réseau général ;
- Enquêtes socio-économiques des quartiers bénéficiaires du château d'eau qui nous a permis de comprendre combien la population est contente de ce projet d'extension en eau potable et est prête à aider l'entreprise en cas de besoin ;
- Dernièrement elle a consisté à implanter le chantier avec des données topographiques et aussi la prise des données avec la météo nationale et le laboratoire permettant de faire la conception et le dimensionnement du réservoir.

La fin la visite de terrain est marquée par le suivi et contrôle des travaux d'exécution du réservoir en béton armé.

## **2.4 DIAGNOSTIC DU SYSTEME ACTUEL D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA ZONE D'ETUDE**

La population de la zone d'intervention du réservoir rencontre beaucoup de difficultés pour leur approvisionnement en eau potable. Les systèmes d'alimentation en eau disponible sont des forages privés et des puits traditionnels. Cependant il n'existe aucun réseau AEP dans cette localité.

## **2.5 MATERIELS UTILISES**

Après acquisition de toutes les données nécessaires à la conception, les présents outils nous ont accompagnés pour le dimensionnement du château d'eau il s'agit :

- ❖ D'un programme Excel pour les calculs des armatures
- ❖ Du logiciel Autocad pour les dessins d'exécutions
- ❖ Qgis pour la cartographie de la zone d'étude
- ❖ Des logiciels bureautiques (Word, Power Point)

### III. CHAPITRE III : DETERMINATION DE LA DEMANDE EN EAU ET LA CAPACITE DU RESERVOIR

#### 3.1 DIAGNOSTIC DU SYSTEME ACTUEL D'ALIMENTATION EAU POTABLE DE LA ZONE D'ETUDE

##### 3.1.1 Points d'eau et infrastructures d'adduction en eau potable existants

Le quartier de Niamey 2000 qui regroupe les quartiers de Sarry Koubbou et Sagafandou, fera l'objet d'une densification pour l'amélioration des conditions de vie de ces deux autres quartiers. Les points d'eau existant dans ce quartier sont les branchements privés et des bornes fontaines. Il faut savoir que dans ce quartier beaucoup d'habitants n'ont pas de branchement d'eau et son seul réseau d'eau potable existant est alimenté par le réservoir R12 sur tour de 2000 m<sup>3</sup>. Quant aux autres quartiers périphériques Sagagorou et Kogorou, les points d'eau existants sont des puits traditionnels et quelques forages privés ; il n'existe aucun réseau d'eau potable dans ces deux quartiers.

##### 3.1.2 Evaluation des besoins et demandes en eau actuels et futurs

##### 3.1.3 Evaluation des consommations domestiques

Les besoins en eau à l'échelle d'une ville sont composés non seulement des besoins en eau domestiques, mais aussi des besoins annexes. Les besoins en eau dits besoins annexes regroupent les consommations en eau des services administratifs, les édifices publics, les commerces et les industries. Le tableau suivant résume la consommation en eau de Niamey par catégorie d'abonnés.

Tableau 4: Consommation en eau à Niamey par catégorie d'abonnés

Besoins en eau	Catégorie d'abonnés	Nbres en 2016	Nbres en %	Consommation en eau (m <sup>3</sup> ) 2016	Consommation en eau par jour	Estimation en pourcentage des besoins en eau
Besoins domestiques	Abonnés privés + Sociaux	183595	95.94	42 709 133	646 l/BP/jr	81.98%
	Bornes fontaines	3 569	1.86	9 745 032	7584 l/BF/jr	
Besoins annexes	Administration					18.02%

	et collectivités	1 583	0.83	7 798 951	13 685 l/u/jr	
	Commerciaux, industries, représentation diplomatiques	2 616	1.36	3 731 087	3962 l/u/jr	
<b>Total</b>		<b>191 363</b>	<b>100%</b>	<b>63 984 203</b>		<b>100%</b>

Source : SEEN, 2016

Après analyse du tableau précédent on constate les consommations suivantes :

- 64 l/j/ BP pour une moyenne de 10 personnes par branchement
- 15 l/jr/BF pour une moyenne de 500 personnes par borne fontaine

Par la suite, les besoins annexes représentent environ 18 % de la consommation totale en 2016 à Niamey. Les quartiers Sagagorou et Kogorou ne possèdent pas des sociétés industrielles grandes consommatrices d'eau, mais à la longue ces sociétés peuvent s'installer donc nous considérons les besoins annexes à 18% des besoins domestiques.

### 3.1.4 Evaluation des consommations non domestiques

Ici, nous avons le nombre d'habitant par quartier qui nous permettra de faire nos différentes études :

Tableau 5: Situation démographique des trois quartiers périphériques

Quartiers	Habitants (2012)
SAGAGOROU	24 200
KOGOROU	8 160
NIAMEY 2000	18 700

Source : RGPH, 2012

### 3.1.5 Evaluation des besoins en eau potable des populations

Les paramètres qui entrent généralement dans les calculs des besoins en eau potable lors du dimensionnement d'un système d'AEP sont :

- La population à desservir ;
- La consommation unitaire globale (consommation spécifique par habitant et par jour) et son évolution au cours du temps ;
- Les variations saisonnières et journalières de la consommation unitaire globale.

### 3.1.6 Taux d'accroissement de la population

Le taux d'accroissement moyen annuel de la population au Niger est estimé à 3.9 % d'après le quatrième recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) en 2012. Cependant, ce recensement a estimé un taux de 2.9 % pour la population de la ville de Niamey. Nous retiendrons la valeur de 2.9 % dans la suite de calculs pour l'évaluation de la population des quartiers périphériques de la ville de Niamey.

### 3.1.7 Echéance du projet d'extension

Dans le cadre des projets d'AEP, l'échéance du projet est souvent fixée à 20 ans avec deux phases de 10 ans environ. L'horizon du projet d'extension en eau de la ville de Niamey sera fixé à 20 ans qui correspond à l'année 2037 avec l'année 2017 comme origine du projet.

### 3.1.8 Estimation de la population à l'horizon du projet

La population à l'année considérée  $P_n$  (échéance du projet) est déterminée en fonction de la population d'une année de référence  $P_0$ , pour laquelle la population est connue et du taux d'accroissement de la population. Le nombre d'habitants à l'horizon du projet est déterminé par l'Equation 1. Le tableau 3 résume les résultats de l'application numérique.

$$P_n = P_0(1 + a)^n \dots \dots \dots (1)$$

Tableau 6: Effectif de la population à l'horizon du projet

Quartiers	Population (2012)	Population (2017)	Population (2027)	Population (2037)
SAGAGOROU	24 200	27 919	37 157	49 454
KOGOROU	8 160	9 414	12 529	16 675
NIAMEY 2000	18 700	21 573	28 713	38 214
<b>Total</b>		58 906	78 399	104343

### 3.1.9 Typologie des abonnés du réseau d'eau potable

Le renforcement du système d'AEP, permettra la desserte en eau des populations à travers les branchements privés (BP) et les bornes fontaines (BF). Le rapport technique et contrat de performance de la société d'exploitation des eaux du Niger (SEEN) évalue à 78.75% le pourcentage des habitants qui sont desservis à travers les BP et 21.25% celui des habitants qui s'approvisionnent par les bornes (BF). Les résultats du calcul du nombre de la population par type de branchements sont présentés dans le tableau 7

Tableau 7: répartition de la population selon le type de branchement

Désignation	Population desservie par branchement privé	Population desservie par bornes Fontaines
Pourcentage	78.75% de la population totale	21.25% de la population totale
Population concernée à l'horizon du projet (2037)	82 170 hbts	22 173 hbts

### 3.1.10 Consommation spécifique (Cs)

La consommation spécifique (Cs) est la consommation unitaire globale en eau par habitant et par jour. Nous travaillerons avec les valeurs proposées par la SEEN qui précise que la consommation spécifique s'élève à :

- 64 litres/jour/habitant pour les habitants possédant les branchements privés avec une moyenne de 10 personnes par branchement ;
- 15 litres/jour/habitant pour la population qui s'approvisionne en eau par les bornes fontaines avec une moyenne de 500 personnes par borne fontaine.

On retiendra un accroissement annuel de 2% sur la consommation spécifique moyenne. Cependant la consommation spécifique serait plafonnée à 95 [l/j/hbt] au niveau des branchements particuliers et à 22 [l/j/hbt] au niveau des bornes fontaines.

### 3.1.11 Besoins journaliers moyens de la population ( $B_{jm}$ )

Il est constitué des besoins domestiques et non domestiques. Les besoins domestiques regroupent les besoins au niveau des branchements particuliers et des bornes fontaines. Les besoins non domestiques concernent les besoins sociaux (écoles, hôpitaux, bâtiments administratifs), les besoins industriels (abattoirs, boulangeries, laitières etc...) Et collectifs (hôtels).

$$B_{jm} = B_{jm\_dom} + B_{jm\_non-dom}$$

$$B_{jm\_dom} = B_{j\_BP} + B_{j\_BF} = P_n \times (\%_{BP} \times C_{s\_BP}^n + \%_{BF} \times C_{s\_BF}^n)$$

$$B_{jm\_non-dom} = B_{jm\_dom} \times 0.18$$

Tableau 8: Evolution des consommations au niveau des bornes fontaines

Année	2 017	2 020	2 022	2 027	2 030	2 033	2 037
Population	58 906	64 181	67 957	78 399	85 420	93 069	104 344
Taux de dessert des BF	<b>7,8%</b>	<b>10,0%</b>	<b>12,5%</b>	<b>15,0%</b>	<b>17,5%</b>	<b>20,0%</b>	<b>21,25%</b>
Population desservie par les BF	4 623	6 418	8 495	11 760	14 948	18 614	22 173
Nombre de personnes/BF	500	500	500	500	500	500	500
Nombre de Bornes Fontaines	10	13	17	24	30	38	45
Consommation spécifique des BF	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,021	0,022
Besoins journaliers moyens des BF [m <sup>3</sup> /j]	69,3	102,2	140,7	215,0	290,1	383,3	494,2

Tableau 9: Evolution des consommations au niveau des branchements privés

Année	2 017	2 020	2 022	2 027	2 030	2 033	2 037
Population	58 906	64 181	67 957	78 399	85 420	93 069	104 344
Taux de dessert des BP	<b>29,1%</b>	<b>37%</b>	<b>41%</b>	<b>54%</b>	<b>61%</b>	<b>69%</b>	<b>78,75%</b>
Population desservie par les BP	17 130	23 446	28 201	42 270	52 419	64 047	82 171
Nombre de personnes/BP	10	10	10	10	10	10	10
Nombre de Branchements Privés	1 713	2 345	2 820	4 227	5 242	6 405	8 217
Consommation spécifique des BP	0,064	0,068	0,071	0,078	0,083	0,088	0,095
Besoins journaliers moyens des BP [m <sup>3</sup> /j]	1 096,4	1 592,4	1 992,7	3 297,7	4 339,8	5 627,0	7 806,2

Tableau 10: Evolution des besoins journaliers moyens de la zone d'étude

<b>BF + BP</b>	Taux de dessert du réseau	<b>36,9%</b>	<b>46,5%</b>	<b>54,0%</b>	<b>68,9%</b>	<b>78,9%</b>	<b>88,8%</b>	<b>100,0%</b>
	Besoins moyens domestiques	1 165,7	1 694,6	2 133,4	3 512,7	4 629,9	6 010,3	8 300,4
<b>Act Socio-Economiques</b>	Taux de consommation	18,0%	18,0%	18,0%	18,0%	18,0%	18,0%	18,0%
	Besoins moyens activités Socioéconomiques	210,1	305,4	384,4	633,0	834,3	1 083,1	1 495,7
<b>Besoins</b>	Besoins moyens journaliers de la zone en provenance du réseau (Bjm)	1 375,7	1 999,9	2 517,8	4 145,7	5 464,1	7 093,4	9 796,2

A l'horizon du projet, les besoins journaliers moyens de la zone du projet s'élèvent à 9796.2 [m<sup>3</sup>/j]. L'extension du réseau dans les nouveaux quartiers et le renforcement dans le quartier Niamey 2000 concernent la réalisation de 45 nouvelles bornes fontaines et environ 8 217 nouveaux branchements privés.

### 3.1.12 Estimation des coefficients de pointes saisonnier et journalier et besoins du jour de pointe

Les besoins en eau du jour de pointe correspondent à la quantité d'eau la plus importante sollicitée par la population au cours de l'année. Pour l'estimer, nous allons estimer les différents coefficients de pointe en se référant à la capacité totale de production des anciennes usines. Le tableau 5 présente la production des usines de traitement de la ville de Niamey.

Tableau 11: Capacité de production des usines de traitement d'eau à Niamey

Mois de Pointe			
Usine de production	Volume moyen mis en distribution (Djmp) (m <sup>3</sup> )	Volume mis en distribution le jour de pointe (Djp) (m <sup>3</sup> )	Capacité nominale de production (m <sup>3</sup> /j)
Yantala	26 184	31 944	30 000
Goudel	99 737	108 635	85 000
Volume d'eau total (m <sup>3</sup> )	<b>125 921</b>	<b>140 579</b>	<b>115 000</b>

Source : SPEN, 2016

Les données de ce tableau permettent d'estimer les coefficients de pointe saisonnière (K<sub>ps</sub>) et journalière (K<sub>pj</sub>) de la zone d'étude. On obtient :

$$C_{pj} = \frac{B_{jmp}}{B_{jm}} = \frac{\text{Consommation du jour de pointe}}{\text{consommation journaliere moyenne du mois de pointe}} = 1.116$$

$$C_{ps} = \frac{B_{jmp}}{B_{jm}} = \frac{\text{Consommation journaliere moyenne du mois de pointe}}{\text{consommation journaliere moyenne de l'année}} = 1.095$$

Les besoins du jour de pointe deviennent :

$$B_{jp} = B_{jm} \times K_{ps} \times K_{pj}$$

$$B_{jp} = B_{jm} \times C_{pj}$$

### 3.1.13 Demande en eau du jour de pointe (D<sub>jp</sub>)

Elles tiennent compte des pertes d'eau dans le réseau. Il s'agit des pertes de traitement (eau perdue avec les boues lors des purges des décanteurs, eau de service utilisée pour le lavage des filtres et des décanteurs, les fuites obligatoires des pompes de refoulement) et des pertes de distribution (les fuites constatées sur le réseau de distribution lui-même, branchements clandestins). Ainsi, en raison de la nouveauté du réseau, on peut estimer un rendement de 96% pour la station de traitement et 93.5% pour le réseau de distribution soit une moyenne de 90% pour le rendement global du réseau.

$$D_{jp} = \frac{B_{jp}}{\eta_t \times \eta_{dis}}$$

Tableau 12: Evolution des besoins et demandes du jour de pointe de la zone d'étude

Demandes	Année	2 017	2 020	2 022	2 027	2 030	2 033	2 037
	Population	58 906	64 181	67 957	78 399	85 420	93 069	104 344
	Coefficient de pointe saisonnier : Kps	1	1	1	1	1	1	1
	Besoins journaliers moyens du mois de pointe (Bj <sub>mp</sub> )	1 375,7	1 999,9	2 517,8	4 145,7	5 464,1	7 093,4	9 796,2
	Coefficient de pointe journalier : Kpj	1,116	1,116	1,116	1,116	1,116	1,116	1,116
	Besoins du jour de pointe (Bj <sub>p</sub> )	1 535,3	2 231,9	2 809,9	4 626,6	6 098,0	7 916,2	10 932,5
	Rendement global du réseau	95,0%	95,0%	95,0%	94,0%	93,0%	92,5%	90,0%
	Demande du jour de pointe	1 616,1	2 349,4	2 957,8	4 921,9	6 557,0	8 558,1	12 147,3

### 3.1.14 Estimation du débit moyen et pointe horaire de distribution du réservoir R16

La zone d'influence du réservoir R16 est Sagagorou et Kogorou. Ainsi la demande du jour de pointe de la zone d'influence est :

$$D_{jp} = D_{jp\_total} \times \frac{Pop_{zone\_inf}}{Pop_{tot}} = 12\,147,3 \times \frac{49\,454 + 16\,675}{104\,343} = 7698,54 \text{ m}^3/jr$$

Le temps de distribution est de 24h/jour. Le tableau ci-dessous illustre les débits de pointe de distribution.

Tableau 13: débits de pointe horaire de distribution

Réseau de distribution	Année	2 017	2 020	2 022	2 027	2 030	2 033	2 037
	Volume total distribué	2 842,9	3 582,2	4 157,1	5 305,5	6 071,5	6 837,5	7 698,5
	Débit moyen horaire	118,46	149,26	173,21	221,06	252,98	284,90	320,77
	Cph	1,73	1,70	1,69	1,67	1,66	1,65	1,64
	Débit de pointe horaire de distribution [m <sup>3</sup> /h]	204,89	254,43	292,72	368,76	419,23	469,54	525,93

### 3.1.15 Estimation de la capacité du réservoir R16

Réseau d'adduction d'eau traitée	Année	2 017	2 020	2 022	2 027	2 030	2 033	2 037
	Temps de refoulement [h]	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00	20,00
	Débit de refoulement d'eau traitée	296,14	310,96	309,31	345,41	351,36	356,12	384,93

Le temps de refoulement de l'eau traitée est de 20h/jr à l'horizon du projet. Ainsi, le débit de refoulement de l'eau traitée est :

$$Q_{ref} = \frac{D_{jp}}{20} = \frac{7698.5}{20} = 384.93 \text{ m}^3/h$$

Le profil de consommation de la zone d'étude est assimilé au profil ci-dessous du tableau 14 :

Tableau 14: profil de consommation de la zone d'étude.

Les habitudes de la consommation des populations de la ville de Niamey sont similaires à celle des grandes villes africaines.

Période	0 - 2h	2h - 4h	4 h - 6h	6 h - 8h	8 h - 10h	10 h - 12 h	12h - 14h	14h- 16h	16h- 18h	18h- 20h	20h- 22h	22h - 00h
Coef horaire	0.06	0.060	0.060	2.10	1.90	1.20	1.50	0.90	1.60	1.50	1.10	0.060

Le calcul de la capacité utile et maximale du réservoir R16 par la méthode analytique a donné les résultats mentionnés dans le tableau ci-dessous. Les détails de calcul sont contenus dans la note de calcul de l'annexe 3.

Tableau 15: illustration de la capacité maximale du réservoir

D'après le cour de Béga OUEDRAOGO sur les réservoirs la capacité utile du réservoir (réserve de distribution) est déterminée par :

$$C_U = \text{abs} (\text{déficit Max}) + \text{Excedent Max}$$

Réserve de distribution [m <sup>3</sup> ]	1 469.8				
Réserve incendie [m <sup>3</sup> ]	120.0				
Capacité utile du réservoir [m <sup>3</sup> ]	1 589.8				
Capacité maximale du réservoir (20%)	1907.8				
Capacité retenue du réservoir	2000.0				
Temps de contact du chlore [h]	2.97	Supérieur à 2 heures			OK
Temps de séjour du chlore [h]	6.23	Inférieur à 48 heures			OK

### 3.1.16 Justification du type de réservoir

La ville de Niamey présente des altitudes moins élevées donc le choix des châteaux d'eau pour le stockage des eaux potables est plus que nécessaire.

Les châteaux d'eau sont des ouvrages permettant de faire le stockage de l'eau destinée à la distribution. Ils permettent d'adapter la production à la consommation qui subit des fluctuations importantes au cours de la journée. Le château d'eau joue un rôle tampon entre l'offre et la demande :

- Quand l'offre est plus élevée que la demande, le surplus est stocké dans le réservoir ;
- Quand la demande dépasse l'offre, le complément est apporté par le réservoir.

Il assure l'écoulement gravitaire dans le réseau de distribution. Il permet enfin, d'avoir un temps de contact nécessaire pour les désinfectants comme le chlore. Il doit être située dans un endroit où il y a moins des contraintes environnementales, et au niveau d'un point haut pour minimiser sa hauteur d'élévation lors de la construction tout en garantissant la pression minimale de service requise à tous les nœuds.

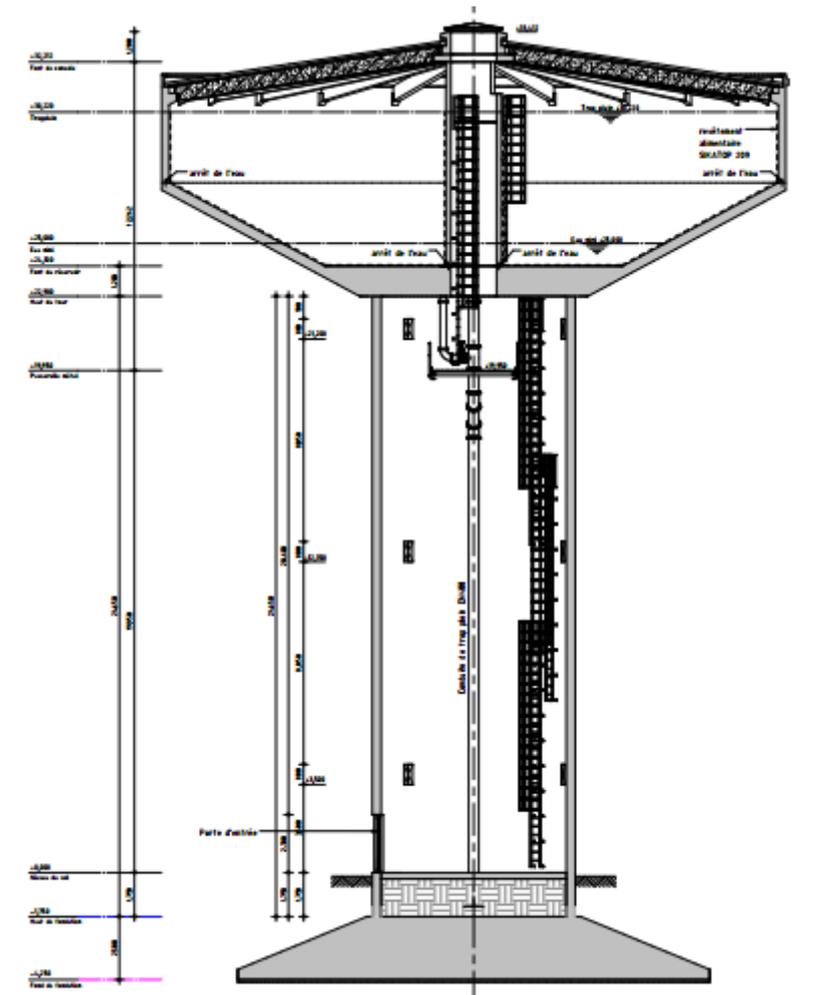
## IV. CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT EN BETON ARME DES ELEMENTS DU RESERVOIR

### 4.1 PREMIERE PARTIE : CONCEPTION ARCHITECTURALE

Cette partie vise à faire la conception géométrique du château d'eau en vue d'assurer une capacité de stockage de 2000m<sup>3</sup>. Nous allons opter pour une forme cylindro- tronconique car c'est cette dernière que l'entreprise Denys est en train de construire afin de faire une comparaison entre nos méthodes de calculs apprises et celle de l'entreprise et d'en tirer des conclusions.

#### 4.1.1 Données dimensionnelle et architecturales

- Ceinture supérieur :  $0.6\text{ m} \times 0.80\text{ m}$
- Ceinture inferieure :  $0.5\text{ m} \times 0.4\text{ m}$
- Fleche de la coupole :  $f = 2.60\text{ m}$
- Rayon de courbure de la coupole :  $R_{\text{courbure}} = 29\text{ m}$
- Diamètre de la petite base de la cuve de la partie tronconique :  $D_{\text{int}} = 11.752\text{ m}$  ;  $D_{\text{ext}} = 12.352\text{ m}$
- Diamètre de la grande base de la cuve de la partie tronconique :  $D_{\text{int}} = 24\text{ m}$  ;  $D_{\text{ext}} = 24.600\text{ m}$
- Diamètre de la partie cylindrique de la cuve :  $D_{\text{int}} = 24\text{ m}$  ;  $D_{\text{ext}} = 24.600\text{ m}$
- Diamètre de la cheminée :  $D_{\text{int}} = 1.8\text{ m}$  ;  $D_{\text{ext}} = 2.2\text{ m}$
- Epaisseur de la coupole de couverture :  $e = 0.20\text{ m}$
- Epaisseur de la paroi de la cuve :  $e = 0.30\text{ m}$
- Epaisseur de la dalle de fond :  $e = 1.2\text{ m}$
- Epaisseur de la tour :  $e = 0.30\text{ m}$
- Epaisseur de la paroi de la cheminée :  $e = 0.20\text{ m}$
- Hauteur totale de la cuve :  $h = 10.50\text{ m}$
- Hauteur de la cuve cylindrique :  $h = 3\text{ m}$
- Hauteur de la cuve tronconique :  $h = 3\text{ m}$



Elément de volume	Dmension (m)	Formules	Volumes (m3)
La cuve Tronconique		$V_{Cuve} = \frac{\pi * h}{3} (R^2 + r^2 + R * r)$	776,73
h	3		
R	12		
r	5,8		
La cuve Cylindrique		$V_{Cuve} = \pi * R^2 * H$	1357,17
h	3		
R	12		
La cheminée		$V_{Cheminée} = \pi * r^2 * h$	23,67
h	9,3		
r	0,9		
Volume d'eau dans la cuve		$V_{eau} = V_{cuve} - V_{cheminée}$	2110

Nous aurons à dimensionner un réservoir d'une capacité maximale de stockage d'environ 2100 m<sup>3</sup>

- Etanchéité

La cuve recevra un complexe d'étanchéité de type résine polyuréthane bi-composant sans solvant à très hautes performances qui sera adhérente sur béton. Cette étanchéité devra donc assurer la protection du béton et être préconisée dans le cadre de cuves de réservoir, pour le cas de cet ouvrage il est préférable de s'orienter vers un produit de la société NORCO SA, à savoir le NOR 60 préconisé dans le cadre de l'étanchéité de réservoirs.

- Effets climatiques

Il est bien normal que la température et le vent agissent sur le réservoir comme sur toute autre construction, surtout si le réservoir est surélevé.

- Etude des sols et fondations

Cette étude a pour objectif principal de déterminer :

- La nature des sols des fondations ;

Par définition, on appelle « **fondation** » tout élément d'une construction destiné à transmettre au sol les charges provenant de la superstructure. Lorsque le terrain résistant se trouve à une faible profondeur et qu'il est facilement accessible, on établit la fondation directement sur le sol à proximité de la surface. On réalise alors, en général, un empattement ou élargissement de la base des murs ou des piliers. Les fondations sont placées en fonction de leurs profondeurs d'ancrage et de leur base. On distingue :

$\frac{D}{B} \leq 4$  Fondations superficielles

$4 \leq \frac{D}{B} < 10$  Fondations semi profondes

$\frac{D}{B} \geq 10$  Fondations Profondes

En pratique courante nord-américaine, on considère comme fondation superficielle, toute fondation telle que :  $\frac{D}{B} \leq 1$

Pour notre cas  $\frac{D}{B} < 1$  alors nous avons une fondation superficielle.

Parmi les fondations superficielles, on distingue les semelles des radiers. Les **semelles** sont de dimensions limitées, elles peuvent prendre l'aspect de dalles carrées, rectangulaires ou circulaires, situés sous des poteaux, ce sont les « **semelles isolées** ». Elles peuvent aussi avoir une très grande longueur, L, si elles supportent un mur ou une paroi, mais leur largeur reste limitée ; on leur donne le nom de « **semelle filante** » de largeur B et de longueur

infinie.

Les **radiers** ont des dimensions notables aussi bien en largeur qu'en longueur. Ce sont des dalles carrées ou rectangulaires de grande surface. Ils s'imposent :

- Si la résistance du sol est faible ce qui est pour notre cas 2.3 bars déterminée par le laboratoire national des travaux publics et du Bâtiment de Niamey (voir annexe 2 pour les résultats géotechnique)
- Si les ouvrages transmettent des charges importantes conduisant à des semelles dont la surface est voisine de la moitié de celle de la construction.

En conclusion, le type de notre fondation sera en radier général avec un niveau d'assise à -4 m/TN

## 4.2 DEUXIEME PARTIE : DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS CONSTITUANTS LE RESERVOIR

Cette partie vise à faire le dimensionnement de chaque élément constituant le réservoir 16 en béton armé afin de faire une descente de charge et la vérification de la stabilité du réservoir. Les outils de travail sont : un programme Excel et les différents documents d'ingénieurs

### 4.2.1 Hypothèses de l'étude

Chargements

a) Charges prises en compte dans le calcul

✓ Charges permanentes

- Poids propre de la construction
- Étanchéité de couverture = 50daN/m<sup>2</sup>
- Escaliers métalliques
- Équipements

✓ Charges variables

- Liquide contenu : poids volumique : 1000daN/m<sup>3</sup>
- Charges d'entretien de couverture : 100 daN/m<sup>2</sup>

✓ Charges de neige :

- Néant

✓ Charges de vent

- Zone à 57 noeuds de 30 m/s qui équivaut a environ 30 m/s (DMN, 2016).
- Site considéré normal exposé avec coefficient de site égal à 1

b) Combinaisons

✓ Combinaisons aux ELS :

-  $G_{max} + G_{min} + Q_1 + \sum \psi_{0i} Q_i$

✓ Combinaisons aux ELU :

-  $1,35G + 1,5(Q + \psi_{0i}T) + 1,2W$

-  $1,35G + 1,8W + 1,3(Q + \psi_0T)$

-  $G + 1,8W + 1,3\psi_0T$

c) Béton

➤ Classe A d'étanchéité avec dosage du ciment à 350 kg/m<sup>3</sup>

➤ La résistance caractéristique du béton à la compression a 28jours sur une éprouvette cylindrique est de 30 MPa ;

➤ Poids volumique du béton 25 kN/m<sup>3</sup>

➤ L'enrobage est de 3 cm parement exposés aux intempéries contact liquide ou condensation

➤ Résistance caractéristique à la traction du béton à l'ELS :  $\sigma_{bc} = 0.6 \times f_{c28}$

$$\sigma_{bc} = 0.6 \times 30$$

$$\sigma_{bc} = 18 \text{ MPa}$$

➤ Le module de déformation longitudinale instantanée du béton

$$E_{ij} = 11000 \times f_{c28}^{1/3}$$

$$E_{ij} = 11000 \times 30^{1/3} = 34179.56 \text{ MPa}$$

➤ Déformation longitudinale dû au fluage du béton :

$$E_{vj} = 3700 \times f_{c28}^{1/3}$$

$$E_{vj} = 3700 \times 30^{1/3} = 11496.76 \text{ MPa}$$

Cas de la coupole

➤ Résistance caractéristique à la traction du béton à l'ELU :  $f_{t28} = 0.6 + 0.06 \times f_{c28}$

$$f_{t28} = 0.6 + 0.06 \times 30$$

$$f_{t28} = 2.4 \text{ MPa}$$

• Les aciers caractéristiques des aciers utilisés:

➤ HAFE400 avec  $f_y = 400 \text{ MPa}$

➤ Aciers doux FE235 avec  $F_y = 235 \text{ MPa}$

➤ Module d'élasticité  $E_s = 200\,000 \text{ MPa}$

➤ Les différents paramètres de limitation des contraintes de l'acier et béton sont explicités dans le Fascicule 74.

$$\sigma_{st} \leq \text{Min}(\alpha \times \sqrt{\frac{\eta \times f_{t28}}{\phi_s}} + \beta \eta; 0.5 f_e; 90 \sqrt{\eta f_{t28}})$$

$$\alpha = 240 ; \eta = 1.6 ; f_{t28} = 2.4 \text{ MPa et } \beta = 30 ; Fe 400$$

$$\sigma_{st} \leq \text{Min}(240 \times \sqrt{\frac{3.84}{\phi_s}} + \beta \eta ; 0.5 f_e ; 90 \sqrt{\eta f_{t28}})$$

Tableau 16: contrainte admissible de l'acier tendu en fonction du diamètre des aciers

Contrainte admissible des Aciers										
Ø	6	8	10	12	14	16	20	25	32	40
σ <sub>st</sub> (MPa)	176,36	166,28	148,72	135,76	125,69	117,58	105,16	94,06	83,14	74,36

### IV.3 Descentes des charges et dimensionnement des éléments du château

Les éléments en béton armé sont dimensionnés manuellement sur la base des méthodes et hypothèses considérées :

- La super structure selon le BAEL 91 modifié 99, et le fascicule 74 ;
- La fondation (radier général) selon le fascicule 62 titre V et DTU 13.12.

#### IV.3.1 Lanterneau

Le lanterneau c'est la partie situé sur la coupole supérieure. Il est percé de fenêtre qui sert à l'aération et à l'éclairage de la cuve. Il est composé d'une dalle supporté par un voile cylindrique.

La dalle supporte son poids propre et le poids de l'étanchéité, le voile cylindrique supporte le poids de la dalle son poids propre et le poids de l'étanchéité intérieur et extérieur.

Tableau 18 : détermination du poids total du Lanterneau

Tableau 17: détermination du poids total du Lanterneau

Elément		Formule du poids	Poids (kN)
Dalle circulaire au-dessus du voile		$P_1 = \frac{\pi * D^2 * e * \gamma_b}{4}$	14,25
e	0,15		
$\gamma_b$	25		
D	2,2		
Etanchéité sur la dalle circulaire		$P_2 = \frac{\pi * D^2 * e * \gamma_{\text{etancheité}}}{4}$	0,06
$\gamma_{\text{etancheité}}$	0,5		
e	0,03		
Voile cylindrique au-dessus du lanterneau		$P_3 = \frac{\pi}{4} (D_{\text{ext}}^2 - D_{\text{int}}^2) * h * \gamma_b$	27,57
$\gamma_b$	25		
h	1,2		
D <sub>int</sub>	1,8		
D <sub>ext</sub>	2,1		
Étanchéité sur le voile cylindrique		$P_4 = \pi(D_{\text{ext}} - D_{\text{int}}) * h * \gamma_{\text{enduit}}$	0,14
$\gamma_{\text{etancheité}}$	0,5		
h	0,3		
D <sub>int</sub>	1,8		
D <sub>ext</sub>	2,1		
Total		$P_{\text{lanterneau}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$	42,02

Tableau 18: Calcul de la dalle circulaire du Lanterneau

Armature de la Dalle circulaire			
Données		Formule	Poids (KN)
R	1,1	$S_{\text{entreneau}} = \pi * r^2$	3,80
$\theta$	1	$F_{bu} = \frac{0,85 * F_{c28}}{\theta * \gamma_b}$	17
$\gamma_b$	1,5		
$F_{c28}$	30		
$L_X$	2,1		
$L_Y$	2,1	$\alpha = \frac{L_X}{L_Y}$	1
		$\alpha = L_X/L_Y \rightarrow \alpha > 0,4$	
Charge permanente G		$G = \frac{P_1 + P_2}{S}$	3,77
Charge d'exploitation Q		$Q = \frac{P=3,80}{S}$	1
Pu (ELU) en (MN)		$P_u = 1,35G + 1,5Q$	0,01
Calcul des moments en MN.m			
Mox		$M_{oX} = \mu_X * P_u * L_X^2$	0,00
Moy		$M_{oY} = \mu_Y * M_{oX}$	0,00

- D'après le BAEL  $\alpha = \frac{l_x}{l_y} \leq 0.4$  avec  $l_x = l_y = 2.1m$ ,  $\alpha = 1 > 0.4$  la dalle porte sur les deux sens d'épaisseur 15 cm. Donc le calcul se fera comme une poutre rectangulaire de largeur  $b_0 = 1 m$  et de hauteur  $h = 0.15 m$
- $F_{bu} = 17 \text{ MPa}$
- A l'ELU on a  $P_u = 6.58 \times 10^{-3} \text{ MN/m}^2$  et comme  $\alpha = 1$ ,  $\mu_x = 0,037$   $\mu_y = 1$

Tableau 19: calcul des moments limites

Calcul des moments limite			
bo	1	$M_{lim}$	
h	0,15	$M_{lim} = 0,392 * F_{bu} * b_o * d^2$ (MN.m)	0,1214514
d	0,135	$M_{lim} = 0,121 > M_{ox}$	
Section d'Armature			
Fe	400	$A_{ox} = \frac{M_{ox}}{Z * \frac{F_e 400}{\gamma_b}}$	0,254161197
Z	0,1215		6HA8 avec S=3,02cm <sup>2</sup>
$\gamma_s$	1,15		
		$A_{oy} = \frac{M_{oy}}{Z * \frac{F_e 400}{\gamma_b}}$	0,254161197
			6HA8 avec S=3,02cm <sup>2</sup>

Le dimensionnement doit respecter une certaine condition telle que :  $0,125 \%bh_0 \leq A_{st} \leq 2 \%bh_0$  ici  $A_{Smin} = 0,125 \%bh_0$  donc le choix se porte sur 6HA8/ml qui totalise une section de 3.02 cm<sup>2</sup> avec un espacement de 20 cm suivant x et y

Tableau 5 : Calcul de la partie cylindrique du Lanterneau

Cette partie de l'ouvrage sera calculée comme un voile de 1.2 m de hauteur entre la dalle du lanterneau et la coupole. Il est encasté en tête et en pied avec un plancher d'un seul coté

Tableau 20: Calcul de la partie cylindrique du Lanterneau

Armature Partie Cylindrique			
Données		Formule	Poids (KN)
e	0,15	$C = 2\pi * r$	5,97
r	0,95		$C > 5 * e$ (OK)
l (hauteur voile)	1,2	$\lambda = \frac{0,85 * l * \sqrt{12}}{a}$	23,56
a	0,15		Avec $\frac{L_f}{l} = 0,85$
Lf	1,02		0,00
e (excentricité)		$e = \min(0,02m; \frac{L_f}{300})$	
Pu (ELU) (MN)		$P_u = \frac{1,35G+1,5Q}{2\pi r}$	0,01

Vérification de l'application de la méthode

- Longueur «c» du voile est supérieur à 5 fois l'épaisseur donc **ok**
- L'épaisseur doit être supérieure ou égale à 10 cm pour notre cas on à 15 cm **ok**
- L'élancement  $\lambda > 0.80$  pour notre cas  $\lambda = 23.55 > 0.80$  **ok**
- L'excentricité initiale de construction  $e = 0.0034$  m **ok**
- La résistance caractéristique  $f_{c28} = 30$  MPa < 40 MPa **ok**

Combinaison de la charge à donner un Poids utile  $P_u = 0.009755049$  MN/ml

Toutes les conditions d'application de la méthode de voile sont vérifiées pour calculer la paroi de la tour comme un voile.

La charge permanente G = poids de la partie cylindrique + poids de la dalle = 42.02 kN

La charge variable d'exploitation est de  $Q = 1kN$

Tableau 21 : calcul des sections d'aciers

Tableau 21: calcul des sections d'aciers

Section d'Armature			
Calcul de la quantité $V_{uo}=(N_{ulim} \text{ si } A=0)$	$V_{uo} = \frac{65}{135+3,6*\left(\frac{L}{a}\right)^2}$	0,22	
Br	0,13	0,00 <b>Vu&lt;Vuo → Armature min</b>	
K	1		
d	1		
Pulim (MN)		$P_{ulim} = V_{uo} * B_r * F_{c28}$	0,84
$\theta$	1,4	$A_v \geq A_{vmin} = a * d * \text{Max}\left[0,001; 0,0015 * \frac{400*\theta}{Fe} * \left(\frac{3*Pu}{P_{ulim}} - 1\right)\right]$	0,00
Diametre Armature	d' (mm)	$8 \leq d' \leq \frac{h_0}{10} \rightarrow 8 \leq d \leq \frac{100}{10}$	10
ho=epaisseur (mm)	100		Condition vérifiée
Armature horizontale		$A_{hmin} = \text{Max}\left[0,001; \left(\frac{2*A_v}{3}\right)\right]$	2,35

- $V_{uo}$  correspond à la valeur que prend  $N_{ulim}$  quand la section  $A = 0$
- $V_u$  correspond à la valeur que prend  $N_{ulim}$  quand la section  $A \neq 0$

Comme  $V_u = 0.0025 < V_{uo} = 0.2156$  donc le dimensionnement se fera comme un voile armé aux armatures minimales de construction.

- $\theta = 1.4$  pour le voile de rive
- $A_{vmin} = 0.00015 \text{ m}^2 = 1.5 \text{ cm}^2$

Choix des aciers verticaux 7HA8 espacé de 25 cm totalisant  $3.52 \text{ cm}^2$

- Condition du diamètre des armatures

$8 \text{ mm} \leq d \leq \frac{h_0}{10}$  ;  $8 \leq d \leq \frac{150}{10}$  ici on a  $8 \text{ mm} < 15 \text{ mm}$  la condition est vérifiée.

- Armature Horizontale

$A_{hmin} = 2.34 \text{ cm}^2$

Choix : 6HA8 espacés de 20 cm totalisant une section de  $3.02 \text{ cm}^2$  (voir annexe 4)

Tableau 22: Vérification de contrainte limite de compression dans le béton

Verification de la contrainte de compression dans le Beton		
Contrainte du beton (MPa)	$\sigma_b = \frac{P_u}{S} + \frac{P_u}{\pi(D_{ext}-D_{int})}$	0,01
Contrainte limite (MPa)	$\sigma_{blim} = \text{Min}\left[\left(\frac{h_0+0,55}{3} * F_{c28}\right); \frac{130*h_0*F_{c28}^{1/3}}{D}\right]$	7

$$\sigma_b = \frac{Planterneau}{S}$$

$$\sigma_b = 0.01143 \text{ MPa} < \sigma_{blim} = 7 \text{ MPa, OK}$$

### IV.3.2 Coupole de couverture

Comme son nom l'indique, elle sert de couverture à la cuve. Elle supporte des charges permanentes et variables. Les charges permanentes regroupent le poids propre de l'ouvrage, celui de l'étanchéité et comme charge variable il n'y a que la charge d'entretien. Ces charges induisent un effort normal de traction  $N$  décomposé suivant une composante verticale  $P1$  et une composante horizontale  $Q1$ .

➤ Source : HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996),

Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 pages

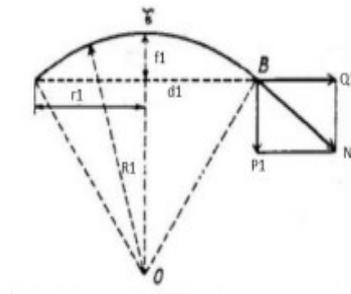


Figure 4 : Coupole supérieure

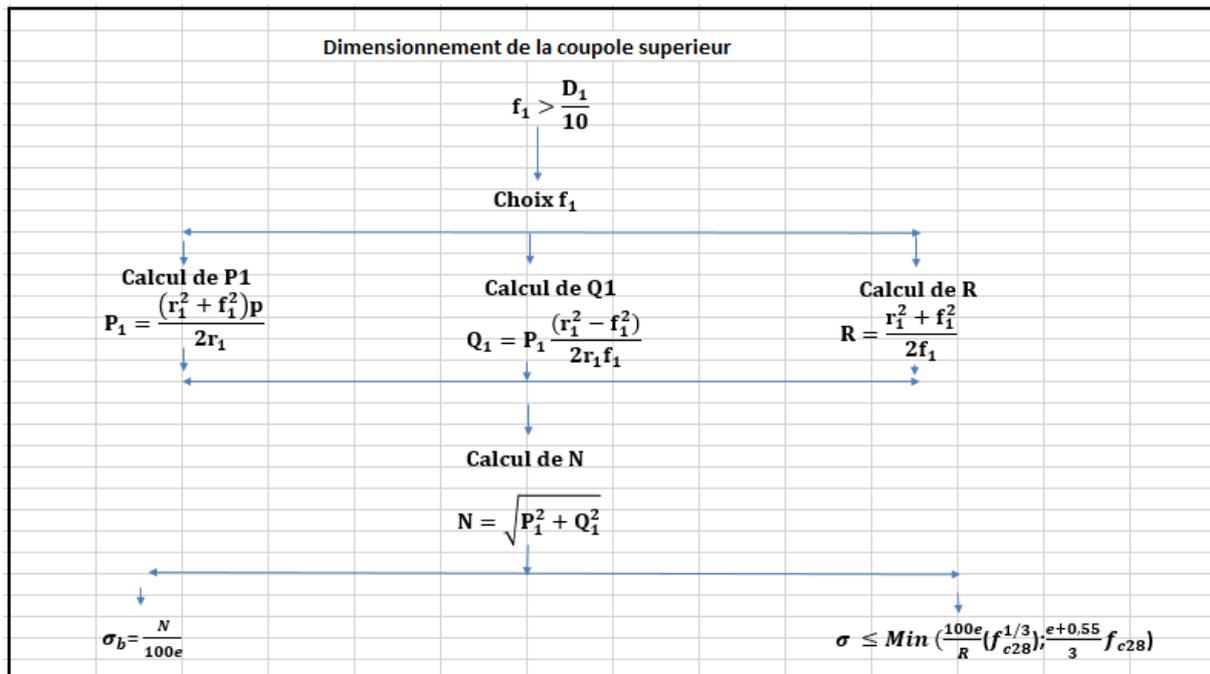


Figure 5: Organigramme du calcul de la coupole supérieure

Figure 2 : Organigramme du calcul de la coupole supérieure

Si  $\sigma > \sigma_b$  prendre une section d'acier minimale égale à 0.2% de la section de béton sinon

changer l'épaisseur du béton.

Notation :

f(m) la flèche

$D_{int}(m)$  le diamètre intérieur

R(m) le rayon de la coupole supérieure

r(m) le rayon de la cuve cylindrique

P(kN/m<sup>2</sup>) la charge par mètre carré de surface

P1 (kN/ml) la charge verticale par mètre linéaire provenant de la coupole supérieure

Q1 (kN/ml) la charge horizontale par mètre linéaire provenant de la coupole supérieure

N (kN/ml) l'effort normal

$\sigma_b$  (MPa) la contrainte dans le béton

e (m) épaisseur de la coupole

$\sigma$  (MPa) la contrainte admissible dans le béton

$f_{c28}$ (MPa) la résistance du béton a 28 jours

$\sigma > \sigma_b$  Alors prendre une section d'acier minimale.

$$\sigma_b = \frac{N}{100 \times e} = \frac{0.04426}{100 \times 0.2} = 2.213 \cdot 10^{-3} = 0.022 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm} \leq \text{Min} \left( \frac{100 \cdot e}{R} (f_{c28})^{1/3} ; \frac{e+0.55}{3} f_{c28} \right) = \text{min} (2.14 \text{ MPa} ; 7.5 \text{ MPa})$$

La contrainte dans le béton est inférieure à la contrainte admissible, donc on prendra comme section d'acier 0.2% de la section du béton.

Tableau 8: calcul du ferrailage de la coupole de couverture

Le calcul du ferrailage se fera sur une bande de 1 m de largeur et de 0.2 m de hauteur

Tableau 23: calcul du ferrailage de la coupole de couverture

LES ACIERS PRINCIPAUX			
e	0,2	$A_{sc} = 0,2\% * B = 0,2\% * (h * l) * 10^4$	4
l	1		
B	0,2		

On a une section d'acier de  $A_{sc} = 4 \text{ cm}^2/\text{m}$  choix des aciers 5HA12 totalisant  $5.65 \text{ cm}^2$  (voir annexe 4) avec un espacement de 20 cm dans chaque direction.

Les appuis du lanterneau exercent un effort de compression sur la coupole donc elle sera renforcé par des armatures chapeaux de même diamètre que les armatures principales. La longueur de ces aciers est :

$$L_{chap} = \text{Max} \left( \text{Max} \left( \frac{1}{4} (Lx ; Ly) \right) ; 40 * \phi \right)$$

$$L_{\text{chap}} = \text{Max} \left( \text{Max} \left( \frac{1}{4} (12 ; 12) \right) ; 40 * 0.012 \right)$$

$$L_{\text{chap}} = 3 \text{ m}$$

La coupole étant soumise à une condensation de l'eau donc la fissuration est donc préjudiciable.

La charge permanente G crée un cisaillement dans la section.

### IV.3.3 Ceinture Supérieure

C'est une poutre servant de liaison entre la coupole supérieure et la cuve (voir figure suivante). Elle reprend linéairement les efforts de traction normaux horizontaux provenant de la coupole supérieure et celui due à la portion de hauteur de l'eau s'exerçant sur la ceinture au cas où ce dernier est immergée. N'étant sollicitée que par des efforts de traction, elle sera dimensionnée comme tirant dont la section de béton à une forme rectangulaire avec les dimensions à déterminer. C'est dans cette section de béton que les aciers de la paroi de la cuve et ceux de la coupole viendront s'ancrer.

- Source : HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996),  
Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 pages

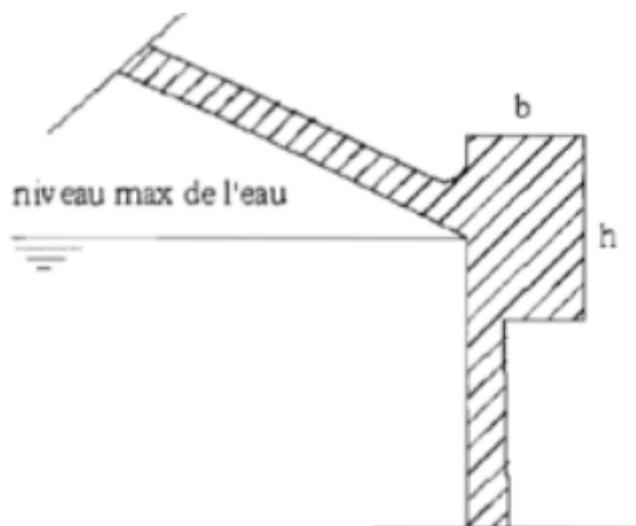


Figure 6: Ceinture supérieure

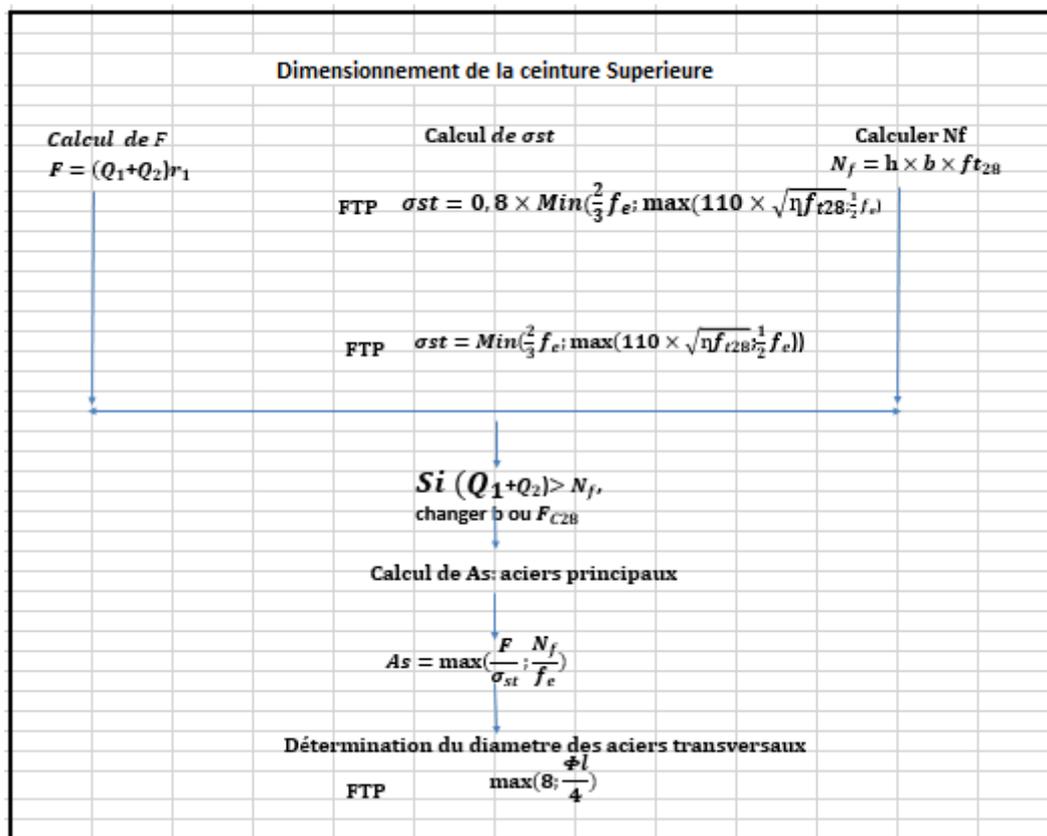


Figure 7: Organigramme de calcul des sections principaux et du diamètre des aciers de

- F (kNm/ml) l'effort de traction dû à la poussée de la coupole supérieure
- $Q_1$ (kN/ml) la charge horizontale par mètre linéaire provenant de la coupole supérieure
- $Q_2$ (kN/ml) la charge due à l'eau au cas où la ceinture est immergée
- r (m) le rayon de la cuve
- $\sigma_{st}$  (MPa) la contrainte admissible de l'acier
- $f_e$  (MPa) la contrainte admissible de l'acier
- $\eta$  Le coefficient de fissuration qui dépend de l'adhérence. Elle est égale à 1.6 pour les HA
- $f_{t28}$  (MPa) la résistance caractéristique du béton à la traction au bout de 28 jours
- Nf (kNm/ml) l'effort provenant de la fissuration
- h (m) la hauteur de la ceinture
- $A_s$  (cm<sup>2</sup>) la section d'acier
- $\Phi l$  (mm) diamètre de l'acier longitudinal
- FTP fissuration très préjudiciable
- FP fissuration préjudiciable

La ceinture supérieure d'un château d'eau en béton armé est toujours sollicitée par deux efforts qui sont :

- ✓ La poussée hydrostatique à ce niveau qui est nulle car la ceinture supérieure n'est pas noyée.
- ✓ La poussée horizontale dû à la coupole de couverture

$Q_1 = 14.68$  kN/ml qui est la poussée horizontale de la coupole de couverture ;

Calcul de l'effort de traction

$$F = Q_1 \times R_{cuve}$$

$$F = 14.68 \times 12.3 = 180.56$$

$$F = 180.56 \text{ kN}$$

### 1.1 Calcul de la section d'acier :

Nous choisissons d'utiliser des  $\emptyset 20$  ce qui donne  $\sigma_s = 105.16$  MPa

$$A_{st} = \frac{F}{\sigma_s} = \frac{180.56 \cdot 10^{-3}}{105.16}$$

$$A_{st} = 17.17 \text{ cm}^2$$

### 1.2 Condition de non fragilité

$$A_{\min} \geq B \frac{ft_{28}}{f_e}$$

$$A_{\min} \geq \frac{60 \times 80 \times 2.4}{400} \Rightarrow A_{\min} = 28.8 \text{ cm}^2$$

La ceinture supérieure à une forme rectangulaire de  $60 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$  armée de **10HA20** au niveau des cerces, totalisant  $31.42 \text{ cm}^2$  de section et **HA10** espacés de 60 cm.

### IV.3.4 Partie cylindrique

C'est la partie destinée à contenir l'eau, elle est donc soumise à la pression hydrostatique. Pour la détermination des armatures, le réservoir sera décomposé en anneaux horizontaux de hauteur unité. Un anneau est soumis à un effort de traction tangentiel  $N$  calculé à l'aide de la pression horizontale de l'eau à la base de l'anneau considérée. L'épaisseur de la paroi est supposée constante sur toute la hauteur de la cuve pour simplifier la réalisation. Seul la section d'acier ou leur espacement sera variable d'un anneau à un autre.

- Source : HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996),

Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 pages

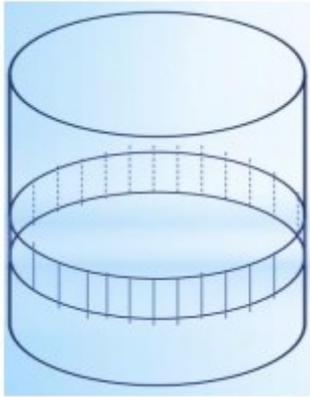


Figure 8: cuve cylindrique

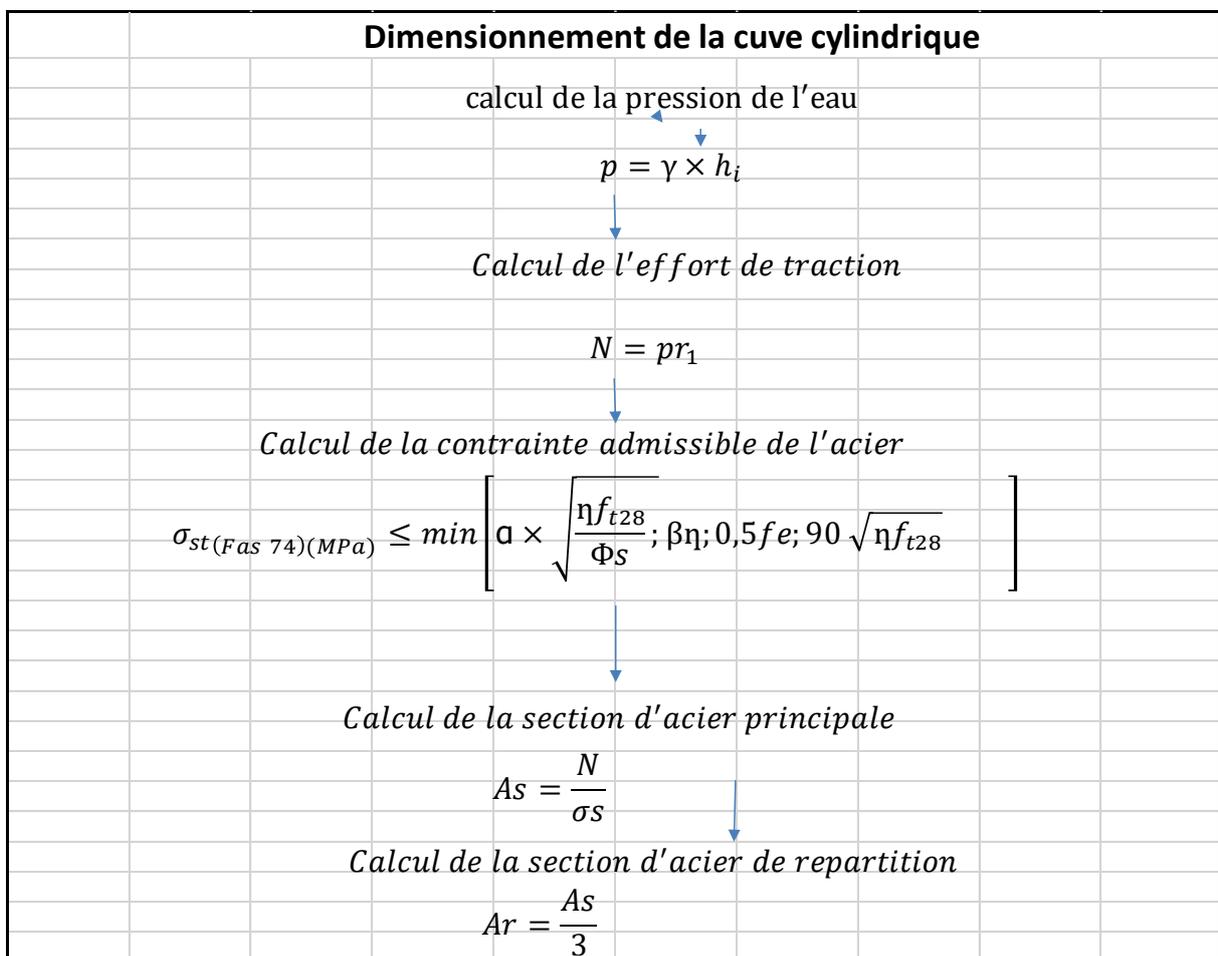


Figure 9 : Organigramme de calcul des aciers de la cuve cylindrique

Avec :

P (kN/m<sup>2</sup>) la pression de l'eau à la base de chaque anneau

$\gamma$  (kN/m<sup>3</sup>) poids volumique de l'eau

$h_i$  (m) hauteur de l'eau à partir du plan d'eau jusqu'à la base de l'anneau considéré

$r$ (m) Le rayon de la cuve

N (kN/ml) l'effort de traction tangentiel dû à l'eau dans l'anneau considéré

$\sigma_{st}$  (MPa) la contrainte admissible de l'acier donnée par le fascicule 74

$f_{t28}$  (MPa) résistance caractéristique du béton à la traction

$$f_{t28} = 0.6 + 0.06 \times f_{c28}$$

$\eta$  : Coefficient de fissuration de l'acier il est égal à 1.6 pour les HA

$\Phi_s$  (m) diamètre de l'acier

$\alpha = 240$  dans le cas général

$F_e$  (MPa) : Limite élastique de l'acier (fe E400)

$A_s$  (cm<sup>2</sup>) la section d'acier principale placée au niveau des cerces

$A_r$  (cm<sup>2</sup>) la section d'acier de répartition disposée verticalement dans chaque anneau.

#### 4.2.2 Pré dimensionnement

Le réservoir est de classe A, les épaisseurs de parois sont égales à 15 cm. Cependant pour le calcul de l'épaisseur de la partie cylindrique  $e > \frac{H \cdot D}{4} = 18.72 \text{ cm}$  avec H la hauteur d'eau dans la partie cylindrique et D le diamètre de la cuve. Or le coffrage étant glissant pour les cuves cylindriques  $e > 15 \text{ cm}$ . Nous avons pris l'épaisseur de la cuve égale  $e_c = 30 \text{ cm}$ . Et l'épaisseur de la partie tronconique égale  $e_t = 30 \text{ cm}$

Prenons une épaisseur de 30 cm avec  $h_1 = 3.12 \text{ m}$

#### 4.2.3 Calcul de la contrainte du béton

$$\sigma_b = \frac{77.16 \cdot 10^{-3}}{100 \times 30 \cdot 10^{-4}}$$

$$\sigma_b = 0,26 \text{ MPa}$$

$\sigma_b < \sigma_{ad}$  Le béton à lui seul suffit pour résister à la compression, cependant notre paroi est soumise à la traction d'eau.

#### 4.2.4 Calcul des charges horizontales

La hauteur d'eau étant supérieure à 3m nous avons donc utilisés la méthode des tranches horizontales. Donc 1 m par tranche

1<sup>ère</sup> tranche : (1 m du fond)

$$P = \gamma \times h$$

$$P = 10 \times 3.12$$

$$\underline{P = 31.2 \text{ kN / ml}}$$

#### 4.2.5 Calcul de la section des aciers

##### a) Calcul des aciers avec le Fascicule 74

$$A_s = \frac{PR}{2\sigma_s}$$

Avec des  $\Phi 12$  nous avons :

$$\sigma_{st(Fas\ 74)}(MPa) \leq \min \left[ \alpha \times \sqrt{\frac{\eta f_{t28}}{\Phi_s}}; \beta \eta; 0,5 f_e; 90 \sqrt{\eta f_{t28}} \right]$$

$$\sigma_{st} = 135.76 \text{ MPa}$$

$$A_s = \frac{31.2 \cdot 10^{-3} \times 12.3}{2 \times 135.76}$$

$$A_s = 14.13 \text{ cm}^2$$

Nous décidons donc de prendre 14 HA 12 en double nappe espacés de 8 cm. Avec une section réelle  $A_s = 15.83 \text{ cm}^2$  et **HA10** comme aciers de répartitions.

Pour faciliter la mise en œuvre nous allons uniformiser la section d'acier de fond pour toutes les autres tranches de la cuve cylindrique.

#### 4.2.6 Ceinture inferieure

La ceinture inférieure est une poutre servant de liaison entre la paroi cylindrique et la paroi tronconique (voir figure suivante). Elle sera de forme rectangulaire dont les dimensions sont à déterminer. Les charges verticales **P'** provenant de la coupole supérieure, de la ceinture supérieure et de la paroi cylindrique se décomposent en une force horizontale **Q'** et en une force dirigée suivant les génératrices du tronc de cône **C'**. La ceinture reçoit la force horizontale **Q'** et la poussée de l'eau  $Q_{eau}$  sur la hauteur de la ceinture. **C'** est transmise au tronc de cône jusqu'à la ceinture d'appui.

- Source : HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996),  
Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 pages

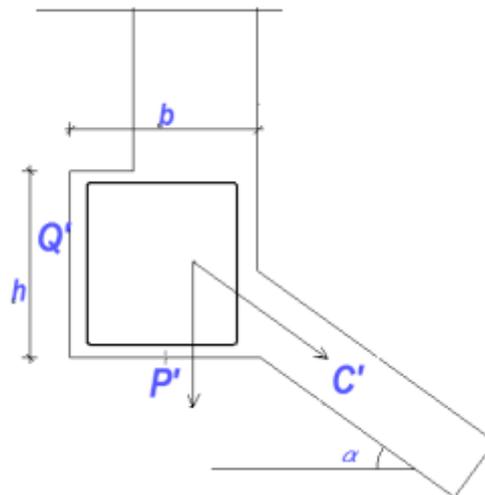


Figure 10: Ceinture inferieure

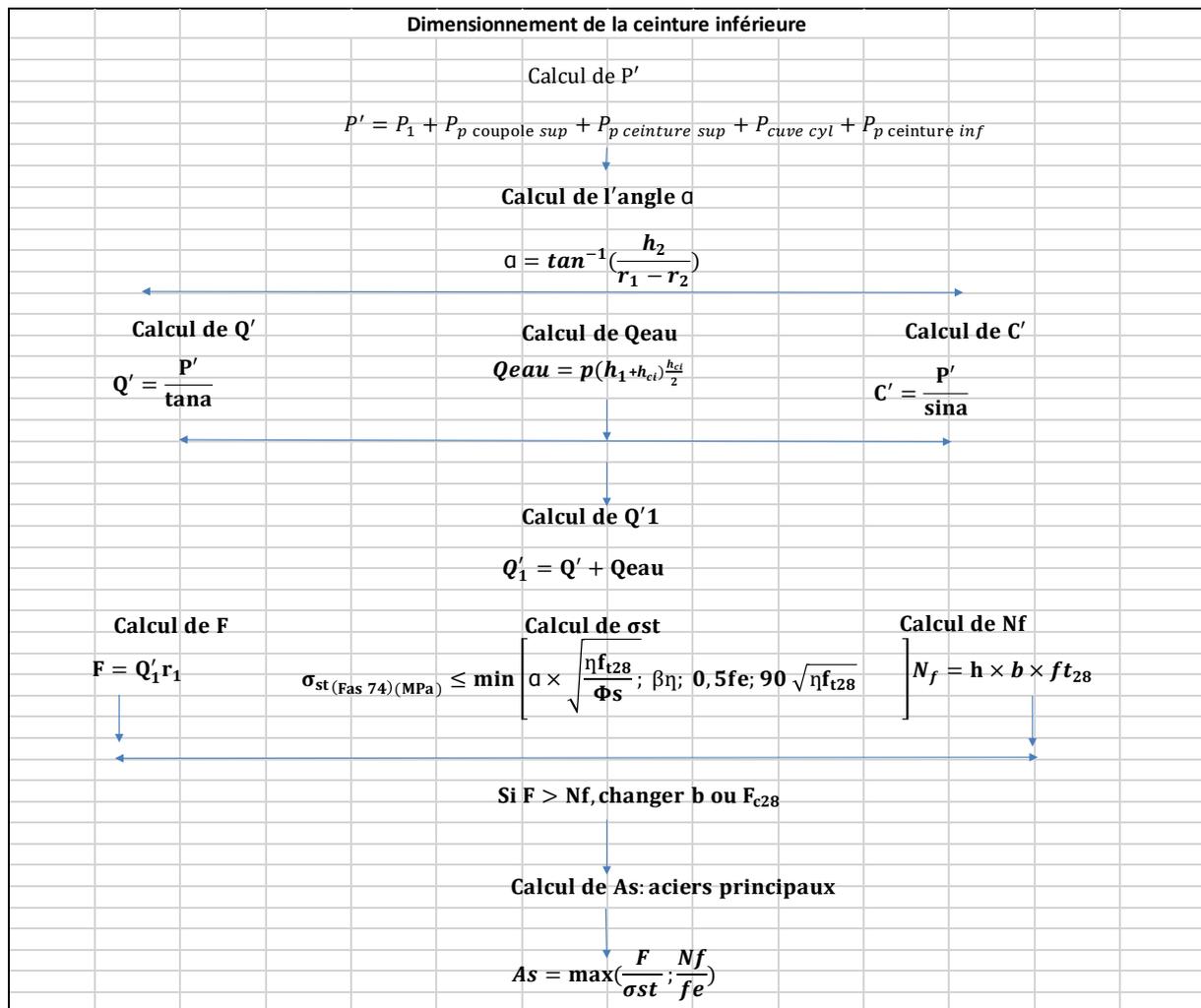


Figure 11: Organigramme de dimensionnement de la ceinture inferieure

Figure 8 : Organigramme de dimensionnement de la ceinture inferieure

Avec :

$P'$  (kN/ml) l'ensemble des charges provenant de la coupole supérieure, de la ceinture supérieure et de la cuve cylindrique

$P_1$  (kN/ml) charge linéaire verticale provenant de la coupole supérieure

$P_{p\ coup\ sup}$  (kN/ml) poids propre de la coupole supérieure

$P_{p\ cuv\ cyl}$  (kN/ml) poids propre cuve cylindrique

$\alpha$  (rd) angle entre la base de la partie tronconique et l'horizontale

$h_2$  (m) hauteur de la partie tronconique

$r_1$  (m) rayon de la cuve cylindrique

$r_2$  (m) rayon de la cuve tronconique

$Q'$  (kN/ml) force horizontale issue de la décomposition de  $P'$  ;

$Q_{eau}$  (kN/ml) charge de l'eau agissant sur la ceinture inférieure ;

$H_1$  (m) hauteur de la cuve cylindrique ;

$h_{ci}$  (m) hauteur de la ceinture inférieure ;

$\gamma$  (kN/m<sup>3</sup>) poids volumique de l'eau ;

$C'$  (kN/ml) force dirigée suivant les génératrices du tronc de cône issue de la décomposition de  $Q_1$  ;

$Q_1$  (kN/ml) poussée totale sur la ceinture inférieure ;

$F$  (kN) la force de traction sur la ceinture inférieure ;

$b_{ci}$  (Base de la ceinture inférieure) ;

#### 4.2.6.1 Calcul des sollicitations

##### - Charge verticale

Désignation	Formule	Application Numérique	Résultat kN / ml
Poids Propre de la partie cylindrique G1	$g_1 = w \times b \times h$	$g_1 = 25 \times 0,3 \times (3.62-0,5)$	$g_1=23.4$
Poids propre de la ceinture supérieure	$g_2 = w \times b \times h$	$g_2 = 25 \times 0,6 \times 0,8$	$g_2 = 12$

La charge verticale transmise par la coupole	$P_1 = \left( \frac{r^2 + f^2}{2 * r} \right) \times p_t$	$P_1 = \left( \frac{12.3^2 + 2.6^2}{2 * 12.3} \right) \times 6.5$	$P_1 = 41.76$
<b>Total des charges verticales</b>	$G = g1 + g2 + P_1$	$G = 23.4 + 12 + 41.76$	<b>G = 77.16</b>

**G = 77.16 kN / ml**

Avec b = 40 cm avec h = 50 cm

- La force horizontale Q'

$$Q' = \frac{P'}{\tan \alpha}$$

P' correspond au poids par mètre linéaire provenant de la coupole et la paroi verticale D'où

$$G = 77.16 \text{ kN / ml}$$

- Le poids propre de la ceinture inférieure

$$P_{\text{ceinture inférieure}} = w \times b \times h$$

$$P_{\text{ceinture inférieure}} = 25 \times 0.4 \times 0.5 = 5 \text{ kN/ml}$$

$$P_{\text{ceinture inférieure}} = 5 \text{ kN/ml}$$

$$D'où P' = G + P_{\text{ceinture inférieure}} = 77.16 + 5 = 82.16 \text{ kN/ml}$$

$$Q' = \frac{P'}{\tan \alpha} = \frac{82.16}{\tan 45} = 96.19 \text{ kN/ml}$$

- La Poussée totale par mètre

$$Q'_1 = Q' + \Delta H h$$

$$Q'_1 = 96.19 + 10 \times 0.5 \times 3.12$$

$$Q'_1 = 111.79 \text{ kN/ml}$$

- La section d'acier des armatures

Choisissons des HA20  $\sigma_s$  égale à 105.16 MPa

$$A_s = \frac{Q'_1 \times R}{\sigma_s}$$

$$A_s = \frac{111.79 \cdot 10^{-3} \times 12.3}{105.16}$$

$$A_s = 130.75 \text{ cm}^2$$

### Armatures transversales

La ceinture est une poutre circulaire se comportant comme un tirant.

Le diamètre des armatures transversales (cadres, épingles, étriers) est la valeur la plus proche du tiers du diamètre des armatures longitudinales

$\phi_t = \frac{20}{3} = 6.67 \text{ mm}$  nous allons retenir des  $\phi_t = 10 \text{ mm}$  car on est en FTP

Espacement des armatures

Pour des raisons de construction l'espacement  $S_t \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 40 \text{ cm} \\ a + 10 \text{ cm} \end{array} \right.$   $S_t \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 40 \text{ cm} \\ 40 + 10 \text{ cm} \end{array} \right.$

$S_t = 40 \text{ cm}$

**La ceinture inferieure aura une forme rectangulaire de 40 cm × 50 cm armé de 42HA20 totalisant 131.94 cm<sup>2</sup> au niveau des cerces et de HA 10 espacés de 20 cm comme aciers transversaux.**

#### 4.2.7 Partie tronconique

Elle est destinée à contenir une partie de l'eau. Elle est soumise à un effort de traction et de compression due à son poids propre et au poids de l'eau. La détermination de ses sections d'aciers suit l'ordre suivant sur les figures 9 :

- Source : HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996),

Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 pages

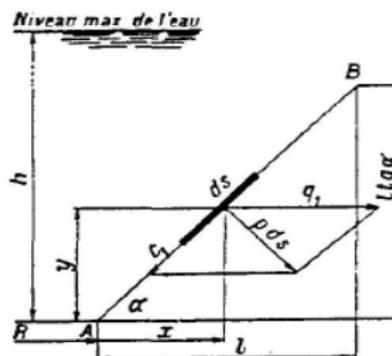


Figure 12: illustration de l'action du poids de l'eau sur la paroi de la cuve

#### Action de la pression de l'eau

- $F$  est la force due à la poussée poussée de l'eau et s'exerçant sur tout les cercles de la partie tronconique

$$F1(kN) = \frac{\Delta L}{\sin \alpha \cos \alpha} \left[ h \left( R + \frac{1}{2} \right) - L \tan \alpha \left( \frac{R}{2} + \frac{L}{3} \right) \right]$$

$$F1(kN) = \frac{10 \times 6.124}{\sin 28.41 \cos 28.41} \left[ 3 \left( 5.88 + \frac{1}{2} \right) - 6.124 \tan 28.41 \left( \frac{5.88}{2} + \frac{6.124}{3} \right) \right]$$

$$F1(kN) = 374.40 \text{ kN}$$

La force  $C_1$  dirigée suivant les génératrices du tronc de cône

$$C1(kN) = \frac{2\pi \Delta L}{\sin \alpha} \left[ h \left( R + \frac{1}{2} \right) - L \tan \alpha \left( \frac{R}{2} + \frac{L}{3} \right) \right]$$

$$C1(kN) = \frac{2\pi \times 10}{\sin 28.41} \left[ 3 \left( 5.88 + \frac{1}{2} \right) - 6.124 \tan 28.41 \left( \frac{5.88}{2} + \frac{6.124}{3} \right) \right]$$

$$C1(kN) = 2046.66$$

**Action du poids propre**

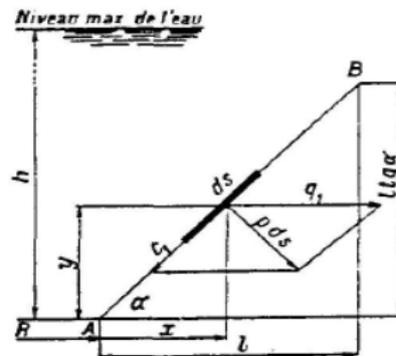


Figure 13: illustration action du poids propre de la cuve

$$F2(kN) = \frac{\omega L}{\sin \alpha} \left[ \left( R + \frac{L}{2} \right) \right]$$

$$F2(kN) = \frac{10 \times 6.124}{\sin 28.41} \left[ \left( 5.88 + \frac{6.124}{2} \right) \right]$$

$$F2(kN) = 1152.34$$

Calcul de  $C_2$

$$C2(kN) = \frac{\Delta L}{\sin \alpha \cos \alpha} \left[ \left( R + \frac{L}{2} \right) \right]$$

$$C2(kN) = \frac{10 \times 6.124}{\sin 28.41 \times \cos 28.41} \left[ \left( 5.88 + \frac{6.124}{2} \right) \right]$$

$$C2(kN) = 1324.53$$

Le poids de l'enduit pour l'étanchéité :

$$P_1(kN) = \pi (R + r) \sqrt{h^2 + (R - r)^2} * \gamma_{\text{etancheité}}$$

$$P_1(kN) = \pi (12 + 5.88) \sqrt{3^2 + (12 - 5.88)^2} * 0.5$$

$$P_1(kN) = 191.42$$

$$F = F_1 + F_2 + P_1$$

$$F = 1.71 \text{ MN}$$

$$A_s = \frac{F}{\sigma_s(Fas 74)}$$

$$A_s = \frac{1.71}{105.16} = 163.38$$

$$A_s = 163.38 \text{ cm}^2$$

Comme nous sommes en présence d'une double nappe on aura :  $A_s = \frac{163.38}{2} = 81.69 \text{ cm}^2$

Choix des aciers : 28HA20 totalisant  $87.96 \text{ cm}^2$

Calcul des armatures de répartition pour les aciers de compression

Calcul de la contrainte de compression

$$C = C' + C_1 + C_2$$

$$\text{Avec } C' = \frac{P'}{\sin \alpha}$$

$$C_1 = 2046.66 \text{ kN}$$

$$C_2 = 1324.53 \text{ kN}$$

Détermination de P (poids transmis au tronc de cône par la ceinture supérieure)

$$P' = 82.16 \text{ kN}$$

$$C = 3543.87 \text{ kN}$$

$$\sigma_b = \frac{C}{1 \times e}$$

$$\sigma_b = \frac{3543.87}{100 \times 0.3} \times 10^{-2} = 1.18$$

$$\sigma_b = 1.18 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \min \left( \frac{(h_0 + 0.55)f_{c28}}{3} ; 130 \frac{h_0}{D} f_{c28} \right) \Rightarrow \sigma = \min (8.5 \text{ MPa} ; 10.30 \text{ MPa})$$

$$\sigma_{min} = 8.5 \text{ MPa}$$

Vérification : on a  $\sigma_b < \sigma$  la condition est vérifiée donc on mettra que des aciers forfaitaires.

$$A_s = 0.2\% \times 30 \times 100$$

$A_s = 3.75 \text{ cm}^2$  soit 5HA10 compte tenue de l'épaisseur de 30 cm ces aciers seront en 2 nappe.

Comme nous sommes en présence d'une double nappe on a :

$$A_s = \frac{3.112 \text{ MN}}{2 \times 105.16} \times 10^4 = 147.96 \text{ cm}^2$$

Acier de répartition : 5H10 espaces de espacés de 20 cm.

#### 4.2.8 Cheminée

La cheminée travaille à la compression. Si nous considérons une tranche de 1m de hauteur, l'effort de compression aura pour valeur  $F = Pr$  avec  $P$  la pression de l'eau et  $r$  le rayon de la cheminée. Cet effort étant proportionnel à la pression de l'eau, elle sera prise au niveau de la dernière tranche car elle y est maximale.

- Source : HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996),

Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 pages

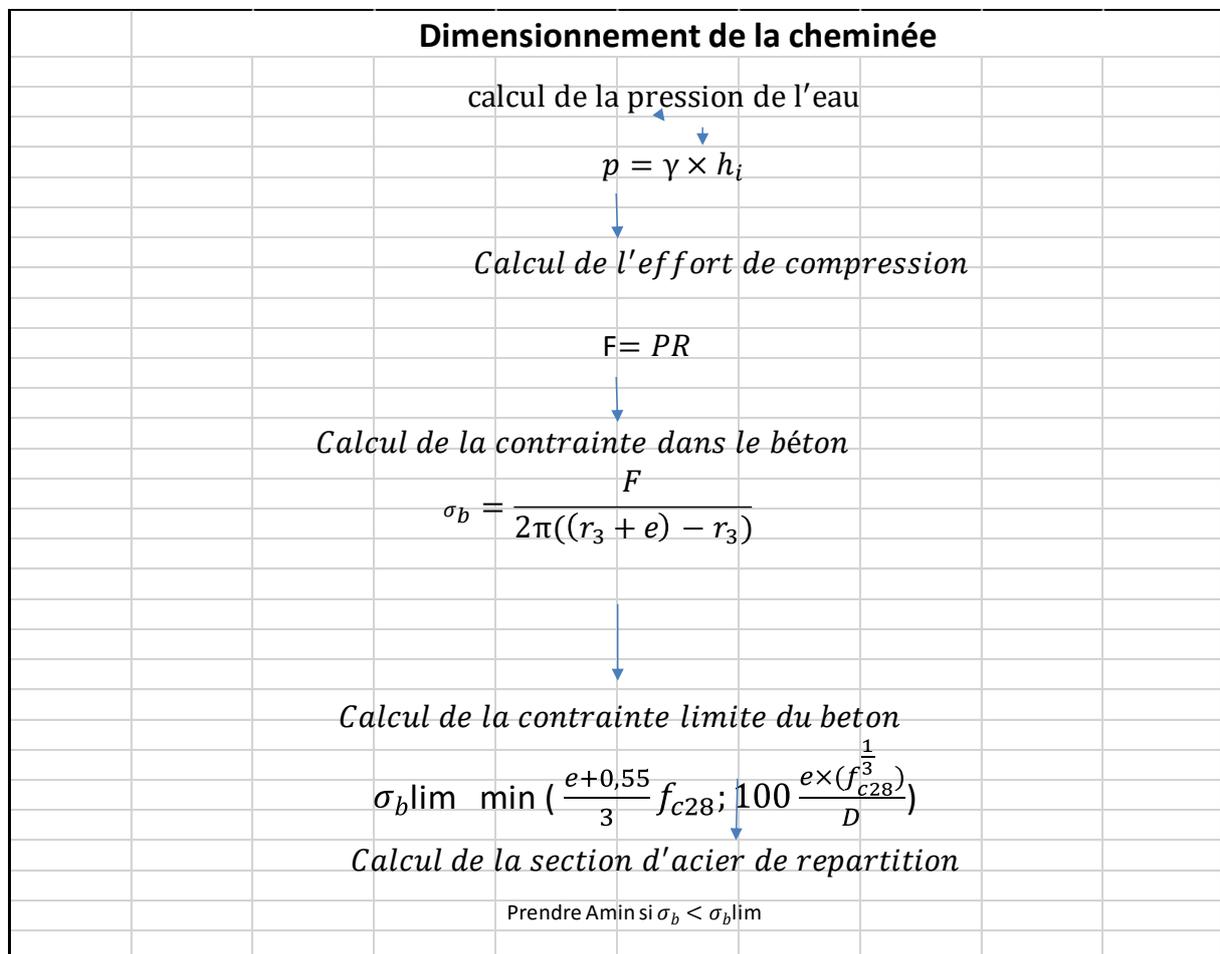


Figure 14: organigramme de dimensionnement des aciers au niveau de la cheminée du réservoir surélevé.

La hauteur de la cheminée est de 9.30 m

Le rayon intérieur de la cheminée est de 0.9 m

Epaisseur de la cheminée est de 20 cm

La pression hydrostatique de l'eau maximum à la base prise à la hauteur de la cheminée

$$h = 8m$$

$$R_c = 0.8m$$

Le poids volumique de l'eau  $\gamma_{eau} = 10 \text{ kN/m}^3$

$$P_{eau} = h * \gamma_{eau}$$

$$P_{eau} = 10 \times 9.30 = 93 \text{ kN/m}^3$$

L'effort de compression dan l'anneau

$$F = P \times R_c = 93 \times 0.9 = 83.7 \text{ kN/ml}$$

Le pourcentage minimum d'armatures à mettre en place :

$$\frac{A}{S} \geq 0.25\% = > A \geq 0.25\% \times S$$

$$A = 0.25\% \times 20 \times 100 = 5 \text{ cm}^2$$

Vérification de la contrainte de compression

$$\sigma_{bc} = \frac{F}{2\pi((r_3+e)-r_3)}$$

$$\sigma_{bc} = 7.16 \text{ MPa}$$

**Vérification de la contrainte limite de compression limite**

$$\sigma_{bc} = 7.5 \text{ MPa}$$

La cheminée sera armée de 5HA10 espacés de 20 cm totalisant 3.93 cm<sup>2</sup> dans chaque direction.

**Plan de ferrailage voir annexe**

#### 4.2.9 Dalle de Fond

C'est la partie du réservoir qui maintient le poids de l'eau, elle est soumise au poids de l'eau, au poids de la cheminée, de l'étanchéité et a son propre poids.

- Source : HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996),

Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 pages

Eléments		Formules	Poids (kN)
Dalle		$P_1 = \frac{\pi \times h}{3} (R_{ext}^2 + r_{int}^2 + R_{ext} \times r_{int}) \gamma_b$	2551,58195
h	1,2		
R <sub>ext</sub>	5,876		
γ <sub>b</sub>	25		
r <sub>int</sub>	4,5		
Ouverture de la cheminée		$P_2 = (\pi \times r^2 \times h) \times \gamma_b$	76,34070148
Etanchéité de la dalle		$P_3 = \pi (R_{ext}^2 - r_{int}^2) \times \gamma_{étanchéité}$	22,42684978
R <sub>int</sub>	4,5		
γ <sub>étanchéité</sub>	0,5		
r <sub>ext</sub>	5,876		
Total		$P_{dalle} = P_1 - P_2 + P_3$	2497,668098

Le poids total de la dalle est obtenu par la formule suivante :

$P_{tot} = \text{Poids de la dalle} + \text{poids de l'étanchéité} + \text{Poids de la cheminé} + \text{Poids de l'eau}$

$$P_{tot} = 2497.66 + 330.85 + 21100 = 23928.51 \text{ kN}$$

La surface de la dalle  $S = \pi \times r^2$

$$S = \pi \times r^2 = 108.47 \text{ m}^2$$

$$S = 108.47 \text{ m}^2$$

La charge permanente G :

$G = \text{Poids de la dalle} + \text{poids de l'étanchéité} + \text{Poids de la cheminé}$

$$G = 2828.51 \text{ kN}$$

$$\text{La charge } G_m^2 = \frac{G}{S} = \frac{(2828.51) \times 10^{-3}}{108.47} = 0.026 \text{ MN/m}^2$$

La charge variable Q = poids de l'eau =  $10 \times 6.12 = 0.061 \text{ MN/m}^2$

$$\text{La charge } Q_m^2 = 0.061 \text{ MN/m}^2$$

D'après BAEL

- $l_x = l_y = 11.75 \text{ m}$
- $a = 1 > 0.4$  la dalle porte sur les deux cotés

μ <sub>x</sub>	0,037
μ <sub>y</sub>	1

- La dalle est calculée comme une poutre rectangulaire de hauteur  $h = 1 \text{ m}$  et de largeur  $b_0 = 1.2 \text{ m}$

-  $P_{ser}$  à l'ELS  $P_{seer} = G + Q$

$$P_{seer} = 0.087 \text{ MN/m}^2$$

Calcul des moments en MN.m :

$$M_{ser} = \mu_X * P_{ser} * L_X^2$$

$$M_{ser} = 0.0441 * 0.087 * 11.75^2$$

$$M_{ser} = 0.53 \text{ MN.m}$$

Calcul de  $d = 0.9 \times h = 0.9 \times 1.2 = 1.08 \text{ m}$

$$\mu_u = \frac{M_{ser}}{b_0 * d^2 * F_{bu}}$$

$$\mu_u = 0.0445 < \mu_{AB} = 0.186 \text{ Pivot A pas d'acier comprimé}$$

Calcul de Z :

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 * \mu_u})$$

$$\alpha = 0.05$$

$$Z = d(1 - 0,4\alpha)$$

$$Z = 1.05 \text{ m}$$

Calcul de la section d'acier :

$$A_{oX} = \frac{M_{ser}}{Z * \sigma_{st}(Fas74)}$$

$$A_{oX} = 53.66 \text{ cm}^2$$

La dalle est en double nappe donc on aura  $A_s = \frac{53.66}{2} = 26.83 \text{ cm}^2$

Choix des aciers : **8HA25** totalisant  $39.27 \text{ cm}^2$  espacés de 12.5 cm dans les deux directions.

Plan de ferrailage (voir annexe 4)

#### 4.2.10 Ceinture d'appui

Elle équilibre les poussées horizontales et verticales provenant de xxxx et de la partie tronconique (voir figure 13 ci-dessous). Le support étant une tour, la ceinture est une poutre rigide qui sera armé à la compression. La section d'acier minimale représente 0.3% de la section de béton.

- Source : HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 pages.

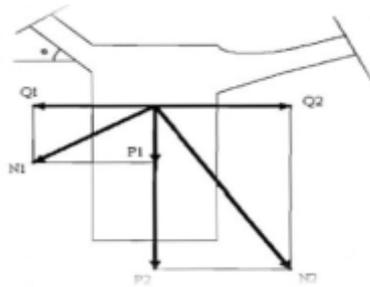


Figure 15: ceinture d'appui

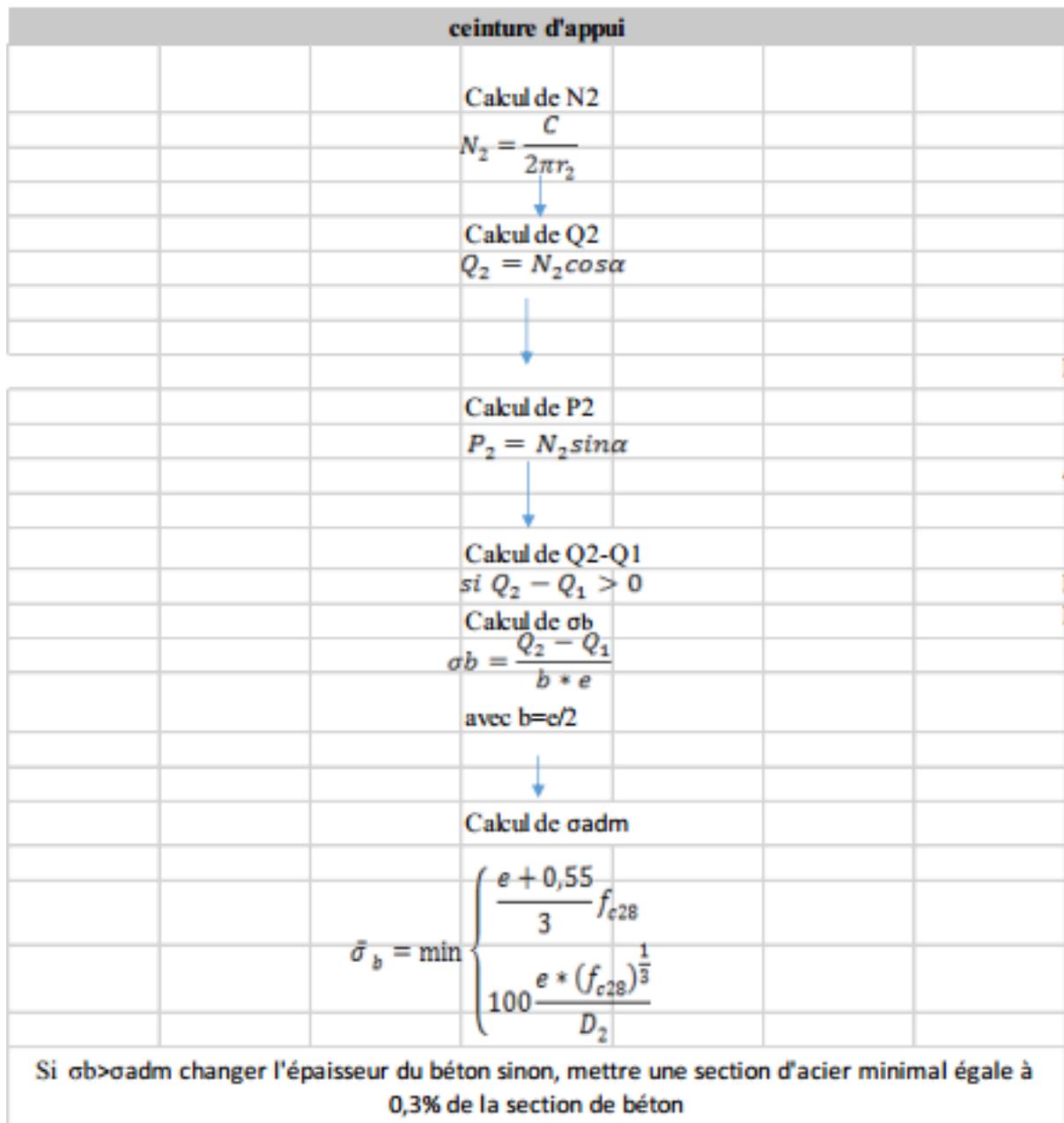


Figure 16: Organigramme de dimensionnement de la ceinture d'appui du réservoir surélevé

$$Q_2 - Q_1 = 65.22 \text{ kN}$$

Ici  $\sigma_b < \sigma_{adm}$  nous allons prendre une section d'acier minimale de 0.3% B

La ceinture d'appui aura une forme rectangulaire de 60 cm × 120 cm armée de 14HA16 totalisant 28.15 cm<sup>2</sup> au niveau des cerces et de HA 10 espacés de 20 cm.

#### 4.2.11 Tour support

Une tour supportera toutes les charges depuis la coupole jusqu'à la ceinture d'appui. Elle permet d'abriter l'escalier d'accès et les équipements hydrauliques Ci-dessous en figure, l'organigramme de calcul des aciers et épaisseur de la to

tour			
		Choisir le diamètre de la tour et son épaisseur	
		Déterminer l'ensemble des charges sur la tour	
		$N = P_{coup\ sup} + P_{ceinture\ sup} + P_{cuve\ cyl} + P_{ceint\ inf} + P_{cuve\ tronc} + P_{ceint\ app} + P_{chéminé}$ $+ P_{coup\ inf} + P_{eau} + P_{tour}$	
		Détermination de la contrainte de compression du béton	
		$\sigma_b = \frac{4N}{\pi(D_{ext}^2 - D_{int}^2)}$	
		Calcul de la contrainte admissible dans le béton	
		$\bar{\sigma}_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e + 0,55}{3} f_{c28} \\ 130 \frac{e(f_{c28})^{\frac{1}{3}}}{D} \end{array} \right.$	
		Si $\sigma_b < \sigma_{adm}$ alors la tour sera armé avec une section d'acier minimale égale à 0,25% de la section de béton	

Figure 17: organigramme de dimensionnement de la tour

Figure 15 : organigramme de dimensionnement de la tour.

Ici  $\sigma_b = 0.43 \text{ MPa}$  qui est inferieure a  $\sigma_{adm} = 9 \text{ MPa}$  donc nous allons calculer la section d'acier avec 0.25% de la section.

$$\frac{A}{S} \geq 0.25\% \Rightarrow A \geq 0.25\% \times S = 0.25\% \times 35 \times 100 = 8.75 \text{ cm}^2$$

Choix **5HA14** espacés de 20 cm en double nappe dans chaque direction

#### 4.2.12 Fondation

Le dimensionnement est fait grâce aux documents suivants :

- Jean-Pierre Mouglin Béton armé. BAEL 91 modifié 99 et DTU associés, deuxième Edition EYROLLES et quatrième tirage 2006, Paris

Tableau 24: calcul du poids total arrivant au radier

Eléments		Formules	Poids (kN)
Partie tronconique		$P_1 = \frac{\pi * h}{3} (R^2 + r^2 + R * r) * \gamma_b$	7 891,77
h	2,1		
r	4,22		
R	9,3		
$\gamma_b$	25		
Partie cylindrique		$P_2 = \pi * R^2 * h * \gamma_b$	2 717,16
h	0,4		
R	9,3		
Total		$P_{radier} = P_1 + P_2$	10 608,93
Poids total		$P_{radier} + P_{reservoir}$	25 874,85

Calcul de la contrainte admissible du sol :

$$\sigma_{sol} = \frac{4(P_{tot} + P_{eau})}{\pi \times D_{radier}^2} = \frac{4(25.874.85 + 20.284)}{\pi \times 18.6^2}$$

$$\sigma_{sol} = 0.169 \text{ MPa}$$

La charge permanente G = Poids du réservoir + Poids du radier = 25874.85 kN

La charge variable Q = poids de l'eau = 21100 kN

$$\text{La charge } G_m^2 = \frac{G}{S} = \frac{(25874.85) \times 10^{-3}}{272} = 0.095 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{La charge } Q_m^2 = \frac{Q}{S} = \frac{(20284) \times 10^{-3}}{272} = 0.077 \text{ MN/m}^2$$

D'après BAEL

- $l_x = l_y = 18.600 \text{ m}$
- $a = 1 > 0.4$  le radier se comporte comme une dalle portant sur les deux cotés

$\mu_x$	0,037
$\mu_y$	1

- La dalle est calculée comme une poutre rectangulaire de hauteur  $h = 1 \text{ m}$  et de largeur  $b_0 = 1 \text{ m}$
- $P_u$  à l'ELU  $P_u = 1,35G + 1,5Q$

$$P_u = 0.245 \text{ MN/m}^2$$

Calcul des moments en MN.m

Calcul des moments		
M <sub>oX</sub> (MN.m)	$M_{oX} = \mu_X * P_U * L_X^2$	3,136624036
M <sub>oY</sub> (MN.m)	$M_{oY} = \mu_Y * M_{oX}$	3,136624036
Suivant X en travée et sur appui		
M <sub>tX</sub>	$M_{tX} = 0,85 * M_{oX}$	2,666130431
M <sub>aX</sub>	$M_{aX} = 0,5 * M_{oX}$	1,568312018

Calcul de la section d'armature

$$F_{bu} = \frac{0,85 * F_{c28}}{\theta * \gamma_b}$$

$$F_{bu} = 17 \text{ MPa}$$

$$\mu_u = \frac{M_{ax}}{b_0 * d^2 * F_{bu}}$$

$$\mu_u = 0.018 < \mu_{AB} = 0.186 \text{ Pivot A pas d'acier comprimé.}$$

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 * \mu_u})$$

$$\alpha = 0.022$$

$$Z = d(1 - 0,4\alpha)$$

$$Z = 2.22 \text{ m}$$

$$\mu_u = \frac{M_{tx}}{b_0 * d^2 * F_{bu}}$$

$$\mu_u = 0.030 < \mu_{AB} = 0.186 \text{ Pivot A pas d'acier comprimé}$$

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 * \mu_u})$$

$$\alpha = 0.039$$

$$Z = d(1 - 0,4\alpha)$$

$$Z = 2.21 \text{ m}$$

Section d'armature 1 :

$$A_{stX} = \frac{M_{tX}}{Z * \frac{F_e}{\gamma_s}}$$

$$A_{stX} = 34.61 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Choix : 12HA20 espace de 9 cm en nappe supérieure et inférieure

.Section d'acier chapeau 2 :

$$A_{sax} = \frac{M_{ax}}{Z * \frac{F_e}{\gamma_s}}$$

$$A_{sax} = 20.22 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Choix : 12HA16 totalisant 24.13 cm<sup>2</sup>

La longueur d'acier chapeau :  $L_{achap} \geq \max(\max \frac{1}{4}(l_x; l_y); 40 \times \phi)$

$$L_{achap} \geq \max(\max \frac{1}{4}(18.600; 18.600); 40 \times 0.020)$$

$$L_{achap} \geq \max(4.65; 0.8)$$

$$L_{achap} \geq 4.65 \text{ m}$$

Prenons :  $L_{achap} = 5 \text{ m}$

D'autant que  $l_x = l_y$  alors  $A_{sx} = A_{sy}$

Tout comme la section d'acier chapeau suivant x est égale à la section d'acier suivant y.

### 4.3 VERIFICATION DE LA STABILITE DU RESERVOIR R16

#### 4.3.1 Stabilité au poinçonnement

$$\sigma_{sol} = \frac{P_T}{S_f}$$

Avec :

- $\sigma_{sol}$  la contrainte maximale du sol support de la fondation
- $P_T$  Poids total du château d'eau rempli
- $S_f$  surface de la fondation

$$\sigma_{sol} = \frac{4 \times (P_{total} + P_{eau})}{\pi \times D_{radier}^2} = \frac{4 \times (25.874 + 20.284)}{\pi \times 18.6^2} = 0.169 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sol} = 0.169 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sol} = 2.3 \text{ bars} = 0.23 \text{ MPa} > 0.169 \text{ MPa}$$

La condition est vérifiée donc le château d'eau est stable au poinçonnement.

#### 4.3.2 Stabilité au Renversement

Il s'agit de comparer le mouvement dû aux forces déstabilisantes et celui des forces stabilisantes (Sans eau c'est-à-dire le réservoir à vide car c'est le cas le plus défavorable).

- Les forces déstabilisantes sont : le vent et la poussée des terres
- La force stabilisante est : le poids propre du château d'eau

Cependant, les efforts exercés par la pression du vent sur le château d'eau constituent la source

majeure au renversement du château d'eau.

La résultante horizontale des efforts de vents appliqués à une structure composée de plusieurs parties superposables est donnée par l'équation suivante :

$$F = q_{dyn} \times K_s \times \beta \times \sum C_{ti} \times K_{Hi} \times \delta_i \times S_i$$

➤ Effort dynamique dû à la pression exercée par le vent ( $q_{dyn}$ )

$$q_{dyn} = \frac{\rho \times v^2}{2}$$

- $\rho$  est la masse volumique de l'air
- $q_{dyn}$  Pression dynamique liée à la vitesse du vent
- La vitesse maximal du vent observé à Niamey est égale à 57 noeuds de 30 m/s qui équivaut a environ 30 m/s (DMN, 2016).

$$q_{dyn} = \frac{1292 \times 30^2}{2} = 581.4$$

$$q_{dyn} = 581.4 Pa$$

Décomposons la structure du réservoir en deux parties :

➤ Effet du vent sur la cuve : Figure ci-après

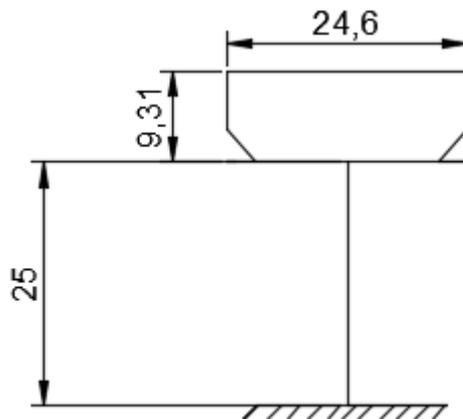


Figure 18: illustration de l'effet du vent sur la cuve

➤ Pression dynamique corrigée ( $q_{corr}$ )

Cette pression modifie la pression dynamique de base compte tenu des conditions locales.

$$q_{corr} = q_{dyn} \times K_H \times K_s \times K_m \times \delta$$

Avec :

- $K_H$  coefficient de hauteur de l'ouvrage,  $K_H = 2.5 \times \left(\frac{H+18}{H+60}\right)$
- $K_m$  coefficient d'amplification dynamique,  $K_m = 1$
- $K_s$  coefficient du site (le site est supposé normal ( $K_s = 1$ ))
- $\delta$  Coefficient de réduction des pressions dynamiques
- **Calcul du coefficient de hauteur de l'ouvrage**

Comme l'illustre la figure précédente  $H = 25 + 9.31 = 34.31 \text{ m}$

$$K_H = 2.5 \times \left(\frac{H + 18}{H + 60}\right)$$

$$K_H = 2.5 \times \left(\frac{34.31 + 18}{34.31 + 60}\right)$$

$$K_H = 1.38$$

- Détermination du coefficient de réduction des pressions dynamiques  $\delta$

Il est déterminé graphiquement à l'aide de l'abaque de la figure suivante en fonction de la hauteur et de la plus grande dimension de la surface offerte par le vent.

Sur l'abaque si  $H = 34.31 \text{ m}$  et  $D = 24.600 \text{ m}$  nous trouvons une valeur de  $\delta = 0.80$

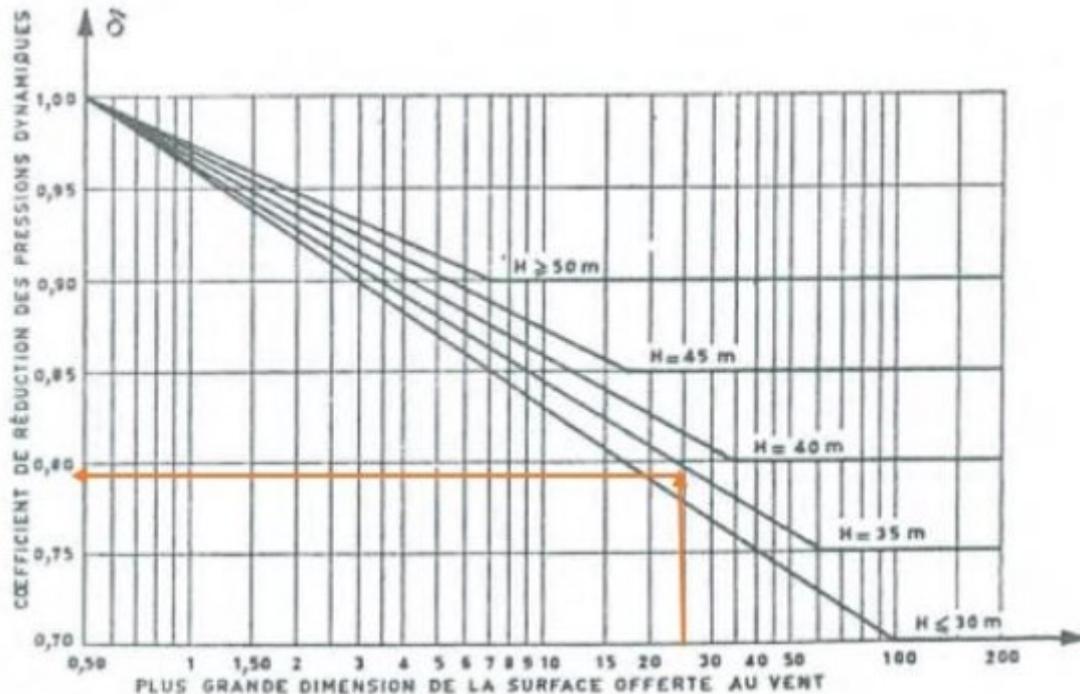


Figure 19: Abaque de détermination du coefficient de réduction de pression dynamique (cas de la cuve)

Ainsi on a :

$$q_{corr} = 581.4 \times 1.38 \times 1 \times 1 \times 0.80 = 641.86$$

$$q_{corr} = 642 \text{ Pa}$$

➤ **La pression de calcul ( $q_{cal}$ )**

Elle tient compte de la géométrie du volume. Elle est le produit de la pression corrigée par le coefficient de trainée ( $C_t$ ). Elle est déterminée par la formule suivante

$$q_{cal} = q_{corr} \times C_t$$

Le coefficient de trainée est déterminé graphiquement à l'aide de l'abaque de la figure suivante

$$\lambda = \frac{h}{L}$$

Pour le cas de la cuve on a :  $h = 9.31 \text{ m}$   $D = L = 24.600 \text{ m}$

$$\lambda = \frac{9.31}{24.6} = 0.37$$

Sur la figure si  $\lambda = 0.37$  alors on trouve une valeur du coefficient de trainée  $C_t = 1.33$

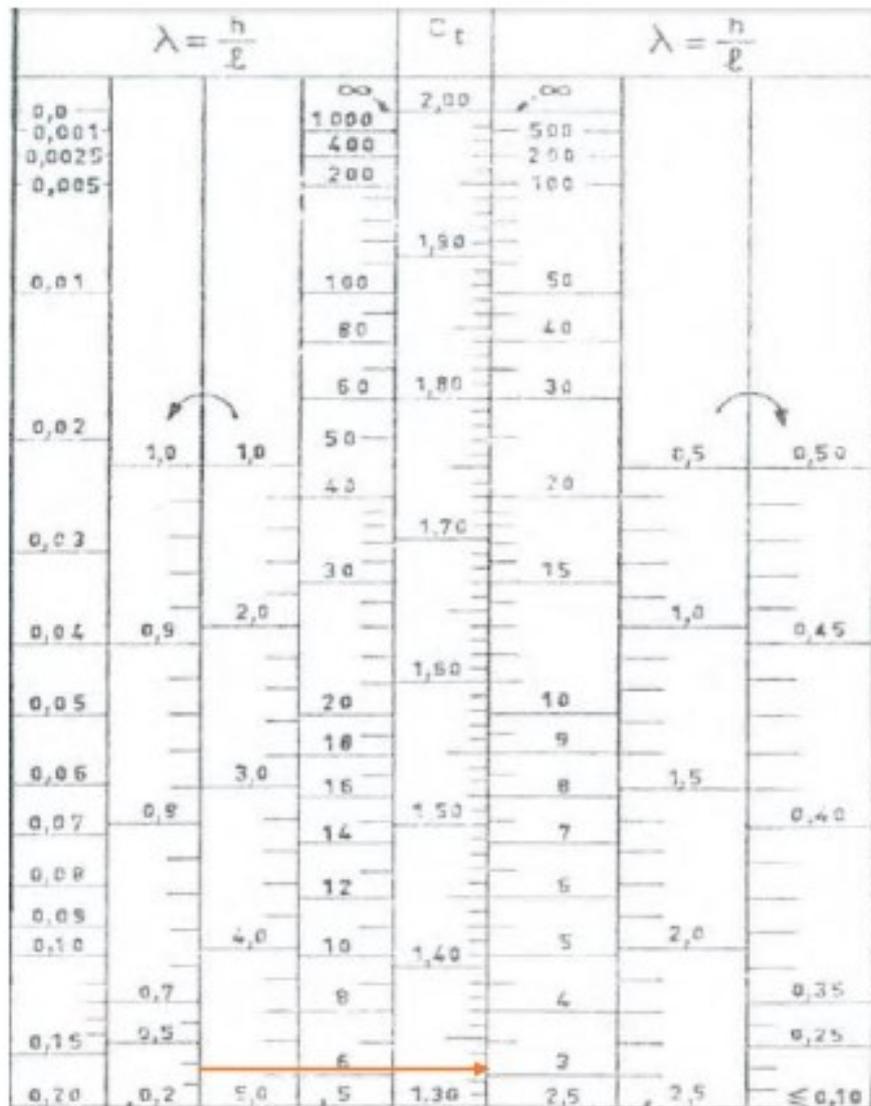


Figure 20: Abaque de détermination du coefficient de trainée (cas de la cuve)

Figure 18 : Abaque de détermination du coefficient de trainée (cas de la cuve)

$$q_{cal} = 642 \times 1,33 = 853,86$$

$$q_{cal} = 854 \text{ Pa}$$

➤ Force du vent sur la cuve du château d'eau ( $F_1$ )

La force du vent sur la cuve est le produit entre la pression de calcul et la surface maximal de la cuve balayée par le vent (Maitre couple).

$$F_1 = q_{cal} \times S_{max}$$

Le maître couple est déterminé par la formule suivante :

$$S_{max} = \pi \times R \times h$$

Pour la cuve le rayon extérieur  $R_{ext} = 12,3$  et la hauteur de la cuve  $h = 9,31 \text{ m}$

$$S_{max} = \pi \times 12.3 \times 9.31 = 359.75$$

$$S_{max} = 360 \text{ m}^2$$

$$F_1 = 854 \times 360 = 307440$$

$$F_1 = 307.440 \text{ kN}$$

La position de la force  $F_1$  par rapport au terrain naturel est obtenue par :

$$Z = 25 + \frac{9.31}{2} = 29.65$$

$$Z = 29.65 \text{ m}$$

➤ **Cas 2 : Effet du vent sur la tour**

Les dimensions de la tour sont indiquées sur la figure suivante :

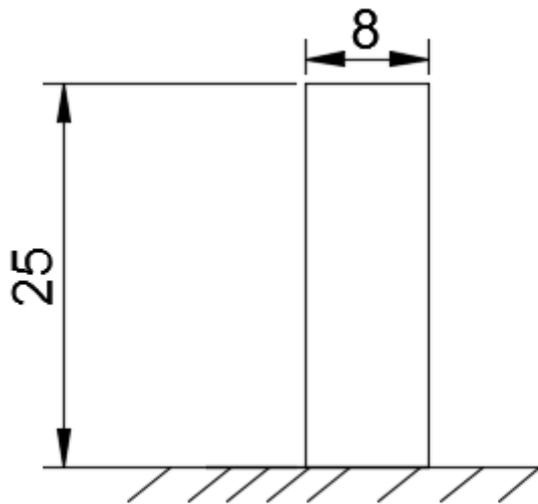


Figure 21: illustration de l'effet du vent sur la tour

- Détermination du coefficient de hauteur de l'ouvrage ( $K_H$ )

Nous avons  $H = 25 \text{ m}$  comme nous le montre la figure ci-dessus

$$K_H = 2.5 \times \left( \frac{25 + 18}{25 + 60} \right) = 1.26$$

$$K_H = 1.26$$

- Détermination du coefficient de réduction des pressions dynamiques  $\delta$

Il est déterminé graphiquement en fonction de la hauteur et de la plus grande dimension de la surface offerte par le vent.

Si  $H = 25 \text{ m}$  et  $D = 8 \text{ m}$  alors on trouve une valeur de  $\delta = 0.84$

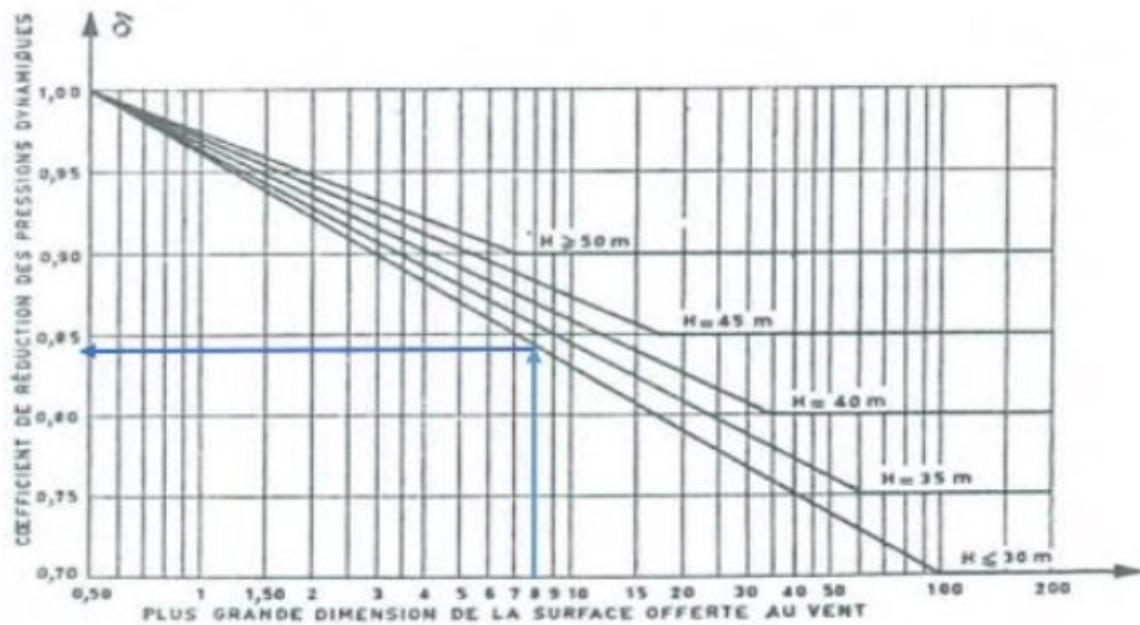


Figure 22: Abaque de détermination du coefficient de réduction de pression dynamique (cas de la tour)

$$q_{corr} = 581.4 \times 1.26 \times 1 \times 1 \times 0.84 = 615.35$$

$$q_{corr} = 615.35 \text{ Pa}$$

➤ **La pression de calcul ( $q_{cal}$ )**

Elle tient compte de la géométrie du volume. Elle est le produit de la pression corrigée par le coefficient de trainée ( $C_t$ ). Elle est déterminée par la formule suivante

$$q_{cal} = q_{corr} \times C_t$$

Le coefficient de trainée est déterminé graphiquement à l'aide de l'abaque de la figure suivante

$$\lambda = \frac{h}{L}$$

Pour le cas de la cuve on a :  $h = 25 \text{ m}$   $D = L = 8 \text{ m}$

$$\lambda = \frac{25}{8} = 3.12$$

Sur la figure si  $\lambda = 3.12$  alors on trouve une valeur du coefficient de trainée  $C_t = 1.33$

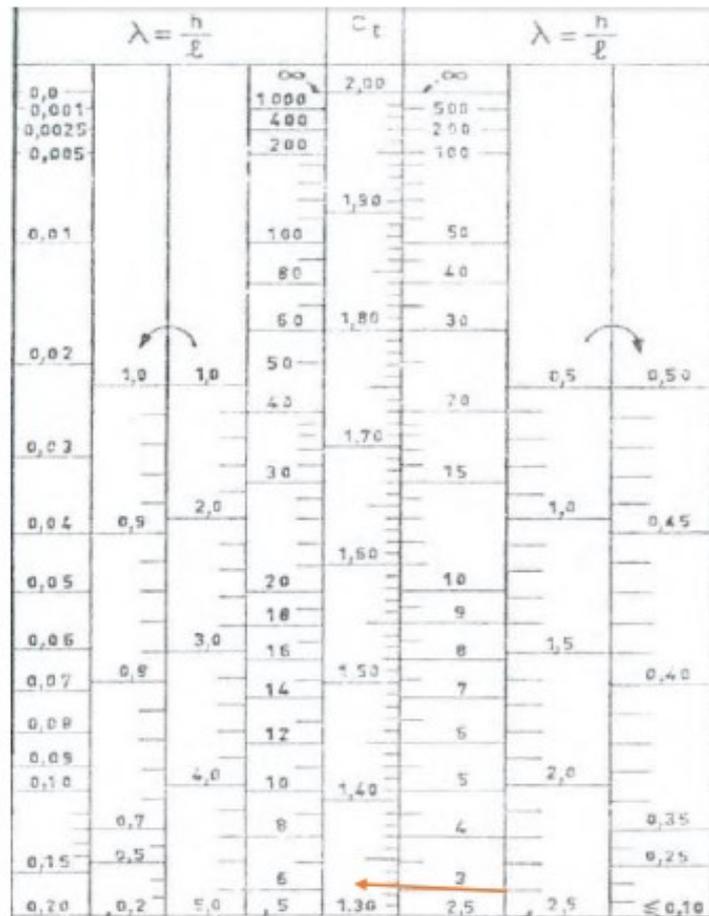


Figure 23: Abaque de détermination du coefficient de trainée (cas de la cuve)

$$q_{cal} = 615.3 \times 1.33 = 818.388$$

$$q_{cal} = 818.4 \text{ Pa}$$

➤ Force du vent sur la cuve du château d'eau ( $F_2$ )

La force du vent sur la cuve est le produit entre la pression de calcul et la surface maximal de la cuve balayée par le vent (Maitre couple).

$$F_1 = q_{cal} \times S_{max}$$

Le maître couple est déterminé par la formule suivante :

$$S_{max} = \pi \times D \times h$$

Pour la cuve le rayon extérieur  $D_{ext} = 8$  et la hauteur de la cuve  $h = 25 \text{ m}$

$$S_{max} = \pi \times 8 \times 25 = 628.32$$

$$S_{max} = 628.32 \text{ m}^2$$

$$F_2 = 818.4 \times 628.32 = 514217.088$$

$$F_2 = 514.217 \text{ kN}$$

La position de la force  $F_2$  par rapport au terrain naturel est obtenue par :

$$Z = \frac{25}{2} = 12.5$$

$$Z = 12.5 \text{ m}$$

- Détermination de la force totale du vent sur le château d'eau

La force totale est la somme des forces de vent agissant sur la cuve et sur la tour. Cette force est déterminée par la formule suivante :

$$F_v = F_1 + F_2$$

$$F_v = 307.440 + 514.217 = 821.65$$

$$F_v = 821.65 \text{ kN}$$

- Calcul de la position  $Z$  de la force  $F_v$

Elle est obtenue par la formule suivante :

$$Z_{FV} = \frac{F_1 \times Z_1 + F_2 \times Z_2}{F_v}$$

$$Z_{FV} = \frac{307.440 \times 29.65 + 514.217 \times 12.5}{821.65} = 18.92$$

$$Z_{FV} = 18.92 \text{ m}$$

### 4.3.3 Vérification de la stabilité au renversement

- **Détermination du moment des forces déstabilisantes ( $M_{FV}$ )**

Elle est calculée par la formule suivante :

$$M_{FV} = F_v \times Z_{FV} = 821.65 \times 18.92 = 15545.62$$

$$M_{FV} = F_v \times Z_{FV} = 15545.62 \text{ kN.m}$$

- **Détermination des moments des forces stabilisantes ( $M_{F_s}$ )**

Le poids du château d'eau constitue la force stabilisante. Le moment est calculé par la formule suivante :

$$M_{F_s} = \text{Poids du reservoir} \times \text{bras de levier}$$

$$M_{F_s} = 25874.85 \times 9.3 = 240636.10$$

$$M_{F_s} = 240636.10 \text{ kN.m}$$

$M_{F_s} = 240636.10 \text{ kN.m} > M_{FV} = 15545.62 \text{ kN.m}$  Donc le château d'eau R16 est stable au renversement.

- **Détermination du coefficient de sécurité au renversement**

$$f = \frac{\sum \text{moments stabilisants}}{\sum \text{moments renversement}}$$

$$f = \frac{240636.10}{15545.62} = 15.47$$

$f = 15.47 > > 1.5$  Donc la stabilité au renversement est vérifiée.

A la fin de cette étude nous concluons que chaque élément constituant le réservoir est doté d'acier capable d'assurer sa rigidité et la stabilité du réservoir est vérifiée.

#### 4.4 TROISIEME PARTIE : ANALYSE COMPARATIVE

Le présent chapitre consistera à faire une comparaison entre la norme de chargement utilisée par l'entreprise pour dimensionner l'ouvrage (Eurocodes) avec une autre norme (BAEL 91 modifiée 99), afin de comparer les résultats et ainsi mesurer l'impact du choix d'une méthode de calcul au détriment d'une autre sur le projet. Le calcul de la structure d'un château d'eau est complexe surtout si l'on ne fait pas recours à des logiciels de calcul comme dans la présente situation.

Nous limiterons cette étude comparative au niveau des aciers principaux des différents éléments constituant la structure du château d'eau.

##### 4.4.1 Rappel de la méthode de calcul utilisée par l'entreprise :

L'entreprise a utilisées les charges suivantes pour le dimensionnement de l'ouvrage :

- Les charges permanentes : qui comprennent le poids propre de l'ouvrage, la densité de l'eau

Désignation	Poids volumique kN/m <sup>3</sup>
Poids propre du béton	25
Densité de l'eau	10

- Les charges variables : qui comprennent les charges sur toit, charges sur planchers et escaliers, les charges de surface, la charge du vent et la température.

Désignation	Poids surfacique kN/m <sup>2</sup>
Charge sur toit	1.5
Charge sur les planchers et escaliers	5
Charge du vent	2

La température au-dessus du niveau du sol est prise égale à 20°C.

- Combinaisons des charges

Etat limite ultime (ULS)

$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,i} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} Q_k$$

$$\xi \gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,i} Q_{k,i} + \sum Q_i \cdot \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Ou :

- $\gamma_{G,inf} = 1$  pour les effets favorables
- $\gamma_{G,sup} = 1.35$  pour un effet défavorable
- $\gamma_{Q,1} = 1.50$  pour les effets défavorable et (0 pour les effets favorable)
- $\gamma_{Q,i} = 1.50$  pour les effets défavorable et (0 pour les effets favorable)
- $\xi = 0.9$  (Pour que  $\xi \gamma_{G,sup} = 0.9 \times 1.35 = 1.2$ )

Etat limite de service (SLS)

$$G_k + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

1. Propriétés des matériaux

- Qualité du béton C25/30
- Renforcement B500 B (Fe500)

SECTIONS D'ACIERS PRINCIPAUX										
Dimensionnement	Fondation	Tour (double nappe) en 8 levés	Ceinture d'appui	Dalle de fond (double nappe)	Cheminée (double nappe)	Cuve tronconique (par nappe)	Ceinture inferieure	Cuve cylindrique (double nappe)	Ceinture superieure	Coupole de couverture
Nombre de bars d'acier avec BAEL 91	317HA20	920 HA14 et 1008HA14	352HA16	188HA25 et 144HA25	28HA10 et 35HA10	760HA20	270HA20	78HA12	65HA10	350HA12
Section d'acier cm2	995,38	2969,12	707,52	1630,12	49,77	2386,4	847,8	88,14	51,35	395,5
Nombre de bars avec Eurocodes	145HA14,42 HA16,133HA20	2x776HA14	HA16,HA14, HA25,HA14	HA16,HA25	33HA10 et 47HA10	616HA16	-	-	-	384HA8
Section d'acier cm2	725,34	2390,08	348,22	1616,23	63,2	1238,16	-	-	-	192

L'analyse comparative nous a permis de mettre en évidence les résultats issus de deux (2) normes de chargement à savoir le BAEL 91 modifiée 99 et les Eurocodes. La première a permis d'obtenir des sections d'aciers principaux plus grande que celle de la deuxième comme

l'illustre le tableau précédent. Cette différence pourrait être due par :

- La différence au niveau des combinaisons à l'ELU et à l'ELS des deux méthodes
- Les charges d'entretiens et les différentes charges sur les planchers et les escaliers considérées par l'entreprise.
- Charges du vent considérées par l'entreprise comme une charge surfacique rentrant dans le poids du béton
- Limites d'élasticité de l'acier Fe500 pris par l'entreprise.
- Elle pourrait aussi être due au fait que les calculs ont été faits manuellement tandis que l'entreprise a fait recours au logiciel ROBOT
- Etc.....

Par Analyse de nos différentes méthodes et sections d'aciers, nous pouvons faire la conclusion suivante :

Le BAEL est plus sécuritaire par rapport aux Eurocodes et les Eurocodes sont plus économiques que le BAEL. Ce qui explique bien le choix des Eurocodes par l'entreprise car toute entreprise vise à se faire du profit avec le peu de moyen nécessaire tout en garantissant une bonne qualité de l'ouvrage à construire

Ce travail nous a permis d'enrichir nos connaissances en matière de conception et dimensionnement des ouvrages d'art plus précisément les châteaux d'eau et nous motivent vers la recherche d'une formation plus approfondie en châteaux d'eau dans le but de contribuer à la mise en place des normes de Dimensionnement Africaines.

Pour la construction du château d'eau nous aurons besoins d'environ 124 tonnes d'aciers et 1048 m<sup>3</sup> de béton.

Le dosage du m<sup>3</sup> de béton est le suivant :

- Sable 797 kg
- Gravier 1060 kg
- Ciment 350 kg
- Eau 197 l

Pour la partie du suivi et contrôle des travaux d'exécution voir annexe 7.

## V. CHAPITRE V : ETUDES QUANTITATIVES DES TRAVAUX

L'évaluation du coût du projet est un exercice délicat qui consiste à calculer les quantités élémentaire qui rentrent dans la construction de l'ouvrage, les prix unitaire des matériaux et enfin l'application du prix unitaire aux quantités des matériaux pour avoir le coût total du projet. Ce coût est important à savoir par le maitre de l'ouvrage afin de prévoir l'enveloppe pour la réalisation des travaux.

Nous allons dans ce chapitre, nous référer au devis quantitatif déjà établi par la structure d'accueil pour la partie qui n'est pas concernée par cette étude du projet de fin de cycle. Cependant il faut noter que les prix unitaires respectent une marge afin d'éviter une surévaluation ou une sous-évaluation des prix.

Dans le cadre de notre projet, le coût du projet pour la construction du château d'eau et la pose des équipements hydraulique s'élève à un milliard cinq cent quatre-vingt-dix-huit million neuf cent soixante-neuf mille quatre cent soixante-neuf **1 598 969 469 FCFA TTC**.

### Devis estimatif du coût du béton du réservoir 16 de Niamey :

Les tableaux qui suivent présente succinctement le devis estimatif du réservoir 16, le présent devis variera probablement pendant la phase d'exécution des travaux car malgré que l'ingénieur tente au mieux de maîtriser ou de réduire l'effet de certaines contraintes, il existe des données qui ne peuvent être estimées que pendant la phase d'exécution des travaux comme par exemple la quantité exacte de remblais ou de déblais , le nombre exacte de planches des passerelles, le nombre exactes des pièces d'échafaudage, le nombre exacte des différents joints de serrage pour le coffrage etc.

*Tableau 25: Cout du béton armé pour la construction du château d'eau R16 (voir annexe 8)*

*Tableau 26: Prix des canalisations en fonte pour le refoulement et le PVC pour la distribution (voir annexe 9)*

*Tableau 27 : Coût total de la construction du château d'eau (voir annexe 10)*

## VI. CHAPITRE VI : IMPACTS POTENTIEL DU PROJET ET MESURE D'ATTENUATION

L'étude d'impact environnemental est un exercice qui consiste à faire une description, une identification et une évaluation des impacts potentiels ou probables du projet sur le milieu naturel et humain à partir d'une étude ou en se référant à des informations disponibles.

Cette étude avait été déjà faite par le bureau d'étude Lamco Ingénierie et validée par les principaux Ministères et structures étatiques s'occupant de l'environnement au Niger qui sont

- Ministère de l'Hydraulique, de l'Environnement et de la Lutte Contre la Désertisation (MHE/LCD) ;
- Conseil National de l'Environnement pour un Développement Durable (CNEDD).

**NB :** Dans le cadre du présent projet, l'étude s'est référée à la loi n°98-56 du 29 Décembre 1998

portant loi cadre relative à la gestion de l'environnement plus précisément à son **Titre 3 : Gestion de l'environnement à l'article Art.33** précisant les démarches à suivre pour une étude d'impact environnemental en république du Niger.

Cette étude a identifié et évalué les impacts et les risques inhérents au projet ainsi que les mesures d'atténuation ou de compensation.

Présentation d'un extrait du plan HSE de l'entreprise qui se présente comme suit:

### **V.I Etude des modifications engendrées par le projet sur :**

Description du milieu biophysique qui porte sur la connaissance du climat, de la végétation, la géologie le relief sol et la description du milieu humain qui porte sur la connaissance de la population de la zone du projet et de l'activité socio-économique citée ci-dessus.

Le tableau 29 montre les différentes modifications (impacts) engendrées par le projet :

Tableau 28: Récapitulatif des impacts engendrés par le projet

Activités sources d'impacts	Composantes impactées											
	Milieu Biophysique					Milieu Humains						
	Sol	Air	Végétation	Paysage	Eau	Sante	sécurité	ambiance Sonore	Infrastructure	Mobilité	Revenu des PME	Revenu et cadre de vie de la population
Installation du chantier												
Présence de la main d'œuvre												
Exploitation/Extraction des matériaux au niveau des zones des carrières et emprunts												
Transport des matériaux par les véhicules												
Travaux d'aménagements (terrassment, compactage, etc)												
Travaux de construction du château d'eau												
Utilisation du château d'eau												
Entretien												

Légende :

Impact positif	
impact négatif	

## V.2 Les mesures d'atténuation ou de prévention

*Tableau 29: Mesures d'atténuation ou de préventions liées au projet (voir annexe 6)*

Le projet est source d'énormes impacts positifs ce qui justifie sa mise en œuvre.

Comme impacts positifs, nous avons la création temporaire d'emplois, la contribution à l'embellissement de la ville de Niamey, l'amélioration des conditions de vie par l'apport d'eau potable, le raccourcissement de la distance d'approvisionnement en eau potable etc. cependant, il existe des impacts négatifs qui peuvent être atténués comme la pollution du sol par le rejet d'hydrocarbure (huile de vidange, fuite de carburant), l'utilisation des produits chimiques (adjuvant, ciment, huile de décoffrage huile des engins etc...), la pollution sonore et atmosphérique causée par les engins de construction (groupe, camion benne, bétonnière etc.), les risques d'érosion et de pollution des sols pendant l'excavation, le défrichage de la végétation et la perturbation de la structure sol pour les fouilles de fondation et d'excavation pour la pose des conduites.

En vue d'atténuer les impacts négatifs et optimiser les impacts positifs du projet des mesures ont été proposées. Il s'agit de veiller au respect des consignes proposées par l'étude d'impact durant la phase de construction du projet, la remise en état des sols après les travaux, la réalisation des plantations et aire engazonnée pour compenser les pertes, le dédommagement des personnes dont leurs infrastructures ont été détruites ou endommagées, etc.

## CONCLUSION

Cette étude premièrement nous a permis de concevoir un réservoir d'environ 2100 m<sup>3</sup> pour l'approvisionnement en eau potable des quartiers de Sagagorou, Kogorou et Niamey 2000 pour une durée de 20 ans. Elle nous a aussi permis de déterminer de manière concrète le nombre des branchements privés et des bornes fontaines qu'il faut installer en une année donnée pour une meilleure desserte en eau potable de ces quartiers.

Le dimensionnement de ces éléments commence de la dalle du toit jusqu' à la fondation du château d'eau suivant les normes BAEL 91 modifiée 99, le Fascicule 74 et le D.T.U associés. Au terme de cette étude nous avons eu à confronter nos résultats de calculs avec celle de l'entreprise DENYS pour le dimensionnement du château d'eau (R16) et il en ressort que le BAEL 91 modifiée 99 est plus sécuritaire que les Eurocodes en termes d'aciers participant à la solidité de l'ouvrage.

Le dimensionnement avec le BAEL a fait ressortir les résultats suivant pour chaque partie de l'ouvrage par ml :

- ✚ 6HA8 pour le lanterneau
- ✚ 5HA12 pour la section d'armature de la coupole
- ✚ 10HA20 pour la ceinture supérieure
- ✚ 14HA12 pour la partie cylindrique
- ✚ 42HA20 pour la ceinture inférieure
- ✚ 28HA20 pour la partie tronconique
- ✚ 5HA10 pour la cheminée
- ✚ 8HA25 pour la dalle de fond
- ✚ 14HA20 pour la ceinture d'appui
- ✚ 5HA14 pour la tour support
- ✚ 12HA20 pour le radier général
- ✚ Pour la construction du château nous aurons besoin d'environ 124 tonnes d'aciers tous diamètres confondus.

Dernièrement pour répondre aux différentes préoccupations de la société de patrimoine des Eaux du Niger (SPEN) dans le cadre de la construction des châteaux d'eau au Niger, cette étude permettra à la SPEN de mieux comprendre la conception et le dimensionnement des châteaux d'eau ainsi que la prévisions des bornes fontaines et des branchements privés nécessaires pour

une meilleure desserte en eau potable des quartiers périphériques de la ville de Niamey.

Le cout de la construction du château d'eau en béton armé est estimé à **1 598 969 469 FCFA TTC.**

Ainsi, quelques recommandations peuvent être formulées et il s'agit :

- ✚ De désensabler et contrôler le rejet de la pollution dans le fleuve puisque ce dernier représente la source d'eau potable de la ville
- ✚ A la SPEN de veiller à la maintenance et au contrôle régulier de cet ouvrage pour une bonne durabilité.
- ✚ De promouvoir la construction des châteaux d'eau pour une meilleure alimentation en eau potable des populations et aussi pour l'embellissement des cités.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- COUSIN. B ; Cours d'ouvrages spéciaux; année académique 2014-2015. 106 pages
- OUEDRAOGO. B cours sur qualité des eaux naturelles et des eaux de consommation besoins et demande en eau tirage 2006. 96 pages
- OUEDRAOGO. B cours ouvrages constitutifs de systèmes d'AEP/ adduction réservoirs-réseaux de distribution. 109 pages
- MESSAN.A cours de dimensionnement des réservoirs en béton arme. 2015. 55 pages
- Fascicule 74 Cahier des clauses techniques générales (1998); construction des réservoirs en béton. 272 pages
- GUERRIN A. et R.C. LAVAUUR Traité de béton armé Tome 6 (1979) ; réservoirs château d'eau, piscines. 204 pages
- THONIER. H ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 3 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 779-1285 p.
- THONIER. H ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 4 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1291-1657 p.
- THONIER. H ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 p.
- Jean-Pierre Mougin Béton armé. BAEL 91 modifié 99 et DTU associés, deuxième Edition EYROLLES et quatrième tirage 2006, Paris.
- Rapport Technique de contrat de performance de la SEEN (2016), de la ville de Niamey. NIGER. 112 p.

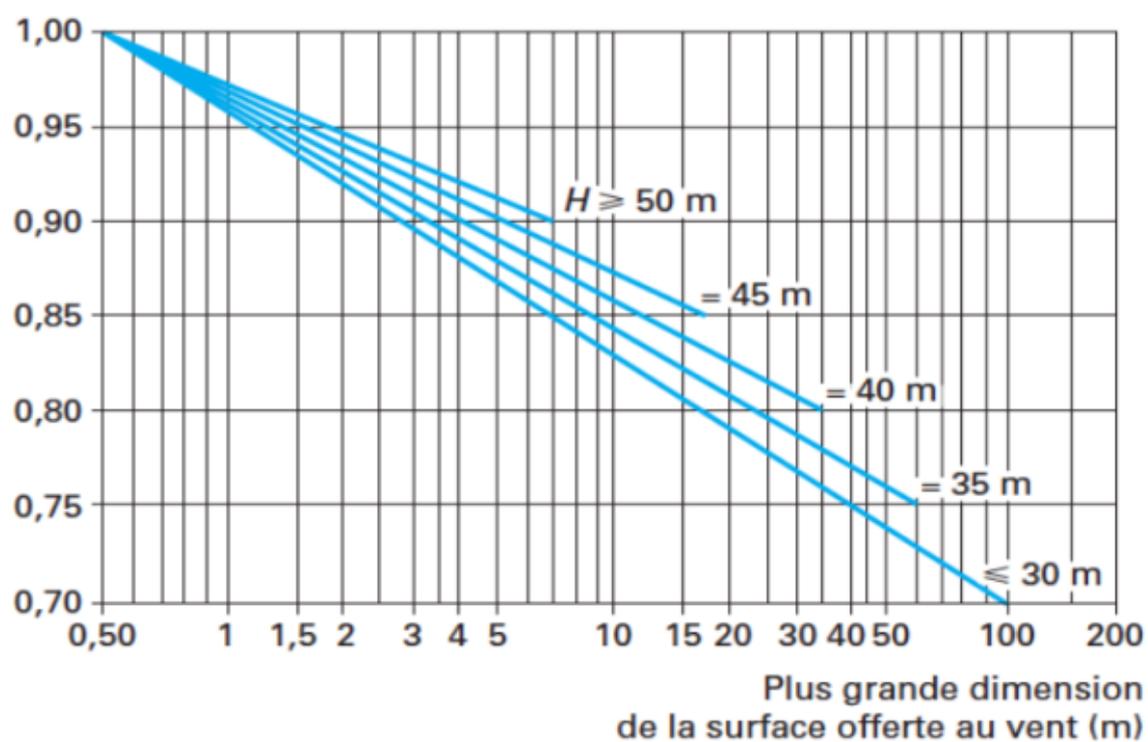
ANNEXES

**ANNEXES 1 : SECTION EN CM<sup>2</sup> DE 1 A 20 ARMATURES DE DIAMETRE  $\Phi$  EN MM**

Tableau 1 : Section en cm<sup>2</sup> de 1 à 20 armatures de diamètre  $\Phi$  en mm

$\emptyset$	5	6	8	10	12	14	16	20	25	32	40
1	0,20	0,28	0,50	0,79	1,13	1,54	2,01	3,14	4,91	8,04	12,57
2	0,39	0,57	1,01	1,57	2,26	3,08	4,02	6,28	9,82	16,08	25,13
3	0,59	0,85	1,51	2,36	3,39	4,62	6,03	9,42	14,73	24,13	37,70
4	0,79	1,13	2,01	3,14	4,52	6,16	8,04	12,57	19,64	32,17	50,27
5	0,98	1,41	2,51	3,93	5,65	7,70	10,05	15,71	24,54	40,21	62,83
6	1,18	1,70	3,02	4,71	6,79	9,24	12,06	18,85	29,45	48,25	75,40
7	1,37	1,98	3,52	5,50	7,92	10,78	14,07	21,99	34,36	56,30	87,96
8	1,57	2,26	4,02	6,28	9,05	12,32	16,08	25,13	39,27	64,34	100,5
9	1,77	2,54	4,52	7,07	10,18	13,85	18,10	28,27	44,18	72,38	113,1
10	1,96	2,83	5,03	7,85	11,31	15,39	20,11	31,42	49,09	80,42	125,7
11	2,16	3,11	5,53	8,64	12,44	16,93	22,12	34,56	54,00	88,47	138,2
12	2,36	3,39	6,03	9,42	13,57	18,47	24,13	37,70	58,91	96,51	150,8
13	2,55	3,68	6,53	10,21	14,70	20,01	26,14	40,84	63,81	104,6	163,4
14	2,75	3,96	7,04	11,00	15,83	21,55	28,15	43,98	68,72	112,6	175,9
15	2,95	4,24	7,54	11,78	16,96	23,09	30,16	47,12	73,63	120,6	188,5
16	3,14	4,52	8,04	12,57	18,10	24,63	32,17	50,27	78,54	128,7	201,1
17	3,34	4,81	8,55	13,35	19,23	26,17	34,18	53,41	83,45	136,7	213,6
18	3,53	5,09	9,05	14,14	20,36	27,71	36,19	56,55	88,36	144,8	226,2
19	3,73	5,37	9,55	14,92	21,49	29,25	38,20	59,69	92,27	152,8	238,8
20	3,93	5,65	10,05	15,71	22,62	30,79	40,21	62,83	98,17	160,8	251,3

Tableau 2 : Abaque permettant la déterminer de  $\delta$



## **ANNEXE 2 : RAPPORT PRELIMINAIRE DE RECONNAISSANCE DE SOL**

**LABORATOIRE NATIONAL DES TRAVAUX  
PUBLICS ET DU BATIMENT SAEM**  
BP : 464 NIAMEY-NIGER Tél : (227) 73 25 62 Email : lntp@intnet.ne

### **RAPPORT PRELIMINAIRE DE RECONNAISSANCE DE SOL.**

#### **1) INTRODUCTION.**

Dans le cadre du PROJET DE CONSTRUCTION D'UN CHATEAU D'EAU AU QUARTIER SAGA GOROU (NIAMEY), le L N T P /B a effectué une reconnaissance de sol sur le site retenu à cet effet pour le compte de LAMCO INGENIERIE.

Les travaux ont consisté à la réalisation de sondages aux pénétromètres dynamiques et au fonçage de puits manuels.

#### **2) NATURE ET CARACTERISTIQUES DU TERRAIN.**

Un (01) sondage puits manuel a été réalisé sur ce site afin d'y prélever des échantillons pour analyse au laboratoire.

#### **PUITS MANUEL.**

La coupe du puits foncé jusqu'à environ 2,50 m de profondeur laisse apparaître une couche de sable grisâtre (Epaisseur = 0,20 m) une couche de sable rougeâtre (Epaisseur = 1,70 m) et une couche de sable latérite (Epaisseur = 0,50 m), jusqu'à la fin du puits. Le fonçage de ce puits nous a permis de constater l'existence d'une nappe d'eau à 1,20 m de profondeur.

Un essai d'identification a été fait sur le matériau prélevé entre les profondeurs : 1,90 m à 2.50 m. Les résultats obtenus montrent que le matériau analysé est peu plastique (IP = 8,4) et

Cependant, compte tenu de l'importance de l'ouvrage des investigations plus poussées à l'image des **forages carottés et essais pressiométriques** s'avèrent nécessaires pour avoir toutes les informations nécessaires pour le dimensionnement.

Dans tous les cas les V.R.D doivent être soignés afin de minimiser les infiltrations d'eau autour de l'ouvrage. /.

Fait à Niamey le 20-08-2014.

Le Directeur Général du L N T P/B.

  
**Mr OUSMANE SANDA GARBA,**

### 3) SONDAGES AUX PENETROMETRES DYNAMIQUES

Au total quatre (04) sondages au pénétrömètre dynamique léger ont été réalisés sur le site.  
Les diagrammes des résistances dynamiques en pointe montrent que le terrain est homogène.

### 4) CONCLUSION.

D'après les résultats des essais de laboratoire et des sondages aux pénétrömètres dynamiques, on peut conclure que le terrain présente des caractéristiques géotechniques plus ou moins faibles jusqu'à autour de 2,60 m où le taux de travail commence à être appréciables.

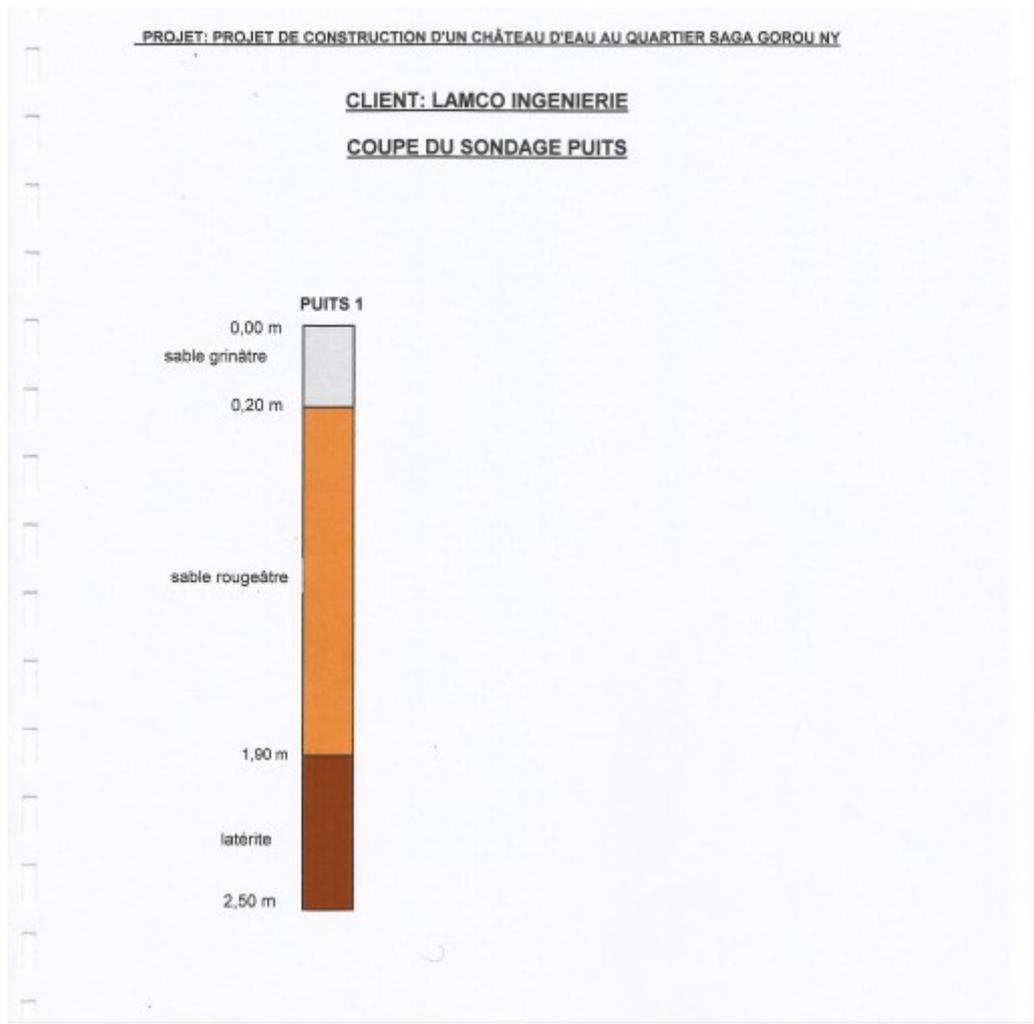
Ainsi, on peut retenir sur ce site les taux de travail suivants:

- 0,2 bar à 1,00 m de profondeur par rapport au TN,
- 0,3 bar à 1,50 m de profondeur par rapport au TN,
- 0,3 bar à 2,00 m de profondeur par rapport au TN,
- 1,0 bar à 2,50 m de profondeur par rapport au TN,
- 1,2 bar à 3,00 m de profondeur par rapport au TN,
- 2,0 bars à 3,50 m de profondeur par rapport au TN,
- 2,3 bars à 4,00 m de profondeur par rapport au TN.

Ainsi, un taux de travail de **1.2 bar à 3.00 m** de profondeur peut être retenu sur ce site.

De même à **3,50 m** de profondeur le taux de travail peut être estimé à **2,0 bars**.

Cependant, compte tenu de l'importance de l'ouvrage des investigations plus poussées à l'image des **forages carottés et essais pressiométriques** s'avèrent nécessaires pour avoir



### ANNEXE 3 : CALCUL HYDRAULIQUE

Tableau : Détermination de la capacité du réservoir

	Période	0 - 2h	2h - 4h	4 h - 6h	6 h - 8h	8 h - 10h	10 h - 12 h	12h - 14h	14h- 16h	16h- 18h	18h- 20h	20h- 22h	22h - 00h
<b>Adduction</b>	Q d'adduction [m <sup>3</sup> ]	0	386,71	386,71	386,71	386,71	386,71	386,71	386,71	386,71	386,71	386,71	0,00

	Volume pompé [m <sup>3</sup> ] par tranche	0	773,41	773,41	773,41	773,41	773,41	773,41	773,41	773,41	773,41	773,41	773,41	0,00
	Volume pompé cumulé [m <sup>3</sup> ]	0,0	773,4	1 546,8	2 320,2	3 093,6	3 867,1	4 640,5	5 413,9	6 187,3	6 960,7	7 734,1	7 734,1	
<b>Distribution</b>	Qmoy de distribué [m <sup>3</sup> ]	320,77	320,77	320,77	320,77	320,77	320,77	320,77	320,77	320,77	320,77	320,77	320,77	320,77
	Coef horaire	0,060	0,060	0,060	2,10	1,90	1,20	1,50	0,90	1,60	1,50	1,10	0,060	
	Qhoraire distribué [m <sup>3</sup> ]	19,25	19,25	19,25	673,62	609,47	384,93	481,16	288,69	513,23	481,16	352,85	19,25	
	Volume Consommé [m <sup>3</sup> ] par tranche	38,49	38,49	38,49	1347,24	1218,93	769,85	962,31	577,39	1026,47	962,31	705,70	38,49	
	Volume Consommé cumulé [m <sup>3</sup> ]	38,5	77,0	115,5	1 462,7	2 681,7	3 451,5	4 413,8	4 991,2	6 017,7	6 980,0	7 685,7	7 724,2	
Variation	ΔV	-38,5	696,4	1 431,3	857,5	412,0	415,6	226,7	422,7	169,6	-19,3	48,4	9,9	

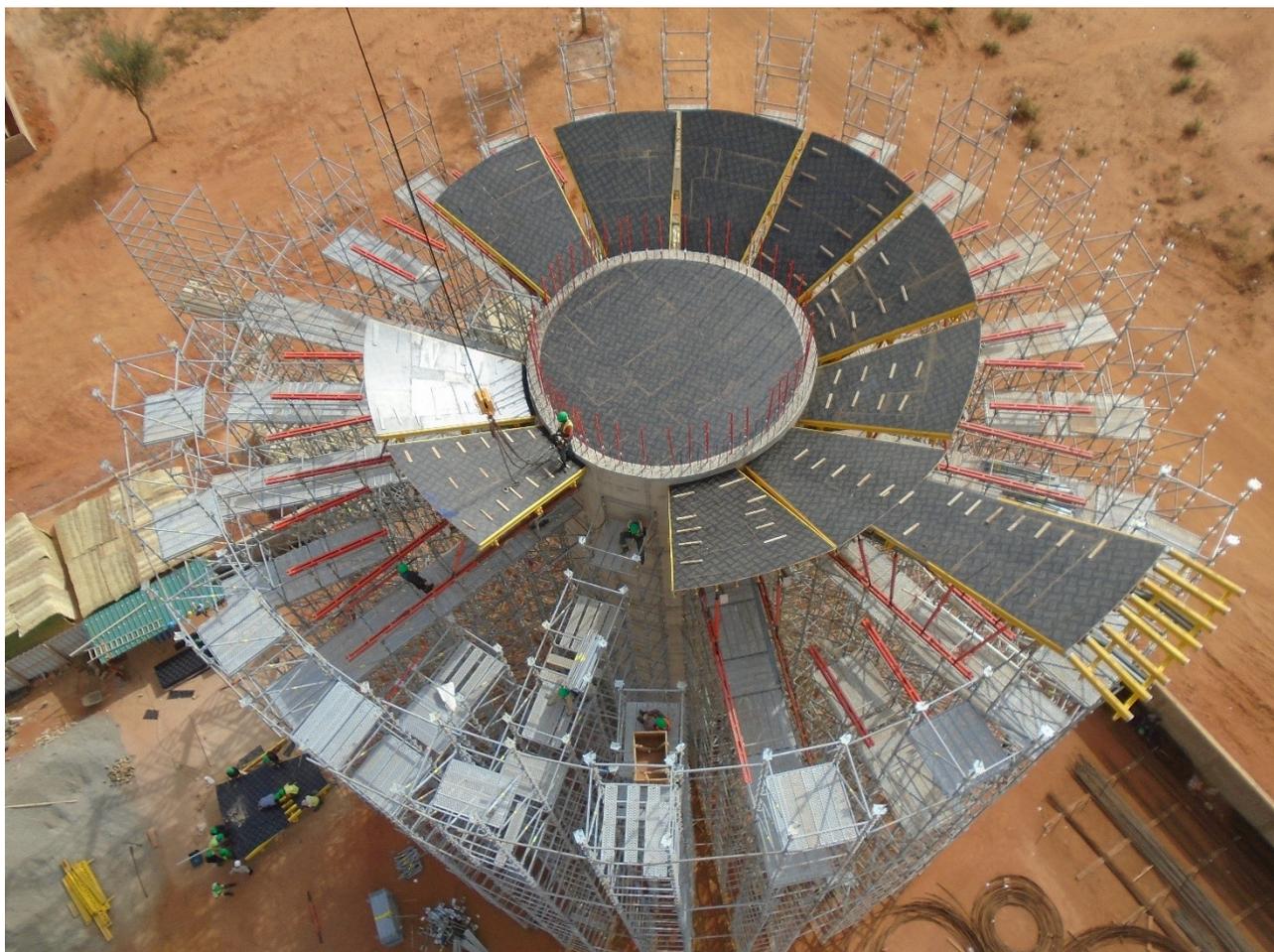
## **ANNEXE 4 : PLAN D'EXECUTION DU RESERVOIR**



## ANNEXE 5: CONSTRUCTION DU RESERVOIR (R16)



*Photo 1: Disposition des pièces d'échafaudage pour accès au coffrage de la cuve.*



*Photo 2: Pose des panneaux pour le coffrage de la partie tronconique*



*Photo 3 : Ferrailage de la fondation*



*Photo 4: réglage panneau de coffrage de la tour*



*Photo 5: Coffrage de la deuxième levée de la tour*

## ANNEXE 6 : IMPACT POTENTIEL DU PROJET ET MESURE D'ATTENUATION

**Tableau 30** : Mesures d'atténuation ou de préventions liées au projet

Phases	Eléments	Impacts	Mesures
Milieu biophysique			
Construction du château et pose des conduites de refoulement (Phase des travaux)	Sols	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dégradation de leur structure</li> <li>- Risque d'érosion</li> <li>- Pollution par les déchets solide et liquide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en état des sols perturbés au cours des travaux y compris les zones d'emprunt de matériaux et de carrières</li> <li>- Limiter la circulation des engins enfin de réduire la perturbation de la structure des sols</li> <li>- A la fin du projet remettre en état si possible la voie empruntée par les différents engins</li> <li>- Collecter et gérer de manière écologiquement rationnelle tous les déchets produits pendant les travaux (au niveau du chantier et de la base vie)</li> <li>- Réserver ou construire une aire d'entretien, de ravitaillement en carburant et de nettoyage des engins.</li> </ul>
	Air	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altération de la qualité de l'air par les poussières</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Couvrir avec des bâches toute la partie benne transportant les matériaux</li> <li>- Arroser fréquemment le chantier pour éviter le soulèvement des poussières lors des travaux.</li> </ul>
	Végétation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Destruction d'un nombre important d'arbre</li> <li>- Perturbation physiologique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faire appel au service de l'environnement pour une autorisation et aussi pour la compensation des arbres abattus</li> <li>- Prévoir une aire engazonnée autour du château d'eau construit.</li> </ul>
	Paysage	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perte d'habitat</li> <li>- Perturbation par les bruits</li> <li>- Risques d'intoxications suite au déversement des déchets solides et liquide du chantier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôler l'émission des bruits à un niveau acceptable par le maintien des</li> <li>- Collecter et gérer de manière écologiquement rationnelle les déchets des</li> </ul>
	Eau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pollution des eaux souterraines par les déchets solide et liquide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaborer un plan d'urgence qui prendrait en compte les éventuelles déversements accidentels des huiles et</li> </ul>

		carburants qui consistera à prendre des mesures en cas de ces genres accidents
Santé et sécurité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risque de blessures et d'accidents</li> <li>- Perturbation de l'ambiance sonore</li> <li>- Risque des maladies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en place de garde-corps pour élévations en hauteur ;</li> <li>- Mise en place d'échelle d'accès pour fouille profonde cas de la fondation du château ;</li> <li>- Boucler la zone des travaux du châteaux d'eau en désignant un périmètre d'accès interdit à toute personne étrangère au chantier ;</li> <li>- Installations des panneaux et banderoles indiquant les travaux ;</li> <li>- Sensibiliser les travailleurs sur la santé et la sécurité sur le chantier ;</li> <li>- Doter les travailleur en équipement de protection individuelle (gants, casque, lunettes, etc.) et veiller à leur port obligatoire sous peine de sanction disciplinaire ;</li> <li>- Mettre en place une équipe de mini santé pour prendre rapidement en charge les premiers soins en cas de maladie ou d'accident avant l'évacuation dans les centres de santé spécialisés ;</li> <li>- Sensibiliser régulièrement les travailleurs sur le port des équipements de protection individuels (EPI).</li> </ul>
Revenus	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration des revenus à cause des travaux</li> <li>- Création d'emploi temporaire</li> <li>- Perte de revenus suite au déplacement ou à la destruction d'un commerce quelconque situé sur le voies du projet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Collaborer avec les arrondissements communaux pour le recrutement des travailleurs non qualifiés et aussi favoriser le recrutement de la main d'œuvre locale qualifiée</li> <li>- Indemnisation des personnes qui perdront leurs suite au déplacement ou à la destruction de leur commerce pour raisons des travaux.</li> </ul>

	Infrastructures	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perturbations des maisons, des stations d'essence, suite au passage de la conduite de refoulement</li> <li>- Endommagement de la conduite de refoulement par la population</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informer les populations propriétaire des biens avant le démarrage des travaux</li> <li>- Identifier et compléter le recensement des personnes et des biens inventoriés dans le cadre de cette étude et rapporter dans le tableau</li> <li>- Evaluer les dédommagements à accorder aux personnes affectées par le projet</li> <li>- Prévoir un cadre de prise en compte des éventuelles perturbations sur les infrastructures</li> <li>- Mise en place d'une signalisation efficace pour protection des fouilles de logement de la conduite de refoulement.</li> </ul>
	Mobilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduction de la mobilité</li> <li>- Risque d'embouteillage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informer et sensibiliser la population de Niamey sur l'avancement des travaux surtout pour la pose de la conduite de refoulement</li> <li>- Aménagement des voies de contournement pour permettre à la circulation de continuer pendant les travaux de pose de conduite</li> <li>- Installer et faire la maintenance des feux de circulation au niveau des périmètres de sécurité de la pose de la conduite de refoulement.</li> </ul>
Milieu biophysique			
Milieu Humain			
Exploitation	Santé sécurité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduction des maladies liées à la mauvaise qualité des eaux consommées par la population</li> <li>- Le maitre d'ouvrage doit veiller à éviter toute intrusion au sein du château d'eau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensibiliser la population de faire l'effort d'installer des robinets pour une eau de qualité.</li> </ul>
	Mobilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation des infrastructures de desserte en eau potable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensibiliser les usagers pour la protection de cet ouvrage combien important.</li> </ul>

## ANNEXE 7 : SUIVI DES TRAVAUX DE REALISATION

### **VII.1 Suivi, contrôle et évaluation technique des travaux de réalisation de l'AEP de la zone d'étude**

#### **VII.1.1 Tâches personnellement effectuées dans le cadre du suivi technique**

Les taches effectuées sont les suivantes :

- Contrôle aux respects stricts des dimensions des ferrailages exécutés par les ouvriers
- Contrôle des panneaux de coffrage
- Détermination du rapport eau ciment pour la formulation du béton enfin d'avoir une bonne compacité
- Métré et commande des équipements métallique du réservoir (caillebotis, gardes corps, potence de levage, couvercle, échelles a crinolines, portes de type ROMAG, portes d'entrée du réservoir avec capteur anti intrusion ; capteurs ultrasonique).

#### **VII.1.2 Suivi budgétaire des travaux**

Après chaque coulage du béton nous procédons au contrôle budgétaire pour voir si l'entreprise gagne ou perd de l'argent et aussi si l'entreprise est en avance ou en retard par rapport à son planning d'exécution.

#### **VII.1.3 Rédaction des rapports mensuels d'avancement des travaux**

La rédaction des rapports mensuels d'avancement des travaux est faite chaque fin du mois après la réunion de chantier avec la mission de contrôle et le maitre de l'ouvrage.

**ANNEXE 8 : COUT DU BETON ARME POUR LA CONSTRUCTION DU RESERVOIR R16**

Désignation	Unité	Quantité de béton armé (m <sup>3</sup> )	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (FCFA)
Béton de propreté dosé à 150 kg/m <sup>3</sup> pour semelles	m <sup>3</sup>	54.34	160800	8 737 872
Béton armé pour fondation dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	478.69	300000	143 607 000
Béton armé pour la tour dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	210.29	300000	63 087 000
Béton armé pour paroi de la cuve dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	196	400000	78 400 000
Béton armé pour la cheminée intérieur dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	14	350000	4 900 000
Béton armé pour la toiture de la cuve dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	94.72	350000	33152000
<b>Total</b>				<b>331 883 872</b>

**ANNEXE 9 : COUT TOTAL DE LA CONSTRUCTION DU CHATEAU D'EAU**

Désignation	Prix total (FCFA)	
Installation du chantier et travaux préparatoires	100 000 000	
Béton armé pour la construction du château d'eau	331 883 872	
Fourniture et travaux des équipements hydrauliques	900 000 000	
Travaux d'étanchéité pour la construction du château d'eau	23 175 000	
<b>Total</b>	<b>1 355 058 872</b>	

